

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

ОСЦИЛЛЯТОР АНДРЕЕВА

Андреев Юрий Петрович

Независимый исследователь, пгт. Куминский

АННОТАЦИЯ

Человечество с каждым годом увеличивает потребление энергии. С каждым годом увеличивается количество машин на дорогах. Сжигается всё больше углеводов. Загрязняется окружающая среда. Повышается температура окружающей среды. В связи с аварией на АЭС «Фукусима» некоторые страны собираются отказаться от АЭС. А это ещё более увеличит сжигание топлива. Альтернативные источники энергии пока не могут заменить существующие источники, работающие за счёт сжигания различных видов топлива. Но вокруг нас имеется огромное количество энергии. Она есть везде, в любое время года и дня. Это тепло окружающей среды. Если снизить температуру вод Мирового океана на 1 градус, то этой энергии хватило бы человечеству на несколько столетий при современно уровне потребления энергии. Но, согласно второму началу термодинамики, это тепло невозможно использовать для получения энергии. Человечество находится в положении потерпевших кораблекрушение - вокруг море воды, а напиться невозможно. Предлагается вариант источника электроэнергии, позволяющего получить электроэнергию только за счёт тепла окружающей среды.

Ключевые слова: вертушка Фейнмана; "вечный" двигатель; полупроводник; p-n переход;

Всем известна вертушка Фейнмана [1] из Фейнмановских лекций по физике. На примере этой вертушки, которая на первый взгляд нарушает второе начало термодинамики, Фейнман показал, что второе начало не нарушается. А главное препятствие в этом - это храповик с собачкой. Но есть и другие способы преобразования хаотичного колебания вертушки в полезную работу. Рассмотрим один из них. Для примера возьмём полупроводниковый диод - это два соединённых полупроводника с металлическими выводами. Соединение металлических выводов с полупроводниками - омическое. То есть, такое соединение не создаёт p-n переход, не обладает односторонней

проводимостью и не мешает движению электронов в обе стороны. Допустим, разъединим полупроводники. Получится металлический проводник с полупроводниками на концах. На одном конце p-полупроводник, а на другом конце n-полупроводник. Разместим полупроводники и металлический проводник на маятнике. Сама вертушка, которая качает пластину, на рисунке не показана. См. рис. 1.

Первоначально полупроводники не соприкасаются. См. рис. 1. Тока в металлическом проводнике нет. Затем под ударами молекул вертушка поворачивается и полупроводники соприкасаются. См. рис.2.

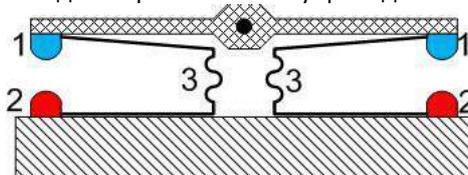


Рис. 1.

1 - n-полупроводник. 2 - p-полупроводник. 3 - металлический проводник, соединяющий полупроводники.

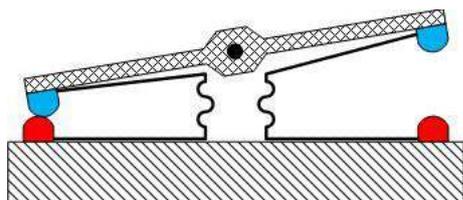


Рис. 2.

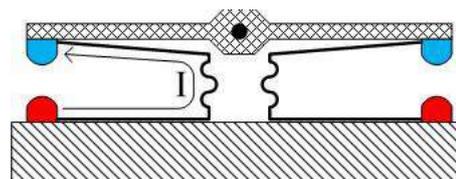


Рис. 3.

При соприкосновении между полупроводниками возникает p-n переход. Уровень Ферми у n-полупроводника выше, поэтому электроны с n-проводника переходят на p-полупроводник. На n-полупроводнике оставшиеся ионы

создают положительный электрический заряд. На p-полупроводнике избыточные электроны создают отрицательный заряд. Возникающее электрическое поле тормозит дальнейший переход электронов и система опять уравнов

вешена. Вблизи р-п перехода на р-полупроводнике возникает область с избыточным содержанием электронов. На п-полупроводнике также возникает область с недостатком электронов. Но тока в металлическом проводнике также нет. Затем, под действием ударов молекул, пластина поворачивается в обратную сторону и полупроводники разъединяются. См. рис. 3.

Р-п переход исчезает. То есть, больше нет причин для существования объёмных зарядов вблизи границы р-п перехода, так как нет и самой границы. Поэтому избыточные

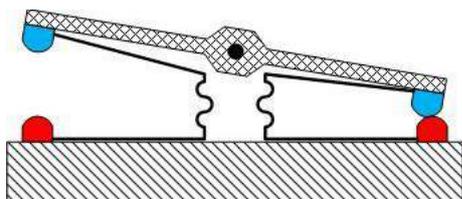


Рис. 4.

пластина может повернуться и таким образом, что левые полупроводники снова соприкоснутся, как на рис. 2. Это не принципиально. И далее процесс повторяется, как описано выше. При каждом разъединении полупроводников по металлическому проводнику будет протекать импульс электрического тока. Так как при соприкосновении полупроводников они заряжаются разноименно, то между ними возникает сила притяжения. На преодоление этой силы будет использоваться кинетическая энергия молекул. Соответственно, скорость молекул будет уменьшаться, что эквивалентно уменьшению температуры окружающего газа. От одного такого устройства ток и напряжения очень малы. Но ничто не мешает множество таких устройств соединить вместе последовательно и параллельно и получить батарею, напряжение которой будет достаточно для работы небольшого электромотора. См. рис. 5.

Рассмотрим работу такого устройства. Оно состоит из множества пар двух полупроводников, соединённых

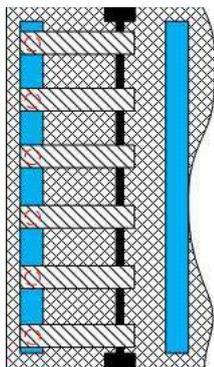


Рис. 6.

Каждая пара переносит небольшое количество электронов. Но множество параллельно работающих пар полупроводников смогут переносить такое количество электронов, что такую батарею можно будет использовать для питания реальных устройств.

Например, подключить к такой батарее небольшой электромотор. На вал электромотора насадить шкив с ниточкой, на конце которой привязана блошка.

электроны с р-полупроводника по металлическому проводнику переходят на п-полупроводник. В металлическом проводнике возникает импульс электрического тока I . Избыточные электроны с р-полупроводника перешли на п-полупроводник и система пришла в первоначальное положение, какое она имела до соприкосновения полупроводников. Затем, под действием ударов молекул, пластина поворачивается и полупроводники соприкасаются. Пластина не обязательно должна повернуться таким образом, чтобы соприкоснулись правые полупроводники. См. рис. 4.

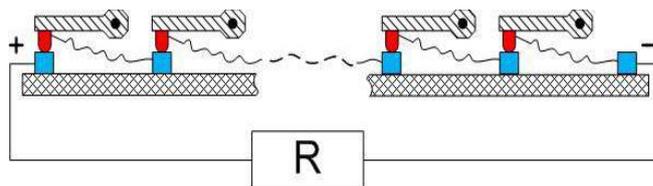


Рис. 5.

металлическим проводником. Рассмотрим первую слева пару. При каждом соприкосновении и разъединении р-полупроводника с одиночным п-полупроводником на пару полупроводников и проводник переходит небольшое количество электронов. Эта пара приобретает отрицательный потенциал, а одиночный п-полупроводник положительный. После нескольких циклов эта разность потенциалов достигнет максимальной величины в десятки или сотни милливольт и стабилизируется. То есть, одна пара полупроводников может создать небольшую разность потенциалов. Следующая пара полупроводников увеличивает разность потенциалов ещё на некоторую величину. И уже некоторое количество таких пар полупроводников, соединённых последовательно, сможет создать разность потенциалов в несколько вольт. Но ток такой батареи будет очень мал. Поэтому, чтобы увеличить ток, множество таких пар соединяются параллельно. Вид сверху. См. рис. 6.

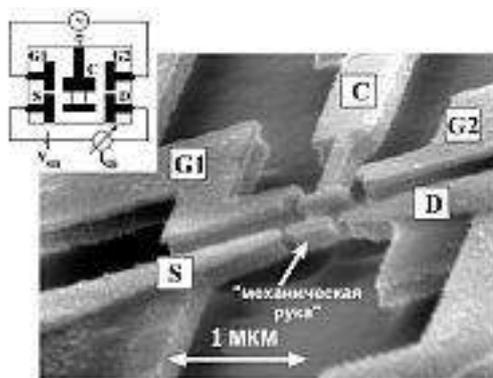


Рис. 7.

И вуаля, сбылась многовековая мечта альтернативщиков и создателей ВД - блошку можно поднять на любую высоту только за счёт тепла окружающей среды. То есть, осциллятор Андреева - это вечный двигатель второго рода, позволяющий получать электроэнергию только за счёт тепла окружающей среды.

Создать такое устройство достаточно просто. Для этого могут быть использованы технологии, применяющиеся при изготовлении микросхем, процессоров и других чипов. Эти технологии сейчас очень хорошо отработаны. Поэтому создать такой осциллятор на любом профильном заводе или фабрике можно очень легко. Например, был создан "механический" транзистор - наномеханический осциллятор Блайка [2]. См. рис. 7.

В центре устройства – вибрирующий маятник, который был назван Блайком "механической рукой". Если между точками G1 и G2 приложить переменное напряжение, то маятник будет колебаться с частотой, пропорциональной частоте переменного напряжения. В рабочем устройстве маятник колебался с частотой в 100 МГц. Маятник С электрически изолирован от электродов G1, G2, S и D и заземлен. Электроды S и D представляют собой исток и сток транзистора соответственно. Как только маятник касается электрода S, на его поверхность благодаря туннельному эффекту переносится один электрон, который затем передается с помощью колебаний маятника на электрод D. На схеме показан источник напряжения транзистора VSD и прибор, с помощью которого исследователи могли наблюдать за переносом электронов ISD. Осциллятор исследователи изготовили из кремния по технологии SOI (silicon-on-insulator: слой кремния на слое изолятора) в несколько этапов. Сначала с помощью электрон-

нолучевой литографии нанесли на кремниевую поверхность золотую маску, которая повторяла геометрию устройства, а также алюминиевую маску травления (для тех участков, которые надо удалить). Далее был вытравлен механический маятник и его туннельные контакты (с точностью до 10 нм).

Достаточно немного видоизменить этот осциллятор, и он превратится в осциллятор Андреева. Для этого достаточно убрать электроды G1 и G2. А также прикрепить к "механической руке" лопасть от вертушки Фейнмана. И вечный двигатель - осциллятор Андреева готов к труду и обороне.

Такой источник электроэнергии - это вечный двигатель второго рода (ВД2). Причём такой ВД2 не нарушает ни один закон физики. Если не считать второе начало термодинамики, которое законом не является. А является всего лишь постулатом. По выражению Канта, «данный а priori, практический императив, неспособный дать никакого объяснения, а также и доказательства своей возможности».

Литература

1. Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Фейнмановские лекции по физике. Москва, изд. "Мир" 1966 г.
2. А. А. Щука. Приборы наноэлектроники. Вестник международной академии наук (русская секция) 2007 г. № 2.

ВЕЧНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ВТОРОГО РОДА АНДРЕЕВА

Андреев Юрий Петрович

Независимый исследователь, пгт. Куминский

АННОТАЦИЯ

Человечество с каждым годом увеличивает потребление энергии. С каждым годом увеличивается количество машин на дорогах. Сжигается всё больше углеводородов. Загрязняется окружающая среда. Повышается температура окружающей среды. В связи с аварией на АЭС «Фукусима» некоторые страны собираются отказаться от АЭС. А это ещё более увеличит сжигание топлива. Альтернативные источники энергии пока не могут заменить существующие источники, работающие за счёт сжигания различных видов топлива. Но вокруг нас имеется огромное количество энергии. Она есть везде, в любое время года и дня. Это тепло окружающей среды. Если снизить температуру вод Мирового океана на 1 градус, то этой энергии хватило бы человечеству на несколько столетий при современно уровне потреблении энергии. Но, согласно второму началу термодинамики, это тепло невозможно использовать для получения энергии. Человечество находится в положении потерпевших кораблекрушение - вокруг море воды, а напиться невозможно. Предлагается вариант двигателя, позволяющего получать энергию только за счёт тепла окружающей среды.

Ключевые слова: вечный двигатель; термодинамический цикл; мембрана.

Для описания и понимания принципа работы такого ВД2 достаточно знание молекулярно-кинетической теории газов, закона Паскаля и формулы $F = PS$. Сила

равна давлению, умноженному на площадь [1]. Вот рисунок всего ВД2. См. рис. 1.

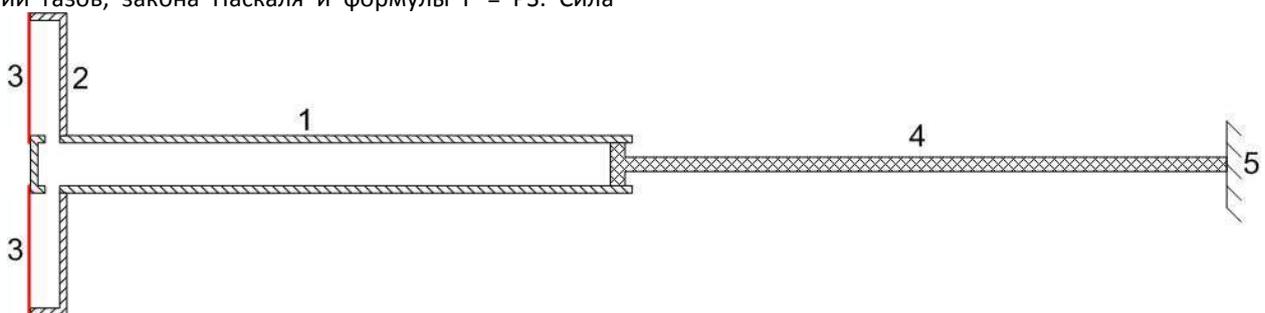


Рис. 1. 1 - малый цилиндр. 2 - большой цилиндр. 3 - мембрана. 4 - поршень. 5 опора, в которой закреплён поршень.

Основная и главная часть этого ВД2 - это мембрана. Мембрана должна представлять собой тонкую плёнку толщиной порядка нескольких нанометров. В этой мембране множество отверстий диаметром 1-2 нанометра. Поэтому через такие отверстия в мембране могут пролетать только одиночные молекулы. Оптимальную

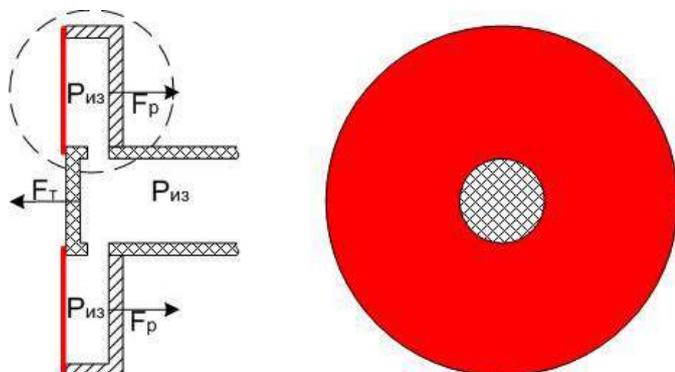


Рис. 2.

Когда давления внутри и снаружи равны, то все силы компенсируются и на цилиндры не действует никакая сила. Чтобы ВД заработал, необходим толчок от внешней силы. Под действием внешней силы цилиндры смещаются вправо. Внутри малого цилиндра возникает избыточное давление Риз. Внутренние объемы малого и большого цилиндров сообщаются. По закону Паскаля давление Риз передаётся в любую точку без изменений по всему внутреннему объёму цилиндров. Это избыточное давление вызывает силу давления на торцевую стенку малого цилиндра $F_t = P_{из}S_t$, где S_t – это площадь торцевой стенки малого цилиндра. На внутреннюю поверхность большого цилиндра действует сила F_p . Для лучшего понимания возникновения этой силы, рассмотрим часть большого цилиндра, выделенного штриховой линией. См. рис. 3.

Когда цилиндры под действием кратковременного толчка от внешней силы сдвинулись вправо, то в большом цилиндре также возникает избыточное давление Риз, так как его внутренний объём соединяется с внутренним объёмом малого цилиндра. Вследствие этого на стенку и мембрану действуют силы F_c и F_m . $F_c = P_{из}S_c$, где S_c – это площадь стенки. На мембрану действует сила $F_m = P_{из}S_m$, где S_m – это площадь непроницаемой части мембраны. Так как в мембране множество отверстий размером порядка несколько нанометров, то часть молекул попадает в отверстия и вылетает наружу. Эти молекулы не оказывают воздействие на мембрану. И за счёт этих отверстий непроницаемая часть мембраны меньше общей площади мембраны на суммарную площадь отверстий. $S_m = S_{om} - S_o$, где S_{om} – это общая площадь мембраны, а S_o – это суммарная площадь отверстий в мембране. Так как цилиндры прямые, а не конусные, то $S_{om} = S_c$. То есть, общая площадь мембраны равна площади стенки. Поэтому $S_m = S_c - S_o$. То есть, непроницаемая часть мембраны равна площади стенки минус суммарная площадь отверстий в мембране. Отсюда $F_m = P_{из}(S_c - S_o)$. Площадь стенки больше площади непроницаемой части мембраны на суммарную площадь отверстий в мембране, поэтому результирующая сила $F_p = F_c - F_m = P_{из}S_c - P_{из}(S_c - S_o) = P_{из}S_c - P_{из}S_c + P_{из}S_o = P_{из}S_o$. Сила F_p создаётся за счёт молекул,

и размер отверстий возможно установить в ходе экспериментов. Но так как все основные процессы происходят в той части, где большой цилиндр и мембрана, то будем рассматривать эту часть ВД. Справа вид со стороны мембраны. См. рис. 2.

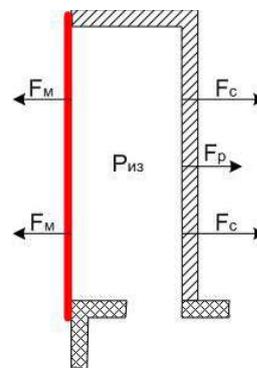


Рис. 3.

которые вылетают через отверстия мембраны и не оказывают давление на мембрану. Поэтому сила давления на мембрану меньше, чем на стенку. Как пишет Сивухин Д.В. в [1] стр. 188, взаимодействие молекул со стенкой можно мысленно разделить на 2 этапа. На первом этапе молекулы тормозятся, останавливаются и как бы прилипают к стенке. При этом на стенку действует сила F_1 . На втором этапе молекулы как бы отлипают от стенки, отталкиваются стенкой, ускоряются и отскакивают от стенки, создавая силу F_2 . Эта сила аналогична силе отдачи при выстреле из орудия, где роль снаряда играют вылетающие молекулы. На самом деле оба этапа происходят одновременно и сила, действующая на стенку $F = F_1 + F_2$. Силы $F_1 = F_2$. Поэтому $F_1 = F/2$ и $F_2 = F/2$. Так как внутри давление выше, то изнутри через мембрану вылетает на N молекул больше, чем влетает. Вылетающие через мембрану N молекул можно представить в виде отлипающих от мембраны молекул, так как до вылета они находились внутри цилиндров и были его частью. То есть, эти молекулы создают силу $F_2 = F/2$. И эта сила подобна силе отдачи при выстреле из орудия. Поэтому $F_p = P_{из}S_o/2$. Силы F_p и F_t противодействуют друг другу. Выясним, при каких условиях эти силы равны. $(F_p = F_t) = (P_{из}S_o/2 = P_{из}S_t) = (P_{из}S_o = 2P_{из}S_t)$. Но так как Риз в обоих случаях равно, то $S_o = 2S_t$. Малый цилиндр также прямой, поэтому $S_t = S_p$, где S_p – это площадь поршня. То есть, если суммарная площадь отверстий в мембране будет ровно в 2 раза больше площади поршня, то в этом случае $F_p = F_t$ при любом избыточном давлении внутри. Иначе говоря, в этом случае через мембрану будет вылетать в 2 раза больше молекул в единицу времени, чем ударяться в стенку. Для того, чтобы цилиндры после первоначального толчка от внешней силы продолжали движение, необходимо, чтобы $F_p > F_t$. То есть, на цилиндры будет действовать результирующая сила $F_c = F_p - F_t$. Для этого необходимо, чтобы $S_o > 2S_t$. Если $S_o > 2S_t$, то $F_p > F_t$ при любом избыточном давлении Риз внутри цилиндров. То есть, главное условие работоспособности данного ВД2 – это $S_o > 2S_t$. При этом сила F_c действует по направлению движения цилиндров. Если какая-либо внешняя сила действует на цилиндры и двигает их вправо, то F_c действует в этом же направлении и как

бы усиливает внешнюю силу. Такой вот усилитель мощности.

Был рассмотрен вариант, когда давление внутри цилиндров избыточное. Теперь рассмотрим вариант, когда давление внутри меньше наружного. Это можно представить в виде избыточного давления снаружи цилин-

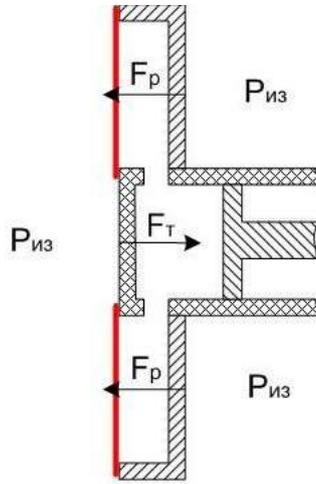


Рис. 4.

дров. В этом случае все рассуждения о внутреннем избыточном давлении можно применить к внешнему избыточному давлению. Только в этом случае силы F_p и F_t действуют на внешние поверхности стенки, мембраны. Поэтому векторы этих всех сил меняют направление на 180 градусов. См. рис. 4.

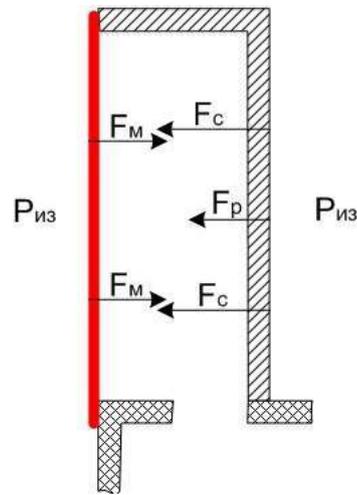


Рис. 5.

Как возникает сила F_p в случае разрезания внутри цилиндров? В принципе, так же как и в случае избыточного давления внутри цилиндров. Но так как в данном случае избыточное давление как бы снаружи цилиндров, то силы меняют свое направление действия на 180 градусов. См. рис 5.

Когда цилиндры под действием кратковременного толчка от внешней силы сдвинулись влево, то в большом цилиндре также возникает разрезание, так как его внутренний объём соединяется с внутренним объёмом малого цилиндра. То есть, можно считать, что снаружи появилось избыточное давление $P_{из}$. Вследствие этого на стенку и мембрану действуют силы F_c и F_m . $F_c = P_{из}S_c$, где S_c – это площадь стенки. На мембрану действует сила $F_m = P_{из}S_m$, где S_m – это площадь непроницаемой части мембраны. Так как в мембране множество отверстий размером порядка несколько нанометров, то часть молекул попадает в отверстия и влетает внутрь. И за счёт этих отверстий непроницаемая часть мембраны меньше общей площади мембраны на суммарную площадь отверстий. $S_m = S_{om} - S_o$, где S_{om} – это общая площадь мембраны, а S_o – это суммарная площадь отверстий в мембране. Так как цилиндры прямые, а не конусные, то $S_{om} = S_c$. То есть, общая площадь мембраны равна площади стенки. Поэтому $S_m = S_c - S_o$. То есть, непроницаемая часть мембраны равна площади стенки минус суммарная площадь отверстий в мембране. Отсюда $F_m = P_{из}(S_c - S_o)$. Площадь стенки больше площади непроницаемой части мембраны на суммарную площадь отверстий в мембране, поэтому результирующая сила $F_p = F_c - F_m = P_{из}S_c - P_{из}(S_c - S_o) = P_{из}S_c - P_{из}S_c + P_{из}S_o = P_{из}S_o$. Сила F_p создаётся за счёт того, что молекулы, которые влетают через отверстия мембраны внутрь, можно считать как бы прилипшими к мембране. Как пишет Сивухин Д.В. в «Общем курсе физики», взаимодействие молекул со стенкой можно мысленно разделить на 2 этапа. На первом этапе молекулы

тормозятся, останавливаются и как бы прилипают к стенке. При этом на стенку действует сила F_1 . На втором этапе молекулы как бы отлипают от стенки, отталкиваются стенкой, ускоряются и отскакивают от стенки, создавая силу F_2 . Эта сила аналогична силе отдачи при выстреле из орудия, где роль снаряда играют вылетающие молекулы. На самом деле оба этапа происходят одновременно и сила, действующая на стенку $F = F_1 + F_2$. Силы $F_1 = F_2$. Поэтому $F_1 = F/2$ и $F_2 = F/2$. Так как снаружи давление выше, то через мембрану влетает на N молекул больше, чем вылетает. Влетающие через мембрану N молекул, можно представить в виде прилипающих к мембране молекул. То есть, эти молекулы создают силу $F_1 = F/2$. Поэтому $F_p = P_{из}S_o/2$. Силы F_p и F_t также противодействуют друг другу. Эти силы равны при тех же условиях. $(F_p = F_t) = (P_{из}S_o/2 = P_{из}S_t) = (P_{из}S_o = 2P_{из}S_t)$. Но так как $P_{из}$ в обоих случаях равно, то $S_o = 2S_t$. То есть, если суммарная площадь отверстий в мембране должна быть ровно в 2 раза больше площади торцевой стенки малого цилиндра, то в этом случае $F_p = F_t$ при любом пониженном давлении внутри. Для того, чтобы цилиндры после первоначального толчка от внешней силы продолжали движение, необходимо, чтобы $F_p > F_t$. То есть, на цилиндры будет действовать результирующая сила $F_c = F_p - F_t$. Для этого необходимо, чтобы $S_o > 2S_t$. Если $S_o > 2S_t$, то $F_p > F_t$ при любом пониженном давлении внутри цилиндров. То есть, главное условие работоспособности данного ВД2 – это $S_o > 2S_t$. При этом сила F_c действует также по направлению движения цилиндров. И также, как и в предыдущем случае, усиливает внешнюю силу.

Суммарная площадь отверстий в мембране зависит от количества отверстий на единицу площади мембраны и от общей площади мембраны. Комбинируя эти два способа, можно подобрать такую мембрану, что будет выполняться главное условие работы такого ВД2. То есть, должно выполняться условие $S_o > 2S_t$. Один из вариантов такого ВД2. См. рис. 6.

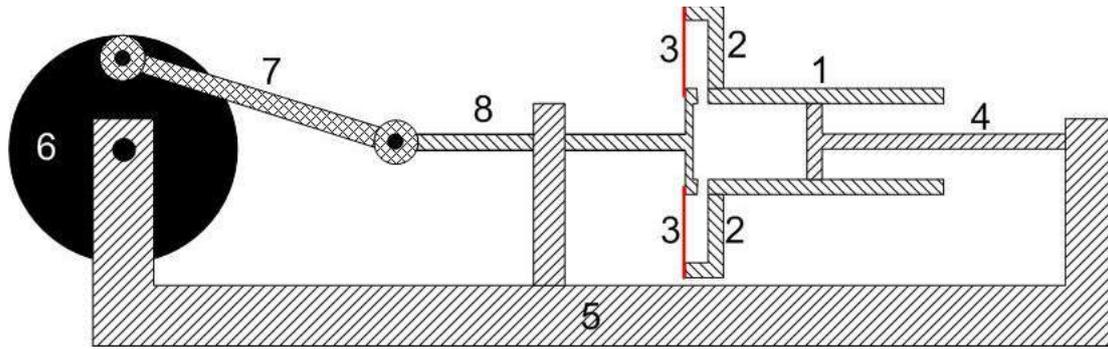


Рис. 6.

1 - малый цилиндр. 2 - большой цилиндр. 3 - мембрана. 4 - поршень. 5 - опора-станина. 6 - маховик. 7 - шатун.
8 - тяга, соединяющая торец малого цилиндра с шатуном.

Для запуска ВД2 в работу необходимо за счёт внешней силы крутнуть маховик в любую сторону. Пусть первоначальное положение ВД таково, что цилиндры находятся в правой «мёртвой» точке. При вращении маховика в любую сторону цилиндры будут перемещаться влево. При этом внутри цилиндров будет создаваться разрежение. На цилиндры будет действовать F_c , направленная по ходу движения цилиндров. Эта сила будет двигать цилиндры, поддерживая внутри разрежение. Таким образом цилиндры доходят до левой «мёртвой» точки. Цилиндры за счёт запасённой в маховике энергии получают толчок вправо и

начинают двигаться вправо. В этом случае внутри создаётся избыточное давление. Вектор силы F_c меняет направление и снова направлен по ходу движения цилиндров. Сила F_c двигает цилиндры вправо, поддерживая внутри цилиндров избыточное давление. Таким образом ВД будет крутиться бесконечно долго, пока не сломается какая-нибудь деталь механизма. Для увеличения мощности такого ВД2 можно использовать сдвоенный ВД2. По габаритам ВД2 останется без изменений, а мощность увеличится в 2 раза. См. рис. 7.

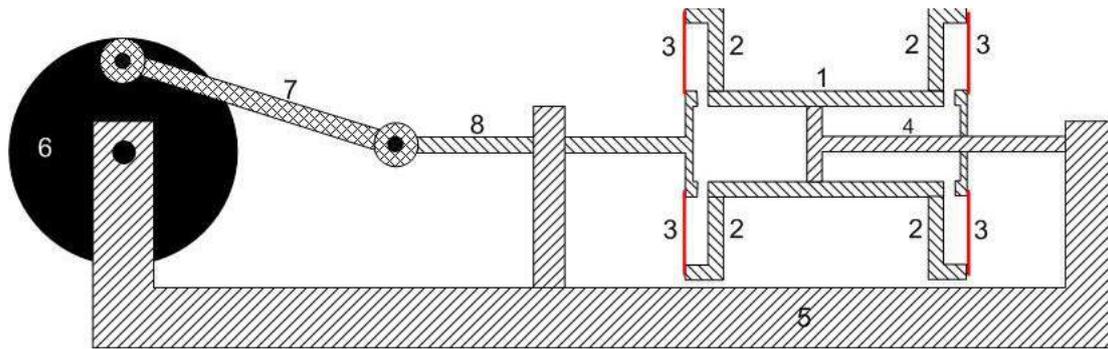


Рис. 7.

К малому цилиндру добавляется ещё один большой цилиндр с мембраной. Поэтому при движении цилиндров в одной половине происходит рабочий ход за счёт вылетающих молекул. В другой половине рабочий ход происходит за счёт влетающих молекул.

ВД2 Андреева – это аналог двигателя Стирлинга. Представим вот такой двигатель внешнего сгорания. Для простоты в нём нет регенератора и некоторых других деталей. См рис. 8.

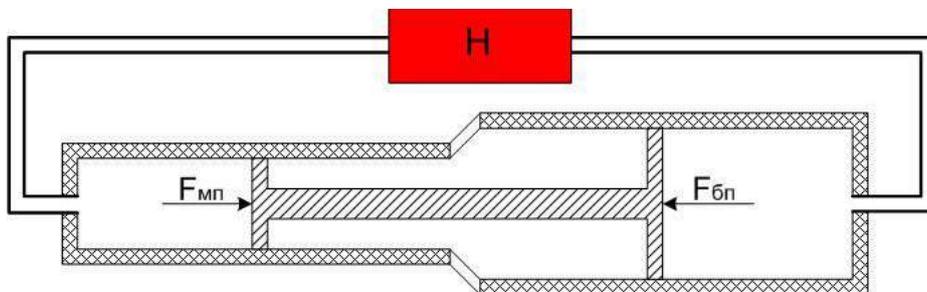


Рис. 8.

Первоначально давление внутри и снаружи равны. Все силы компенсированы. Нагреваем нагреватель Н. Газ внутри нагревается и давление внутри повышается. Избыточное давление внутри двигателя Стирлинга одинаково для обоих цилиндров. Отсюда $F_{мп} = P_{из} S_{мп}$ и $F_{бп} =$

$P_{из} S_{бп}$. Где $мп$ и $бп$ – это малый поршень и большой поршень. Так как $S_{бп} > S_{мп}$, а $P_{из}$ равно в обоих цилиндрах, то $F_{бп} > F_{мп}$ и поршень двигается влево. Вытесняемый из малого цилиндра газ нагревается в нагревателе Н, расширяется и компенсирует увеличение объёма в большом ци-

линдре и этим поддерживает внутри избыточное давление. Соответственно, двигатель Стирлинга может работать, если $F_{бп} > F_{мп}$. Или $S_{бп} > S_{мп}$. В принципе, все одинаково, как в предложенном мною ВД. Сила давления на торец малого цилиндра F_t – это аналог силы давления $F_{мп}$ на малый поршень, а F_p – это аналог силы давления $F_{бп}$ на большой поршень. $S_{бп}$ – это аналог $S_{ом}$, а $S_{мп}$ это аналог S_t . Отсюда $S = S_{бп} - S_{мп}$. То есть, S в двигателе Стирлинга аналогична S_o в моём ВД2. Есть только одно отличие. В рабочем цикле такого двигателя Стирлинга при движении поршней происходит увеличение суммарного объёма обоих цилиндров. Для компенсации этого увеличе-

ния объёма приходится подогревать газ, который вытесняется из малого цилиндра в большой. Газ при нагреве расширяется и компенсирует увеличение объёма в большом цилиндре и этим поддерживает избыточное давление внутри цилиндров. В предложенном мною ВД2 при рабочем цикле происходит уменьшение суммарного внутреннего объёма цилиндров. Поэтому подогревать газ от внешнего источника тепла для поддержания внутреннего давления нет необходимости.

Такой двигатель Стирлинга может работать и при пониженном внутри давлении. В этом случае двигать поршни будет внешнее давление. См. рис. 9.

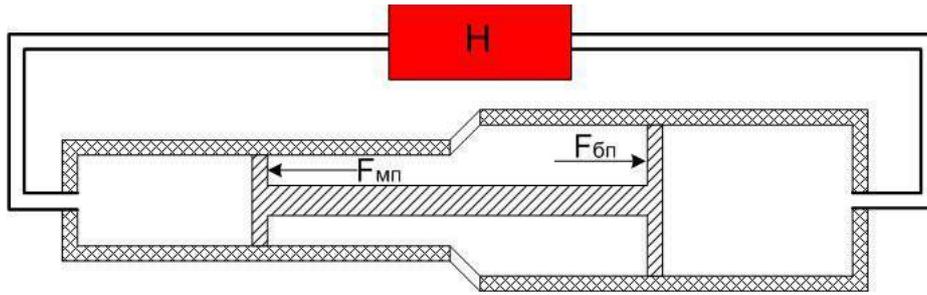


Рис. 9.

Охлаждаем нагреватель H . Газ внутри охлаждается и давление внутри уменьшается. То есть, можно считать, что внешнее давление увеличилось и стало $P_{из}$. На поршни действуют силы внешнего давления $F_{мп} = P_{из}S_{мп}$ и $F_{бп} = P_{из}S_{бп}$. Так как $S_{бп} > S_{мп}$, то $F_{бп} > F_{мп}$. Поэтому поршни движутся вправо. Вытесняемый из большого ци-

линдра газ, при прохождении через нагреватель H , охлаждается. Его объём при этом уменьшается и это поддерживает внутри цилиндров пониженное давление. То есть, такой двигатель может работать при избыточном или пониженном давлении внутри цилиндров. Если немного видоизменить вышеописанный двигатель на рис. 8 или рис. 9, то он превратится в мой ВД2. См. рис. 10.

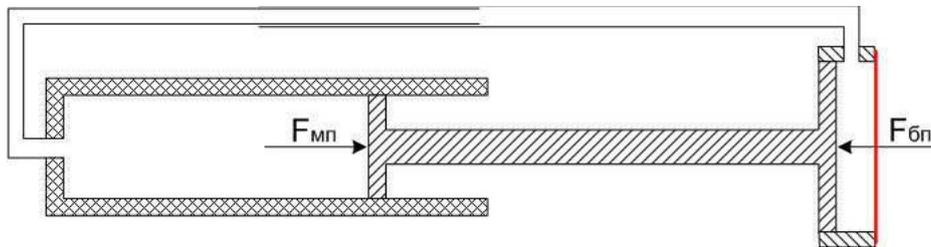


Рис. 10.

Убирается нагреватель и большой цилиндр. На большом поршне сделана полость с мембраной. Внутренние объёмы соединяются трубками, которые могут перемещаться относительно друг друга. Пока поршень неподвижен, то давления внутри и снаружи равны. Все силы компенсируются. Когда поршень сдвигаем влево, то внутри возникает избыточное давление. На малый поршень действует сила давления $F_{мп}$. На большой поршень действует сила от вылетающих молекул $F_{бп}$. Также как и в моём двигателе, условие работы такого двигателя $S_o > 2S_{мп}$, где S_o – суммарная площадь отверстий в мембране, а $S_{мп}$ – площадь малого поршня. При движении поршня происходит уменьшение суммарного внутреннего объёма. То есть внутренний газ сжимается и это поддерживает внутри избыточное давление. Соответственно, нет необходимости подогревать внутренний газ. Выходящий через мембрану газ охлаждается. Поэтому такой ВД2 работает без источника внешнего тепла. Оба этих двигателя работают за счёт тепла. Только двигатель Стирлинга за счёт тепла внешнего источника, а ВД2, предложенный мною, за счёт тепла окружающей среды.

Но за счёт какой энергии работает ВД? Рассмотрим это на примере движения цилиндров, когда они движется влево. То есть, когда при движении внутри цилиндров создаётся разрежение. На внешнюю стенку большого цилиндра действует результирующая сила давления $F_{ц} = F_p - F_t$ и двигает цилиндра влево. Так как цилиндры движутся с некоторой скоростью, то скорость отскакивающих от наружной поверхности стенки большого цилиндра внешних молекул уменьшается. Как уменьшается скорость молекул при расширении газа в цилиндре, когда молекулы газа толкают поршень, совершая работу. Только в данном случае роль поршня играет внешняя стенка большого цилиндра. Но можно возразить, что в движущуюся мембрану также ударяются молекулы и скорость этих молекул возрастает. То есть, мембрана также как бы играет роль поршня, сжимающего газ. И эти 2 процесса как бы должны компенсировать друг друга. Но в мембрану ударяется меньше молекул, чем во внешнюю стенку большого цилиндра, так как N молекул попадает в отверстия и влетает внутрь цилиндра. Во внешнюю стенку

большого цилиндра ударяется на N молекул больше. Скорость N молекул уменьшается. Соответственно, уменьшается кинетическая энергия этих N молекул $mv^2/2$. А вместе с ней уменьшается, и температура внешнего газа у внешней стенки большого цилиндра. То есть, такой ВД2 работает за счёт тепла окружающей среды.

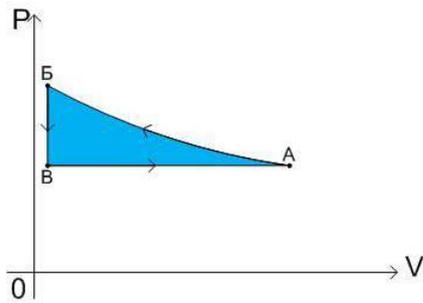


Рис. 11.

Каков термодинамический цикл такого ВД2? Вот термодинамический цикл, по которому работает ВД, в координатах P – давление и V – объём. См. рис. 11.

На ВД добавлены 2 клапана. Первоначальное положение точка А. Цилиндры максимально сдвинуты влево. См. рис. 12.

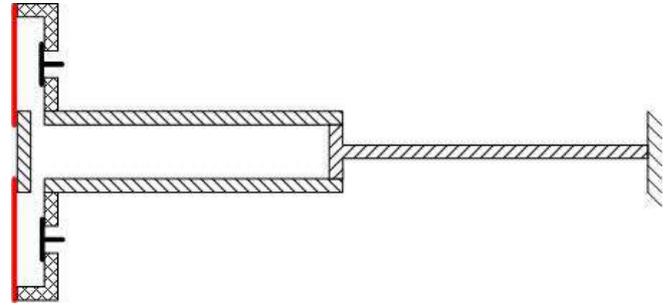


Рис. 12.

После первоначального толчка от внешней силы, цилиндры перемещаются с ускорением вправо под действием постоянно действующей силы, создаваемой вылетающими молекулами. Давление внутри увеличивается, а объём уменьшается. Это рабочий ход, во время которого

совершается работа. В это время выходящий через мембрану газ охлаждается. Работа совершается за счёт внутренней энергии газа. Кривая АБ. Цилиндры доходят до крайней правой точки. См. рис. 13.

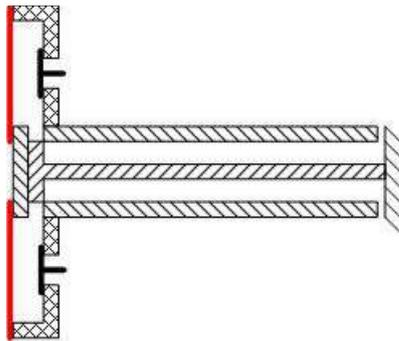


Рис. 13.

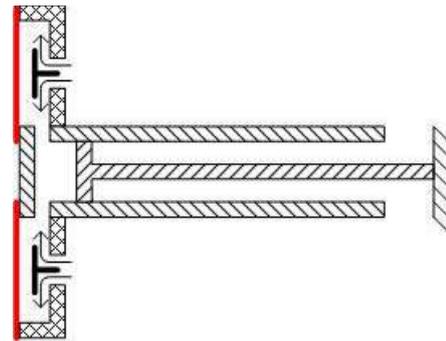


Рис. 14.

Цилиндры дошли до упора. Внутренний объём больше не изменяется. Остатки газа выходят через мембрану наружу и внутреннее давление сравнивается с внешним. Прямая ВВ. Затем под действием запасённой энергии, например, в маховике, как у ДВС, цилиндры перемещаются влево. Это холостой ход, как у ДВС, когда он вытесняет сгоревшие газы из цилиндра. См. рис. 14.

тёплый наружный газ вместо вытеснённого во время рабочего хода. Цилиндры дошли до крайней левой точки. Прямая ВА. Цикл завершился, и система вернулась в первоначальное положение. Внутри газ, имеющий такую же температуру, как до начала цикла. Далее под действием запасённой энергии, цилиндры получают толчок влево и циклы могут продолжаться бесконечно долго, пока не используют всё тепло окружающей среды.

При этом открываются клапаны и наружный газ поступает внутрь цилиндров. Внутреннее давление в это время равно наружному, так как клапаны позволяют свободно поступать наружному газу внутрь. Внутри поступает

Но так как такой двигатель может работать и когда внутреннее давление меньше наружного, то возможен и такой цикл. См. рис. 15.

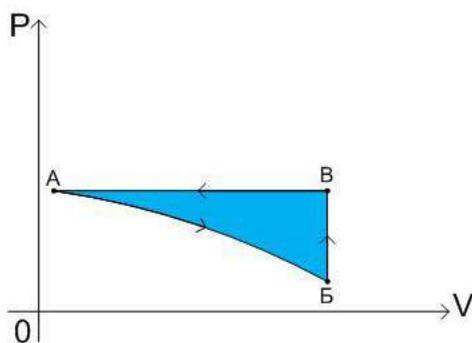


Рис. 15.

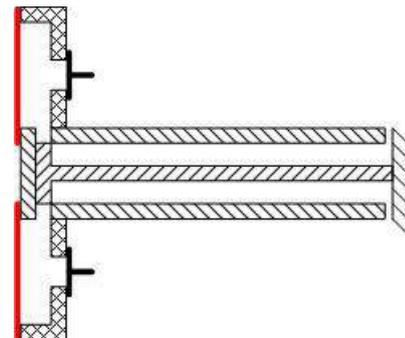


Рис. 16.

Первоначальное положение – цилиндры сдвинуты вправо до крайней точки и клапаны находятся на наружной части стенки. См. рис 16.

При первоначальном толчка влево, внутри создаётся разрежение. Этот процесс я уже описывал, поэтому повторяться не буду. Цилиндры под действием внешнего давления двигаются влево, совершая работу. Это рабочий ход, когда совершается работа. Рабочий ход совершается за счёт ударов внешних молекул. То есть, внешний газ

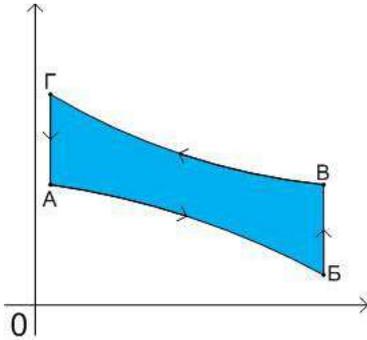


Рис. 17.

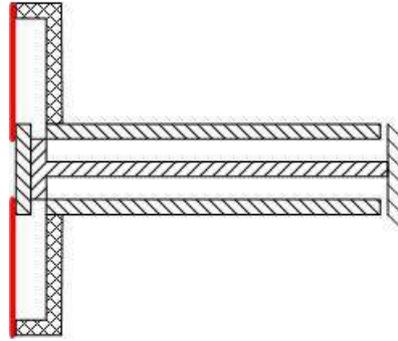


Рис. 18.

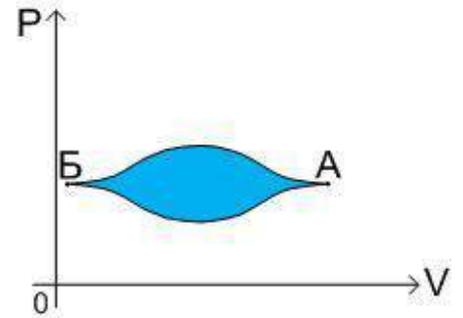


Рис. 19.

вблизи наружной стенки с клапанами охлаждается. Кривая AB. Цилиндры доходят до крайней левой точки и останавливаются. Внутреннее давления сравнивается с наружным. Прямая BV. При обратном ходе клапаны открываются и газ изнутри свободно выходит наружу. Цилиндры доходит до правой крайней точки. Прямая VA. Цикл завершился. Чтобы избавиться от холостого хода цилиндров VA в обоих циклах, эти циклы можно объединить в один. См. рис. 17.

У двигателя в этом случае убираются клапаны и он принимает первоначальный вид. Это первоначальное положение. См. рис. 18.

При движении цилиндров влево происходит рабочий ход, при котором совершается работа за счёт окружающего газа вблизи наружной поверхности стенки большого цилиндра. Кривая AB. Так цилиндры доходят до левой крайней точки и останавливаются. Происходит выравнивание давлений. Прямая BV. Затем цилиндры движутся вправо, совершая второй рабочий ход уже за счёт молекул внутреннего газа. Кривая VG. Когда цилиндр доходит до правой крайней точки и останавливается, то давления снова выравниваются. Прямая GA. Цикл завершился. При каждом движении цилиндров совершалась полезная работа. То есть, за цикл совершались два рабочих хода с выполнением полезной работы.

У реального ВД график будет отличаться от теоретического цикла. Как график цикла Карно отличается от графиков термодинамических циклов реальных тепловых машин. Так как у такого ВД есть только два этапа работы и при каждой происходит совершение полезной работы, то, в принципе, без разницы с какой точки начинать. Допустим, цилиндры находятся в правой «мёртвой» точке. Внутренний объём цилиндров минимален. Это точка Б. За счёт внешней силы придали маховику вращение в какую-нибудь сторону, без разницы. Цилиндры в любом случае начнут двигаться влево. Цилиндры доходят до левой «мёртвой» точки. Внутренний объём цилиндров максимален. Это точка А. Один этап цикла прошёл. Так как скорость движения цилиндров имеет синусоидальный закон, то кривая БА (нижняя ветвь) также будет, я так думаю, имеет синусоидальную форму. См. рис.19.

После прохождения «левой» мёртвой точки цилиндры, получив толчок от маховика, начнут движение вправо и дойдут до правой «мёртвой» точки. Кривая AB (верхняя ветвь) также имеет синусоидальную форму. Ци-

линдры вернулись в первоначальную точку и цикл завершился. При этом на каждом этапе совершается полезная работа.

Возможно, график термодинамического цикла такого ВД2 нужно строить по-другому и в других координатах. Допустим, суммарная площадь мембраны во много раз больше площади поршня. Тогда внутреннее давление практически будет равно внешнему давлению и градиента давлений практически не будет. В таком случае график превратится в прямую AB и работа как бы не совершается. Но сила то есть и она двигает цилиндры. Пока вот такое небольшое несоответствие.

Главная и основная деталь такого ВД2 - это мембрана. Силу Ft создают удары множества молекул в торец малого цилиндра. При ударе каждой молекулы на торец действует изменение импульса $2mv$. Силу Fr также создают множество вылетающих молекул. При вылете каждой молекулы на большой цилиндр действует изменение импульса mv . То есть, механизм создания этих сил, в принципе, одинаков. Только изменение импульса от вылетающих молекул в 2 раза меньше. Поэтому, когда $F_r = F_t$, то $S_o = 2S_t$. То есть, вылетать через мембрану должно в 2 раза больше молекул в единицу времени, чем ударяется в торец малого цилиндра. Если увеличить диаметр отверстий до такого размера, что через них будет выходить поток молекул, то в этом случае механизм создания силы Fr будет другим и ВД2 работать не будет. Поэтому отверстия должны быть меньше длины свободного пробега молекул. В идеале - немного больше размеров молекул газа. Это примерно как с осмосом. Пока через отверстия могут проходить молекулы обоих веществ, то осмотического давления нет. Как только размеры уменьшаются до такого размера, что молекулы одного вещества уже не могут проникать через поры, то возникает осмотическое давление. Размеры отверстий имеют определяющее значение. Проведём такой мысленный эксперимент с данным ВД2. См. рис. 20.

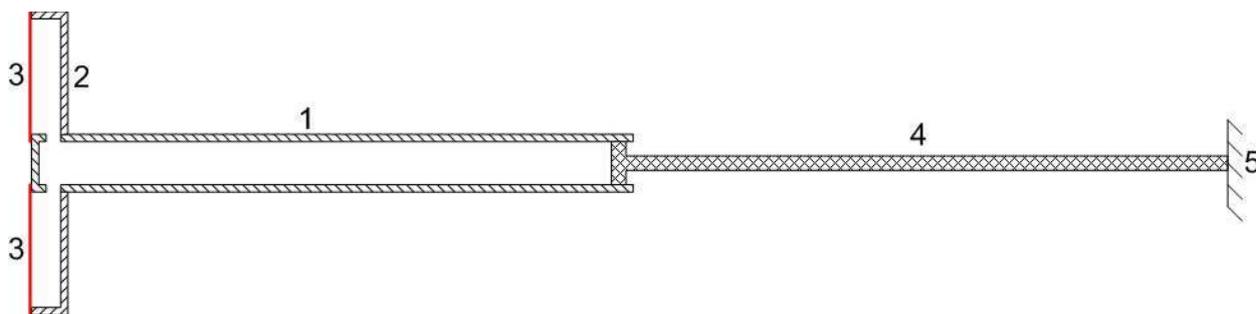


Рис. 20.

Цилиндры будут смещаться вправо до упора в течении 1 секунды. То есть, все внутренние молекулы будут вылетать через мембрану за 1 секунду. Совершим не-

сколько таких процессов. Но с каждым повторением будем увеличивать количество отверстий в мембране. В результате получится примерно такой график. См. рис. 21.



Рис. 21.

F_t - это сила, действующая на торец малого цилиндра. F - это сила от вылетающих внутренних молекул. Так как при каждом движении за 1 секунду вытесняется одинаковое количество молекул, то сила F одинакова при каждом вытеснении. Первое вытеснение проведем, когда суммарная площадь отверстий в мембране в несколько раз меньше площади торца малого цилиндра. Сила F_t в этом случае будет в несколько раз больше силы F . Так как с каждым последующем вытеснении количество отверстий в мембране увеличивается, то суммарная площадь отверстий также увеличивается. Соответственно, внутреннее давление и сила F_t , при котором вытесняются внутренние молекулы, уменьшается. Но она пока больше силы F . Но когда суммарная площадь отверстий становится в 2 раза больше площади торца, то эти силы сравниваются. $F = F_t$. При дальнейшем увеличении количества отверстий уже $F > F_t$. Чисто теоретически, при достаточно большой площади мембраны будет действовать только сила F , так как F_t будет практически равна 0. При каких

условиях эта сила будет равна 0. Возьмем систему координат и расположим её так, что одна ось перпендикулярна к мембране, а 2 другие параллельно мембране. Предположим, что все молекулы движутся строго по осям координат. То есть, в сторону мембраны движется 1/6 часть молекул. 1/6 часть молекул движется от мембраны. Остальные 2/3 молекул движутся параллельно мембране. При движении цилиндров из малого цилиндра вытесняется объем газа, в котором молекулы движутся по всем координатам. Отсюда следует, чтобы вытесняемые молекулы практически не создавали давления внутри малого цилиндра, суммарная площадь отверстий в мембране должна быть в 6 раз и более больше площади поршня. Тогда на цилиндры будет действовать только сила от вылетающих молекул.

Литература.

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Том 2. Изд-во МФТИ. 2002 г.

ГЕНЕРАЦИЯ РЕГУЛЯРНЫХ ВЫРАЖЕНИЙ ИЗ ФРАЗ РУССКОГО ЯЗЫКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОНТОЛОГИИ

Курбатов Сергей Сергеевич

кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Научно-исследовательский центр
электронной вычислительной техники, г. Москва

Красовицкий Иван

Магистрант, Национальный Исследовательский Университет "МЭИ", г. Москва

GENERATION OF REGULAR EXPRESSIONS FROM THE PHRASES OF RUSSIAN LANGUAGE USING ONTOLOGIES

Curbatow Sergey, Candidat of Science, senior researcher, Research center for electronic computer technology, Moscow

Krasovitskiy Ivan, master student, National Research University "Moscow Energy Institute", Moscow

АННОТАЦИЯ

Предложен подход к генерации регулярных выражений из фраз русского языка с использованием онтологии. Подход программно в макетном варианте. Выполнено тестирование макета в рамках реальных текстов комплекса программ.

ABSTRACT

The approach to generate regular expressions from phrases in the Russian language with the use of ontology. Approach software prototype variant. The testing layout within the actual texts of complex programs.

Ключевые слова: генерация регулярных выражений, русский язык, онтология

Keywords: generation of regular expressions, Russian language, ontology

1. Общие сведения

Регулярные выражения нашли широкое применение в обработке текстовой информации, представленной как на естественном языке, так и на формальных языках (языки программирования, языки разметки типа HTML и XML, языки описания схем, баз данных и т.п.). Важность обработки регулярных выражений подтверждается встроенной поддержкой такой обработке, обеспечиваемой во многих современных языках программирования Java, JavaScript, Python, C++, Delphi и ряда других.

Простые варианты регулярных выражений (далее regex) применяются очень большим числом пользователей ЭВМ, например, *.doc при поиске файлов. Однако использование полной мощи regex доступна лишь программисту, обладающему соответствующей квалификацией при формировании сложных поисковых шаблонов. Цель данной работы - существенно упростить создание сложных regex путем их описания на естественном языке.

2. Логика разработки

Вопрос генерации regex из ЕЯ-фраз для английского языка рассматривается в [1]. Для английского языка на примере фразы " three letter word starting with 'X'" [1,c.1] демонстрируется логика генерации соответствующего regex - `\bX[A-Za-z]{2}\b`. Русский аналог фразы - "трехбуквенное слово, начинающееся на 'X'", соответственно в regex должен быть задан русский алфавит. Далее это regex подвергается специальной процедуре унификации, цель которой – представить regex в стандартной форме, ориентированной на генерацию из него ЕЯ-описания. Это описание выдается пользователю для контроля.

В рамках данной статьи акцент сделан на преобразование исходной ЕЯ-фразы с помощью правил перефразирования, концепция которых разработана в классической работе [2]. Эти правила позволяют привести исходную ЕЯ-фразу к каноническому виду. Например, вышеприведенная фраза (в русском аналоге) может иметь вид "слово из трех букв, где первая 'X'", "первая буква в слове 'X', всего в слове 3 буквы" и т.д. только после приведения ЕЯ-фразы к каноническому виду выполняется переход к генерации regex.

В работе [4] для русского языка рассматривается вопрос генерации отчуждаемых regex с использованием онтологии, позволяющей вводить новые метаблаженные как онтологические концепты. В нашей работе развивается комплексный подход, использующий лингвистические средства и онтологию. Последняя проектируется таким образом, чтобы достичь независимости как от эквивалентных ЕЯ-описаний regex, так и от диалектов регулярных выражений.

3. Программная реализация

В макетном варианте вышеописанный подход был программно воплощен с использованием онтологии, реализованной на СУБД Progress, и протестирован в рамках системы [3]. Онтология включала как ЕЯ-описания простых концептов, отражающих такие классы типа "русский алфавит", "русские гласные", "русские согласные" и т.п., так более сложные (в частности, ориентированные на лингвистические средства, например, "синтаксически правильное предложение естественного языка"). ЕЯ-описания могли включать фрагменты типа "русский алфавит, кроме букв ф,ц,э" и ряд возможностей, эмпирически полученных в процессе тестирования системы [3].

Тестирование в целом подтвердило работоспособность макета и перспективность использования онтологии для решения задач подобного типа. В основном тестировании при поиске использовалась онтология с концептами, отражающими тексты достаточно крупного комплекса программ. Поисковые описания были ориентированы на близкие к реальным задачи, типичный пример: "Начинается с DEFINE MENU MENU-main MENUBAR. Далее несколько пар кавычек, перед которыми и внутри которых стоит произвольный текст. За последней парой кавычек следуют несколько пробелов (может быть ни одного) и точка."

Отметим, что, когда программисты говорят о "регулярных выражениях", они не имеют в виду чисто формальные аспекты. Любая реализация regex в современных программных системах может описывать гораздо больше, чем строго определенный формальной грамматикой язык. В частности, Perl допускает вставку в регулярное выражение произвольного программного кода, т.е. вы можете практически все. Макет, описываемый в данной работе, сохраняет стиль работы с regex, но также является существенным расширением чисто формальной трактовки регулярных выражений.

В дополнительном тестировании формировались отчуждаемые regex, которые далее использовались для проверки в рамках оболочки с бесплатной регистрацией espresso[5]. Была разработана логика (пока не реализованная программно) для описаний типа: "найти выражение, являющееся квадратом суммы". Проверка с помощью espresso позволяла не только выделить соответствующее выражение, но и означить переменные суммы. Также на логическом уровне были разработаны алгоритмы обработки ЕЯ-описаний имеющих не только поисковое содержание, но и императивы замены, например, подставить в формулу значения заданных переменных. В частности, ЕЯ-описание могло иметь вид: "Найти формулу квадрат суммы с переменными X и Y и подставить вместо переменных $tg(a + b)$ и $\sin(\cos(z))$ ".

4. Заключение

Предложен подход к генерации регулярных выражений по описанию на предметно-ориентированном естественном языке с использованием онтологии для представления метапеременных regex. Подход программно реализован в макетном варианте и протестирован. Тестирование подтвердило работоспособность макета и перспективность его использования для реальных задач модернизации и сопровождения крупного программного комплекса. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (РФФИ), проект №15-07-03847.

Литература

1. Nate Kushman, Regina Barzilay Using Semantic Unification to Generate Regular Expressions from Natural Language // Computer Science and Artificial

Intelligence Laboratory Massachusetts Institute of Technology, 2012.

2. Апресян Ю.Д. и др. Лингвистическое обеспечение системы ЭТАП-2 - М.: Наука, 1988.
3. Курбатов С.С., Лобзин А.П., Хахалин Г.К. Онтология для автоматизированного синтеза программ по описанию на предметно-ориентированном естественном языке // Труды IV Всероссийской конференции с международным участием «Знания – Онтологии – Теории» (ЗОНТ-13). –Новосибирск: Институт математики СО РАН, 2013.
4. Мерзляков Д.А. Генерация регулярных выражений для автоматизации проверки текстов открытого характера. Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2010.
5. <http://www.ultrapico.com> Espresso 3.0 - For Building and Testing Regular Expressions.

РАСЧЕТ ПИНЧ-ЭФФЕКТА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧНОСТИ В МОНОКРИСТАЛЛАХ ВИСМУТА

Дашук Кристина Валерьевна
Гуненко Алексей Валентинович
Бойко Ирина Юрьевна

Магистранты, Мозырский государственный педагогический, университет имени И.П. Шамякина

Савенко Владимир Семенович

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, общей физики и методики преподавания физики, Мозырский государственный педагогический, университет имени И.П. Шамякина

THE CALCULATION OF THE PINCH-EFFECT IN THE IMPLEMENTATION OF ELECTROELASTICITY IN SINGLE CRYSTALS OF BISMUTH

Dashuk Kristina Valer'evna, MA student, Mozyr State Pedagogical University Named by I.P.Shamyakin, Gunenko Aleksey Valentinovich, MA student, Mozyr State Pedagogical University Named by I.P.Shamyakin

Savenko Vladimir Semenovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief of Physics Department, Mozyr State Pedagogical University Named by I.P.Shamyakin

АННОТАЦИЯ

Проведены расчеты собственного магнитного поля, возникающего в образцах висмута в условиях пинч-эффекта.

ABSTRACT

The calculations of the self-magnetic field occurring in the samples of bismuth in terms of pinch-effect.

Ключевые слова: электропластическая деформация; пинч-эффект; собственное магнитное поле.

Keywords: electroplastic strain; pinch effect; its own magnetic fields.

Due to the pinch effect, the deformation of the metal associated with the propagation of elastic waves in samples loaded above the yield limit. The waves propagate in the radial (transverse) and longitudinal directions, the speed of propagation of these waves are different.

When passing a pulse of electric current through the crystal during deformation, the current pulse may cause secondary effects, pinch - and skin effects, and thermal softening of the lattice. Evaluate the contribution of these factors in the phenomenon of electroplasticity when twinning of crystals of bismuth [1].

On the surface of the sample self-magnetic field of the current takes the maximum value H_m , calculated by the formula:

$$H_m = 0,2 \frac{I_a}{r} \quad (1)$$

where I_a – the amplitude of the current in the conductor.

For example, a sample of bismuth at a current density of $j = 1,5 \cdot 10^3$ A/мм² and the radius of the cross section of the conductor $r=2$ mm, we calculate the self-magnetic field of a current occurring on the surface of a conductor of a Bi.

$$I_a = jS \quad (2)$$

where S – cross-sectional area of the conductor.

$S=\pi r^2$, it follows that $I_a = j(\pi r^2)$, then

$$H_m = 0,2 \frac{j(\pi r^2)}{2} = 1,89 \times 10^3 \text{ (Oe)}.$$

When $r=5$ мм the maximum value H_m takes the value

$$H_m = 0,2 \frac{j(\pi r^2)}{5} = 4,71 \times 10^3 \text{ (Oe)}.$$

Thus, we can conclude that the dependence of the pinch effect of the radius of the sample.

Consider a mechanical pressure on the surface of the sample. It is: $P = \mu \frac{H_m^2}{8\pi}$, where P – mechanical pressure (Pa); μ – magnetic constant is equal $1,257 \times 10^{-6}$ N/A².

When $H_m = 1,89 \times 10^3$ (э), $P = \mu \frac{H_m^2}{8\pi} = 0,18$ (Pa).

When $H_m = 4,71 \times 10^3$ (э), $P = \mu \frac{H_m^2}{8\pi} = 1,11$ (Pa).

From the last expression it follows that at the same current density, $j=1,5 \cdot 10^3$ A/mm², pinch effect will be the more pronounced, the larger the radius of the sample.

Thus the pinch effect is a scale effect. He has a quadratic dependence on r (and j). For samples of small radius, it should not be observed. In samples with a diameter of more than 1 mm can be observed heating effects due to the release of Joule heat.

Consider the force-dependent pinch-effect. The maximum axial force F_z from the pinch effect is equal to:

$$F_z = 2\nu PS \tag{3}$$

where F_z – the maximum axial force;

ν – Poisson's ratio is equal to 0,3;

P – mechanical pressure;

S – the cross-sectional area of the sample.

Then, the sample with radius $r=2$ mm and a pressure $P=0,18$ Pa, $F_z = 2\nu PS = 1,36$ (N), for the sample with radius $r=5$ mm and a pressure $P=1,11$ Pa, $F_z = 2\nu PS = 52,28$ (N)

The factor of the circuit should be small, for example when $R \leq 0,1$ Om, $L \cong 10^{-7}$ Gr и $C \cong 10^{-3}$ F to be the amount $Q \leq 0,1$. [2]

The pulse duration is desirable to have a minimum $T=2\pi\sqrt{LC} = 0,6 \times 10^{-4}$ (s).

The thickness of the skin layer for the sample is determined by the formula:

$$\Delta = c \sqrt{\frac{\rho}{2\pi\omega}} = 0,039 \text{ (mm)} \tag{4}$$

where Δ - is the thickness of the skin layer;

c – electrodynamic constant is equal $3 \cdot 10^{10}$ sm/s;

ρ – electrical resistivity of the medium, for bismuth $107 \cdot 10^{-6}$ Om*sm.

To achieve maximum pinch-effect it is necessary to select such a frequency pulses of current at which the magnetic field does not have time to significantly penetrate the surface of the sample. We can assume that in the process of deformation of crystals due to the pinch effect of the magnetic field diffuses into the crystal, and the speed of diffusion depends on the conductivity of the metal and of the frequency.

At the same geometry samples pinch effect is stronger on the material having high conductivity.

Thus, the pulse current has on the deformable metal in addition to its own electronic plastic operation, ponderomotive effect due to the compression of specimens own magnetic field and the excitation of the elastic oscillations with the frequency of the pulse current.

Consider the implementation of plastic deformation under conditions of electroplasticity for current densities [$1,15 \cdot 10^3$ A/mm²; $2 \cdot 10^3$ A/mm²] and the different radii of the samples (tab. 1).

The speed of the elastic deformation of the sample in the radial direction can be calculated by the formula

$$V_r = \left(\frac{B^2}{4\pi\gamma}\right)^{\frac{1}{2}} \tag{5}$$

where γ – the density of the metal; B – magnetic induction.

The magnitude and time of elastic deformation of the sample:

$$\Delta\varepsilon = \frac{\Delta r}{r} \%, \tau = \frac{2(\Delta\varepsilon d_0)^2}{V_r}$$

where d_0 - the diameter of the specimen.

The rate of deformation of the samples under the influence of the pinch-effect reaches 10^4 sm/sec, and the process itself is a wave nature. For values $\tau \approx 10^{-4}$ sec, $V_r \approx 10^{-4}$ sm/sec and $d_0 \approx 0,1$ sm the amount of elastic deformation is approximately $\Delta\varepsilon \approx 2,5\%$.

Table 1

Values of tensions own field current H_m and the magnitude of the compressive stress of the samples in the radial direction at radius $r=2$ mm and $r=5$ mm.

j	Напряженность магнитного поля на поверхности образцов, $H \cdot 10^3$, эрстед									
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
1,15	0,3611	0,7222	1,0833	1,4444	1,8055	2,1666	2,5277	2,8888	3,2499	3,6111
1,25	0,3925	0,785	1,1775	1,57	1,9625	2,355	2,7475	3,14	3,5325	3,925
1,35	0,4239	0,8478	1,2717	1,6956	2,1195	2,5434	2,9673	3,3912	3,8151	4,239
1,45	0,4553	0,9106	1,3659	1,8212	2,2765	2,7318	3,1871	3,6424	4,0977	4,553
1,55	0,4867	0,9734	1,4601	1,9468	2,4335	2,9202	3,4069	3,8936	4,3803	4,867
1,65	0,5181	1,0362	1,5543	2,0724	2,5905	3,1086	3,6267	4,1448	4,6629	5,181
1,75	0,5495	1,099	1,6485	2,198	2,7475	3,297	3,8465	4,396	4,9455	5,495
1,85	0,5809	1,1618	1,7427	2,3236	2,9045	3,4854	4,0663	4,6472	5,2281	5,809
1,95	0,6123	1,2246	1,8369	2,4492	3,0615	3,6738	4,2861	4,8984	5,5107	6,123
2	0,628	1,256	1,884	2,512	3,14	3,768	4,396	5,024	5,652	6,28

J	Механическое напряжение от пинч-эффекта в радиальном направлении, дин/см ²									
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
1,15	0,06433	0,25733	0,57899	1,02932	1,60831	2,31597	3,15229	4,11727	5,21093	6,43324
1,25	0,07601	0,30403	0,68406	1,21611	1,90018	2,73626	3,72435	4,86445	6,15658	7,60071
1,35	0,08865	0,35462	0,79789	1,41847	2,21637	3,19157	4,34408	5,6739	7,18103	8,86547
1,45	0,10227	0,4091	0,92048	1,6364	2,55688	3,68191	5,01148	6,54561	8,28429	10,22751
1,55	0,11687	0,46747	1,05182	1,8699	2,92171	4,20727	5,72656	7,47959	9,46635	11,68685

J	Механическое напряжение от пинч-эффекта в радиальном направлении, дин/см ²									
1,65	0,13243	0,52974	1,19191	2,11896	3,31087	4,76765	6,4893	8,47583	10,72722	13,24348
1,75	0,14897	0,59589	1,34076	2,38358	3,72435	5,36306	7,29972	9,53433	12,06689	14,89739
1,85	0,16648	0,66594	1,49837	2,66377	4,16215	5,99349	8,15781	10,6551	13,48536	16,64859
1,95	0,18497	0,73988	1,66474	2,95953	4,62427	6,65895	9,06357	11,83814	14,98264	18,49709
2	0,19458	0,77831	1,7512	3,11325	4,86445	7,00481	9,53433	12,453	15,76083	19,45782

Pinch effect causes vibration of the crystal lattice acts like ultrasound, stimulating the plastic deformation of metal through the lattice subsystem metal. In case of deformation of a crystal by single pulses of current, the influence of the pinch-effect for its duration $10^{-5} - 10^{-4}$ s. On the background

of the time of occurrence of surges resulting deformation $10^{-3} - 10^{-2}$ s. Can be compared with the effect of reducing the starting stress for dislocation.

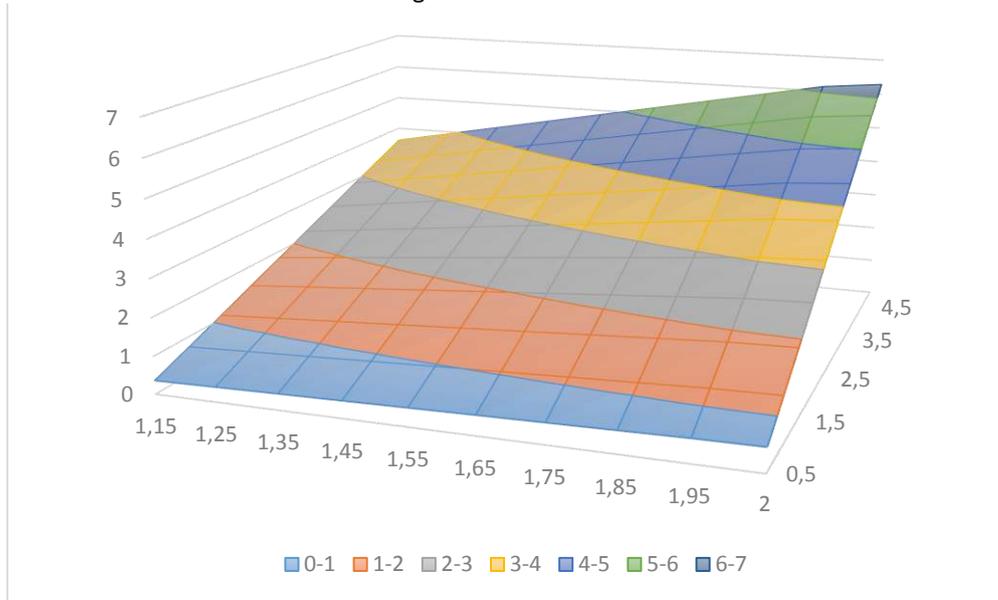


Figure 1. Dependence magnetic field H_m caused by the pinch-effect of j .

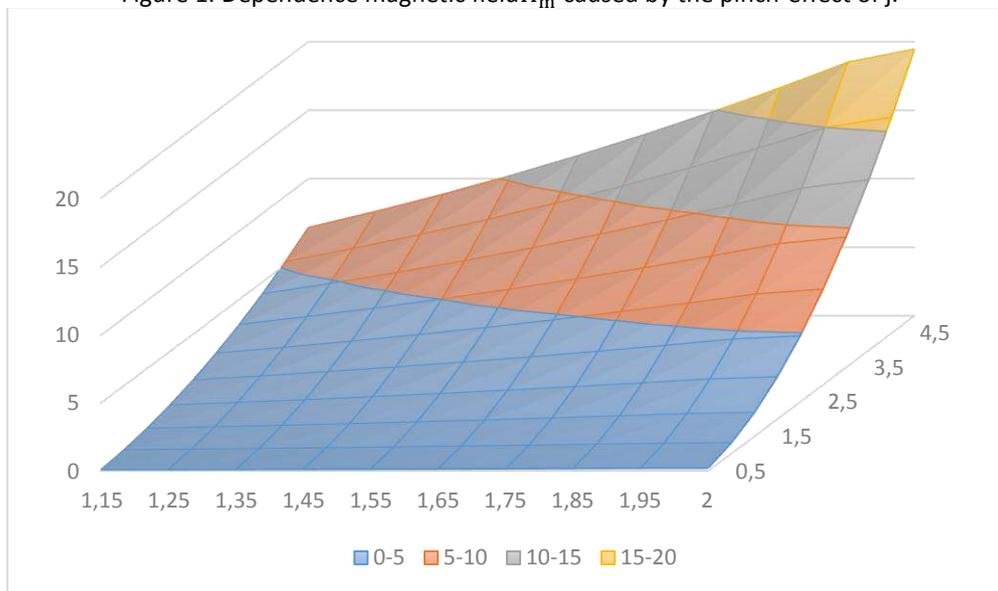


Figure 2 - The dependence of mechanical stresses P from the pinch-effect in the radial direction

From the graph 1 shows that the maximum value of the external magnetic field H takes when $j = 2 \cdot 10^3$, when $r = 0,5$ mm and is equal to $0,628 \cdot 10^3$ Oe., when $r = 5$ mm $H = 6,28 \cdot 10^3$ Oe.

References

1. Bataronov Y. I., O. A. Troitsky, Abraham S., Shlyapin A. D. Physical principles of electro and electroplastic treatments and new materials. - M.: MSIU, 2001 - 844 S.
2. Trinity O. A., V. S. Savenko Fundamental and applied research of electroplastic deformacii metals. - Minsk: computer center of the Ministry of Finance, 2013. - 375 p.
3. Savenko V. S. Mechanical twinning and electroplating metals under external energy impacts. - Minsk: BHAFC, 2003. - 203 p.

К ВОПРОСУ О НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ ЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВЫСОКИХ ПОРЯДКОВ

Иконников Олег Александрович

*кандидат технических наук, доцент, Сибирский государственный аэрокосмический университет,
г. Красноярск*

ON NONPARAMETRIC MODELS OF LINEAR DYNAMIC PROCESSES OF HIGH ORDER

Ikonnikov Oleg, Candidate of technical sciences, assistant professor of Siberian State Aerospace University, Krasnoyarsk

АННОТАЦИЯ

Рассматривается задача идентификации линейных динамических систем (ЛДС) в условиях непараметрической неопределенности, т.е. исследуется случай, когда априорная информация об объекте незначительна. Настоящая работа содержит результаты непараметрического моделирования линейных динамических процессов высоких порядков.

ABSTRACT

The linear dynamic systems (LDS) identification problem in conditions of nonparametric uncertainty is considered, i.e. the case, when the object priori information either insignificant or completely absent is researched. This paper contains results of nonparametric modeling of linear dynamic processes of high orders.

Ключевые слова: идентификация; непараметрическое моделирование; динамический объект; интеграл Дюамеля; переходная функция.

Keywords: identification; nonparametric modeling; dynamic object; Duhamel integral; transition function.

В последнее время достаточно высокий уровень развития информационных технологий подразумевает под собой практическую разработку и исследование новых или недостаточно хорошо изученных на сегодняшний день задач в сфере управления, идентификации, а также моделирования различных динамических процессов.

Первым этапом в общем комплексе работ по математическому моделированию является идентификация изучаемого объекта, т.е. построение его математической модели. Под идентификацией будем понимать построение математической модели, устанавливающей закономерность между выходными и входными переменными объекта, которая дает возможность определить с заданной точностью выходную переменную этого объекта по его входным переменным. Основой для создания модели данного объекта служат результаты измерений его входных и выходных переменных. При этом важно лишь то, что измерения входных и выходных сигналов производятся синхронно, то есть в одинаковые моменты времени.

В общем случае построение модели для конкретного объекта требует по результатам измерений входного и выходного сигналов отнесения данного объекта к определенному классу. При этом будем исходить из статистической постановки задачи идентификации, считая, что возмущение (входная переменная) $u(t)$ и реакция (выходная переменная) $x(t)$ представляют собой случайные функции или случайные величины.

Если динамические характеристики объекта описываются оператором A , то при наличии результатов измерений входной и выходной случайных функций (перемен-

ных) задача идентификации сводится к определению некой оценки \tilde{A} оператора A . Естественно требовать близости оценки \tilde{A} к истинному значению оператора A , что равносильно требованию близости случайной функции на выходе модели

$$\tilde{x}(t) = \tilde{A}u(t) \tag{1}$$

к случайной функции $x(t)$, являющейся реакцией самой системы на входное возмущение $u(t)$.

Самым распространенным критерием в задачах идентификации является критерий минимума квадрата ошибки оценки оператора A . Этот критерий выглядит следующим образом [1, с.38]:

$$w = \sum_{i=1}^s (x(t_i) - \tilde{x}(t_i))^2 \rightarrow \min, \tag{2}$$

где s – объем выборки.

Непараметрическая теория, как известно, имеет такой уровень развития, который позволяет охватывать практически любые порядки исследуемых процессов. Несмотря на довольно большой объем вычислений, была предпринята попытка получить результаты по математическому моделированию динамических процессов, порядок которых достаточно высок, и выяснить: а действительно ли непараметрические модели могут удовлетворительно работать с такими процессами?

В теории регулирования, для описания работы динамических систем, на входе которых наблюдаются сигналы произвольной формы, очень часто применяется интеграл Дюамеля (свертки):

$$x(t) = k(0)u(t) + \int_0^t k'(t-\tau)u(\tau)d\tau = k(0)u(t) + \int_0^t h(t-\tau)u(\tau)d\tau, \tag{3}$$

где k и h – переходная и весовая функции соответственно, а u – входное динамическое воздействие на систему.

Математическая модель, построенная на основе этого интеграла с применением непараметрической аппроксимации кривой регрессии, имеет следующий вид [2, с.31]:

$$x_s(t) = k(0) \cdot u(t) + \frac{1}{s \cdot c_s} \cdot \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^{j/\Delta\tau} k_i \cdot H' \left(\frac{t - \tau_i - t_i}{c_s} \right) \cdot u(\tau_i) \Delta\tau. \quad (4)$$

Пусть исследуемый линейный динамический процесс описывается дифференциальным уравнением следующего вида:

$$a_n \frac{d^n x(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} x(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_0 x(t) = u(t). \quad (5)$$

Это уравнение связывает координаты выходного состояния объекта $x(t)$ с входным воздействием $u(t)$, и эта связь подчинена определенному дифференциальному закону. Для работы на ЭВМ выражение (5) представляется в дискретно-разностной форме, а результаты счета

представляются в графическом виде. Получение выходных сигналов объекта происходит посредством измерения координаты $x(t)$ через определенные промежутки времени Δt , от величины которых зависит точность аппроксимации.

Проводились численные исследования линейных динамических процессов десятого, пятнадцатого, а также двадцатого порядков. Результаты проведенных численных исследований на примере процесса 10 порядка изображены на рис.1. Здесь процесс в объекте изображен сплошной линией, а выход модели – пунктирной. Машинное время счета обозначено как T_c .

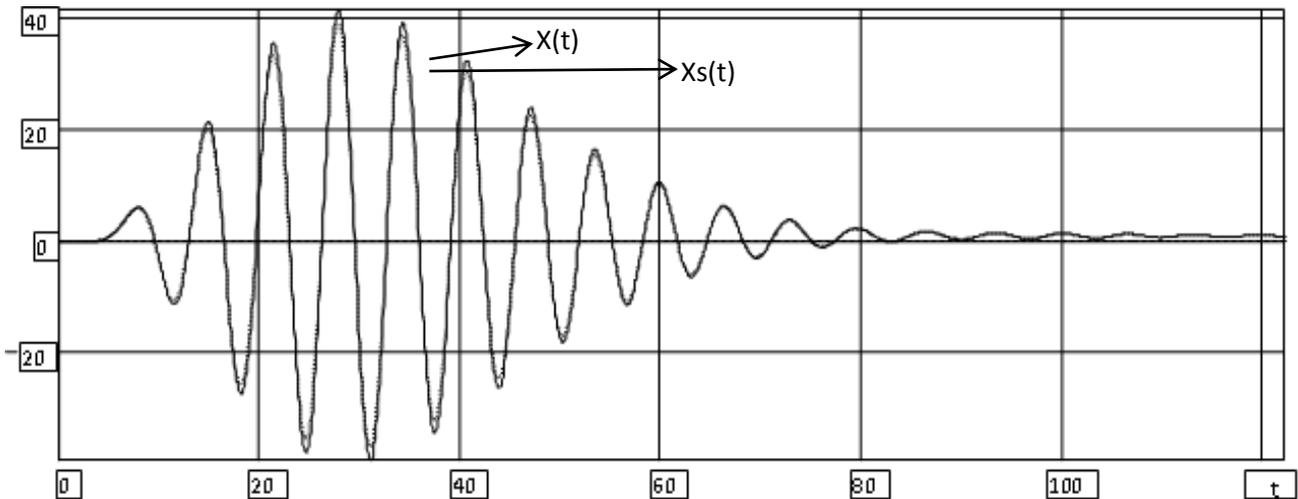


Рисунок 1. Переходные функции объекта и модели ($\Delta t=0.07$, $s=1750$, $n=10$, $T_c=23$ мин.)

Как видно из рисунка, с увеличением порядка дифференциального уравнения, которым описывается реальный процесс в системе, существенно растут: как объемы выборок, так и время регулирования процесса, что приводит к не менее существенному росту машинного времени T_c , затрачиваемого на реализацию математических расчетов.

Литература

1. Иконников О.А., Первушин В.Ф. Исследование непараметрических моделей динамических систем //

Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. ак. М.Ф. Решетнева. Вып. 1(47). Красноярск, 2013. С. 36-40.

2. Иконников О.А. О непараметрическом моделировании линейных динамических процессов высоких порядков // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. ак. М.Ф. Решетнева. Вып. 2(54). Красноярск, 2014. С. 30-32.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧИ ЧЕТЫРЕХ КРАСОК

Кононова Наталия Владимировна

кандидат физико-математических наук, доцент, Лицей СКФУ для одаренных детей, г. Ставрополь

Асманова Ирина Юрьевна

кандидат педагогических наук, доцент, Лицей СКФУ для одаренных детей, г. Ставрополь

Горячова Марина Викторовна

кандидат педагогических наук, Лицей СКФУ для одаренных детей, г. Ставрополь

Троцкий Анна Петровна

учитель математики, Лицей СКФУ для одаренных детей, г. Ставрополь

SIMULATION OF THE PROBLEM OF THE FOUR COLORS

Kononova Nataliya Vladimirovna, candidate of physico-mathematical Sciences, associate Professor, Lyceum of NCFU for gifted children, Stavropol

Asmanova Irina Yurievna, candidate of pedagogical Sciences, associate Professor, Lyceum of NCFU for gifted children, Stavropol

Gorakova Marina Viktorovna, candidate of pedagogical Sciences, Lyceum of NCFU for gifted children, Stavropol

Trashy Anna Petrovna, math teacher, Lyceum of NCFU for gifted children, Stavropol

АННОТАЦИЯ

Задача четырех красок рассматривается как задача о раскраске графа. Метод моделирования на предфрактальных графах дает возможность решать многокритериальные задачи.

ABSTRACT

Task four colors is seen as a problem of graph coloring. Simulation method for prefractal graphs makes it possible to solve multiobjective problems.

Ключевые слова: задача четырех красок, математическое моделирование

Keywords: task four colors, mathematical modeling

Рассмотрим проблему четырех красок. В 1976 г. она была положительно решена американскими математиками Апелем и Хейкеном, работающими в Иллинойском университете. Этому событию предшествовала работа ученых (и не только математиков) различных стран на протяжении более ста лет. Притягательная сила данной проблемы заключается в доступности ее формулировки. За ее решение до сих пор берутся различные любители, которые приводят свое, очень простое «доказательство» проблемы. Действительно, если воспользоваться понятиями из теории графов, то формулировка проблемы четырех красок звучит просто.

Необходимо доказать, что все вершины произвольного плоского графа могут быть раскрашены четырьмя красками таким образом, что любые две смежные вершины получат различные цвета.

Решение этой проблемы может иметь два направления:

- 1) для произвольного плоского графа строится алгоритм, дающий правильную раскраску вершин четырьмя красками;
- 2) доказывалось существование такой раскраски для произвольного плоского графа. Очевидно, что из первого следует справедливость второго.

Если проследить всю историю решения этой проблемы, то можно убедиться, что почти все исследователи избрали второй путь, который и завершился в совместной работе Апеля и Хейкена. Они пришли к успеху после семилетнего кропотливого труда, при этом огромную часть вычислений провели с помощью современных ПК. Но их доказательство настолько сложно и объемно, что за пять лет, прошедших с тех пор, не появилось ни одного сообщения о том, что оно кем-то полностью проверено. Поэтому не прекращаются попытки решить проблему четырех красок с использованием других подходов так, чтобы проверка ее решения была общедоступна. В этом отношении примечательно сообщение о заседании 10 октября 1978 г. Московского математического общества, на котором Коэн (Нью-Йорк) выступил с изложением своего метода, использующего теорию стохастических матриц и линейной алгебры, позволяющей несколько упростить доказательство проблемы, данное Апелем и Хейкеном. Кроме того, справедливо считать проблему закрытой, если будет построен эффективный алгоритм раскраски произвольного плоского графа.

История возникновения гипотезы четырех красок во многом неясна. Предполагается, что Мебиусу она была известна еще в 1840 г., однако первое упоминание о гипотезе относят к 1852 г., когда студент Лондонского университетского колледжа Гутри изложил эту проблему де

Моргану, а последний описал ее в письме к Гамильтону. В 1878 г. знаменитый английский математик Кэли выступил перед членами Лондонского математического общества с сообщением о задаче четырех красок, сказав при этом, что сам он вот уже несколько дней (!) как не может ее решить.

В 1879 г. в Шотландии Тэйтом было опубликовано первое решение изложенной выше проблемы. Он свел раскраску вершин исходного графа к раскраске ребер двойственного графа и предположил, что эта задача всегда имеет решение.

В 1880 г. в Лондонском журнале «Nature» («Природа») появляется статья адвоката Кемпе «Как раскрасить карту четырьмя красками», в которой автор доказывает, что, применяя определенные правила перекраски, всегда можно решить поставленную задачу. Это доказательство не подвергалось никаким сомнениям в течение десяти лет. Рингель очень остроумно в своей книге «Проблема раскраски графов» замечает: «Десятилетняя жизнь доказательства Кемпе без какого-либо его подтверждения может служить свидетельством того, что математики того времени были столь же мало склонны читать работы своих коллег, как и в наши дни».

В 1890 г. молодой английский математик Хивуд обнаружил ошибку в доказательстве Кемпе, заключающуюся в том, что не всегда можно применить указанные правила перекраски. Однако, используя это, Хивуд показал, что если в гипотезе четыре заменить на пять, то она легко доказуема. Проблеме четырех красок Хивуд посвятил всю свою долгую жизнь (он прожил почти 90 лет) и написал много статей, где он обобщал эту проблему на более сложные, чем плоскость, поверхности, но саму ее так и не решил. Если до этого момента все пытались решить проблему непосредственно путем различных раскрасок и перекрасок графа, то после Хивуда основные усилия математиков были направлены на поиски доказательства существования правильной раскраски.

В 1913 г. Биркгоф ввел понятие неприводимого графа и доказал ряд теорем о свойствах таких графов. Пользуясь этими результатами, американский математик из Филадельфии Франклин в 1920 г. доказал, что гипотеза четырех красок верна для всех плоских графов с числом вершин, не превышающим 25. Это направление получило дальнейшее развитие в работах Эрреры, Винна. В 1926 г. Рейнольдс довел число вершин графов, для которых справедлива гипотеза четырех красок, до 27. В 1936 г. снова Франклин увеличил это число до 31. Затем Винн в 1938 г. довел это число до 35. И хотя в 1975 г. профессор французской литературы Майер довел это число до 96, стало

ясно, что дальнейшее его увеличение не приведет к решению проблемы. Был необходим коренной поворот в исследованиях, который бы дал возможность решить проблему целиком.

Таким поворотом можно считать появление в 1969 г. работы Хееша [1], в которой он свел вопрос о справедливости гипотезы четырех красок к исследованию достаточно большого так называемого неустраняемого множества конфигураций. При этом основной метод, используемый Хеешем, — изобретенный им метод «нейтрализации». Хееш предполагал, что этот метод, если его в достаточной степени развить, приведет к решению проблемы четырех красок. Для многих математиков эта работа осталась почти незамеченной, остальные были настроены пессимистически относительно перспектив данного направления. Семь лет понадобилось последователям Хееша Аппелю и Хейкену, чтобы этот путь привел их к желаемому результату.

Существует ряд задач, сводимых к задаче о раскраске. Задача раскраски в том «чистом» виде, в каком она рассматривалась выше, редко встречается на практике. Однако ее обобщения и разновидности находят широкое применение в большом числе прикладных задач. Сформулируем задачу о раскраске на языке булева программирования.

Пусть q — какая-нибудь верхняя оценка хроматического числа графа G

Пусть $\Xi = (\xi_{ij})$ — матрица раскраски графа (задающая некоторую конкретную раскраску вершин графа), так что

$$\xi_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{вершина } x_i \text{ окрашена в цвет } j, \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Если $A = (a_{jk})$ — матрица смежности графа G с диагональными элементами, равными 0, то следующие два условия гарантируют допустимость раскраски вершин графа G (т. е. допустимость матрицы раскраски $\Xi = (\xi_{ij})$):

$$\sum_{j=1}^q \xi_{ij} = 1, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1.1)$$

$$L(1 - \xi_{ij}) - \sum_{i=1}^n a_{ik} \xi_{ij} \geq 0 \begin{cases} i = 1, 2, \dots, n, \\ j = 1, 2, \dots, q. \end{cases} \quad (1.2)$$

Условие (1.1) обеспечивает раскраску вершины в один и только один цвет.

В условии (1.2) L — очень большое положительное число (любое целое, большее чем n). Если вершина x_i окрашена в цвет j (т.е. $\xi_{ij} = 1$), то первый член в (1.2) равен 0. Тогда и второй член должен быть равен 0, чтобы

выполнялось неравенство, поскольку числа ξ_{ij} и a_{ik} — неотрицательны. Таким образом, условие (1.2) обеспечи-

вает допустимость раскраски, т.е. если вершина x_i окрашена в цвет j , то нет смежной с x_i вершины того же цвета. Если вершина x_i окрашена в цвет, отличный от j ($\xi_{ij} = 0$), то первый член в (1.2) равен L . Поскольку второй член в (1.2) не может, очевидно, достигнуть значения L (его наибольшее значение равно в действительности $n - 1$), то какое бы число вершин x_k , смежных с вершиной x_i , ни было окрашено в цвет j , неравенство (1.2) по-прежнему будет выполняться. Заметим, что если вершины x'_k и x''_k смежны с x_i , а также смежны между собой, то условие (1.2), записанное для вершины x_i , не будет препятствовать раскраске x'_k и x''_k в один и тот же цвет j . Однако, записав условие (1.2) для x'_k (или x''_k), мы обеспечим тем самым раскраску этих двух вершин x'_k и x''_k в разные цвета.

Пусть теперь каждому цвету j сопоставлен штраф P_j , выбранный так, что $P_{j+1} > hP_j$ (штраф P_j принят равным единице) (1.3)

и где h есть верхняя оценка для наибольшего числа вершин в графе, которые могут быть окрашены в один цвет, т.е. h — произвольное число, большее, чем $\alpha(G)$ — число независимости графа. При отсутствии лучшей оценки можно положить $h = n$, не проводя лишних вычислений.

Задача раскраски вершин графа с использованием наименьшего числа цветов может быть сформулирована следующим образом: минимизировать

$$z = \sum_{j=1}^q \sum_{i=1}^n P_j \xi_{ij} \quad (1.4)$$

при ограничениях (1.1) и (1.2).

Минимизация выражения (1.4) обеспечивает выполнение следующего условия: цвет $j + 1$ не будет использован в раскраске вершин, если цвета от 1 до j достаточны для допустимой раскраски. Матрица раскраски графа (ξ_{ij}^*) , которая дает решение приведенной выше задачи линейного булева программирования, определяет оптимальную раскраску, а используемое при этом число цветов равно хроматическому числу графа.

Берж [2] вместо условия (1.2) предложил следующее:

$$\sum_{i=1}^n b_{ik} \xi_{ij} \leq 1 \begin{cases} k = 1, 2, \dots, m \\ j = 1, 2, \dots, q, \end{cases} \quad (1.5)$$

где (b_{ik}) – матрица инцидентий, т.е. $b_{ik} = 1$, если вершина x_i инцидентна ребру a_k , и $b_{ik} = 0$ в противном случае. Условие (1.5) отражает то, что не более чем одна из двух концевых вершин любого ребра может быть окрашена в цвет j .

Хотя это условие более естественно, чем (1.2), но для его описания требуются $m \cdot q$ ограничений, тогда как для условия (1.2) нужно только $n \cdot q$ ограничений. Поскольку число ребер m связного графа обычно значительно больше числа его вершин n , то условие (1.2) с вычислительной точки зрения предпочтительнее. Насколько велик при этом выигрыш, можно увидеть на следующем примере: если в некотором 100-вершинном графе число ребер будет составлять только 20 % от числа ребер в полном 100-вершинном графе, то для задания условия (4.15) потребуется 1000 ограничений на каждый цвет, а для описания условия (4.12) – только 100 ограничений на каждый цвет.

Рассмотрим задачу размещения (загрузки) n каких-то предметов по ящикам. Пусть каждый предмет соответствует определенной вершине графа G . Всякий раз, когда два предмета x_i и x_j не могут быть размещены в одном ящике (например, когда предмет x_i может загрязнить предмет x_j), в граф G вводится ребро (x_i, x_j) . Если ящики имеют неограниченную вместимость, так что в каждый из них можно поместить сколько угодно предметов, то задача нахождения наименьшего числа ящиков для размещения предметов эквивалентна задаче нахождения хроматического числа графа G , причем каждому ящику соответствует определенный “цвет”, а предметы, окрашенные в один цвет, укладываются в один и тот же ящик.

Ящики одинаковой вместимости. В действительности ящики обладают ограниченной вместимостью. Предположим, что вместимость одинакова у всех ящиков и равна Q . Это можно интерпретировать так: в один цвет окрашиваются не более чем Q вершин. В терминах булева программирования [2] данная задача загрузки может быть сформулирована следующим образом:

минимизировать выражение (1.4) при ограничениях (1.1), (1.2) и

$$\sum_{i=1}^n \xi_{ij} \leq Q, \quad j = 1, 2, \dots, q. \quad (1.6)$$

Решением этой задачи является матрица (ξ_{ij}) , описывающая оптимальное размещение (распределение) предметов по ящикам (иначе говоря, группировка предметов по цвету). Число Q есть верхняя оценка для числа ящиков.

Ящики имеют, вообще говоря, различные вместимости, и ящикам приписаны стоимости. Пусть J -ый

ящик имеет вместимость Q_j и стоимость v_j . Предположим еще, что предметам (вершинам графа) сопоставлены веса, скажем, i -му предмету соответствует вес w_i . Требуется так разместить предметы по ящикам, чтобы

- (а) выполнялись условия, “накладываемые” графом G ,
- (б) удовлетворялись ограничения на вместимость ящиков,
- (в) была наименьшей общая стоимость используемых ящиков. Тогда задача примет следующий вид:

$$z = \sum_{j=1}^q \psi_j v_j$$

минимизировать функцию (1.7)
при ограничениях (1.1), (1.2) и

$$\sum_{i=1}^n \xi_{ij} w_i \leq Q_j, \quad (1.8)$$

$$\sum_{i=1}^n \xi_{ij} \leq L \psi_j, \quad j = 1, 2, \dots, q, \quad (1.9)$$

где переменная ψ_j принимает значение 1, если в ящик J помещен какой-либо предмет, и равна 0 в противном случае. L – произвольное положительное целое число, большее, чем n , а q – общее число имеющихся ящиков. Ограничение (1.8) означает, что ни один из ящиков не перегружается, а ограничение (1.9) гарантирует выполнение условия: если $\psi_{j_0} = 0$ (т.е. ящик J_0 пуст), то все ξ_{ij_0} ($i = 1, 2, \dots, n$) также равны 0.

В этом самом общем случае необходимо было вве-

сти дополнительные переменные ψ_j , поскольку ящики (цвета) нельзя штрафовать тем способом, который характеризуется выражением (1.4). Следует отметить, что чем более общей является задача, тем менее важным становится ее “раскрасочный” аспект. Так, например, в только что рассмотренной задаче можно выделить две подзадачи:

- (а) о “раскраске”, соответствующей ограничению (1.2), и
- (б) о “ранце”, определяемом ограничением (1.8). Два других ограничения, (1.1) и (1.9), являются ограничениями структурного характера.

Из-за этих двух взаимосвязанных аспектов общая задача раскраски значительно труднее для решения, чем “чистая” задача раскраски.

Литература

1. Шредер М. Фракталы, хаос, степенные законы. Миниатюры из бесконечного рая. – Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2001.
2. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. – М.: Мир, 1978.

МОДЕЛЬ ПРОДОЛЬНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕОДНОРОДНЫХ СТЕРЖНЕЙ

Мясников Алексей Андреевич

к.т.н., Институт физико-технических проблем и материаловедения, Национальная академия наук Кыргызской Республики, г. Бишкек

MODEL OF LONGITUDINAL DYNAMIC DEFORMATION OF GEOMETRICALLY NONUNIFORM RODS

Myasnikov Aleksey Andreevich, candidate of technical sciences, Institute of Physical & Technical Problems, and Material sciences, National Academy of Sciences, Kyrgyz Republic, Bishkek

АННОТАЦИЯ

Рассматривается алгоритм построения модели упругой динамической продольной деформации стержней без применения гипотезы плоских сечений. Модель основана на общих уравнениях механики деформируемого твердого тела.

ABSTRACT

The algorithm of construction of model of elastic dynamic longitudinal deformation of rods without application of a hypothesis of flat cross sections is considered. The model is based on the general equations of mechanics of solids.

Ключевые слова: продольные колебания стержней.

Keywords: longitudinal vibrations of rods.

Решение задач продольного динамического деформирования и продольных колебаний стержней в большинстве случаев основано на гипотезе плоских поперечных сечений [1-3], иногда с теми или иными поправками [4]. Гипотеза плоских сечений предполагает, что плоские поперечные сечения стержня остаются плоскими в течение процесса продольного динамического деформирования. Как правило, те или иные дополнительные поправки вводятся путем корректировки баланса энергии. В частности, наиболее распространенная поправка Релея учитывает кинетическую энергию частиц стержня радиального движения. Построение модели усложняется, когда стержень неоднородный по геометрии или физическим параметрам, материал стержня имеет свойства анизотропии или находится под влиянием внешних полей.

Предлагаемая модель строится для осесимметричного случая продольного динамического деформирования стержня переменного поперечного сечения выполненного из однородного по физическим свойствам материала. Но алгоритм построения модели может быть распространен на более широкий класс задач.

Модель основывается на общих уравнениях механики твердого деформируемого тела, записанных для элементарного объема в окрестности точки. В цилиндрической системе координат $O x r \theta$, рисунок 1, когда

ось координат X совпадает с осью симметрии стержня, при линейных упругих деформациях базовая система уравнений в перемещениях может быть представлена в виде:

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} = \frac{1}{E} [\sigma_x - \mu(\sigma_\theta + \sigma_r)] \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_r}{\partial r} = \frac{1}{E} [\sigma_r - \mu(\sigma_x + \sigma_\theta)] \quad (2)$$

$$\frac{\partial u_r}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial r} = \frac{\tau_{rx}}{G} \quad (3)$$

$$\frac{\partial \tau_{rx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{E}{1+\mu} \frac{1}{r} \left(\frac{\partial u_r}{\partial r} - \frac{u_r}{r} \right) - \rho \frac{\partial^2 u_r}{\partial \tau^2} = 0 \quad (4)$$

$$\sigma_r - \sigma_\theta = \frac{E}{1+\mu} \left(\frac{\partial u_r}{\partial r} - \frac{u_r}{r} \right) \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\int_{(s(x))} \sigma_x(x) ds_x \right) + \int_{(s(x))} \left(\frac{\partial \tau_{xr}}{\partial r} + \frac{\tau_{xr}}{r} \right) ds_x - \int_{(s(x))} \rho \frac{\partial^2 u_x}{\partial \tau^2} ds_x = 0 \quad (6)$$

где: u_k - смещение в направлении оси k ; σ_k - нормальное напряжение на площадке с нормалью k ;

τ_{nk} - касательное напряжение по направлению n на площадке с нормалью k ; E, G, μ, ρ - модули упругости первого и второго родов, коэффициент Пуассона, плотность материала стержня;

$s(x)$ - площадь поперечного сечения стержня с координатой x по оси

стержня; ds_k - площадь элементарной площадки с нормалью k ; τ - время.

Соотношение (5) получается из уравнений теории упругости:

$$\frac{\partial u_r}{\partial r} = \frac{1}{E} [\sigma_r - \mu(\sigma_x + \sigma_\theta)] \quad (7)$$

$$\frac{u_r}{r} = \frac{1}{E} [\sigma_\theta - \mu(\sigma_r + \sigma_x)]$$

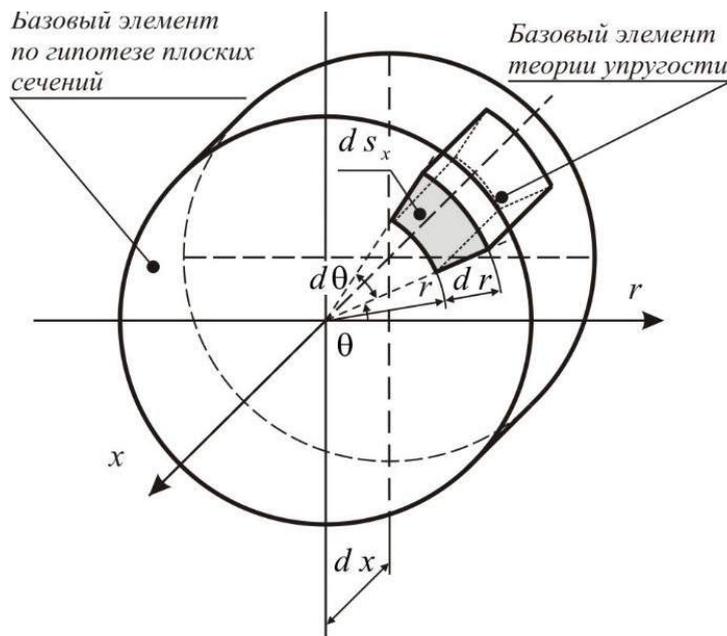


Рисунок 1. Базовый элемент модели.

Соотношение (5) также используется для получения уравнения (4) преобразованием базового уравнения теории упругости:

$$\frac{\partial \tau_{rx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} - \rho \frac{\partial^2 u_r}{\partial \tau^2} = 0 \quad (8)$$

Уравнение (6) получается интегрированием уравнения динамики элементарного объема в направлении оси координат поперечных сечений x :

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xr}}{\partial r} + \frac{\tau_{xr}}{r} - \rho \frac{\partial^2 u_x}{\partial \tau^2} = 0 \quad (9)$$

по объему ограниченного боковой поверхности стержня и двумя поперечными сечениями $x + dx$ и x , отстоящими на бесконечно малом расстоянии друг от друга dx . Фактически, поскольку dx принимается постоянной, интегрирование сводится к сумме интегралов по площади поперечного сечения $s(x)$.

Уравнение упругой продольной динамической деформации стержня строится методом последовательного приближения. В качестве исходного используется утверждение: в нулевом приближении при динамическом продольном деформировании стержня радиальные напряжения равны нулю. При статическом продольном деформировании стержня это утверждение безусловно, согласно полному закону Гука. При динамическом деформировании может быть принято только в качестве нулевого приближения.

При $\sigma_r = 0$ и $\sigma_\theta = 0$ уравнения (1) и (2) соответственно принимают вид:

$$\frac{\sigma_x}{E} = \frac{\partial u_x}{\partial x}, \quad -\mu \frac{\sigma_x}{E} = \frac{\partial u_r}{\partial x}; \quad (10)$$

$$-\mu \frac{\partial u_x}{\partial x} = \frac{\partial u_r}{\partial r} \quad \text{откуда:} \quad (11)$$

Интегрированием по радиусу r получается выражение функции смещения точки стержня в радиальном направлении:

$$u_r = -\mu \frac{\partial u_x}{\partial x} r \quad \text{лени:} \quad (12)$$

При выводе принималось во внимание, что радиальное смещение точки стержня на центральной оси x равняется нулю в силу симметрии.

Подстановкой (12) в (3) определяется касательное напряжение в первом приближении:

$$\tau_{rx} = -\mu r G \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} \quad (13)$$

Из уравнения (4) определяется соотношение:

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} = -\mu \rho r \frac{\partial^3 u_x}{\partial x \partial \tau^2} + \mu G r \frac{\partial^3 u_x}{\partial x^3} \quad (14)$$

Интегрированием последнего определяется формула нормального напряжения в первом приближении:

$$\sigma_r = \left(-\mu \rho \frac{\partial^3 u_x}{\partial x \partial \tau^2} + \mu G \frac{\partial^3 u_x}{\partial x^3} \right) \frac{r^2}{2} + C_r \quad (15)$$

где: C_r - константа интегрирования, определенная из условия, что на внешней поверхности элемента, $r = r_*$,

напряжение σ_r равно нулю, поскольку отсутствуют внешние нагрузки. Из данного условия следует:

$$\sigma_r = \left(-\mu \rho \frac{\partial^3 u_x}{\partial x \partial \tau^2} + \mu G \frac{\partial^3 u_x}{\partial x^3} \right) \frac{r^2 - r_*^2}{2} \quad (16)$$

Из уравнения (5), с учетом полученных соотношений, определяется нормальное напряжение:

$$\sigma_\theta = \left(-\mu \rho \frac{\partial^3 u_x}{\partial x \partial \tau^2} + \mu G \frac{\partial^3 u_x}{\partial x^3} \right) \frac{r^2 - r_*^2}{2} \quad (17)$$

Формулы (16) и (17) показывают, что при динамическом продольном деформировании радиальные напряжения не равны нулю.

Нормальное напряжение вдоль оси координат поперечных сечений стержня X определяется из (1) с учетом (16) и (17):

$$\sigma_x = E \frac{\partial u_x}{\partial x} + \mu \left(\mu G \frac{\partial^3 u_x}{\partial x^3} - \mu \rho \frac{\partial^3 u_x}{\partial x \partial \tau^2} \right) (r^2 - r_*^2) \quad (18)$$

В результате определены в первом приближении все перемещения и напряжения функции перемещения в осевом направлении u_x . Это позволяет, при подстановке в последнее неиспользованное уравнение (6), свести систему к одному уравнению относительно функции осевого перемещения:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \int_{(s(x))} \left[E \frac{\partial u_x}{\partial x} + \mu \left(\mu G \frac{\partial^3 u_x}{\partial x^3} - \mu \rho \frac{\partial^3 u_x}{\partial x \partial \tau^2} \right) (r^2 - r_*^2) \right] ds_x + \\ & + \int_{(s(x))} \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(-\mu r G \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} \right) + \frac{1}{r} \left(-\mu r G \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} \right) \right] ds_x - \int_{(s(x))} \rho \frac{\partial^2 u_x}{\partial \tau^2} ds_x = 0 \end{aligned} \quad (19)$$

После раскрытия скобок и вынесения из-под интегралов функций, не зависящих от переменной интегрирования, получается следующее уравнение:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left(E \frac{\partial u_x}{\partial x} \int_{(s(x))} ds_x + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu^2 \left(G \frac{\partial^3 u_x}{\partial x^3} - \rho \frac{\partial^3 u_x}{\partial x \partial \tau^2} \right) \int_{(s(x))} (r^2 - r_*^2) ds_x \right] + \right. \\ & \left. + \left(-2 \mu G \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} \right) \int_{(s(x))} ds_x - \rho \frac{\partial^2 u_x}{\partial \tau^2} \int_{(s(x))} ds_x = 0 \right. \end{aligned} \quad (20)$$

Интеграл $\int_{(s(x))} ds_x = s(x)$ представляет собой площадь поперечного сечения стержня с координатой X . Преобразование второго интеграла приводит к соотношению:

$$\int_{(s(x))} (r^2 - r_*^2) ds_x = \int_{(s(x))} r^2 ds_x - r_*^2 \int_{(s(x))} ds_x \quad (21)$$

Первый интеграл в правой части представляет собой полярный момент инерции $J_\rho(x) = \int_{(s(x))} r^2 ds_x$, второй площадь поперечного сечения. Если поперечное сечение представляет собой круг, то:

$$\begin{aligned} J_{\rho c}(x) &= \frac{1}{2} \pi r_*^2 s(x), \quad s(x) = \pi r_*^2; \\ J_\rho(x) - r_*^2 s(x) &= -J_{\rho c}(x) \end{aligned}$$

В результате (21) преобразуется к уравнению продольного динамического деформирования прямого стержня переменного поперечного сечения по данной модели в первом приближении:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left(E s(x) \frac{\partial u_x}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu^2 J_\rho(x) \left(G \frac{\partial^3 u_x}{\partial x^3} - \rho \frac{\partial^3 u_x}{\partial x \partial \tau^2} \right) \right] + \\ & - 2 \mu G s(x) \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} - \rho s(x) \frac{\partial^2 u_x}{\partial \tau^2} = 0 \end{aligned} \quad (22)$$

Если сохранить производные только второго порядка, то уравнение принимает вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(E s(x) \frac{\partial u_x}{\partial x} \right) - 2 \mu G s(x) \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} - \rho s(x) \frac{\partial^2 u_x}{\partial \tau^2} = 0 \quad (23)$$

С учетом соотношения $G = \frac{E}{2(1+\mu)}$ уравнение может быть переписано в виде:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(E s(x) \frac{\partial u_x}{\partial x} \right) - E \frac{\mu}{1+\mu} s(x) \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} - \rho s(x) \frac{\partial^2 u_x}{\partial \tau^2} = 0 \quad (24)$$

Поскольку материал стержня однородный, $E = const$, $\mu = const$, $\rho = const$, то уравнение (24) может быть переписано в виде:

$$\frac{E}{1+\mu} \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + E \frac{d \ln(s(x))}{dx} \frac{\partial u_x}{\partial x} - \rho \frac{\partial^2 u_x}{\partial \tau^2} = 0 \quad (25)$$

Если ввести переменную $c_1 = \sqrt{\frac{E}{(1+\mu)\rho}}$ то уравнение преобразуется к виду:

$$\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + (1+\mu) \frac{d \ln(s(x))}{dx} \frac{\partial u_x}{\partial x} - \frac{\partial^2 u_x}{c_1^2 \partial \tau^2} = 0 \quad (26)$$

которое представляет собой каноническое ОРН (Отсутствие Радиальных Напряжений) (RSA) (Radial Stresses are Absent) уравнение продольного динамического деформирования прямого стержня переменного поперечного сечения выполненного из однородного материала.

При нулевом значении коэффициента Пуассона, $\mu = 0$, уравнение совпадает с уравнением продольных колебаний стержня для модели плоских сечений.

Если однородный стержень имеет постоянное поперечное сечение, уравнение принимает вид:

$$\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 u_x}{c_1^2 \partial \tau^2} = 0 \quad (26)$$

Анализ Эйлера уравнения (26) показывает, что:

- c_1 - представляет собой скорость распространения динамического деформирования;
- смещение может быть определено в виде суммы двух функций:

$$u_x(x, \tau) = f_+(x - c_1 \tau) + f_-(x + c_1 \tau), \quad (27)$$

где: $f_+(x - c_1 \tau)$, $f_-(x + c_1 \tau)$ - смещения сечений под действием импульсов динамической деформации распространяющихся в положительном и отрицательном направлениях оси координат поперечных сечений соответственно;

- сгенерированные в однородном стержне импульсы динамической деформации распространяются без искажения.

Уравнение (22) включает в себя ряд поправок, в частности, поправку Релея. Принято считать, что эта поправка корректирует наиболее существенную погрешность вносимую гипотезой плоских сечений для уравнений продольных колебаний. Данная модель показывает, что при продольном динамическом деформировании стержней касательные напряжения в большей степени определяют искажения вносимые гипотезой плоских сечений.

Приведенный алгоритм может быть использован при строении моделей для более сложных случаев. Например, когда материал стержня анизотропный или напряжения связаны с деформациями более сложными зависимостями, учитывающими внешние температурные, магнитные и электрические поля, вязкость, трение, и т.д.

В этом случае должны быть соответственно откорректированы основные уравнения механики твердого деформируемого тела.

Анализ предлагаемой модели показывает, что решения не противоречат качественно известным результатам и экспериментальным данным по продольному динамическому деформированию тонких однородных цилиндрических стержней. Для стержней переменного поперечного сечения решения будут иметь место заметные качественные и количественные различия от решений по гипотезе плоских поперечных сечений, определяемые ненулевым значением коэффициента Пуассона.

Безусловно предлагаемая модель требует экспериментальной проверки, также как и модель плоских поперечных сечений. Имеющиеся экспериментальные данные по применению коротких стержней переменного поперечного сечения в качестве генераторов импульсов продольной динамической деформации в технологических ударных системах показывают экономическую целесообразность разработки более точных моделей. Например, при ударном бурении крепких горных пород использование более точной модели позволяет уменьшить удельную энергоёмкость и улучшить другие экономические показатели.

Литература

1. Shuqi Guo, Shopu Yang Wave motions in non-uniform one-dimensional waveguides // Journal of Vibration and Control. 2011. 18 (1). P. 92-100.
2. Kumar B.M., Sujith R.I. Exact solutions for the longitudinal vibration of non-uniform rods // Journal of Sound and Vibration. 1997. 207 (5). P. 721-729.
3. Промыслова А.С. Продольные колебания упругих стержней переменного сечения (концентраторов) // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2008. № 6. С. 118-127.
4. Федотов И.А., Полянин А.Д., Шаталов М.Ю., Тенкам Э.М. Продольные колебания стержня Рэлея-Бишопа // Доклады Академии наук. 2010. Т. 435. № 5. С. 613-618.

АНАЛИЗ ОШИБОК КЛАССИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ МАКСВЕЛЛА И ИХ ИСПРАВЛЕНИЕ НА ОСНОВЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЭТИХ УРАВНЕНИЙ

Рысин Андрей Владимирович
радиоинженер АНО НТЦ «Техком»

Рысин Олег Владимирович
радиоинженер АНО НТЦ «Техком»

Бойкачёв Владислав Наумович

кандидат техн.наук, с.н.с., директор АНО НТЦ «Техком», г. Москва

Никифоров Игорь Кронидович

кандидат техн.наук, доцент, Чувашский государственный университет им.И.Н.Ульянов, г. Чебоксары

THE ERROR ANALYSIS OF THE CLASSICAL MAXWELL EQUATIONS AND CORRECTION ON THE BASIS OF THE IMPROVEMENT THESE EQUATIONS

Rysin Andrey Vladimirovich, radio engineer ANO SEC checks

Rysin Oleg Vladimirovich, radio engineer ANO SEC checks

Boikachev Vladislav Naumovich, the candidate technology.Sciences, S. N. S., Director of ANO SEC checks, Moscow

Nikiforov, Igor Kronidovich, the candidate technology.Sciences, associate Professor, Chuvash state University.And.N. Ulyanov Cheboksary

АННОТАЦИЯ

В статье проанализированы ошибки в классических уравнениях Максвелла, что стало причиной интуитивного использования вектор-потенциалов и электродинамических потенциалов. Проведённый в статье анализ показывает необходимость перехода от вектор-потенциалов к усовершенствованным уравнениям Максвелла с учётом использования проекции электромагнитных полей на координату времени, что соответствует наличию пространственно-временного континуума, наблюдаемого и фиксируемого в реальности.

ABSTRACT

The article analyzes the errors in the classical Maxwell equations, what was the reason for intuitive use of the vector-potential and electrodynamic potentials. Held in the article the analysis shows the need to move from the vector-potential to improved Maxwell's equations taking into account the use of the projection of electromagnetic fields on the time coordinate, which corresponds to the presence of the space-time continuum, observed and fixed in reality.

Ключевые слова: усовершенствованные уравнения Максвелла, вектор – потенциалы, преобразования Лоренца-Минковского.

Keywords: advanced Maxwell's equations, vector potentials, transformations of Lorentz-Minkowski.

В статье рассмотрены ошибки и парадоксы в общепринятых (классических) уравнениях Максвелла (Ур.М), которые в итоге приводят к неправильному раскрытию природы взаимодействия электромагнитных полей и теории их излучения. Нами предложен способ решения указанных ошибок и парадоксов, позволяющий исправить создавшееся положение отдельного независимого существования объектов различной природы, таких как электромагнитное (ЭМ) поле, нейтрино и антинейтрино.

Обоснование такой задачи заключается в том, что реально наблюдается связь ЭМ сил и гравитационных сил. Это и отражается в искривлении пути прохождения света в гравитационном поле, при этом не наблюдается изменение скорости света. Зато фиксируется изменение частоты фотона, если движение осуществляется к центру гравитационного поля. Однако взаимосвязь ЭМ и гравитационных сил никак не отражена в Ур.М, а это означает, что такие уравнения не соответствуют реально существующим объектам. Кроме того, на границе раздела сред при решении электродинамических задач с помощью Ур.М наблюдается разрыв, а это аналогично чуду (сингулярности). Рассмотрим, к какому результату может привести абстракция математики при объяснении физики. Например, это наглядно видно при рассмотрении теории излучения в электродинамике. Выпишем известную систему Ур.М [1]:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} H &= dD/dt + j; \operatorname{div} B = 0; \operatorname{rot} E = -dB/dt; \operatorname{div} D = \rho; \\ D &= \epsilon_0 \epsilon E; B = \mu_0 \mu H; j = \sigma E + j_{\text{ст}}. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь H – вектор напряжённости магнитного поля; E – вектор напряжённости электрического поля; B – вектор магнитной индукции; D – вектор электрической индукции; j – плотность электрического тока; ρ – плотность электрического заряда; ϵ_0 – константа электрической проницаемости; ϵ – диэлектрическая проницаемость среды; μ_0 – константа магнитной проницаемости; μ – магнитная проницаемость среды; σ – электрическая проводимость; $j_{\text{ст}}$ – сторонний ток.

Первая ошибка Ур.М связана с тем, что наличие уравнения $\operatorname{div} B = 0$ противоречит закону сохранения энергии Умова-Пойтинга $dW/dt = \operatorname{div} S$. Здесь S имеет смысл плотности потока ЭМ энергии в среде; W интерпретируется как плотность энергии ЭМ поля в среде. То есть, отсутствие дивергенции означает, что изменение во времени не означает изменение в пространстве, а отсюда следует независимость пространства от времени! А так

как речь идёт об изменении именно ЭМ энергии, что связано с электрическими и магнитными составляющими, то обойтись без аналогичного изменения этих составляющих невозможно. Изменение $-dB/dt$ в Ур.М есть, но нет изменения по пространству, так как $\operatorname{div} B = 0$. Это противоречит СТО и ОТО Эйнштейна и существованию преобразований Лоренца (ПЛ), так как в этом случае нет пространственно-временного континуума (ПВК). Кроме того, оказывается, что дивергенция электрического поля имеется, а у магнитного поля нет. Тогда получается, что электрическое и магнитное поля существуют отдельно, и не может быть речи об общей ЭМ энергии. Но это не единственная ошибка Ур.М.

Вторая ошибка (не очевидная на первый взгляд) связана с записью $\operatorname{div} D = \rho$. Она означает, что для постоянной величины ρ (константы) должно существовать постоянное изменение величины D . Однако в мироздании любое количество не может исчезать в ноль и появляться из нуля. Поэтому и существует уравнение Умова-Пойтинга, по которому изменение по dt приводит к изменению в пространстве. То есть запись $\operatorname{div} D = \rho$ фактически предлагает неисчерпаемый источник энергии, дающий дивергенцию, но только в рамках одной противоположности ПВК, т.е. взаимного обмена чего с чем-то, обозначенная ошибка в Ур.М не решается. К тому же, в случае рассмотрения распространения ЭМ поля обычно принимают $\operatorname{div} D = 0$. Может возникнуть научный спор по поводу обозначенного парадокса, так как в одних случаях дивергенция равна нулю, в других случаях дивергенция не равна нулю, а это – неоднозначная запись, приводящая к двойственности образования одной и той же величины в правой части уравнения. Мы будем исходить из научного подхода. Тогда нужно признать, что под $\operatorname{div} D$ подразумевается плотность некоего электрического заряда ρ , который не является константой, а образуется за счёт изменения по dt некоторой величины. Что на самом деле следует понимать под зарядом, мы покажем ниже. Суть нашего подхода в том, что любые скачки (неоднородности), представленные дивергенцией от одной противоположности в виде пространства (длины), неизбежно связаны со скачками (неоднородностью) от другой противоположности в виде, например, времени. Действительно количество неизменно связано с разрывами, что отражено в виде цифр, а иначе количества, как такового, не будет, а будет однородность. Но связать разрывы и дать взаимозависимость можно только за счёт некоей противоположности, с

которой осуществляется взаимный обмен. Таким образом, запись $\text{div } \mathbf{D} = 0$ говорит об однородности и отсутствии противоположностей в ПВК, а это автоматически исключает корпускулярно-волновой дуализм. Та же запись в виде $\text{div } \mathbf{D} = \rho$ говорит о наличии скачков как таковых без возможности их связи через противоположность. Из этого следует вывод о полной независимости отдельных объектов, а значит, такие объекты друг для друга не существуют. Кроме того, подчеркнём ещё раз, что равенство изменения физической величины нулю означает однородность, т.е. отсутствие противоположностей и значит корпускулярно-волнового дуализма.

Третья ошибка, вытекает из общеизвестного факта по ЭМ индукции, что причиной формирования электрического поля является изменение магнитного поля, а вовсе не некий заряд. Это становится ещё более очевидным, если учесть, что в квантовой механике (КМ) подразумевается образование электрического статического поля заряда за счёт неких виртуальных фотонов. Но наличие любых фотонов (иначе было бы другое название) подразумевает взаимодействие переменного электрического и магнитного полей, и здесь заряды в уравнение не входят. Иными словами, мы имеем двойственность образования электрического поля, – а это явный парадокс. Отметим также, что парадокс здесь и в том, что значение дивергенции от любой величины не может быть равно нулю, иначе выделить что-либо частное из общего невозможно. Кроме того, переход к отображению электростатического поля через виртуальные фотоны также не позволяет решать задачу по взаимодействию, так как силы отталкивания ещё можно получить, за счёт передачи виртуальным фотоном кинетической энергии, а вот силы притяжения получить нельзя. Этот парадокс решён нами за счёт представления электростатического поля через нейтрино и антинейтрино!

Четвёртая ошибка связана с неоднозначностью образования плотности тока \mathbf{j} от величины напряжённости электрического поля и от некоего стороннего тока $\mathbf{j}_\text{ст}$, т. е. согласно (1) $\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E} + \mathbf{j}_\text{ст}$. Значение \mathbf{j} можно найти, если использовать известное уравнение

$$\text{div } \mathbf{D} = \varepsilon_0 \text{div } \mathbf{E} = c^2 \varepsilon_0 \partial \mathbf{E} / \partial r = \varepsilon_0 \partial \mathbf{E} / \partial (ct) = \tilde{\rho}$$

Далее получаем $\partial \mathbf{D} / \partial t = c \tilde{\rho} = \mathbf{j}_\text{Д}$. Отметим, что умножение плотности заряда на скорость света придумано нами, это уже было рассмотрено в КМ при рассмотрении трансформационных свойств волновой функции при ПЛ и пространственных вращениях [2]. Аналогичный результат можно получить, если использовать уравнение непрерывности $\partial \rho / \partial t = \partial [\text{div } \mathbf{D}] / \partial t = -\text{div } \mathbf{j}$. Сделав перестановку по переменным дифференцирования и проинтегрировав по объёму V , получим

$$\partial \mathbf{D} / \partial t = \varepsilon_0 \partial \mathbf{E} / \partial t = -\mathbf{j} = \mathbf{j}_\text{Д}$$

При этом считается, что $\mathbf{j} = u\rho = c\tilde{\rho}$, где u – скорость движения плотности заряда. Получим, что $\tilde{\rho} \neq \rho$, т.е. изменение напряжённости электрического поля во времени вызывает движение зарядов, однако плотность заряда внутри объёма V и вне этого объёма – это разные величины. Парадокс здесь в том, что заряд как бы был сконцентрирован в одном внутреннем объёме, а электрическая индукция относилась к внешнему объёму и это были – разные величины. Иными словами здесь не была учтена двойственность любого

корпускулярно-волнового объекта, так как запись движения со скоростью u относится к представлению объекта в корпускулярном виде как бы в виде точки. А передача изменения ЭМ составляющих вида $\partial \mathbf{D} / \partial t$ относится к представлению объекта в волновом виде уже во внешнем объёме, и здесь изменения осуществляются со скоростью света. Отсюда и было непонятно, каким образом возможно существование ЭМ поля в вакууме без присутствия зарядов, что и повлекло появление сторонних токов с движением сторонних зарядов, которые в принципе и давали выполнение уравнения непрерывности. В записи $\varepsilon_0 \partial \mathbf{E} / \partial t = c \tilde{\rho} = \mathbf{j}_\text{Д}$ плотность заряда не может перемещаться со скоростью света, так как по общепринятым представлениям зарядов в так называемом вакууме нет. Разрешение парадокса в том, что надо было рассматривать не движение заряда как корпускулярного объекта, а движение корпускулярно-волнового объекта с учётом взаимодействия противоположностей. Поэтому, учёные и вынуждены были придумывать некие сторонние токи, так как абсолютизация пространства и времени давала неразрешимый парадокс. Он решается в рамках нашей теории [3], когда под плотностью стороннего заряда рассматривается пространственно-временное искривление противоположной системы, связанной с нашей системой через скорость света. Отсюда и умножение на скорость света $c \tilde{\rho}$. Отметим, что электрическая индукция внутри объёма V и вне этого объёма – это противоположности в соответствии с корпускулярно-волновым дуализмом, также как так называемый электрический заряд и сторонний заряд.

Также отметим, что запись связи напряжённости электрического поля с \mathbf{j} через значение проводимости не является корректным в силу двузначности образования величины \mathbf{j} , как от самой напряжённости, так и от её производной по времени. Иными словами действие силы в виде напряжённости поля всегда даёт ускоренное движение, а не равномерное движение. А это всегда связано с изменением кинетической энергии, а значит и ЭМ энергии. Здесь, наличие замкнутого магнитного поля рассматривают связанным с движением электрического заряда по формуле $\text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{j} = \sigma \mathbf{E}$. Если исходить из практики, не вдаваясь в проблему закона сохранения количества, то это выглядит правильным. Действительно, есть ток, в виде движения зарядов под разностью потенциалов, и известна зависимость напряжённости магнитного поля от величины этого тока и расстояния. Однако это не определяет самой причины возникновения магнитного поля. Ясно, что ток – это не константа в пространстве и времени, а именно движение на основе уравнения непрерывности, которое связано с изменением электрической индукции во времени. В итоге получилось, что движущийся заряд сам по себе, а электрическая индукция, это что-то отдельное. Однако одно без другого не бывает. Конечно, изменение электрической индукции не могло исчезнуть в ничто, и также возникнуть из ничего, а это и получалось согласно Ур.М, так как ротор магнитного поля даёт замкнутую величину. Вот поэтому и потребовалась противоположная пространственно-временная система, которая и взяла на себя роль образования сторонней плотности тока, что и выразилось в значении $\mathbf{j}_\text{Д}$. Иначе смысл обра-

зования стороннего тока, его связь и возможность объединения с напряжённостью электрического поля не понять, так как связать «то, не знаю что», просто невозможно. Как будет показано в дальнейшем, объединение в одну величину двух противоположных величин возможно только на основе существования противоположной пространственно-временной системы.

Это ещё не все парадоксы Ур.М. Отметим, что в 1-е уравнение системы (1) входит значение плотности тока \mathbf{j} , и как это будет видно впоследствии, без значения этой плотности тока формирование излучения ЭМ поля просто невозможно. Кроме того, мы не можем использовать для выполнения условия изменения в пространстве, при изменении во времени, величину $\text{rot } \mathbf{H}$ или величину $\text{rot } \mathbf{E}$ из-за замкнутости этих величин, так как $\text{div } \text{rot } \mathbf{F} = 0$, здесь \mathbf{F} – некая векторная величина. Таким образом, без добавочного члена в виде \mathbf{j} или дивергенции от некоторой величины не обойтись, если соблюдается закон сохранения энергии. В случае рассмотрения величины \mathbf{j} , как значения движущейся плотности электрического заряда, снова имеем парадокс наличия электрического заряда, который формирует электрическое поле.

Решение парадокса может быть связано только с тем, что в предложенных нами усовершенствованных Ур.М [3] значение \mathbf{D} не связано соотношением $\partial(\text{div } \mathbf{D}) / \partial t = -\text{div } \mathbf{j}$, в том смысле, что некий заряд порождает электрическое поле. Здесь значение \mathbf{j} должно быть результатом образования от другой величины (это, кстати, и сделали ранее, используя так называемые сторонние токи), но при этом должно выполняться равенство $\partial \mathbf{D} / \partial t + \mathbf{j} = 0$, которое обеспечивает закон сохранения количества. В этом случае мы вынуждены ввести две добавочные величины \mathbf{P} и \mathbf{M} , такие, что

$$\begin{aligned} \text{div } \mathbf{P} &= \partial \varphi_E / \partial t = \partial I_E / \partial t = \mathbf{V}_E = \mathbf{w} = \mathbf{j}_E = c \tilde{\rho}_E, \\ \text{div } \mathbf{M} &= \partial \varphi_H / \partial t = \partial I_H / \partial t = \mathbf{V}_H = \mathbf{s} = \mathbf{j}_H = c \tilde{\rho}_H. \end{aligned}$$

Здесь $\varphi_E = IE$, $\varphi_H = IH$ – некие величины, в виде потенциала и длины от противоположной пространственно-временной системы, связанной с нашей через скорость света. Наличие необходимости такой противоположной системы следует из условия равенства и существования противоположностей в любом объекте мироздания и наличия преобразования длины во время и, наоборот, по ПЛ. Иными словами ПЛ исключают концепцию существования абсолютного пространства и времени.

Поэтому здесь требует понимания тот факт, что операция дивергенции для величин \mathbf{P} и \mathbf{M} рассматривается не в нашей системе координат, а в противоположной системе координат, связанной с нашей через скорость света. Поэтому в нашей системе \mathbf{P} и \mathbf{M} – это не векторные величины. То есть, по сути дела таким представлением мы закрепляем факт того, что потенциальная энергия в одной

противоположности – это есть отражение кинетической энергии в другой противоположности. Ранее использовался подход рассмотрения кинетической и потенциальной энергии вне их взаимосвязи, отсюда и концепция условия образования поля потенциальной энергии как некоего заряда, без связи с кинетической энергией. Было известно, что кинетическая энергия переходит в потенциальную энергию и наоборот, но в рамках одной абсолютной пространственно-временной системы, это были независимые величины, и суть преобразования была неизвестна. Отметим: этот же парадокс возник и для так называемых вектор-потенциалов (электродинамических потенциалов). Кроме того, в нашей концепции понятие заряда не относится к наличию только электрического поля, так как это бы означало бы возможность существования электрического поля отдельно от магнитного поля. В нашем понятии заряд одновременно обладает и электрическим и магнитным полем в силу того, что не бывает объектов из одной противоположности. Фактически это означает, что цикл преобразования электрического поля в магнитное происходит не по двум переменным \mathbf{E} и \mathbf{H} , а по четырём ортогональным переменным \mathbf{E} , \mathbf{P} , \mathbf{H} , \mathbf{M} , что аналогично разложению в пространстве и времени. Ещё раз отметим, что наличие существования величин \mathbf{P} и \mathbf{M} связано с необходимостью ортогональности (независимости) величин \mathbf{D} и \mathbf{j} как противоположностей (в силу необходимости преобразования между противоположностями).

Формула $\partial \mathbf{D} / \partial t + \mathbf{j} = 0$ была получена из условия того, что изменение некоего количества, находившееся в данной точке пространства, привело к перераспределению этого же количества в пространстве (понятно, что это происходит не через чудеса, а под действием других сил, например, силы тяжести). И здесь не требуется преобразование электрических компонент в магнитные и наоборот, так как количество \mathbf{D} строго определяется зарядом в силу $\text{div } \mathbf{D} = \rho$. Отсюда нет необходимости преобразования в нечто другое, например, в магнитную компоненту. Ведь, если количество осталось неизменным, то и самого преобразования нет. Поэтому, в случае наличия \mathbf{P} и \mathbf{M} , и их взаимного преобразования, соблюдается симметричный вид относительно электрической и магнитной составляющих, а нарушение этого вида будет противоречить закону сохранения энергии. Кроме того, введение \mathbf{P} и \mathbf{M} означает, что изменение электрической компоненты однозначно связано с преобразованием в другую магнитную компоненту, а не в ту же самую. Иными словами в Ур.М был упущен основной закон философии, при котором изменение количества неизбежно приводит к изменению качества. Соответственно получаем, что значение ротора в левой части уравнения соответствует уравнению непрерывности в правой части уравнения. Отсюда вид усовершенствованных Ур.М в так называемом вакууме при $\epsilon=1$ и $\mu=1$ примет следующий вид:

$$\begin{aligned} \text{rot } \mathbf{H} &= \partial \mathbf{D} / \partial t - \mathbf{j}_E, \text{div } \mathbf{P} = \mathbf{j}_E, \text{rot } \mathbf{E} = -\partial \mathbf{B} / \partial t + \mathbf{j}_H, \\ \text{div } \mathbf{M} &= \mathbf{j}_H, \mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E}, \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H}. \end{aligned} \quad (2)$$

Суть такой записи в том, что изменения электрической \mathbf{D} и магнитной \mathbf{B} индукций в нашей системе пространства и времени, приводят к появлению зарядов $\tilde{\rho}$ в

противоположной системе, связанной с нашей через скорость света, что и отображено в нашей системе в виде сторонних токов. Иными словами, изменения во времени в

нашей системе противоположных величин в виде электрической \mathbf{D} и магнитной \mathbf{B} индукций даёт статику в виде наличия дивергенций от противоположных величин \mathbf{P} и \mathbf{M} . Величины \mathbf{P} и \mathbf{M} – это результат наличия электрического и магнитного поля в противоположной системе, в результате образования так называемых сторонних зарядов. Таким образом, цепочка преобразования будет выглядеть несколько сложнее, чем в Ур.М. Здесь, изменение во времени электрической и магнитной индукций вызывает формирование в противоположной пространственно-временной системе наличие так называемых положительных и отрицательных зарядов с учётом их магнитных спинов, которые формируют свои ЭМ поля (так как отделить заряд от магнитного спина или магнитный спин от заряда невозможно в силу наличия противоположностей в любом объекте). И уже движение этих зарядов приводит к изменению величин \mathbf{P} и \mathbf{M} , которые в нашей системе дают разбиение на заряды, которые формируют электрическую \mathbf{D} и магнитную \mathbf{B} индукции. По другому говоря, хотя изменение количества в каждой из противоположностей подчиняется закону сохранения количества (отсюда и уравнение непрерывности), но при этом невозможно получить сами изменения как таковые, так как отсутствие преобразования в противоположность означает наличие однородности. Ещё раз подчеркнём ту мысль, что в нашей концепции заряд рассматривается не в виде отдельного электрического поля, а в виде ЭМ поля, что собственно соответствует понятию ПВК.

Можно подумать, что мы написали несколько иные уравнения, а не усовершенствованные Ур.М, рассмотренные нами в [4], но это не так, так как в данном случае мы имеем векторный вид, если учесть $0 = \partial \mathbf{D} / \partial t - \mathbf{j}_E = \partial \mathbf{D} / \partial t - i \operatorname{div} \mathbf{P} = \partial \mathbf{D} / \partial t - i \partial \mathbf{P} / (c \partial t)$. Умножение на мнимую единицу i учитывает тот факт, что \mathbf{D} и \mathbf{P} принадлежат противоположным пространственно-временным системам. Отсюда $\mathbf{D} = i \mathbf{P} / c$ и $\mathbf{P} = -i c \mathbf{D} = -i c \epsilon_0 \mathbf{E} = -i v \mathbf{E}$. Далее в обратном порядке

мы должны представить $i c \operatorname{div} \epsilon_0 \mathbf{E} = \mathbf{j}_E$. Однако, при представлении по конкретным координатам Ур.М мы будем вынуждены значение напряжённости электрического поля в указанном уравнении непрерывности представить в виде проекции на время, так как все другие значения по координатам уже заняты: $0 = \partial \mathbf{D} / \partial t - \mathbf{j}_E = \partial \mathbf{D} / \partial t - i c \operatorname{div} \epsilon_0 \mathbf{E}_t$.

Кроме того, необходимо оператор дивергенции заменить на градиент, так как величина проекции на время \mathbf{E}_t не отражает так называемый заряд в нашем ПВК из-за распространения ЭМ волны со скоростью света, отсюда имеем: $0 = \partial \mathbf{D} / \partial t - \mathbf{j}_E = \partial \mathbf{D} / \partial t - i c \operatorname{grad} \epsilon_0 \mathbf{E}_t$.

Отметим ещё раз, что добавление умножения на мнимую единицу обеспечивает наличие двух противоположностей в объекте, т.е. даёт корпускулярно-волновой дуализм и приводит к совпадению усовершенствованных Ур.М с уравнениями реальных частиц – нейтрино и антинейтрино. Кроме того наличие мнимой единицы соответствует разложению формулы Эйнштейна в систему урав-

нений Дирака. Отсюда аналогично и для магнитной составляющей с учётом $\mathbf{B} = i \mathbf{M} / c$ получим $\mathbf{M} = -i c \mathbf{B} = -i c \mu_0 \mathbf{H} = -i / v \mathbf{H}$.

Рассмотрим подробнее суть величин \mathbf{P} и \mathbf{M} . Собственно без этих величин не обошлись и в обычной электродинамике, приписав им значения электрической и магнитной поляризации. Аналогично эти величины выражаются также и через использование электродинамических потенциалов A и A_m , например в [5]. Но в [3] мы уже отмечали, что у нас эти значения связаны с преобразованием длины во время, и времени в длину, и именно не учёт подчинения классических уравнений Максвелла ПЛ и привёл к парадоксу, связанному с несоблюдением закона сохранения энергии. Таким образом, в теории электродинамики по системе уравнений (1) уже заранее заложены ошибки, связанные с неправильной записью исходных Ур.М для рассмотрения процессов в динамике.

Мы не являемся «первопроходцами» в написании Ур.М в таком виде. Например, аналогичный вид записи относительно токов можно найти в [6]. Однако необходимость так называемых электрических и магнитных сторонних токов, особенно с позиций выполнения ПЛ для ЭМ полей, не имела объяснения, и поэтому была речь о наличии так называемых фиктивных магнитных зарядов и токов. Мы же в [3] раскрыли логику возникновения этих составляющих и невозможность их игнорирования при рассмотрении полного процесса взаимодействия. Более точно запись усовершенствованных Ур.М с учётом ПЛ по координатам представлена, в векторном виде и по проекциям как это показано в уравнениях [4]. В этом случае сразу видна связь с ПЛ, так как есть проекция напряжённостей электрических и магнитных полей на время, и это уже – наша заслуга. Сразу отметим, что сама проекция на время не является новшеством, и была использована, например, Фейнманом в [7] или в КМ в [8] для описания вектор-потенциала. Учёным оставалось сделать только один шаг – признать наличие такой проекции и для реальных ЭМ компонент, тем более, что Фейнман через вектор-потенциалы вычисляет именно напряжённости ЭМ полей. Но, насколько это сложно для многих учёных, видно потому, что идёт полное замалчивание теории и уравнений, обоснованных в [3].

Необходимо при этом отметить, что не стоит безоговорочно отмечать систему классических Ур.М, так как она даёт вполне приемлемые результаты в некоторых частных упрощённых случаях и с учётом некоторых подгонных математических подходов. Например, когда можно пренебречь некоторыми процессами преобразования, особенно для теории сред, где не требуется детализация процессов, а можно уже взять, как бы исходной величиной образования электрического поля – заряд, не вдаваясь в подробности его образования. Действительно, введение разрыва на границе раздела сред приводит к формированию как бы отдельного существования электрической и магнитной компонент из-за сдвига фаз при распространении ЭМ волны, но на практике это позволяет не вдаваться в подробности взаимодействия падающих и отражённых ЭМ волн, а иметь сразу достоверный результат. Одновременно физика арифметического сложения и вычитания для падающих и отражённых волн также должна была дать парадокс, так как вычитание напряжённостей электрических и магнитных компонент при равных

амплитудах фактически должна была дать их взаимное уничтожение, то есть превращение в ноль, тогда сразу встаёт вопрос: «А что же тогда может распространяться после обнуления, если компоненты полностью скомпенсированы?» Но в некоторых практических случаях не интересно само внутреннее преобразование, а важен результат.

$$\operatorname{rot} \operatorname{rot} \mathbf{H} = \varepsilon_0 \partial / \partial t \operatorname{rot} \mathbf{E} + \operatorname{rot} \mathbf{j}, \quad \operatorname{rot} \operatorname{rot} \mathbf{E} = -\mu_0 \partial / \partial t \operatorname{rot} \mathbf{H} \quad (3)$$

В разделе 1.11 [3] при выводе волновых уравнений нами отмечена некорректность такого подхода. Так как в физике применение силового воздействия связано с изменением природы объекта (так как силовое воздействие приводит либо к распаду объекта, либо к его изменению путём добавления или удаления кинетической энергии) и получением новых связей, а в математике – это просто соблюдение равенства, не дающее изменение объекта. При этом в физике не бывает действия без противодействия и

операция rot не может возникнуть из ничего. И если эту операцию ввели, то мы обязаны охарактеризовать объект, который дал это изменение, и соответственно рассмотреть ответную реакцию на этот объект. Также отметим, что перестановка переменных, применимая в математике, не является применимой в физике, так как это вообще-то означает возможность появления вечного двигателя, в силу того, что возврат возможен по тому же самому пути без преобразования энергии и перехода количества в новое качество. То есть, применение силового воздействия не изменяет объект, и поэтому возможно, применить одну операцию, а потом другую и наоборот, а результат один и тот же (иными словами здесь нет цикла Карно по преобразованию энергии). Но мы в первой гл. книги в разделе 1.11 [3] показали, что конечный результат в получении волновых уравнений совпадает в силу симметрии процессов, происходящих в противоположностях, хотя и имеет несколько иную природу. Поэтому рассмотрим дальнейшие преобразования, помня о допущенной абстракции, и далее внося с учётом этого соответствующие коррекции. Заменяем входящие в правые части величины $\operatorname{rot} \mathbf{H}$ и $\operatorname{rot} \mathbf{E}$ значениями, вытекающими из первых двух Ур.М:

$$\operatorname{rot} \operatorname{rot} \mathbf{H} + \varepsilon_0 \mu_0 \partial^2 / \partial t^2 \mathbf{H} = \operatorname{rot} \mathbf{j}; \quad (4)$$

$$\operatorname{rot} \operatorname{rot} \mathbf{E} + \varepsilon_0 \mu_0 \partial^2 / \partial t^2 \mathbf{E} = \mu_0 \partial \mathbf{j} / \partial t \quad (5)$$

Далее используется известная математическая формула по преобразованию $\operatorname{rot} \operatorname{rot} \mathbf{F} = \operatorname{grad} \operatorname{div} \mathbf{F} - \nabla^2 \mathbf{F}$. С точки зрения абстрактной математики – это верно, но с точки зрения физики в результате воздействия с правой и левой стороны этого уравнения будут совершенно разные величины, так как здесь воздействия разные, это и будет показано несколько ниже. Поэтому и возникла необходимость использования вектор-потенциалов. Но указанный нами парадокс в классической электродинамике игнорируется, и поэтому $\operatorname{rot} \operatorname{rot} \mathbf{H} = \operatorname{grad} \operatorname{div} \mathbf{H} - \nabla^2 \mathbf{H}$. С учётом

Рассмотрим более подробно весь способ получения решения системы уравнений при излучении. Здесь используется применение операции rot к обеим частям системы уравнений (1) для первой строки. Тогда при рассмотрении процессов в вакууме при $\varepsilon=1$ и $\mu=1$ имеем:

$\operatorname{div} \mathbf{B} = 0$ имеем $\operatorname{rot} \operatorname{rot} \mathbf{H} = -\nabla^2 \mathbf{H}$. Суть ошибки здесь в том, что один из ранее существовавших компонентов при операции rot бесследно исчез, а это уже – эквивалентно чуду. Для электрической компоненты имеем $\operatorname{rot} \operatorname{rot} \mathbf{E} = \operatorname{grad} \operatorname{div} \mathbf{E} - \nabla^2 \mathbf{E}$. Также с учётом $\operatorname{div} \mathbf{D} = \rho$ получаем $\operatorname{rot} \operatorname{rot} \mathbf{E} = 1/\varepsilon_0 \operatorname{grad} \rho - \nabla^2 \mathbf{E}$. В результате имеем систему уравнений вида

$$\nabla^2 \mathbf{H} - 1/c^2 \partial^2 / \partial t^2 \mathbf{H} = -\operatorname{rot} \mathbf{j} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \nabla^2 \mathbf{E} - 1/c^2 \partial^2 / \partial t^2 \mathbf{E} &= 1/\varepsilon_0 \operatorname{grad} \rho - \mu_0 \partial \mathbf{j} / \partial t = \\ &= c\mu_0 \operatorname{grad} \rho - \mu_0 \partial \mathbf{j} / \partial t = \mu_0 (\partial c\rho / \partial t - \partial \mathbf{j} / \partial t) = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Уже 1-е уравнение (6) имеет неоднозначность, так как при рассмотрении стационарных магнитных полей имеем $\nabla^2 \mathbf{H} = -\operatorname{rot} \mathbf{j}$. Иными словами одна и та же величина имеет две разные закономерности. Аналогичная ошибка и во 2-м уравнении (7), когда при $\mathbf{E} = -\operatorname{grad} \varphi$ в классической электродинамике имеется уравнение статического электрического поля вида $\nabla^2 \varphi = -\rho/\varepsilon_0$ и уравнение Даламбера $\nabla^2 \varphi - 1/c^2 \partial^2 / \partial t^2 \varphi = -\rho/\varepsilon_0$. В этом случае получаем $\nabla^2 \mathbf{E} - 1/c^2 \partial^2 / \partial t^2 \mathbf{E} = 1/\varepsilon_0 \operatorname{grad} \rho$, тогда член $-\mu_0 \partial \mathbf{j} / \partial t$ здесь ни при чём, так как он не входит в уравнение Даламбера в силу того, что $\mathbf{E} = -\operatorname{grad} \varphi - \partial \mathbf{A} / \partial t$ и $\operatorname{div} \mathbf{A} = 0$. Фактически $1/\varepsilon_0 \operatorname{grad} \rho - \mu_0 \partial \mathbf{j} / \partial t$ есть ни

что иное, как уравнение непрерывности с перестановкой плотности тока и заряда, и по сути, для выполнения закона сохранения количества энергии оно должно равняться нулю. В противном случае при неравенстве, значение напряжённости электрического поля E и разность должны определяться не значением ρ и \mathbf{j} , а значениями ε_0 и μ_0 , которые являются константами, связанными со значениями длины и времени. А они в свою очередь также связаны зависимостью $l = ct$, что также не даёт изменения разности из-за константы в скорость света. Отсюда понятно, что использование в уравнении (7) реальных токов и зарядов будет означать преобразование заряда в напряжённость излучаемого ЭМ поля, а это противоречит условию сохранения заряда как константы. Аналогично замкнутость тока означает, что, сколько в узел тока втекает, столько и вытекает, поэтому $-\operatorname{rot} \mathbf{j} = 0$. Надо отметить, что учёные поняли эту ошибку, поэтому, магнитное поле

стали искать от некоего стороннего тока, который выступает как источник излучения, например, в виде:

$$\mathbf{H}_m(\mathbf{r}) = 1/(4\pi) \int_V \text{rot}' \mathbf{j}_m^{\text{ct}}(\mathbf{r}') / |\mathbf{r} - \mathbf{r}'| e^{-ik|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} dv'$$

Однако, переход к сторонним токам не решает проблему, так как фиктивность на самом деле означает ноль, ведь надо тогда предположить, реальный физический эквивалент, а его при подходе через одно абсолютное пространство и время попросту нет.

Отметим также, что мы получили несимметричный вид для значений E и H, а это фактически означает несимметричность в параметрах излучения величин E и H, – чего на практике не наблюдается (этой ошибки нет уже при использовании электродинамических потенциалов, то есть всё равно не удалось избежать противоположной системы наблюдения).

Совершенно иное решение будет, если использовать исключение парадоксов классических Ур.М с использованием фиктивных токов, которые являются реальностью в противоположной пространственно-временной системе и соответствуют представлению ЭМ поля в нашей пространственно-временной системе, и что фактически было отображено через электродинамические потенциалы. В этом случае учитываем, что

$\text{rot rot } \mathbf{F} = \text{grad div } \mathbf{A} - \nabla^2 \mathbf{A}$. Аналогично учитываем, что дифференцирование по времени с подстановкой и перестановкой переменных также приводит к изменению первоначальной величины. В итоге, учитывая сказанное, получим:

$$\nabla^2 \mathbf{M} - 1/c^2 \partial^2 \mathbf{M} / \partial t^2 = -\text{rot } \mathbf{j}_E + c\mu_0 \text{grad } \mathbf{j}_H - \mu_0 \partial \mathbf{j}_H / \partial t. \quad (8)$$

Мы считаем, что $1/\epsilon_0 \text{grad } \rho = c\mu_0 \text{grad } \rho = c\mu_0 \text{grad } \mathbf{j}_H$. По аналогии, учитывая принцип взаимности, симметрии (также введены до нас в электродинамике и также используются для электродинамических потенциалов) и то, что противоположности, в зависимости от системы наблюдения, переходят друг в друга, имеем:

$$\nabla^2 \mathbf{P} - 1/c^2 \partial^2 \mathbf{P} / \partial t^2 = \text{rot } \mathbf{j}_H + c\epsilon_0 \text{grad } \mathbf{j}_E - \epsilon_0 \partial \mathbf{j}_E / \partial t. \quad (9)$$

Отметим, что формулы (8) и (9) рассматриваются по отдельности, в противоположных системах наблюдения, иначе получить формулу (9) при представлении констант

электрической ϵ_0 и магнитной μ_0 проницаемостей от единой системы наблюдения невозможно. Поэтому системы наблюдения и координаты в формулах (8) и (9) не совпадают. Значения M и P (как мы увидим далее, при отображении их через D и B) отражают реальные ЭМ поля в нашей пространственно-временной системе. а величины $\text{grad } \mathbf{j}_E$ и $\text{grad } \mathbf{j}_H$ имеют направление перпендикулярное к плоскости значений роторов. Допущение одной общей системы координат для этих двух формул

означало бы, что ϵ_0 и μ_0 не подчиняются принципу взаимозаменяемости и возможно существование в одной системе как электрических, так и магнитных зарядов, а это противоречит представлению электрических и магнитных сил как противоположностей. Это связано с тем, что,

например, если у нас есть $\text{rot } \mathbf{j}_H$, то значение $\text{grad } \mathbf{j}_H$ может быть только перпендикулярно по отношению к $\text{rot } \mathbf{j}_H$ от проекции на третью координату, и фактически у нас бы существовали как электрические, так и магнитные заряды в силу возможности существования в одной общей системе координат сразу трёх проекций по каждой противоположности.

Разница между \mathbf{j}_E и \mathbf{j}_H соответствует разнице между противоположностями, связанными через скорость света, аналогично значениям напряжённостей полей E и H, которые рассматриваются в одной общей системе координат. Практически, чтобы это соблюсти координаты длины и времени в противоположностях в формулах (8) и (9), при наблюдении из противоположной системы, меняются местами. Для того, чтобы получить соответствие между \mathbf{j}_E , \mathbf{j}_H и E, H надо представить

$$c \text{grad } \mathbf{j}_H = ic \text{grad}(H_t), \quad a \quad c \text{grad } \mathbf{j}_E = ic \text{grad}(E_t).$$

Здесь Ht и Et – проекции напряжённостей электрических и магнитных полей на время. Соответственно, мы можем все значения величин \mathbf{j}_E и \mathbf{j}_H заменить на проекции электрических и магнитных полей E и H, так как по сути это оказывается одно и то же, но с учётом разницы связанной

с рассмотрением \mathbf{j}_E и \mathbf{j}_H из противоположных систем наблюдения, а E и H – из одной общей системы наблюдения. Иными словами, в уравнениях (8) и (9) противоположности – правые и левые части уравнений. Отсюда векторный вид усовершенствованных Ур.М можно представить как

$$-1/\mu_0 \text{rot } E - ic \text{grad } H_t - \partial H / \partial t = 0, \quad 1/\epsilon_0 \text{rot } H - ic \text{grad } E_t + \partial E / \partial t = 0.$$

Это связано с наблюдением пространственно-временных ПЛ, и при этом для ортогональности следует умножение величин проекций на время на мнимую единицу ($i=(-1)^{1/2}$). В уравнениях (8) и (9), как слева, так и справа, наблюдается равенство от изменений и независимость левой и правой частей как противоположностей. Собственно это связано с соблюдением закона сохранения количества в обеих противоположных пространственно-временных системах. Если уравнение Даламбера должно равняться нулю, т.е.

$$\nabla^2 \mathbf{A} - 1/c^2 \partial^2 \mathbf{A} / \partial t^2 = 0,$$

иначе изменения по пространству функции A не будут равны изменению dt, а это нарушение уравнения Умова-Пойтинга по закону сохранения количества, так как дифференцирование уравнения Умова-Пойтинга не может привести к неравенству. Аналогично и члены в правой части уравнения также дают ноль в силу того же условия. Однако противоположности не могут существовать друг без друга, и две противоположных величины \mathbf{j}_E и \mathbf{j}_H в одной системе дают одну общую величину, например E в другой системе, что и будет показано в дальнейшем. Ещё раз отметим основную особенность вывода уравнений (8) и (9), по которому принцип равенства излучаемых электрических и магнитных составляющих требует наличия симметрии и взаимности, а это означает подобие уравнений. Но решить эту проблему в рамках абсолютной пространственно-временной системы невозможно, так как не будет самого наличия противоположностей между электрической и магнитной компонентами из-за полной симметрии. Иными словами в этом слу-

чае в абсолютном пространстве и времени присутствовали бы и магнитные заряды наряду с электрическими зарядами, и мы бы имели полную схожесть. Поэтому для решения парадокса только и остаётся, что ввести противоположную пространственно-временную систему, в которой существовали бы магнитные заряды, и это бы решало проблему симметрии.

Наличие КВД в любом объекте, а также принцип симметрии и взаимности наталкивает на мысль, что должен быть однозначный переход от волновых свойств к корпускулярным свойствам, и наоборот, при переходе от системы наблюдения в одной противоположности к другой, которая связана с первой через скорость света. В разделе 1.11 [3] мы рассмотрели, как взаимодействие нейтрино и антинейтрино обеспечивает переход к волновым уравнениям. Тогда, возникает вопрос о правомочности известного векторного уравнения Даламбера вида $\nabla^2 \mathbf{A} - 1/c^2 \partial^2 / \partial t^2 \mathbf{A} = \mu_0 \mathbf{j}$, так как, в этом случае, изменения по времени не равняются изменениям по пространству (т.е. аргументы по переменным от одной функции уже не равны по величине друг другу, и это приводит к нарушению уравнения фронта волны, что означает отсутствие равного взаимного преобразования и наличие разных функций по величине). Иными словами имеем неоднозначность, когда в одном случае уравнение Даламбера равно $-\text{rot } \mathbf{j}_E + c\mu_0 \text{grad } \mathbf{j}_H - \mu_0 \partial \mathbf{j}_H / \partial t$, а

в другом случае $\mu_0 \mathbf{j}$. Такая неоднозначность может быть решена только из наличия 2-х противоположных систем, в которых равенство в одной системе даёт неравенство в другой. Действительно, вектор-потенциалы фактически и являются объектами той противоположной системы, в которой равенство заменяется на неравенство. Вспомним первоначальные допущения для вектор-потенциалов.

Во-первых, 1-е допущение касается уравнения $\text{rot } \mathbf{A} = \mathbf{B}$. Практически такое равенство означает неравенство дифференциалов ротора (под дифференциалами должны стоять разные функции, а не одна общая), а это противоречит самому существованию ротора. Фактически – это есть запись стационарного магнитного поля $\text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{j}$, но она имеет несколько иную интерпретацию, по которой замкнутое движение величины \mathbf{A} в противоположной пространственно-временной системе (а к наличию необходимости такой системы мы пришли в преды-

дущих рассуждениях) даёт формирование магнитной индукции \mathbf{B} . Следует вспомнить, что по нашей теории вычитание компонент (обнуление) соответствует замкнутости, так как реальное обнуление привело бы к чуду исчезновения в ничто. Однако при этом замкнутый на себя объект невозможно обнаружить, поэтому, замкнутому движению по координатам в одной противоположности соответствует прямолинейное незамкнутое движение в другой противоположности (не замкнутость по координате достигается замкнутостью по координате длины и времени на основе уравнения непрерывности).

Во-вторых, 2-е допущение касается уравнения $\mathbf{E} = -\text{grad } \varphi - \partial \mathbf{A} / \partial t$, которое противоречит уравнению непрерывности $\partial(\text{div } \mathbf{D}) / \partial t + \text{div } \mathbf{j} = 0$. При разложении по частным производным вектор-потенциала, Фейнман в [9] использовал вместо φ проекцию на время A_t , и запись представлял в виде $E_z = -\partial A_t / \partial z - \partial A_z / \partial t$. Однако в этом случае A_t и A_z имеют разную размерность и более правильным было бы, с учётом $\varphi/c = \mathbf{A}$, записать $E_z = -c\partial A_t / \partial z - \partial A_z / \partial t$, что соответствует варианту вектор-потенциала \mathbf{A} одинаковой размерности. То есть, на самом деле 2-м допущением для вектор-потенциалов фактически введена замена разности на сумму при переходе в противоположность. Это собственно и следовало из нашей теории, поэтому при перестановке переменных дифференцирования, что как раз и соответствует смене системы наблюдения, мы имеем результат, соответствующий уравнению непрерывности $1/c \partial \varphi / \partial t + \text{div } \mathbf{A} = 0$. Иными словами равенство дифференциалов при наблюдении от системы по координатам длины превратилось в неравенство при наблюдении из противоположности по координате времени. Сравнивая записи для \mathbf{E} и \mathbf{B} , мы можем обратить внимание на то, что электрические и магнитные поля как противоположности характеризуются и создаются двумя видами движения в противоположной системе наблюдения – это замкнутое движение и прямолинейное движение. Кроме того, при разложении векторного представления на конкретные проекции по координатам и времени, мы можем обратить внимание на то, что, например, магнитное поле будет определяться как сумма от вектор-потенциалов φ и \mathbf{A} . При этом, если рассматривать сложение компонент магнитного поля от противоположностей, то имеем:

$$cE_z + H_z = -c\partial(cA_t) / \partial z - \partial(cA_z) / \partial t + 1/\mu_0(\partial A_x / \partial y - \partial A_y / \partial x) = \\ = -c\partial\varphi_t / \partial z - \partial\varphi_z / \partial t + 1/\mu_0(\partial A_x / \partial y - \partial A_y / \partial x).$$

$$\text{Далее имеем: } B_z = \mu_0 2H_z = -\mu_0(c\partial\varphi_t / \partial z + \partial\varphi_z / \partial t) + (\partial A_x / \partial y - \partial A_y / \partial x).$$

Таким образом, мы видим, что уже при интуитивном вводе вектор-потенциалов в электродинамике было уже узаконено использование проекции на время, а также сам вид уравнений (8) и (9). Здесь легко прослеживается соответствие между φ , \mathbf{A} , и \mathbf{j}_E , \mathbf{j}_H .

Если рассматривать сложение и вычитание ЭМ полей, возникает вопрос: «В каком случае возможно превра-

щение равенства в неравенство?» Ответ легко увидеть исходя из ПЛ, что и было нами показано в разделе 3.13 по формулам (3.92) и (3.96) [3], где дифференцирование по переменным не может привести к равенству между дифференциалами, так как функции разные и их, кстати, и можно считать функциями вектор-потенциалов \mathbf{A} и φ . Таким образом, даже не предполагая о наличии противоположной пространственно-временной системы, связанной с нашей через скорость света, физики вынуждены были

ввести её через вектор-потенциалы. Однако как быть с уравнением Даламбера вида $\nabla^2 \mathbf{A} - 1/c^2 \partial^2 / \partial t^2 \mathbf{A} = \mu_0 \mathbf{j}$. Оно явно не соответствует волновому уравнению и распространению волнового фронта, а также нарушает закон сохранения количества. Аналогично это относится и к уравнению в виде $\nabla^2 \varphi - 1/c^2 \partial^2 / \partial t^2 \varphi = \rho / \epsilon_0$, которое получается из условия $c\rho / \epsilon_0 = \mathbf{j} / \epsilon_0 = c^2 \mu_0 \mathbf{j}$ и $\varphi = c\mathbf{A}$. Действительно, для варианта решения неравенства необходимо наличие либо разных функций, например, $\text{ch}(a)$ и $\text{sh}(a)$, либо различие в аргументах функций $\text{ch}(a_1)$ и $\text{ch}(a_2)$. Причём, если рассматривать периодические волновые функции $\cos(a)$ и $\sin(a)$, то тогда, либо правая часть уравнения также становится периодической, а это бы означало, что, например заряд меняется во времени со сменой знака, либо нарушаются условия, при котором возможно распространение фронта волны со скоростью света, т.е. $r-ct \neq 0$. Вот, поэтому и ввели фиктивные вектор-потенциалы, так как реальные ЭМ составляющие должны подчиняться равному изменению по пространству и времени. Не меняя сути самих уравнений, перейдём к наличию 2-х противоположностей (функций), связанных через скорость света, например, при $\varphi / c = \mathbf{A}$, к уравнению в виде $\nabla^2 \varphi - 1/c \partial^2 / \partial t^2 \mathbf{A} = c\mu_0 \mathbf{j}$. Понятно, что мы в этом случае не имеем уравнения Даламбера, а имеем новое уравнение, которое отражает реальное неравенство между противоположными величинами (функциями). Это более соответствует истине, так как изменению по пространству одной величины соответствует изменение по времени другой величины, т.е. здесь есть взаимный переход между противоположностями с вмешательством 3-й величины. В уравнении Даламбера мы фактически убрали наличие противоположностей, так как изменение одной величины по пространству приводило к изменению этой же величины и по времени, т.е. внешнее воздействие, дающее изменение, здесь никак не могло изменить сам объект. Также по аналогии получается уравнение $\nabla^2 \varphi - 1/c \partial^2 / \partial t^2 \mathbf{A} = \rho / \epsilon_0$. Учитывая, что $\rho / \epsilon_0 = c\mu_0 \mathbf{j}$ мы имеем полное соответствие и равенство, только в одном случае уравнение относится к так называемому заряду, а в другом случае к току. Иными словами, одно и то же уравнение в противоположностях выражает или динамику или статику. Причем, в одном случае разницей выступает кинетическая энергия, а в другом случае – потенциальная энергия. Поэтому, чтобы перейти от уравнения Даламбера с вектор-потенциалом \mathbf{A} к уравнению с вектор-потенциалом φ мы использовали умножение на скорость света, т.е. перешли в противоположную систему. Таким образом, равенство, превращается в неравенство. Соответственно, в случае глобальных противоположностей, мы можем исходить из их дифференциальной связи, и тогда, если, например, φ изменяется как гиперболический \cos , то \mathbf{A} – как гиперболический \sin , соответственно правая часть уравнения сводится в этом случае к значению единицы. А для частных случаев может добавляться и разница в аргументах этих функций. По аналогии мы можем записать наши уравнения в виде

$$\nabla^2 \mathbf{P} - 1/c \partial^2 / \partial t^2 \mathbf{M} = \mathbf{j}_0, \quad \nabla^2 \mathbf{M} - 1/c \partial^2 / \partial t^2 \mathbf{P} = \mathbf{j}_1. \quad (10)$$

Следует иметь в виду, что дифференциальные члены с \mathbf{P} и \mathbf{M} принадлежат разным противоположным системам наблюдения, а чтобы сделать общую систему наблюдения необходимо провести дифференцирование одного из членов, так как для того чтобы перейти в противоположность надо ввести изменения, а это выражается через дифференцирование (о такой взаимосвязи противоположностей мы говорили многократно). То есть, например, $\mathbf{P} = \partial \mathbf{M} / \partial t$. В итоге получим $\nabla^2 \mathbf{P} - 1/c \partial \mathbf{P} / \partial t = \mathbf{j}_0$. После преобразования с учётом $m_0 = 1/c$ имеем $1/(m_0)(\nabla^2 \mathbf{P}) - \partial \mathbf{P} / \partial t = c\mathbf{j}_0 = U$. Это уравнение похоже на уравнение Гамильтона-Якоби, здесь не хватает только коэффициента $1/2$ при операторе ∇ , и кроме того, надо использовать функцию \exp в качестве решения. В уравнении $\nabla^2 \mathbf{P} = (\nabla \mathbf{P})^2$ представим \mathbf{P} как волновую функцию, получим $\mathbf{P} = \mathbf{P}_1[\exp i(p_1 r - Et)/2] = \mathbf{P}_1[\exp i(m_0 V r - Et)/2]$. Тогда при решении дифференциального уравнения можно получить соответствующий коэффициент, равный двум. Суть наличия такого коэффициента следует из правила противоположностей, по которому разность в одной противоположности означает единый объект (сумму) в другой противоположности. При этом полное вычитание в одной противоположности даёт удвоение величины в другой, а иначе надо было бы найти источник, в котором энергия исчезает. Собственно это правило работает при интерференции волн, так как если бы не было противоположности с сохранением энергии, то при вычитании ЭМ составляющих никакая энергия дальше распространяться в принципе бы не могла, так как равнялась бы нулю. Но так как на практике взаимного поглощения энергии при интерференции не происходит, и волна распространяется дальше, то для сохранения энергии надо иметь противоположность со сложением энергии. Иными словами наличие противоположности уже заложено в распространении ЭМ волны.

В соответствии с нашей теорией и само дифференцирование или интегрирование связано с умножением на мнимую единицу, что говорит о переходе в противоположность. Одновременно это означает, что именно изменение волновых свойств даёт корпускулярные свойства. В итоге получим $m_0 V^2 / 2 + E = 2U = T$. С нормировкой на 2 мы всегда сталкиваемся при переходе из одной противоположности в другую, так как происходит либо объединение, либо разъединение. Это кстати мы покажем несколько ниже. Теперь надо обратить внимание на возможность замены значения $c\mathbf{j}_0$ на потенциальную энергию U . Такая замена связана с тем, что член $c\mathbf{j}_0$ можно представить как $c\mathbf{j}_0 = \rho c^2 = mc^2$, иными словами получаем пространственно-временное искривление, а именно это и есть потенциальная энергия. Собственно также можно обратить внимание и на то, что полученное

уравнение будет также соответствовать уравнению Шредингера вида $\nabla^2 \mathbf{P} - i/c \partial \mathbf{P} / \partial t = \mathbf{j}_0$ (наличие мнимой единицы связано с тем, что понизив дифференцирование для перехода к общей функции, в соответствии с нашей теорией, необходимо добавочное умножение на мнимую единицу). При этом в качестве функции решения надо брать функцию $\mathbf{P} = \mathbf{P}_1 [\exp(m_0 V r - Et) / 2]$. Понятно, что здесь не требуется вводить нормировочный коэффициент в виде постоянной Планка, так как равенство получается и без него. Возникает вопрос: «А почему в качестве решения мы выбираем экспоненциальные функции, а не какие-нибудь другие?» Ответ заключается в том, что условие равенства означает замкнутость, т.е. объект сохраняет свой вид, несмотря на изменения, а для этого необходимо, чтобы ни дифференцирование, ни интегрирование не изменяло саму функцию, т.е. объект оставался тем, чем он был до этого.

$$1/\varepsilon_0 (\partial H_x / \partial y - \partial H_y / \partial x) = i\mu_0 (\partial E_t / \partial r + \partial E_r / \partial t) = -ic \text{grad } E_t + \partial E_r / \partial t$$

Здесь мы учитываем правила нашей теории, поэтому вводим умножение на мнимую единицу при переходе в противоположность, и заменяем проекции по координатам проекцией на время. Далее учитываем, что направления в противоположностях не совпадают. Функции от противоположностей получаются за счёт изменения (в данном случае) дифференцирования, и добавляется умножение на мнимую единицу, т.е. $E_r = i \text{grad } E_t$. В результате имеем $i2\mu_0 \partial E_t / \partial r = -c \partial^2 E_r / \partial r^2 + \partial E_r / \partial t$. Далее получаем $i2\mu_0 \partial E_t / \partial r = (-1/m_0 \partial^2 E_r / \partial r^2 + \partial E_r / \partial t)$. При $E_r = [\exp(m_0 V r - Et) / 2]$ и дифференцировании с дополнительным умножением на мнимую единицу в соответствии с нашей теорией мы получаем $i4\mu_0 \partial E_t / \partial r = (m_0 V^2 / 2 + i E)$. Таким образом изменение кинетической энергии движения частицы в нашей системе наблюдения определяется наличием изменений ЭМ поля по всем четырём направлениям (с учётом времени, умноженного на скорость света) от противоположной системы.

Учитывая нашу теорию, мы можем формулу $m_0 V^2 / 2 = T - E$ представить в несколько ином виде, ведя наблюдение из противоположности. Тогда при $m_0 = 1/c$ мы имеем $V^2 = 2c(T - E) = c^2 - v^2 = 2cS$, помня, что скорость не может превышать скорость света. А далее имеем результат $M_p / M_e = c/S = 2/(1 - v^2/c^2)$ в соответствии с формулой 3.22 раздела 3.6 [3]. Иными словами, мы видим, что кинетическая энергия частицы в одной противоположности преобразуется в потенциальную энергию в другой, что и выражается в разнице масс протона и электрона. Отсюда становится понятно, каким образом появился коэффициент, равный 2 при нашем вычислении отношения массы протона к массе электрона в зависимости от скорости в противоположности.

Сравнение уравнения Гамильтона-Якоби и уравнения Шредингера мы провели в разделе 1.10. [3]. Теперь необходимо отметить следующий факт, что произведённые нами преобразования дифференциальных уравнений строго следуют из наличия в каждом объекте КВД, так как само наличие таких объектов требует взаимосвязи корпускулярных и волновых свойств, при взаимном преобразовании с условием закона сохранения количества, иначе бы объект распался. Вот поэтому изменения в корпускулярном виде соответствуют изменениям в волновом виде, и отсюда становится возможным преобразование волнового уравнения в уравнение Гамильтона-Якоби.

Аналогично мы можем вывести корпускулярное движение и на основе усовершенствованных Ур.М $1/\varepsilon_0 \text{rot } H_r - ic \text{grad } E_t + \partial E_r / \partial t = 0$. Надо помнить, что в противоположности разность меняется на сумму, тогда при представлении по координатам длины имеем

В конце раздела 2.17, исходя из формул (2.57) и (2.58) [3], мы критиковали тождественные записи вида $\nabla^2 \mathbf{A} - 1/c^2 \partial^2 / \partial t^2 \mathbf{A} = 4\pi \mathbf{j} / c$ и $\text{rot } \mathbf{H} - 1/c \partial \mathbf{D} / \partial t = 4\pi \mathbf{j} / c$ в силу неоднозначности этих уравнений с левой стороны, так как две разные величины при разных законах дают справа одну и ту же величину. Кроме того, получается что $\nabla^2 \mathbf{A} = \partial / \partial r (\text{rot } \mathbf{H}) = 0$, так как по современным классическим представлениям $\text{div rot } \mathbf{F} = 0$. Разрешение этого парадокса именно в том, что изначально принимается неравенство дифференциальных членов от ротора, т.е., по-сути, отсутствует замкнутость в соответствии с выбранным значением вектор-потенциала $\text{rot } \mathbf{A} = \mathbf{B}$, и присутствует как бы заряд, что собственно недопустимо для магнитного поля в нашей системе. Иными словами, получается, что физики были вынуждены ввести через вектор-потенциалы противоположную систему, в которой существует магнитный заряд. Таким образом, мы явно видим разную природу образования данных токов от разных величин, исходя из наблюдения от противоположных систем. Исходя из сделанных разъяснений, мы можем, формально написать систему подобную системе уравнений (3.111) из раздела 3.13.2 [3] для электродинамических потенциалов:

$$\mathbf{j}_1 = -\text{rot } \mathbf{j}_E + c\mu_0 \text{grad } \mathbf{j}_H - \mu_0 \partial \mathbf{j}_H / \partial t; \quad (11)$$

$$\mathbf{j}_0 = \text{rot } \mathbf{j}_H + c\varepsilon_0 \text{grad } \mathbf{j}_E - \varepsilon_0 \partial \mathbf{j}_E / \partial t. \quad (12)$$

Но \mathbf{j}_0 и \mathbf{j}_1 не соответствуют правым частям уравнений в качестве равенства, так как дифференциальные компоненты в правой части уравнений уже переходят друг в друга, а \mathbf{j}_0 и \mathbf{j}_1 отображают динамику преобразования в противоположной системе наблюдения. По-сути, \mathbf{j}_0 и \mathbf{j}_1 отображают решение дифференциальных уравнений вида $\nabla^2 \mathbf{P} - 1/c^2 \partial^2 / \partial t^2 \mathbf{P} = 0$ и $\nabla^2 \mathbf{M} - 1/c^2 \partial^2 / \partial t^2 \mathbf{M} = 0$. Иными словами при нали-

чии чисто волновых уравнений с условием распространения фронта ЭМ волны при изменении в динамике $\mathbf{P} = \mathbf{j}_0$ и $\mathbf{M} = \mathbf{j}_1$. Можно также учесть, что равенства в одной противоположности дают неравенства в другой, и именно такой результат отображают вектор-потенциалы, и тогда значения \mathbf{j}_0 и \mathbf{j}_1 отображают интенсивность полей в данной конкретной точке, что собственно не мешает им подчиняться волновым уравнениям. Чтобы понять это, распишем значения \mathbf{j}_E и \mathbf{j}_H через реальные функции с учётом нашей теории. Учтём, что \mathbf{j}_E и \mathbf{j}_H также как E и H – противоположности, и соответственно их функции должны быть комплексно-сопряжёнными либо обратными функциями, например, $\mathbf{j}_E = \exp(-ix)$, а $\mathbf{j}_H = \exp(ix)$; или $\mathbf{j}_E = \exp(-x)$, а $\mathbf{j}_H = \exp(x)$. Однако в уравнениях (11)

и (12) вид функции \mathbf{j}_E и \mathbf{j}_H одинаковый, т.е. $\mathbf{j}_E = \mathbf{j}_H$, а $\epsilon_0 = \mu_0$, так как здесь наблюдается полная симметрия противоположностей, а различие в виде комплексно-сопряжённых величин касается только \mathbf{j}_E и \mathbf{j}_H внутри са-

мых уравнений. Иными словами \mathbf{j}_E в уравнениях (11) и (12) выражаются в разном виде, а иначе самих противоположностей не было бы, и мы имели бы полный симметричный вид, и вопрос принадлежности уравнений (11) и (12) к разным противоположностям не стоял бы, так как у нас одна и та же величина выражалась бы одинаково и в той и другой противоположности. Теперь покажем их

связь с учётом значений $\epsilon_0 = v/c$ и $\mu_0 = 1/(cv)$. Тогда $c\epsilon_0\mathbf{j}_E c\mu_0\mathbf{j}_H = c(v/c)\mathbf{j}_E c/(cv)\mathbf{j}_H = 1$ или $c\epsilon_0\mathbf{j}_E = 1/(c\mu_0\mathbf{j}_H)$. Это означает, что переход в противоположность связан с представлением всех количественных значений в виде обратных функций. Чтобы понять это, сделаем упрощение выражения

$c\mu_0 \text{grad} \mathbf{j}_H - \mu_0 \partial \mathbf{j}_H / \partial t$ с учётом нашего представления констант электрической и магнитной проницаемостей, тогда:

$$c\mu_0 \text{grad} \mathbf{j}_H - \mu_0 \partial \mathbf{j}_H / \partial t = 1/v \partial(c\rho_H) / \partial(ct) - 1/(cv) \partial(c\rho_H) / \partial t$$

В итоге получим величину

$$c\mu_0 \text{grad} \mathbf{j}_H - \mu_0 \partial \mathbf{j}_H / \partial t = 1/v [\partial \rho_H / \partial t - \partial \rho_H / \partial t]$$

Теперь упростим выражение $c\epsilon_0 \text{grad} \mathbf{j}_E - \epsilon_0 \partial \mathbf{j}_E / \partial t$ и аналогичным образом имеем $c\epsilon_0 \text{grad} \mathbf{j}_E - \epsilon_0 \partial \mathbf{j}_E / \partial t = v [\partial \rho_E / \partial t - \partial \rho_E / \partial t]$.

Следовательно, мы видим, что скорость v входит в уравнения как обратная величина. Соответственно ρ_H и ρ_E , которые отражают одинаковые функции, и при переносе в противоположность, они меняются на комплексно-сопряжённые или обратные функции.

Образование новых объектов по нашей теории осуществляется через взаимодействие противоположностей, при рассмотрении от противоположности, как в прочем и представление через комплексно-сопряжённые и обратные функции. Кроме того разность в противоположности меняется на сумму. Собственно такое правило и было

причиной ввода в электродинамике вектор-потенциалов. Таким образом, чтобы получить новый объект надо сформировать взаимодействие противоположностей по правилам, которые мы ранее установили и использовали при выводе уравнений для электрона и протона. Тогда мы должны ротор $\text{rot} \mathbf{j}_H$ из уравнения (12) перенести в уравнение (11), причём разность в нём сменяется на сумму, а вид функции меняется на комплексно-сопряжённую или обратную функцию (здесь надо помнить, что любое количество x, в противоположности представляется как 1/x, а иначе иерархии мироздания в принципе не могло бы быть). Соответственно величина

$c\mu_0 \text{grad} \mathbf{j}_H - \mu_0 \partial \mathbf{j}_H / \partial t$, также переносится из уравнения (11) в уравнение (12) с соответствующей заменой разности на сумму и вида функций. В итоге при использовании комплексно-сопряжённых функций получим: $v[\exp(ix) + \exp(-ix)] + [\exp(ix) - \exp(-ix)] = 2v[\cos(x) + i \sin(x)]$.

В соответствии с нашей теорией имеем

$$D = E\epsilon_0 = 2vc/c \exp(ix) \tag{13}$$

Аналогичный вид будет и для другого уравнения

$$B = H\mu_0 = 2c^2/(cv)[\cos(x) - i \sin(x)] = 2c^2/(cv) \exp(-ix) \tag{14}$$

Если учесть, что преобразования велись от уравнений нейтрино и антинейтрино (они имеют спин равный 1/2), а результатом является распространяющаяся ЭМ волна (спин равный 1), то коэффициент равный 2 будет сокращён. Таким образом, мы видим, что результатом получения ЭМ компонент D и B в нашей системе, являются уравнения (11) и (12) от противоположной системы наблюдения, которые фактически и были введены через электродинамические потенциалы. При этом переменные длины и времени, которые были в системе уравнений (11) и (12) не являются таковыми в противоположной системе наблюдения, так как в этой системе переменные длины и времени соответствуют новым значениям подчиняющимся преобразованиям Лоренца-Минковского. Это мы могли бы увидеть, если бы вместо функций $\exp(ix)$ и $\exp(-ix)$ взяли бы функции $\exp(x)$ и $\exp(-x)$, что собственно соответствует рассмотрению объекта не в качестве волны, а в качестве корпускулы. В итоге в зависимости от значений аргумента cos и sin, которые могут соответствовать или длине или времени, мы можем получать разные результаты. В одном случае результат взаимодействия будет выражаться в стоячей ЭМ волне, и тогда компонента электрической напряжённости будет изменяться по длине, например, по закону cos, а по времени – по закону sin, а магнитная – наоборот. Это решает проблему образования стоячих ЭМ волн при интерференции в волноводе без разрывов на границе раздела сред. Либо мы имеем вариант, когда аргумент функций отражает и время и пространство, но проекции, например, cos относятся к проекциям на длину для электрической и магнитной напряжённости, а проекции sin относятся, например, к проекциям на время этих же напряжённостей. В итоге мы получаем распространяющуюся ЭМ волну. Как видно – результат зависит от системы наблюдения. И в данном случае мы рассматривали взаимодействие внутри одного и того же объекта, поэтому проводили уже сложение и вычитание известных составляющих.

Отметим, что здесь рассматривается динамика как бы в одной точке и соответственно выполняется уравнение Умова-Пойтинга, когда изменение во времени приводят к равному изменению в пространстве. Решение же волнового уравнения соответствует как бы перемещению со скоростью света фронта волны и, зная уровень в одной первой точке, мы прогнозируем уровень в другой точке относительно первой точки. Иными словами, мы видим, что везде соблюдается замкнутое преобразование по формулам Эйлера. Кроме того мы видим, почему уравнения нейтрино и антинейтрино отличаются на коэффициент равный $\frac{1}{2}$ от коэффициента равного 1 для ЭМ волны, что кстати не могут понять многие учёные мира. Также отметим, что вид уравнений (11) и (12) имеет право на существование в качестве равенств левой и правой части, с учётом использования для \mathbf{j}_E и \mathbf{j}_H функций вида $\exp(ix)$ и $\exp(-ix)$ только в случае системы из 4-х уравнений и 4-х разных функций, типа Ψ -функций, как в уравнениях Дирака (это обеспечивает полный замкнутый цикл при преобразовании). Соответственно математической операции ротора (rot) в данном случае быть не может, так как дифференцирование по координатам будет происходить от разных функций (величин). Теперь, мы можем видеть аналогию полученной системы с системой уравнений (3.111) раздела 3.13.2 [3] для электродинамических потенциалов при замене \mathbf{j}_0 и \mathbf{j}_1 на E и H (или cE и cH , собственно E и H – это напряжённости, которые выражаются через градиент изменения пространства и времени, так как ничего иного в пространстве и времени быть не может). Отличие касается лишь мнимой единицы, однако и это имеет обоснование, так как, по сути, в уравнениях (11) и (12) противоположности находятся по разные стороны от знака равенства. Здесь надо вспомнить ещё один факт, отмеченный нами в 1-й главе нашей книги в разделе 1.11 [3], и который игнорируется при использовании математической операции $\text{rot rot } \mathbf{F} = \text{grad div } \mathbf{A} - \nabla^2 \mathbf{A}$. Это касается того, что векторное представление при преобразованиях скрывает характер преобразования времени и координат друг в друга, как это было показано нами. Но, если это учесть (а также, что у нас операция div к величине под градиентом уже применена с учётом умножения на мнимую единицу), то в результате при разложении по конкретным координатам, мы получим систему уравнений, от которых возможен переход к известным уравнениям Дирака, а они соответствуют инвариантной форме записи в соответствии с формулой энергии Эйнштейна. Одновременно, вид уравнений зависит и от системы наблюдения, поэтому может быть вид как $0 = -\text{rot } \mathbf{j}_E + c\mu_0 \text{grad } \mathbf{j}_H - \mu_0 \partial \mathbf{j}_H / \partial t$, где так называемые величины токов отражают прямолинейное и замкнутое движение в противоположной системе координат, так и $1/\mu_0 \text{rot } E = ic \text{grad } H_t - \partial H / \partial t$, где мы уже имеем представление E и H в одной системе наблюдения через ЭМ составляющие. Иначе замкнутого преобразования по формулам Эйлера не получить, а это бы означало разомкнутость мироздания и соответственно чуда.

Ещё раз отметим, что интуитивный характер ввода учёными вектор-потенциалов и электродинамических потенциалов выражается и в том, что значения E и H от вектор-потенциалов и электродинамических потенциалов имеют разные уравнения. В случае с вектор-потенциалами $\mathbf{E} = -\text{grad } \varphi - \partial \mathbf{A} / \partial t$, т.е. в формировании электрического поля участвуют компоненты по взаимному обмену между пространством и временем, а для формирования магнитного поля участвуют компоненты только по замкнутому обмену по пространству $\text{rot } \mathbf{A} = \mathbf{B}$. Причём в одном случае мы имеем сумму, а в другом – разность. Одновременно при электродинамических потенциалах в формировании электрического и магнитного полей участвуют компоненты по взаимному обмену с замкнутым движением, как по пространству, так и по времени в виде $\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 = -i\omega/k^2 (\text{grad div } \mathbf{A}_3 + k^2 \mathbf{A}_3) - 1/\epsilon_a \text{rot } \mathbf{A}_m$. Исходя из выписанных нами уравнений (11) и (12), и с учётом того, что члены вида $-i\omega/k^2 (\text{grad div } \mathbf{A}_3 + k^2 \mathbf{A}_3)$ и $c\epsilon_0 \text{grad } \mathbf{j}_E - \epsilon_0 \partial \mathbf{j}_E / \partial t$ – это эквиваленты уравнения непрерывности. Отсюда следует вывод, что электродинамические потенциалы более верно отображают принцип формирования электрических и магнитных полей при рассмотрении процессов от противоположности, так как, например, запись $\text{rot } \mathbf{A} = \mathbf{B}$ вообще исключает взаимодействие электрических и магнитных составляющих, а также необходимость КВД, так как предполагает формирование магнитного поля только из одной компоненты A . Поэтому волновые уравнения, полученные от вектор-потенциалов, имеют независимый вид, как для заряда, так и для тока, а в нашем случае волновые уравнения по ЭМ составляющим зависят от взаимодействия противоположных величин в системе, связанной с нашей через скорость света. Иными словами хотя электрическая и магнитная составляющие ортогональны и как бы независимы в нашей системе, через противоположную систему они имеют взаимосвязь, и отсюда тогда становится понятно, почему одно не может существовать без другого. Собственно, волновые уравнения с A и φ аналогичны уравнениям с P и M в уравнениях (8) и (9), а уравнения с A_3 и A_m , аналогичны уравнениям со значениями \mathbf{j}_E и \mathbf{j}_H , и разница лишь в том, что вывод с P и M , \mathbf{j}_E и \mathbf{j}_H делался на основе полной симметрии Ур.М, что и позволило показать однозначную связь волновых свойств в одной противоположности с движениями в другой. Поэтому для вектор-потенциалов и электродинамических потенциалов не было получено вида уравнений (8) и (9), хотя сами уравнения по отдельности были выписаны. Соответственно при таком подходе значения \mathbf{j}_E и \mathbf{j}_H могут быть вычислены аналогично электродинамическим потенциалам. Перейти к реальным ЭМ функциям не сложно, если вспомнить систему уравнений (2), и что в соответствии с уравнением непрерывности, $\mathbf{P} = -ic\mathbf{D} = -ic\epsilon_0 \mathbf{E} = -iv\mathbf{E}$ и аналогично $\mathbf{M} = -ic\mathbf{B} = -ic\mu_0 \mathbf{H} = -i/v\mathbf{H}$. Тогда уравнения (8) и (9) можно переписать в виде

$$\begin{aligned}
 -i(\nabla^2 \mathbf{E} - 1/c^2 \partial^2 / \partial t^2 \mathbf{E}) &= 1/v(\text{rot } \mathbf{j}_H + c\varepsilon_0 \text{grad } \mathbf{j}_E - \varepsilon_0 \partial \mathbf{j}_E / \partial t) = \\
 &= c\mu_0 \text{rot } \mathbf{j}_H + \text{grad } \mathbf{j}_E - 1/c \partial \mathbf{j}_E / \partial t;
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

$$\begin{aligned}
 -i(\nabla^2 \mathbf{H} - 1/c^2 \partial^2 / \partial t^2 \mathbf{H}) &= v(-\text{rot } \mathbf{j}_E + c\mu_0 \text{grad } \mathbf{j}_H - \mu_0 \partial \mathbf{j}_H / \partial t) = \\
 &= -c\varepsilon_0 \text{rot } \mathbf{j}_E + \text{grad } \mathbf{j}_H - 1/c \partial \mathbf{j}_H / \partial t.
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

Из этих уравнений видно, что волновое ЭМ излучение в нашей системе координат соответствует изменению движения зарядов в противоположной системе координат, связанной с нашей через скорость света. Эти заряды можно назвать магнитными зарядами. Аналогично неравномерному движению так называемых электрических зарядов в нашей системе соответствует ЭМ излучение в противоположной пространственно-временной системе. Только таким образом можно объяснить у частицы наличие волны Луи де Бройля и стационарного электрического и магнитного поля. Уравнения (15) и (16) соответствуют

уравнениям (6) и (7) с той лишь разницей, что уравнения (6) и (7) не могут объяснить возникновение вторичных волн и огибание волной препятствия, так как отсутствие электрических зарядов и токов в так называемом вакууме очевидно. Кроме того по уравнениям (6) и (7) возможно раздельное существование электрической и магнитной составляющих в зависимости от вида движения, а это противоречит практике. Такой подход привёл к тому, что был получен антисимметричный вид для электрического и магнитного поля вибраторов Герца [10]:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{E} &= 1/r^3 \{3\mathbf{n}(\mathbf{n}\mathbf{p}) - \mathbf{p} + r/c[3\mathbf{n}(\mathbf{n}\dot{\mathbf{p}}) - \dot{\mathbf{p}}] + r^2/c^2[\mathbf{n}[\mathbf{n}\ddot{\mathbf{p}}]]\}, \\
 \mathbf{B} &= -1/(r^2 c)[\mathbf{n}\dot{\mathbf{p}}] - 1/(rc^2)[\mathbf{n}\ddot{\mathbf{p}}].
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

Здесь \mathbf{P} – дипольный момент в виде функции запаздывающего аргумента $t' = t - r/c$; $\mathbf{n} = \mathbf{r}/r$ – единичный вектор; точкой обозначено дифференцирование по времени. Это фактически означает, что переменное магнитное поле не наводит переменное электрическое, а

принцип образования статических электрических и магнитных полей связан с отдельными источниками, и тогда он не может быть объяснён даже с помощью виртуальных фотонов, которые также подчиняются взаимному наведению ЭМ полей.

Вывод наших уравнений был практически сделан в [11] и имеет вид в комплексном виде

$$\begin{aligned}
 \nabla^2 \mathbf{E} + k^2 \mathbf{E} &= -\mathbf{M}^{\text{э}}; \quad \nabla^2 \mathbf{E} + k^2 \mathbf{E} = -\mathbf{M}^{\text{м}}; \\
 \mathbf{M}^{\text{э}} &= -i\omega\mu_a \mathbf{j}^{\text{э}-cm} + 1/(i\omega\varepsilon_a) \text{grad div } \mathbf{j}^{\text{э}-cm} - \text{rot } \mathbf{j}^{\text{м}-cm}; \\
 \mathbf{M}^{\text{м}} &= -i\omega\varepsilon_a \mathbf{j}^{\text{м}-cm} + 1/(i\omega\mu_a) \text{grad div } \mathbf{j}^{\text{м}-cm} - \text{rot } \mathbf{j}^{\text{э}-cm}.
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

Здесь первые два уравнения – уравнения Гельмгольца относительно электрических и магнитных полей; $\mathbf{M}^{\text{э}}$ и $\mathbf{M}^{\text{м}}$ – векторные функции сторонних электрических и магнитных токов (у нас это в уравнениях (10) \mathbf{j}_1 и \mathbf{j}_0). Можно также увидеть аналогию между $\mathbf{j}^{\text{э}-cm}$, $\mathbf{j}^{\text{м}-cm}$ и \mathbf{j}_E , \mathbf{j}_H . Разница лишь в том, что правая часть с токами у нас представлена в соответствии с правыми частями уравнений (8) и (9), а в уравнениях (18) первые два члена в правых частях двух нижних уравнений $-i\omega\mu_a \mathbf{j}^{\text{э}-cm} + 1/(i\omega\varepsilon_a) \text{grad div } \mathbf{j}^{\text{э}-cm}$ и $-i\omega\varepsilon_a \mathbf{j}^{\text{м}-cm} + 1/(i\omega\mu_a) \text{grad div } \mathbf{j}^{\text{м}-cm}$ отражают волновой вид, как и левая часть уравнения. Эта несоответствие в сравнении с нашими уравнениями (8) и (9) связано с тем, что значения $\mathbf{j}^{\text{э}-cm}$ и $\mathbf{j}^{\text{м}-cm}$ в этих частях на самом деле отражают не производные 1-го порядка от величины вектор потенциала A, как для $\text{rot } \mathbf{j}^{\text{м}-cm}$ и $\text{rot } \mathbf{j}^{\text{э}-cm}$, ис-

ходя из наличия такого уравнения как $\mathbf{B} = \text{rot } \mathbf{A}$, а производные 2-го порядка исходя из уравнения $\phi = 1/(\omega\varepsilon_a \mu_a) \text{div } \dot{\mathbf{A}}$ с подстановкой его в уравнение $\dot{\mathbf{E}} = -\text{grad } \phi - i\omega \dot{\mathbf{A}}$. Отсюда получается, что токи $\mathbf{j}^{\text{э}-cm}$, $\mathbf{j}^{\text{м}-cm}$ в одном уравнении представляют собой величины разного порядка. Иными словами, здесь рассматривается дифференциальная связь между вектор-потенциалами ϕ и A, как противоположностей в динамике изменения, которые заменяются на значения $\mathbf{j}^{\text{э}-cm}$, $\mathbf{j}^{\text{м}-cm}$. В нашем случае как и в классическом случае (7) используется связь между противоположностями через скорость света $\phi/c = \mathbf{A}$, что позволяет рассматривать величины $\mathbf{j}^{\text{э}-cm}$, $\mathbf{j}^{\text{м}-cm}$ как величины одного порядка. Возникает вопрос: «Какой способ является более правильным?»

Если исходить из того, что разные величины должны давать и разные законы взаимодействия, то понятно, что волновой вид в правой и в левой части двух по-

следних уравнений (18) не даёт разницы в способе взаимодействия, а вот наши уравнения (8) и (9) такую разницу дают. Это конечно не значит, что уравнения (18) нельзя использовать, так как переход к нашим уравнениям достаточно прост – через дифференциальную связь, которая, кстати, существует между противоположностями (здесь также видно, что используется мнимая единица, которая обеспечивает перевод противоположностей в одну общую систему наблюдения). Но надо помнить, что здесь имеется неоднозначность в значениях $\mathbf{j}_{-cm}^{\varepsilon}$, \mathbf{j}_{-cm}^{μ} в последнем и предпоследнем уравнении (18), что говорит о представлении этих уравнений в противоположных пространственно-временных системах, так как в одной системе наблюдения они бы имели однозначное представление. Однако принцип взаимности и симметрии, а также отсутствие магнитных зарядов, говорит о том, что как в случае уравнений (18), так и в случае наших уравнений (8) и (9) используется рассмотрение из двух противоположных систем наблюдения. Поэтому мы можем говорить об эквивалентности записей. Проведённый анализ показывает, что частный случай классических записей (6) и (7), а также наши записи (8) и (9), и соответственно (18), отражают один и тот же волновой процесс изменения ЭМ составляющих за счёт движения в противоположности.

Напрашивается вывод, что так называемые противоположности в виде движущихся положительных и отрицательных зарядов за счёт изменения пространственно-

временных характеристик в нашей системе формируют ЭМ поле в противоположной пространственно-временной системе, а движущиеся заряды от противоположной пространственно-временной системы в виде так называемых сторонних токов формируют ЭМ поле в нашей системе. Отметим, что сама необходимость так называемых зарядов связана именно с наличием преобразований противоположных пространственно-временных систем (у нас это условные бытие и небытие) друг в друга. Для одной абсолютной пространственно-временной системы деление на так называемые заряды не несёт никакой смысловой необходимости. Ведь сущность заряда отражает знак перед значением массы покоя, и только в случае наличия противоположных систем сумма от аннигиляции даёт удвоение энергии, а не ноль. Вот поэтому математическая

операция $\text{rot rot } \mathbf{F} = \text{grad div } \mathbf{F} - \nabla^2 \mathbf{F}$ не является корректной с физической точки зрения, так как вводит неправильную зависимость образования нашего ЭМ поля от зарядов в той же системе, что и дало парадоксы в случае распространяющегося ЭМ поля. Корректной является операция

$\text{rot rot } \mathbf{F} = \text{grad div } \mathbf{A} - \nabla^2 \mathbf{A}$, что и было нами применено. Отсюда формулы (6) и (7) следует переписать в виде:

$$\nabla^2 \mathbf{H}^* - 1/c^2 \partial^2 / \partial t^2 \mathbf{H}^* = -\text{rot } \mathbf{j}_e + c\varepsilon_0 \text{grad } c\rho_p - \varepsilon_0 \partial \mathbf{j}_p / \partial t; \quad (19)$$

$$\nabla^2 \mathbf{E}^* - 1/c^2 \partial^2 / \partial t^2 \mathbf{E}^* = \text{rot } \mathbf{j}_p + c\mu_0 \text{grad } c\rho_e - \mu_0 \partial \mathbf{j}_e / \partial t \quad (20)$$

Здесь \mathbf{H}^* и \mathbf{E}^* – напряжённости ЭМ полей в противоположной пространственно-временной системе. Соответственно возникает вопрос: «А почему пространственно-временное искривление в одной противоположности не может дать сразу ЭМ составляющие в той же противоположности, что собственно и пытались делать физики?» Ответ заключается в том, что тогда бы объект мог быть замкнут сам на себя, и об излучении и поглощении не могло бы быть и речи. Иными словами такой объект представлял бы собой всё целое мироздание, и из-за замкнутости, его невозможно было бы обнаружить. Вопрос о необходимости вектор-потенциалов, электродинамических потенциалах и сторонних токах просто бы не возникал. Одновременно тогда бы в каждой точке пространства и времени для возбуждения вторичной ЭМ волны необходимо было бы наличие противоположных зарядов, а они, как известно, аннигилируют, т.е. в этом случае существовало бы только ЭМ излучение без корпускулярных свойств (были бы только волновые свойства). Наличие пространства из одного типа зарядов также некорректно, в силу того, что тогда из-за различия в скорости поступательного и вращательного движения получаются разные значения для напряжённостей электрических и магнитных полей как противоположностей, а это означает возможность существования одной противоположности без другой. В нашей теории этот дисбаланс между магнитной

и электрической индукцией легко решается за счёт противоположной пространственно-временной системы. В случае наличия одной абсолютной пространственно-временной системы невозможен принцип симметрии и взаимности, и этот парадокс никоим образом неразрешим. Собственно логика нашего подхода основывается на том, что пространственно-временное искривление в одной противоположности представляется волной в другой противоположности и наоборот, что собственно и показывают уравнения (15), (16) и (19), (20). Действительно, записи усовершенствованных Ур.М (2) показывают, что прямолинейному движению в одной противоположности в виде уравнения непрерывности, соответствует замкнутое движение в другой противоположности. Наличие так называемых положительных и отрицательных зарядов характеризует места обмена и преобразования между противоположностями, по схеме аналогичной в преобразованиях Лоренца-Минковского, когда время переходит в пространство и наоборот. Разница лишь в том, что заряды одной полярности характеризуют преобразование длины во время, а заряды другой полярности характеризуют преобразование времени в длину. Это собственно обеспечивает переход потенциальной энергии в кинетическую энергию, и наоборот. Мы не видим из одной противоположности (нашей пространственно-временной системы) весь замкнутый обмен между противоположностями, а только

одну половину этого обмена. В соответствии со сделанными разъяснениями напряжённости электрических и магнитных полей характеризуют пространственно-временные искривления противоположностей. Вот поэтому они независимы при совмещении. Наличие мест взаимного перехода в виде зарядов характеризует направление движения кинетической энергии (в виде волны в противоположности) от источника к поглотителю, которое представляется пространственно-временным искривлением. Так как кинетическая энергия движется от источника к поглотителю, то два одноимённых заряда отталкиваются, а противоположные притягиваются. Иными словами, следует помнить о том, что всегда присутствует КВД, о чём говорит наш вывод корпускулярного движения протона и электрона через ЭМ функции в [4], и изменение направления движения частицы связано с заменой одних ЭМ функций на другие. КВД существует как в нашей пространственно-временной системе, так и в противоположной пространственно-временной системе, связанной с нашей системой через скорость света. При этом корпускулярные и волновые свойства в противоположностях меняются местами при соблюдении обратно-пропорциональной связи. Соответственно, время действия и противодействия разнесены на скорость света, что собственно и даёт возможность для изменений в мироздании. Следует отметить, что то, что сейчас подразумевается под гравитационными силами на самом деле результат от взаимодействия по увеличению обмена между противоположностями. То есть, увеличение количества частиц участвующих в обмене соответственно увеличивает силы притяжения. Вот поэтому гравитационные силы многократно слабее ЭМ, так как они уже производная от количества частиц, участвующих в обмене. Таким образом, гравитационное поле – это некая интегральная составляющая от взаимодействия двух противоположных пространственно-временных систем. Ещё раз подчеркнём ту мысль, что статические электрические и магнитные поля – это пространственно-временные искривления от противоположностей, и изменения этих полей в одной противоположности соответствует волновому излучению в другой противоположности, что и следует из уравнений (15), (16) и (19), (20).

Можно скептически относиться к нашей теории, но то, что её изначальные выводы уже давно интуитивно введены учёными на практике через электродинамические потенциалы и вектор-потенциалы (конечно без объяснения причины их необходимости) просто невозможно опровергнуть. Кроме того, мы убрали неоднозначность в формировании ЭМ полей в классической электродинамике, по которым получалось, что ЭМ поля формируются как за счёт неких сторонних токов, так и за счёт движения электрических зарядов и показали парадоксы, которые получались при формировании ЭМ поля за счёт электрических зарядов.

Из всего сказанного можно сделать следующие выводы:

1. Ошибки, допущенные в Ур.М, приводят к антисимметричному виду для электрических и магнитных составляющих, что исключает их взаимное и равноправное преобразование друг в друга, которое необходимо для ЭМ волны.
2. Указанные нами парадоксы исправляются за счёт использования усовершенствованных Ур.М с учётом проекции на время, которые эквивалентны вектор - потенциалам и электродинамическим потенциалам.
3. Использование вектор - потенциалов и электродинамических потенциалов с учётом симметрии и взаимности означает существование противоположной пространственно-временной системы.
4. Если под токами \mathbf{j}_E и \mathbf{j}_H (эквиваленты вектор - потенциалов) в одной пространственно-временной системе воспринимать вращательное и поступательные движения (которые, кстати, эквивалентны по виду усовершенствованным Ур.М, и иное быть не могло в силу соответствия корпускулярных и волновых свойств, что мы и доказали, показав переход от уравнения волны к уравнению Гамильтона-Якоби), то в пространственно-временной системе, связанной с первой системой через скорость света, т.е. в противоположности, мы получаем ЭМ волны.
5. Использование нашего подхода позволяет связать воедино волновые уравнения, усовершенствованные Ур.М и уравнение Гамильтона-Якоби.

Литература

1. Никольский В.В., Никольская Т.И. Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: Наука, 1989. С.116.
2. Соколов А.А., Тернов И.М., Жуковский В.Ч. Квантовая механика. – М.: Наука, 1979. С. 298.
3. Рысин А.В. Разрешение существующих парадоксов в физике на основе теории мироздания / А.В. Рысин, О.В. Рысин, В.Н. Бойкачев, И.К. Никифоров. – М.: Техносфера, 2011. 600 с.
4. А.В. Рысин, О.В. Рысин, В.Н. Бойкачев, И.К. Никифоров. Переход от усовершенствованных уравнений Максвелла к уравнению движения частицы. ISSN 3385-8879. Научная ассоциация учёных (НАУ) Ежемесячный научный журнал, ч.2, №5, 2014. С.99.
5. Фальковский О.И. Техническая электродинамика. – М.: Связь, 1978. С.124.
6. Фальковский О.И. Техническая электродинамика. – М.: Связь, 1978. С.117.
7. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике, т. 6. Электродинамика. – М.: Мир, 1977. С.271.
8. Соколов А.А., Тернов И.М., Жуковский В.Ч. Квантовая механика. – М.: Наука, 1979. С.317.
9. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике, т. 6. Электродинамика. – М.: Мир, 1977. С.272.
10. Терлецкий Я.П., Рыбаков Ю.П. Электродинамика. – М.: Высш. шк., 1980. С.126.
11. Марков Г.Т., Петров Б.М., Грудинская Г.П. Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: Советское радио, 1979. С.40.

ОБ ОДНОЙ ДИСКРЕТНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИДЕАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ

Плохотников Константин Эдуардович

д.ф.-м.н., старший научн. сотр. Физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова

ABOUT ONE DISCRETE MATHEMATICAL MODEL OF PERFECT FLUID

Plokhotnikov Konstantin Eduardovich, Doctor of Physico-mathematical Sciences, Senior Research Officer, Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University

АННОТАЦИЯ

В данной небольшой работе приводится предварительная информация о дискретной математической модели движения идеальной жидкости. Жидкость представляется в виде ансамбля одинаковых так называемых жидких частиц, которые выступают в виде протяженных геометрических объектов: кругов и сфер для двумерного и трехмерного случаев соответственно. Формулируется механизм взаимодействия жидких частиц, как на бинарном уровне, так и на уровне k -кластера. Приводятся некоторые результаты вычислительного эксперимента по моделированию различного рода течений в двумерных ансамблях жидких частиц.

ABSTRACT

In this short paper provides preliminary information on a discrete mathematical model of the motion of a perfect fluid. Liquid is represented as an ensemble of identical so-called liquid particles, which act as extended geometry: circles and spheres for the two-dimensional and three-dimensional cases respectively. Formulated liquid particle interaction mechanism, as the binary level, and the level k -cluster. Present some results of numerical experiment on the modeling of various kinds of flows in two-dimensional ensembles of fluid particles.

Ключевые слова: дискретная модель, жидкая частица, идеальная жидкость, точка ветвления, турбулентность, взаимодействие в кластере, законы сохранения, стохастическая и детерминированная компоненты течения.

Keywords: a discrete model, liquid particle, perfect fluids, branch point, turbulence, interaction in the cluster, laws of conservation, stochastic and deterministic components of the flow.

Ранее в ряде работ автора [1] — [3] представлена математическая модель турбулентного движения жидкости. В модели сплошная среда (жидкость, газ и пр.) представляется в виде ансамбля дискретных (жидких) объектов. В общем случае от того, какой смысл вкладывается в понятие “дискретный объект”, можно построить вообще говоря множество математических моделей турбулентности [4], [5]. Смысловая емкость понятия дискретного объекта выражается, в частности, в большом количестве используемых синонимов, таких, как жидкая частица, моль, вихрь, глобула континуума и т.п.

В построенной ранее модели из уравнений невязкой несжимаемой жидкости был выведен потенциал, используемый в качестве потенциала взаимодействия отдельных помеченных точек сплошной среды. Исследование данного потенциала в рамках задачи двух тел показало наличие математической особенности типа ветвления. Данная особенность рассматривалась в качестве одной из важнейших характеристик феномена турбулентности.

Представленная в данной и последующих работах математическая модель движения идеальной жидкости строится с того момента, когда отдельные помеченные точки жидкости нагружаются массой и превращаются в дискретные жидкие частицы. После уточнения механизм взаимодействия пары жидких частиц модель принимает законченные черты и, в частности, позволяет провести набор вычислительных экспериментов по моделированию различного рода течений. На всех этапах построения модели эффекты, связанные с вязкостью и теплопроводностью, не учитываются. Именно по этой причине данная модель позиционируется, как дискретная модель идеальной жидкости.

В целом, построенная модель, позволила разделить детерминированную и стохастическую компоненты в описании турбулентных течений идеальной жидкости. Данное разделение обеспечило на аналитическом уровне доступ к механизму генерации стохастики и, как следствие, к возможности построения характерных представителей различного рода классов течений.

Отметим, что стохастическая компонента в динамике жидких частиц в данной модели является следствием их взаимодействия друг с другом и отражает наличие механизма ветвления, изученного ранее на примере описания динамики пары помеченных точек жидкости. Стохастика данного типа отличается, например, от стохастики, характерной для класса решеточных моделей уравнения Больцмана, применяемых для описания гидродинамических течений [6].

Хорошо известен метод прямого численного моделирования [7] — [9] турбулентных течений с помощью решения системы уравнений Навье-Стокса, который в общем случае является неустойчивым в силу неустойчивости течений с закритическими числами Рейнольдса. В этой связи параметризация стохастической компоненты позволила бы построить любое число реализаций данного течения и найти все необходимые статистические характеристики. Данная модель имеет некоторые общие черты с моделями описания сыпучих сред в части попытки сближения описаний этих сред с жидкостью [10], [11].

Всевозможные толкования дискретного объекта турбулентной жидкости можно подразделить на две группы. К первой из них отнесем представления о дискретном объекте как о частице. При этом под частицей понимается такой объект, который определен в смысле классической механики, т.е. он имеет фиксированную

массу, положение в пространстве, скорость и т.п. Ко второй группе отнесем представления дискретного объекта в виде волны. Под волной понимается в общем случае некоторая геометрическая структура, через которую осуществляется поток массы, энергии и прочих величин. В качестве примера представителя второй группы выступает вихрь. Разделение на две группы в толковании дискретного жидкого объекта является условным, т.к. в действительности из-за турбулентного перемешивания невозможно провести четкую границу между ними. В этой связи дискретный объект будем интерпретировать одновременно и частицей, и волной, т.е. в рамках своеобразного “частица-волна” или “корпускулярно-волнового” дуализма.

Отметим ряд работ в области вычислительной гидродинамики, которые возможно интерпретировать с позиций корпускулярно-волнового дуализма. Так, в работах С. Улама с соавторами [12], [13] дискретный объект интерпретируется как некая “глобула континуума”. В методе Ф. Харлоу частиц в ячейке [14] и в методе крупных частиц [15], [16] ячейку можно рассматривать в качестве стоячей волны, через которую осуществляется поток частиц. Отметим, что при разработке смешанных лагранжево-эйлеровых схем численного расчета течений [17] — [19] основная трудность проистекает из неопределенности корпускулярно-волнового типа в интерпретации дискретного объекта.

В общем случае подходы Эйлера и Лагранжа в описании сплошной среды весьма показательны в связи с дуализмом частицы и волны. Так, в подходе Эйлера, находясь в фиксированной точке пространства, наблюдатель следит за движением жидкости, что в явной форме предполагает волновую интерпретацию той конечной ячейки, в которой он находится. В подходе Лагранжа наблюдатель располагается на движущейся жидкости, т.е. следит за движением фиксированной частицы.

Представим жидкость в виде набора отдельных жидких частиц. Следуя аналогии между турбулентностью и обычным газом атомов, жидкость представим в виде разреженного газа жидких частиц, которые между соударениями движутся прямолинейно и равномерно. Будем полагать, что выбираются дискретные жидкие частицы круговой для двумерного случая и шарообразной формы — в трехмерном пространстве.

Пусть пара жидких частиц сближается на расстояние, равное или меньшее сумме их радиусов, тогда предполагаем, что происходит слипание пары с образованием промежуточной частицы — квазипары. Квазипара — метастабильный объект и по истечении некоторого времени распадается на пару жидких частиц. Образование и распад квазипары поэтапно интерпретирует процесс соударения пары жидких частиц, при этом должны иметь место законы сохранения массы, импульса, энергии и момента импульса.

Будем считать, что квазипара существует в течение взаимодействия пары частиц, т.е. квазипара иное название механизма взаимодействия. При столкновении частиц, размеры и масса которых, вообще говоря, неравны, образуется квазипара, которая затем распадается на пару одинаковых частиц. Последнее условие оправдано тем, что у квазипары одна выделенная ось, проходящая через ее центр вдоль момента импульса. Тем самым, если первоначально жидкость была представлена набором жидких частиц с соответствующим распределением объемов, масс и внутренних энергий, то дальнейшая эволюция системы приведет к состоянию, когда массы частиц станут одинаковыми. В дальнейшем считаем, что массы жидких частиц одинаковы и равны величине m . Распад квазипары на две одинаковые жидкие частицы интерпретировался ранее в работах автора в качестве элементарного акта турбулентного перемешивания.

Если массу частиц рассматривать в качестве маркера индивидуальности, то вследствие механизма образования и распада квазипары и перераспределения массы между частицами следует, что индивидуальность частиц не сохраняется — они постоянно приобретают новую и теряют старую массы. Иными словами, их можно рассматривать как объекты волновой природы. В промежутках между соударениями дискретные объекты могут рассматриваться как жидкие частицы, в момент соударения и в течение времени существования квазипары выступает волновая природа жидких частиц. Именно в этом проявляется корпускулярно-волновой дуализм дискретного объекта, толкуемого в данной модели жидкой частицей.

Не ограничивая общности поместим ансамбль частиц в область квадратной формы со стороной L . Для простоты область квадратной формы будем именовать ящиком. Положим, что жидкие частицы упруго отражаются от стенок ящика. Остановимся на описании взаимодействия пары жидких частиц в двумерном случае. Обозначим текущие положения и скорости частиц до взаимодействия радиус-векторами r_1, r_2 и v_1, v_2 соответственно. После взаимодействия положения и скорости частиц обозначим радиус-векторами r'_1, r'_2 и v'_1, v'_2 .

Определим известные в механике две пары переменных r, R и v, V для описания взаимодействия двух частиц одинаковой массы:

$$r = r_{12} = r_1 - r_2, R = \frac{1}{2}(r_1 + r_2); v = v_{12} = v_1 - v_2, V = \frac{1}{2}(v_1 + v_2). \quad (1)$$

Вектор R определяет положение центра масс пары частиц, а V — вектор скорости центра масс. Вектор r описывает относительный радиус-вектор положений пары частиц, а v — относительную скорость пары частиц.

С учетом (1) можно записать положения и скорости каждой из пары частиц через новые переменные:

$$r_1 = R + \frac{1}{2}r, r_2 = R - \frac{1}{2}r; v_1 = V + \frac{1}{2}v, v_2 = V - \frac{1}{2}v. \quad (2)$$

Пусть при взаимодействии пары жидких частиц выполняется закон сохранения импульса, тогда

$$mv_1 + mv_2 = mv'_1 + mv'_2. \quad (3)$$

После подстановки второй пары уравнений (2) в левую и аналогично в правую части уравнения (3), получим

$$V = V'. \quad (4)$$

Обеспечим выполнение закона сохранения энергии, тогда

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}mv'^2_1 + \frac{1}{2}mv'^2_2. \quad (5)$$

После подстановки второй пары уравнений (2) в левую и аналогично в правую части уравнения (5), получим

$$mV^2 + mv^2 = mV'^2 + mv'^2. \quad (6)$$

Учитывая (4), найдем

$$\mathbf{v}^2 = \mathbf{v}'^2 \text{ или } v = v', \quad (7)$$

где $v = |\mathbf{v}|$, $v' = |\mathbf{v}'|$.

Наконец, запишем условие выполнения закона сохранения момента импульса, т.е.

$$m\mathbf{r}_1 \times \mathbf{v}_1 + m\mathbf{r}_2 \times \mathbf{v}_2 = m\mathbf{r}'_1 \times \mathbf{v}'_1 + m\mathbf{r}'_2 \times \mathbf{v}'_2. \quad (8)$$

С учетом (2) уравнение (8) может быть переписано в виде:

$$2m\mathbf{R} \times \mathbf{V} + \frac{1}{2}m\mathbf{r} \times \mathbf{v} = 2m\mathbf{R}' \times \mathbf{V}' + \frac{1}{2}m\mathbf{r}' \times \mathbf{v}' \quad (9)$$

В связи с выполнением закона сохранения момента импульса положим, что взаимодействие не меняет положения центра масс пары жидких частиц, т.е.

$$\mathbf{R} = \mathbf{R}'. \quad (10)$$

Учитывая (4), (10), найдем

$$\mathbf{r} \times \mathbf{v} = \mathbf{r}' \times \mathbf{v}'. \quad (11)$$

Пусть α и β угловые отклонения векторов \mathbf{r} и \mathbf{v} от оси абсцисс. Аналогично под углами α' и β' будем понимать угловые расстояния от оси абсцисс векторов \mathbf{r}' и \mathbf{v}' . В этом случае, переходя в полярную систему координат, можно записать:

$$\mathbf{r} = (r\cos\alpha, r\sin\alpha), \mathbf{v} = (v\cos\beta, v\sin\beta); \mathbf{r}' = (r'\cos\alpha', r'\sin\alpha'), \mathbf{v}' = (v'\cos\beta', v'\sin\beta');$$

где $r = |\mathbf{r}|$, $v = |\mathbf{v}|$; $r' = |\mathbf{r}'|$, $v' = |\mathbf{v}'|$.

Подставляя полярное представление относительных радиус-векторов положений и скоростей в векторное произведение (11), найдем

$$K = xvy - yvx = rv \cdot \sin(\beta - \alpha) = r'v' \cdot \sin(\beta' - \alpha'). \quad (12)$$

Наряду с (10) сделаем еще одно предположение о механизме взаимодействия в связи с выполнением закона сохранения момента импульса, а именно

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}'. \quad (13)$$

Предположения (10), (13) уточняют геометрию взаимодействия пары жидких частиц и могут быть рассмотрены в качестве постулатов.

Введем обозначения для углов между относительными радиус-векторами положений и скоростей: $\psi = \beta - \alpha$ и $\psi' = \beta' - \alpha'$. После учета (7) и (13) в последнем равенстве (12) найдем

$$\sin\psi' - \sin\psi = 2 \sin \frac{\psi' - \psi}{2} \cos \frac{\psi' + \psi}{2} = 0 \quad (14)$$

Уравнение (14) имеет два класса решений:

$$1) \psi' = \psi + 2\pi l; 2) \psi' = \pi - \psi + 2\pi l; \quad (15)$$

где $l = 0, \pm 1, \dots$

Сформулируем критерий взаимодействия пары жидких частиц в виде одновременного выполнения следующих двух условий:

$$|\mathbf{r}| \leq 2r_0, (r, v) < 0, \quad (16)$$

где r_0 — радиус жидкой частицы, (r, v) — скалярное произведение пары векторов. Согласно критерию (16), пара жидких частиц взаимодействует при выполнении двух условий: во-первых, расстояние между частицами стало меньше или равно двум радиусам частиц и, во-вторых, проекция относительной скорости на относительное расстояние отрицательна, т.е. центры частиц сближаются.

Критерий взаимодействия (16) можно переписать в виде:

$$|\mathbf{r}| \leq 2r_0, \cos\psi < 0. \quad (17)$$

С учетом (17) положим, что взаимодействие прекращается, когда выполняется условие:

$$\cos\psi' > 0. \quad (18)$$

Легко сообразить, что условию (18) удовлетворяет второй класс решений (15). Действительно, поскольку $\cos\psi' = \cos(\pi - \psi + 2\pi l) = -\cos\psi > 0$, постольку $\cos\psi < 0$, что верно согласно (17).

Запишем $\cos\psi = \frac{(r, v)}{rv}$, тогда, учитывая, что $\cos\psi < 0$, найдем вообще говоря пару решений, которые представим в виде:

$$\psi = \pi + \nu\psi_0 + 2\pi l, \quad (19)$$

где $|\nu| = 1, l = 0, \pm 1, \dots$, а $\psi_0 = \arccos\left(\frac{(r, v)}{rv}\right)$. Для определения ν подставим (19) во второе равенство в (12), тогда найдем

$$\psi = \pi - \text{sign}(K)\psi_0, \quad (20)$$

где $\text{sign}(K)$ — знаковая функция величины K .

Подставляя (20) во второй класс решений (21), найдем

$$\psi' = \text{sign}(K)\psi_0 + 2\pi l. \quad (21)$$

Учитывая, что $\psi' = \beta' - \alpha'$, перепишем решение (21) в виде

$$\beta' - \alpha' = \text{sign}(K)\psi_0 + 2\pi l. \quad (22)$$

Уравнения (21), (22) являются ключевыми в вопросе изучения взаимодействия пары частиц. Согласно уравнению (22) угловые отклонения от оси абсцисс α' , β' радиус-векторов относительных положений \mathbf{r}' и скоростей \mathbf{v}' пары жидких частиц могут быть какими угодно, если они удовлетворяют уравнению (22).

Из геометрических соображений понятно, что с ростом радиуса жидкой частицы r_0 количество бинарных связей при случайном расположении положений и скоростей должно расти, при этом одинарных бинарных связей будет все меньше. Другими словами, частицы будут взаимодействовать со многими другими частицами, т.е. можно говорить о наличии кластеров, в которых любая частица связана хотя бы с одной другой частицей кластера. Кластеры можно различать по числу частиц, которые в него включены, при это, конечно, кластеры с одинаковым числом частиц могут отличаться друг от друга в части конфигурации набора бинарных связей.

Пусть в некоторый момент времени t найдены все кластеры, которые в общем случае можно поделить на 2-кластеры, 3-кластеры, ..., k -кластеры. Каждый из кластеров может быть представлен в виде множества своих структурных аналогов в количестве n_2, n_3, \dots, n_k соответственно. Дополним указанный ряд кластеров формально 1-кластером, когда частица, входящая в данный 1-кластер, не взаимодействует с другими частицами ансамбля. Пусть в текущий момент времени 1-кластеров — n_1 штук. В этом случае в любой другой момент времени должно выполняться равенство вида: $1 \cdot n_1 + 2 \cdot n_2 + \dots + k \cdot n_k = N$, где N — число жидких частиц, помещенных в ящик квадратной формы со стороной L .

Для численного моделирования ансамбля взаимодействующих жидких частиц необходимо уточнить вид угловых отклонений радиус-векторов относительных положений и скоростей взаимодействующих частиц (21), (22). Приведем примеры построения некоторых течений.

Например, удалось подобрать углы (22) таким образом, что исходное случайно равномерное расположение жидких частиц в ящике неустойчиво, оно распадется

со временем на полосы тесно связанных частиц так, как это приведено на рис.1,а (маркерами в виде звезд нарисованы центры частиц). После образования полос частицы начинают взаимодействовать в рамках k-кластеров с большим, чем 2 значением k. На рис.1,б приведен пример течения, в котором образовалось четыре вихря, идентификация которых оказалась возможной после усреднения течений за определенный отрезок времени.

Удалось построить довольно любопытный класс течений, в котором, по мере развертывания динамики ансамбля оказалось, что исходная кинетическая энергия,

первоначально равномерно случайно распределенная между частицами, со временем перераспределяется в пользу небольшой группы частиц, скорости которых становятся заметно больше остальных. Течение с такими свойствами напоминает известный в теории твердого тела эффект Ферми-Паста-Улама. Для характеристики полученного распределения скоростей оно сравнивалось с распределением Максвелла. На рис.2 приведен результат.

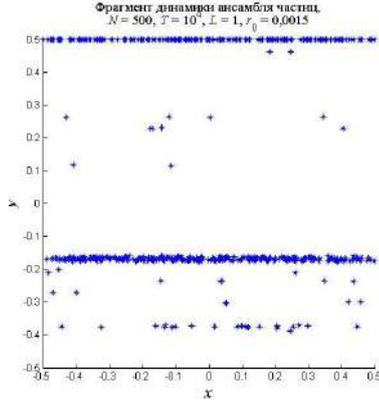


Рис.1,а. Пример течения, приводящего к сепарации исходного равномерно случайного распределения

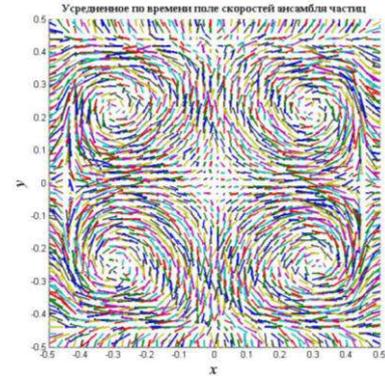


Рис.1,б. Образование течений с несколькими вихрями

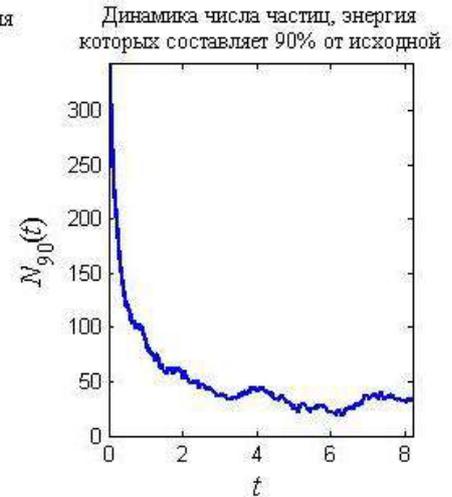
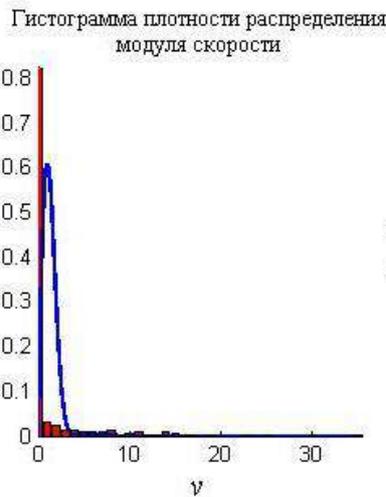
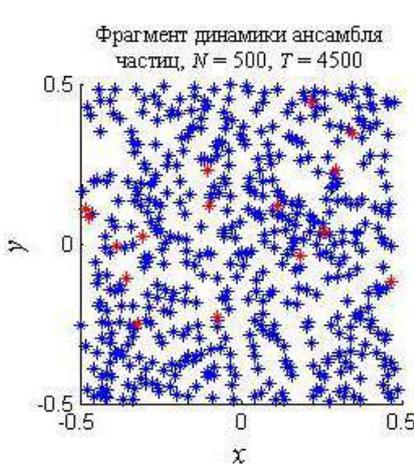


Рис.2. Фрагмент динамики ансамбля частиц, гистограмма плотности распределения модулей скорости частиц и график зависимости $N_{90} = N_{90}(t)$

На левом графике рис.2 приведены мгновенные положения центров пятисот жидких частиц. На среднем графике рис.2 построена эмпирическая гистограмма модулей скоростей ансамбля частиц после $T = 4500$ шагов по времени. Там же приведена кривая плотности Максвелла для модуля скорости. Видно, что построенная гистограмма и плотность Максвелла не имеют ничего общего. Согласно гистограмме большинство частиц (более 80%) практически покоятся. Наконец, на правом графике рис.2 приведена динамика во времени числа наиболее энергичных частиц, суммарная энергия которых составляет 90% от исходной. Из соответствующего графика отчетливо видно, что кривая со временем резко падает и в дальнейшем колеблется в окрестности 30 частиц, доля которых по отношению к исходному количеству в $N = 500$ составляет — 6%.

Продemonстрируем принципиальную возможность воспроизводства произвольной картинку с помощью динамики ансамбля взаимодействующих частиц. Для этого с помощью подходящего алгоритма взаимодействия в ансамбле жидких частиц воспроизведем картинку в виде аббревиатуры Московского государственного университета на латинице, т.е. MSU (Moscow State University).

На рис.3 приведен итог моделирования. На левом графике приведена исходная картинка в виде черных букв MSU на белом фоне. На правом графике мгновенное расположение центров $N = 5000$ жидких частиц. Отчетливо видно, что динамическое расположение центров частиц таково, что искомая картинка легко узнаваема невооруженным глазом.

В данной краткой работе представлены основные вехи дискретной математической модели движения иде-

альной жидкости. Модель имела предысторию в лице математической модели турбулентного движения жидкости, построенной автором ранее. В отличие от прежней модели, в данной модели рассмотрен исключительно дискретный подход.

Идеальная жидкость представляется в виде конечного ансамбля так называемых жидких частиц, которые описываются протяженными геометрическими объектами в форме одинаковых кругов в двумерном и шаров в трехмерном случаях. При сближении таких частиц на расстоянии, меньшем двух радиусов они слипаются. Считается, что образовавшаяся промежуточная частица мгновенно распадается, при этом обеспечивается сохранение всех законов сохранения: импульса, энергии и момента импульса.

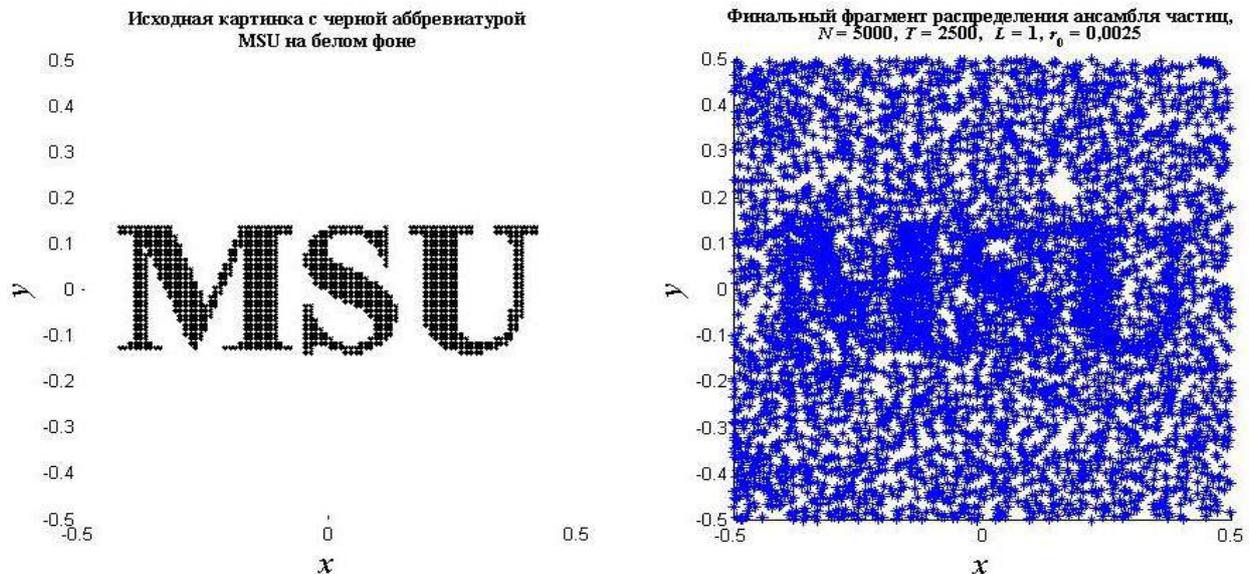


Рис.3. Пример воспроизводства исходной картинкой в виде аббревиатуры MSU динамикой ансамбля жидких частиц

Модель включает разработку механизма взаимодействия, как на бинарном уровне, выступающем в качестве основного, так и в k -кластере, $k > 2$. Анализ механизмов взаимодействия на бинарном уровне и в k -кластере позволил выявить дополнительные степени свободы, учет которых привел к построению огромного семейства новых, в отдельных случаях неожиданных течений. Отметим, что идентификация дополнительных степеней свободы в механизме взаимодействия жидких частиц позволила непосредственно, т.е. рукотворно осуществить управление той стохастикой, которая, как нам представляется, характерна для турбулентных течений сплошной среды. В перспективе, как ожидается, управление стохастикой позволит с помощью метода Монте-Карло строить ансамбль конкретного течения и вычислять среднее течение, а также все прочие статистические характеристики в рамках выборочного метода статистики.

В расширенной публикации модели будет рассмотрен ансамбль частиц в трехмерном пространстве. Здесь результаты более скромны, хотя в целом удалось разработать подходящие алгоритмы, описывающие, как бинарный уровень взаимодействия, так и уровень k -кластера.

Подробно рассмотрен двухмерный, наиболее изученный случай. Удалось построить и изучить с помощью вычислительного эксперимента ряд любопытных течений. Удалось: обнаружить режимы, обеспечивающие сепарацию частиц в ансамбле, воспроизвести различного рода вихревые течения. Выявлены любопытные статистические свойства некоторых течений. Обнаружены течения, в которых происходит концентрация кинетической энергии в небольшой численности частиц ансамбля. Обнаружены и изучены также течения, в которых кинетическая энергия частиц калибруется. Кроме того, удалось в виде соответствующего течения жидких частиц ансамбля продемонстрировать принципиальную возможность путем манипуляции параметрами взаимодействия воспроизвести любую наперед заданную картинку.

Литература

1. Плохотников К.Э. Об одной математической модели турбулентного движения жидкости// ДАН СССР, 1988, т.301, №4, с.805 — 809.
2. Плохотников К.Э. Об одной математической модели турбулентного движения жидкости// Математическое моделирование. Современные проблемы математической физики и вычислительной математики. — М.: Наука, 1989, с.270 — 284.
3. Plokhonikov K.E. Numerical Description of the Fluid Pipe Motion with Multiscale Turbulence Model// Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Математика, информатика, физика, 2011, №4, с.107 — 112.
4. Плохотников К.Э. Метод и искусство математического моделирования: курс лекций. — М.: Флинта, 2012. 518с. — ISBN 978-5-9765-1541-3.
5. Плохотников К.Э. Разработка и обоснование нового подхода к методу математического моделирования: проблема предметной множественности моделей и анализ адекватности их целям исследования. — Автореферат диссертации. — Москва, 2013. 41с. <http://www.dissercat.com/content/razrabotka-i>

- obosnovanie-novogo-podkhoda-k-metodu-matematicheskogo-modelirovaniya
6. Sukop M.C., Thorne D.T. Lattice Boltzmann modeling. An Introduction for Geoscientists and Engineers. — Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2007. 172p.
 7. Березин С.Б., Каргапольцев И.С., Марковский Н.Д., Сахарных Н.А. Параллельная реализация метода расщепления для системы из нескольких GPU с применением в задачах аэрогидродинамики// Информационные технологии. Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, 2012, №5(2), с.246-252.
 8. Hattory H., Nagano Y. Investigation of turbulent boundary layer over forward-facing step via direct numerical simulation// International Journal of Heat and Fluid Flow, 2010, vol.31, Issue 3, pp.284-294.
 9. Kurien S., Taylor M.A. Direct Numerical. Simulations of Turbulence// Los Alamos Science Number, 2005, #29, pp.142-151.
 10. Müller P., Formella A., Pöschel T. Granular jet impact: probing the ideal fluid description// J. Fluid Mech., 2014, vol. 751, pp. 601-626.
 11. Cheng X., Varas G., Citron D., Jaeger H.M., Nagel S.R. Collective Behavior in a Granular Jet: Emergence of a Liquid with Zero Surface Tension// Phys. Rev. Lett., 2007, vol.99, 188001(4).
 12. Улам С. Устойчивость при расчетах по методу многих тел// Гидродинамическая неустойчивость. — М.: Мир, 1964, с.289 — 303.
 13. Pasta J.R., Ulam S. Heuristic numerical work in some problems of hydrodynamics// Math. Tables Aids Comput. 1959, vol.13, №65, pp.1 — 12.
 14. Харлоу Ф. Численный метод частиц в ячейках для задач гидродинамики// Вычислительные методы в гидродинамике. — М.: Мир, 1967, с.316 — 342.
 15. Белоцерковский О.М., Давыдов Ю.М. Метод крупных частиц в газовой динамике: Вычислительный эксперимент. — М.: Наука, 1982. 391с.
 16. Белоцерковский О.М., Опарин А.М., Чечеткин В.М. Турбулентность: новые подходы. — М.: Наука, 2002. 286с.
 17. Херт С. Произвольный лагранжево-эйлеров численный метод/ Численные методы в механике жидкостей. — М.: Мир, 1973, с.156 — 164.
 18. Шульц У.Д. Двумерные конечно-разностные гидродинамические уравнения в переменных Лагранжа// Вычислительные методы в гидродинамике. — М.: Мир, 1967, с.9 — 54.
 19. Франк А.М. Дискретные модели несжимаемой жидкости. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. 224с.

К ВОПРОСУ О НЕУСТОЙЧИВОСТИ РЭЛЕЯ В СЛУЧАЕ НЕОДНОРОДНЫХ СЖИМАЕМЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Рыжак Евгений Измаилович

*доктор физ.-мат. наук, главный научный сотрудник Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта
Российской Академии Наук, Москва*

Мухамедиев Шамиль Ахмедович

*доктор физ.-мат. наук, главный научный сотрудник Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта
Российской Академии Наук, Москва*

Синюхина Светлана Владимировна

научный сотрудник Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской Академии Наук, Москва

TO THE QUESTION OF THE RAYLEIGH INSTABILITY IN THE CASE OF INHOMOGENEOUS COMPRESSIBLE FLUIDS

Ryzhak Evgeny Izmailovich, Doctor of Science, principal researcher of Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow

Mukhamediev Shamil Akhmedovich, Doctor of Science, principal researcher of Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow

Sinyukhina Svetlana Vladimirovna, researcher of Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow

АННОТАЦИЯ

В работе рассматривается обобщение классической задачи Рэлея на случай сжимаемых жидкостей, причем распределение их плотностных и упругих свойств по глубине считается произвольным. Анализ устойчивости проводится на основе статического энергетического критерия для ограниченной области и с учетом граничных условий. Получено необходимое и достаточное условие устойчивости. В случае неустойчивости получены оценки наибольшей скорости роста возмущений. Обсуждаются некоторые геофизические приложения исследованной задачи.

ABSTRACT

The generalization of the classical Rayleigh problem to the case of compressible fluids is considered, distribution of their density and elastic properties over depth being supposed to be arbitrary. Analysis of stability is based on the static energy criterion for a bounded domain with regard for the boundary conditions. The necessary and sufficient condition for stability is obtained. In the case of instability the estimates for the greatest rate of growth of disturbances are obtained. Some geophysical applications of the investigated problem are discussed.

Ключевые слова: устойчивость; неустойчивость; статический энергетический критерий; сжимаемые идеальные жидкости; сжимаемые вязкие жидкости; твердые упругие материалы; стратифицированные слои в поле силы тяжести.

Keywords: stability; instability; static energy criterion; compressible inviscid fluids; compressible viscid fluids; solid elastic materials; stratified layers in the gravity field.

1. Введение. В предлагаемой работе изучаются вопросы устойчивости двухслойной системы тяжелых жидкостей. Последние считаются сжимаемыми идеальными (иными словами, баротропными). При этом распределение по глубине как их плотностей, так и упругих свойств считается произвольным (непрерывным и кусочно гладким) в пределах каждого из слоев, а при переходе от слоя к слою плотность и упругие свойства меняются скачкообразно. Модели такого типа привлекают внимание исследователей уже более ста лет, и этот интерес пока не исчерпан – в силу того обстоятельства, что они имеют ряд приложений: в физике атмосферы и океана, астрофизике, геофизике, а также в некоторых вопросах технической физики.

Пионерская работа Рэлея [8], опубликованная в 1883 г., была посвящена (как следует из примечания автора) теоретическому обоснованию предложенной почти тридцатью годами ранее модели образования перистых облаков в атмосфере. Рэлей рассматривал двухслойную систему несжимаемых идеальных жидкостей в поле силы тяжести, причем верхняя жидкость по предположению имела большую плотность, чем нижняя. Система считалась бесконечно протяженной и в горизонтальных, и в вертикальном направлениях; что касается распределения плотности, то были рассмотрены два случая: (1) оба слоя однородны и (2) слой один, а распределение плотности по глубине – экспоненциальное. В этих предположениях Рэлею удалось обосновать следующий результат: система несжимаемых жидкостей с инверсией плотности неустойчива. В дальнейшем, и вплоть до настоящего времени, модель Рэлея воспроизводилась с теми или иными вариациями в целом ряде работ и использовалась для теоретического анализа различных физических явлений..

Совершенно очевидно, что для приложений модели в физике атмосферы, астрофизике и других областях, где в качестве жидкости выступает газ, предположение о несжимаемости жидкостей неприемлемо (газ никоим образом не является несжимаемой жидкостью). Таким образом, как с точки зрения приложений, так и с точки зрения механической теории как таковой, наиболее существенным было добавление свойства упругой сжимаемости жидкости. Вопрос об устойчивости и неустойчивости системы сжимаемых жидкостей был поставлен С. Чандрасекаром (см., например, [10]) и рассматривался в дальнейшем в работах [5, 7, 9, 10] и других. Рассмотрение во всех этих работах велось в частной постановке: однородность упругих свойств в пределах каждого слоя, частный характер неоднородности по плотности, рассмотрение задачи в асимптотике малой сжимаемости и т. д., однако и в такой постановке вопрос так и остался нерешенным (см. обсуждение в работе [9]). Метод решения задачи, предложенный Рэлеем и использованный в дальнейшем его последователями, безусловно позволил ответить на ряд важных вопросов, однако имел некоторые принципиальные ограничения, что и вылилось, по мнению авторов, в ограниченность полученных результатов.

Остановимся подробнее на упомянутых ограничениях: это делается прежде всего по той причине, что их учет и преодоление, а именно, использование как физически более адекватной постановки задачи, так и принципиально иного метода ее решения и привели к тому, что задачу удалось решить в полной мере и до конца.

Обсудим прежде всего предположение о бесконечных горизонтальных размерах исследуемой системы. Очевидно, что бесконечных механических систем в природе не бывает, так что бесконечная система – это абстракция. Однако любая механическая модель также является абстракцией, важно лишь понять, пригодна ли та или иная абстракция для исследования того или иного вопроса. В вопросах устойчивости ограниченность тела и наложенные на него граничные условия играют основополагающую роль. Если тело в каких-то направлениях считается бесконечным, то ставятся некоторые условия на бесконечности, и эти условия имеют тот же смысл, что и обычные граничные условия на поверхности тела. Если же условия на бесконечности заменяют условием периодичности распределения исследуемой величины, что в дальнейшем (с упоминанием о разложении в ряд Фурье) сводят к исследованию синусоидального распределения по соответствующим координатам, то при этом фактически исследование бесконечной системы подменяется исследованием системы конечного размера, равного периоду (только неясно, чем этот размер обусловлен, поскольку для бесконечной системы он может быть любым). Именно такое предположение о периодичности и синусоидальности было сделано в работе Рэлея и, вслед за ним, во всех цитируемых работах его последователей. Однако остается открытым вопрос о том, какое отношение к устойчивости реальных систем (занимающих ограниченные области и подчиняющихся определенным граничным условиям) имеют исследования, основанные на вышеупомянутых предположениях.

Обсудим теперь другую сторону того метода исследования неустойчивости, который был применен Рэлеем и его последователями: поиск экспоненциально нарастающих по времени точных решений линеаризованных уравнений движения (в гидромеханике такой метод является широко используемым). По сути, при этом исходят из теоремы Ляпунова о неустойчивости по линейному приближению в сочетании с гипотезой о том, что эта теорема, доказанная только для систем с конечным числом степеней свободы, справедлива и для распределенных систем (имеющих бесконечное число степеней свободы). Если считать гипотезу справедливой, то метод совершенно правомерен и сводится к поиску собственных векторов и действительных положительных собственных чисел оператора линейного приближения задачи, однако если точных решений найти не удастся, то метод не работает.

Заметим, что существует другой (в принципе, совершенно эквивалентный описанному) подход к изучению неустойчивости консервативной системы по линейному приближению, и этот другой подход позволяет получать строгие результаты и в тех случаях, когда задачу на

собственные значения оператора линейного приближения точно решить не удастся. Дело в том, что квадраты упомянутых собственных значений – это взятые с противоположным знаком собственные значения симметричного оператора, задающего квадратичную форму (для распределенных систем – квадратичный функционал), равную удвоенной потенциальной энергии линеаризованной системы. Таким образом, условием неустойчивости является наличие отрицательных среди собственных чисел этого симметричного оператора, что эквивалентно тому, что потенциальная энергия на некоторых смещениях (полях смещений) принимает отрицательные значения. Кроме того, положительная определенность потенциальной энергии влечет за собой устойчивость консервативной системы. Следовательно, изучение устойчивости и неустойчивости консервативной системы сводится к исследованию наличия или отсутствия положительной определенности потенциальной энергии линеаризованной системы, представляющей собой деленную на два вторую вариацию потенциальной энергии исходной нелинейной системы относительно положения равновесия. Сформулированный статический энергетический критерий (динамически обоснованный в смысле устойчивости и неустойчивости по Ляпунову для систем с конечным числом степеней свободы) является одним из употребительных критериев устойчивости и неустойчивости в механике твердых упругих тел. В ряде случаев непосредственное изучение знака второй вариации полной потенциальной энергии (ППЭ) системы оказывается эффективным и результативным способом исследования устойчивости, причем для ограниченной системы и с учетом наложенных на нее граничных условий. Именно такой (необычный для гидромеханики) способ анализа был применен в данной работе, что и позволило получить необходимое и достаточное условие устойчивости рассматриваемой ограниченной двуслойной системы тяжелых сжимаемых идеальных жидкостей с произвольной стратификацией по глубине.

Использование необычного для гидромеханики статического энергетического критерия повлекло за собой применение столь же необычного для нее отсчетного (так называемого «лагранжева») описания сплошной среды со всеми присущими ему элементами, включая тензор напряжений Пиолы. В данной работе все выкладки проводятся на основе отсчетного описания [4] исследуемой на устойчивость механической системы.

Нельзя не упомянуть тот факт, что в литературе по вопросам устойчивости гидромеханических систем авторы обнаружили одно исключение из общего правила: в

работе [6], посвященной исследованию совершенно другого физического явления, анализ устойчивости проводится на основе статического энергетического критерия с использованием отсчетного описания среды.

Заметим, что понимание того факта, что именно отсчетное описание дает возможность корректно ставить и решать задачи об устойчивости, распространении волн, собственных колебаниях и т. п. при наличии начальных напряжений, а также в случае неоднородности среды, было достигнуто еще в пятидесятые годы двадцатого века; соответствующие идеи изложены в статьях Хилла, Нолла, Койтера и др., а анализ рассматриваемых там задач опирается на вытекающую из этих идей методику.

Помимо решения основной сформулированной в названии работы задачи о сжимаемых идеальных жидкостях, рассматриваются важные для приложений вопросы о возможном влиянии вязкости жидкостей (в сочетании со сжимаемостью), а также о влиянии ненулевой сдвиговой жесткости материала. Дополнительно обсуждаются некоторые геофизические приложения исследованной задачи.

2. Исследуемая механическая система и элементы ее кинематики в отсчетном описании. Сводка формул бескоординатного тензорного исчисления, систематически используемых в работе. Изучаемая механическая система представляет собой резервуар, открытый сверху и частично заполненный неоднородной тяжелой жидкостью (рис.1). Резервуар имеет форму вертикального цилиндра произвольного сечения с плоским горизонтальным дном. В равновесном состоянии, исследуемом в дальнейшем на устойчивость, имеются два горизонтальных слоя жидкости, на границе раздела которых плотность и упругие свойства меняются скачкообразно; при этом в каждом из слоев плотность и упругие свойства меняются с глубиной непрерывно и кусочно гладко (а в остальном – произвольно). Нижняя граница нижнего слоя лежит на дне резервуара, верхняя граница верхнего слоя свободна, с боков каждый из слоев ограничен вертикальными боковыми стенками резервуара. Дно и боковые стенки считаются неподвижными и гладкими: на них принимаются граничные условия (ГУ) свободного проскальзывания жидкости. Граница раздела слоев в исходном равновесном состоянии горизонтальна, она может двигаться и деформироваться произвольно, причем частицы жидкости каждого из слоев свободно и независимо друг от друга проскальзывают вдоль этой общей поверхности.

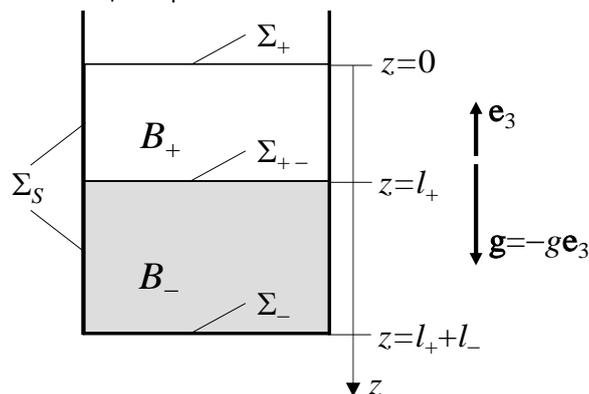


Рисунок 1. Двуслойная система, исследуемая на устойчивость

Кинематические условия проскальзывания на дне, боковых стенках и границе раздела жидкостей представляют собой совокупность кинематических связей, наложенных на исследуемую механическую систему и определяющих класс ее кинематически допустимых смещений при отклонениях от равновесного состояния.

Во всех дальнейших построениях и выкладках будем пользоваться отсчетным описанием рассматриваемых сплошных сред (см. напр. [4]). В качестве отсчетной конфигурации \mathbf{K} (которая по самому своему смыслу неизменна) возьмем исследуемую на устойчивость равновесную конфигурацию системы. Материальные точки сплошной среды идентифицируются с помощью радиус-векторов \mathbf{X} , задающих их местоположение в отсчетной конфигурации; для каждой материальной точки ее идентификатор \mathbf{X} неизменен в процессе любых возможных движений этой точки. Текущее положение материальной точки \mathbf{X} задается значением отображения $\mathbf{r} = \mathbf{r}(\mathbf{X}, t)$, которое будем называть «трансформацией»;

здесь t – виртуальное время (т.е. скалярный параметр, характеризующий виртуальные движения системы) $\mathbf{r}(\mathbf{X}, t)$ – радиус-вектор данной материальной точки в данный момент виртуального времени. В дальнейшем для краткости и удобства будем называть виртуальное время t просто временем. Без ограничения общности примем, что отсчетная конфигурация совпадает с актуальной при $t = 0$:

$$\mathbf{r}(\mathbf{X}, 0) = \mathbf{X} \tag{2.1}$$

Область, занимаемую жидкостью в отсчетном равновесном состоянии, обозначим B ; при этом слой, занимаемый нижней жидкостью, обозначим B_- , а слой, занимаемый верхней жидкостью, обозначим B_+ . Та часть границы Σ , которая лежит на дне, обозначается Σ_- , свободная верхняя часть границы верхнего слоя обозначается Σ_+ , поверхность раздела слоев – Σ_{+-} , боковая поверхность – Σ_s (рис.1). Будем считать, что задан ортонормированный базис $(\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \mathbf{e}_3)$, где \mathbf{e}_3 направлен вертикально вверх, а также задана вертикальная координата z (глубина), отсчитываемая от Σ_+ вниз (рис.1).

Введем ряд обозначений, связанных с отсчетным описанием, и выведем некоторые соотношения, систематически используемые в ходе дальнейшего анализа.

Для любого физического поля $\Psi(\mathbf{x}, t)$ (скалярного, векторного или тензорного) его производную по t при постоянном \mathbf{X} будем называть материальной производной и обозначать, как обычно, точкой над символом:

$$\dot{\Psi}(\mathbf{x}, t) \equiv \left(\frac{\partial \Psi}{\partial t} \right)_{\mathbf{X}} \tag{2.2}$$

Заметим, что скорости и ускорения (как реальные, так и виртуальные) – это первая и вторая материальные производные радиуса-вектора $\mathbf{r}(\mathbf{x}, t)$:

$$\mathbf{v}(\mathbf{x}, t) = \dot{\mathbf{r}}(\mathbf{x}, t) \tag{2.3}$$

$$\mathbf{a}(\mathbf{x}, t) = \dot{\mathbf{v}}(\mathbf{x}, t) = \ddot{\mathbf{r}}(\mathbf{x}, t) \tag{2.4}$$

Наряду с материальными производными по времени в некоторых случаях будут использоваться и «пространственные» (т.е. производные по времени при постоянном \mathbf{r}), которые будут обозначаться $\left(\frac{\partial \Psi}{\partial t} \right)_{\mathbf{r}}$. Материальные и пространственные производные по времени связаны между собой известной формулой Эйлера, которая будет приведена ниже.

Во всей работе используется бескоординатное тензорное исчисление в обозначениях, почти совпадающих с системой безындексных тензорных обозначений Дж. В. Гиббса. Приводимая ниже сводка основных используемых в работе формул представляет собой тот необходимый минимум, который позволяет при ее чтении избежать обращения к каким-либо дополнительным источникам (подробное и систематическое изложение бескоординатного тензорного исчисления именно в таких обозначениях можно найти в учебном пособии [2]).

Основной деформационно-ротационной величиной в отсчетном описании является градиент трансформации

$$\mathbf{F}(\mathbf{x}, t) \equiv \nabla_{\mathbf{K}} \otimes \mathbf{r}(\mathbf{x}, t) \tag{2.5}$$

$$d\mathbf{r}(\mathbf{x}, t, d\mathbf{x}) = d\mathbf{x} \cdot \nabla_{\mathbf{K}} \otimes \mathbf{r}(\mathbf{x}, t) \tag{2.6}$$

Градиент трансформации $\mathbf{F}(\mathbf{x}, t)$ – это тензор ранга два (ТР(2)), или, что то же самое, линейный оператор, задающий главную линейную часть отображения окрестности материальной точки \mathbf{X} в отсчетной конфигурации в окрестность точки $\mathbf{r}(\mathbf{x}, t)$, где данная материальная точка находится в актуальной конфигурации. Индекс « \mathbf{K} » при символе «набла» в обозначении градиента указывает на то, что это «отсчетный» градиент, т.е. дифференцирование производится по \mathbf{X} , а не по \mathbf{r} . Градиент тензорного поля ранга k (ТПР(k)) определяется совершенно аналогично [2]:

$$d\mathbf{M}(\mathbf{x}, t, d\mathbf{x}) = d\mathbf{x} \cdot \nabla_{\mathbf{K}} \otimes \mathbf{M}(\mathbf{x}, t), \tag{2.7}$$

т.е. $\nabla_{\mathbf{K}} \otimes \mathbf{M}(\mathbf{x}, t)$ – это ТР(k+1), задающий главную линейную часть приращения ТПР(k) $\mathbf{M}(\mathbf{x}, t)$ в окрестности точки \mathbf{X} в отсчетной конфигурации. В случае градиента скалярного поля знак тензорного умножения \otimes между символом «набла» и символом поля не ставится ($\varphi(\mathbf{x}, t) \leftrightarrow \nabla_{\mathbf{K}} \varphi(\mathbf{x}, t)$).

Наряду с отсчетным описанием иногда возникает потребность в использовании пространственного описания с независимыми переменными (\mathbf{r}, t) . Для градиента по \mathbf{r} будем использовать знак «набла» без индекса:

$$d\mathbf{M}(\mathbf{r}, t, d\mathbf{r}) = d\mathbf{r} \cdot \nabla \otimes \mathbf{M}(\mathbf{r}, t) \tag{2.8}$$

В силу (2.6) имеем:

$$\nabla_{\mathbf{K}} \otimes \mathbf{M} = \mathbf{F} \cdot \nabla \otimes \mathbf{M}, \quad \nabla \otimes \mathbf{M} = \mathbf{F}^{-1} \cdot \nabla_{\mathbf{K}} \otimes \mathbf{M} \tag{2.9}$$

Упомянутая выше формула Эйлера представляется следующим равенством:

$$\dot{\mathbf{M}}(\mathbf{r}, t) = \left(\frac{\partial \mathbf{M}}{\partial t} \right)_{\mathbf{r}} (\mathbf{r}, t) + \mathbf{v}(\mathbf{r}, t) \cdot \nabla \otimes \mathbf{M}(\mathbf{r}, t) \quad (2.10)$$

Дивергенции (отсчетная и пространственная) ТПР(k) – это ТР(k-1), задаваемые следующими равенствами (см. напр. [2]):

$$\nabla_{\mathbf{K}} \cdot \mathbf{M}(\mathbf{x}, t) \equiv \mathbf{I} : \nabla_{\mathbf{K}} \otimes \mathbf{M}(\mathbf{x}, t) \quad (2.11)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{M}(\mathbf{r}, t) \equiv \mathbf{I} : \nabla \otimes \mathbf{M}(\mathbf{r}, t) \quad (2.12)$$

где \mathbf{I} – единичный ТР(2) (единичный линейный оператор над векторным пространством).

3. Используемые в работе конечные и инкрементальные соотношения нелинейной упругости. Приведем без вывода те известные формулы теории упругих определяющих соотношений, которые используются в дальнейшем. Инкрементальные соотношения будем записывать как в собственно инкрементальной форме (т.е. в приращениях), так и в виде равенств между производными по \dot{t} ; обе формы записи эквиваленты друг другу.

Пусть $\sigma_{\mathbf{K}}(\mathbf{F}, \mathbf{x})$ – объемная плотность упругой энергии материала в точке \mathbf{X} отсчетной конфигурации (в расчете на единицу объема отсчетной конфигурации). В силу принципа материальной объективности [4] она не зависит от поворотов, т.е. для любого собственного ортогонального ТР(2) \mathbf{Q} (поворота) и любого \mathbf{F} , имеющего положительный детерминант, выполняется равенство

$$\sigma_{\mathbf{K}}(\mathbf{F} \cdot \mathbf{Q}, \mathbf{x}) = \sigma_{\mathbf{K}}(\mathbf{F}, \mathbf{x}) \quad (3.1)$$

Тензор напряжения Пиолы $\mathbf{T}_{\mathbf{K}}(\mathbf{F}, \mathbf{x})$ связан с $\sigma_{\mathbf{K}}(\mathbf{F}, \mathbf{x})$ следующими эквивалентными равенствами:

$$\dot{\sigma}_{\mathbf{K}}(\mathbf{F}, \mathbf{x}) = \dot{\mathbf{F}} : \mathbf{T}_{\mathbf{K}}(\mathbf{F}, \mathbf{x}) \Leftrightarrow \delta \sigma_{\mathbf{K}}(\mathbf{F}, \mathbf{x}) = \delta \mathbf{F} : \mathbf{T}_{\mathbf{K}}(\mathbf{F}, \mathbf{x}) \quad (3.2)$$

$$\delta \mathbf{T} = \mathbf{L} : \delta \boldsymbol{\varepsilon} + \mathbf{T} \cdot \delta \boldsymbol{\omega} - \delta \boldsymbol{\omega} \cdot \mathbf{T} \Leftrightarrow \dot{\mathbf{T}} = \mathbf{L} : \dot{\boldsymbol{\varepsilon}} + \mathbf{T} \cdot \dot{\boldsymbol{\omega}} - \dot{\boldsymbol{\omega}} \cdot \mathbf{T} \quad (3.8)$$

$$\begin{aligned} \delta \mathbf{T}_{\mathbf{K}} \Big|_{\mathbf{F}=\mathbf{I}} &= \mathbf{L} : \delta \boldsymbol{\varepsilon} + \mathbf{T}(\mathbf{I} : \delta \boldsymbol{\varepsilon}) - \delta \boldsymbol{\varepsilon} \cdot \mathbf{T} + \mathbf{T} \cdot \delta \boldsymbol{\omega} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \dot{\mathbf{T}}_{\mathbf{K}} \Big|_{\mathbf{F}=\mathbf{I}} &= \mathbf{L} : \dot{\boldsymbol{\varepsilon}} + \mathbf{T}(\mathbf{I} : \dot{\boldsymbol{\varepsilon}}) - \dot{\boldsymbol{\varepsilon}} \cdot \mathbf{T} + \mathbf{T} \cdot \dot{\boldsymbol{\omega}} \end{aligned} \quad (3.9)$$

Здесь инкрементальный тензор деформаций $\delta \boldsymbol{\varepsilon}$, полями скоростей $\mathbf{v}(\mathbf{x})$ и малых смещений $\delta \mathbf{u}(\mathbf{x}) = \delta t \mathbf{v}(\mathbf{x})$ инкрементальный тензор поворотов $\delta \boldsymbol{\omega}$, тензоры скоростей деформаций $\dot{\boldsymbol{\varepsilon}}$ и скоростей поворотов $\dot{\boldsymbol{\omega}}$ связаны с следующими равенствами:

$$\dot{\boldsymbol{\varepsilon}} = \frac{1}{2}(\nabla_{\mathbf{K}} \otimes \mathbf{v} + \nabla_{\mathbf{K}} \otimes \mathbf{v}^T), \quad \dot{\boldsymbol{\omega}} = \frac{1}{2}(\nabla_{\mathbf{K}} \otimes \mathbf{v} - \nabla_{\mathbf{K}} \otimes \mathbf{v}^T), \quad \dot{\boldsymbol{\varepsilon}} + \dot{\boldsymbol{\omega}} = \nabla_{\mathbf{K}} \otimes \mathbf{v} \quad (3.10)$$

$$\begin{aligned} \delta \boldsymbol{\varepsilon} &= \frac{1}{2}(\nabla_{\mathbf{K}} \otimes \delta \mathbf{u} + \nabla_{\mathbf{K}} \otimes \delta \mathbf{u}^T), \quad \delta \boldsymbol{\omega} = \frac{1}{2}(\nabla_{\mathbf{K}} \otimes \delta \mathbf{u} - \nabla_{\mathbf{K}} \otimes \delta \mathbf{u}^T), \\ \delta \boldsymbol{\varepsilon} + \delta \boldsymbol{\omega} &= \nabla_{\mathbf{K}} \otimes \delta \mathbf{u} \end{aligned} \quad (3.11)$$

$$\mathbf{T}_{\mathbf{K}}(\mathbf{F}, \mathbf{x}) = \frac{\partial \sigma_{\mathbf{K}}}{\partial \mathbf{F}}(\mathbf{F}, \mathbf{x}) \quad (3.3)$$

Напомним, что вектор поверхностной силы $d\mathbf{f}$, который действует на площадку с нормалью \mathbf{n} и площадью $d\Sigma$ в актуальной конфигурации, имеющую своим прообразом в отсчетной конфигурации площадку с нормалью $\mathbf{n}_{\mathbf{K}}$ и площадью $d\Sigma_{\mathbf{K}}$, выражается через тензоры напряжений Коши $\mathbf{T}(\mathbf{F}, \mathbf{x})$ и Пиолы $\mathbf{T}_{\mathbf{K}}(\mathbf{F}, \mathbf{x})$ следующим образом:

$$d\mathbf{f} = d\Sigma \mathbf{n} \cdot \mathbf{T} = d\Sigma_{\mathbf{K}} \mathbf{n}_{\mathbf{K}} \cdot \mathbf{T}_{\mathbf{K}}, \quad (3.4)$$

откуда вытекает известное соотношение между этими двумя тензорами напряжений:

$$\mathbf{T}_{\mathbf{K}} = (\det \mathbf{F})(\mathbf{F}^{-1})^T \cdot \mathbf{T}; \quad \mathbf{T} = \frac{1}{\det \mathbf{F}} \mathbf{F}^T \cdot \mathbf{T}_{\mathbf{K}} \quad (3.5)$$

В силу принципа материальной объективности и в соответствии со своими специфическими свойствами напряжения Пиолы и Коши по-разному зависят от поворотов:

$$\mathbf{T}_{\mathbf{K}}(\mathbf{F} \cdot \mathbf{Q}) = \mathbf{T}_{\mathbf{K}}(\mathbf{F}) \cdot \mathbf{Q} \quad (3.6)$$

$$\mathbf{T}(\mathbf{F} \cdot \mathbf{Q}) = \mathbf{Q}^T \cdot \mathbf{T}(\mathbf{F}) \cdot \mathbf{Q} \equiv \mathbf{T}(\mathbf{F}) * \mathbf{Q} \quad (3.7)$$

Конечным нелинейным зависимостям $\mathbf{T}(\mathbf{F})$ и $\mathbf{T}_{\mathbf{K}}(\mathbf{F})$ с учетом принципа материальной объективности и равенств (3.5) соответствуют следующие инкрементальные (линеаризованные) определяющие соотношения, причем линеаризация проводится в окрестности отсчетной конфигурации (которая характеризуется равенствами $t = 0, \mathbf{r} = \mathbf{x}, \mathbf{F} = \mathbf{I}$):

TR(4) $\mathbf{L}(\mathbf{F})$ – один из употребительных тензоров упругих модулей; для разных состояний одного и того же упругого материала значения TR(4) $\mathbf{L}(\mathbf{F})$ различны.

Заметим, что $\delta\boldsymbol{\varepsilon}$ и $\dot{\boldsymbol{\varepsilon}}$ симметричны, а $\delta\boldsymbol{\omega}$ и $\dot{\boldsymbol{\omega}}$ антисимметричны; поэтому

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{T}} &= \mathbf{L} : \dot{\boldsymbol{\varepsilon}}, \quad \dot{\mathbf{T}}_{\mathbf{F}=\mathbf{I}} = \mathbf{L} : \dot{\boldsymbol{\varepsilon}} - p(\nabla_{\mathbf{K}} \cdot \mathbf{v})\mathbf{I} + p\nabla_{\mathbf{K}} \otimes \mathbf{v}^T \\ \delta\mathbf{T} &= \mathbf{L} : \delta\boldsymbol{\varepsilon}; \quad \delta\mathbf{T}_{\mathbf{F}=\mathbf{I}} = \mathbf{L} : \delta\boldsymbol{\varepsilon} - p(\nabla_{\mathbf{K}} \cdot \delta\mathbf{u})\mathbf{I} + p\nabla_{\mathbf{K}} \otimes \delta\mathbf{u}^T\end{aligned}\quad (3.13)$$

В дальнейшем будет считаться, что исследуемая на устойчивость равновесная (невозмущенная) конфигурация характеризуется гидростатическим напряженным состоянием во всей области B , однако возмущенные состояния, в силу инкрементальных соотношений (3.13), для

$$\mathbf{I} : \delta\boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{I} : \nabla_{\mathbf{K}} \otimes \delta\mathbf{u} = \nabla_{\mathbf{K}} \cdot \delta\mathbf{u} \quad (3.12)$$

Если $\mathbf{T} = -p\mathbf{I}$, то напряженное состояние называется гидростатическим. В окрестности такого состояния (3.8), (3.9) упрощаются и принимают вид

твердых материалов гидростатическими могут не быть. В случае же, когда материал является сжимаемой идеальной жидкостью («упругой жидкостью» в терминологии книги [4]), имеем:

$$\sigma_{\mathbf{K}}(\mathbf{F}, \mathbf{x}) = \psi(\det \mathbf{F}, \mathbf{x}) \quad (3.14)$$

$$\mathbf{T}_{\mathbf{K}}(\mathbf{F}, \mathbf{x}) = \frac{d(\det \mathbf{F})}{d\mathbf{F}} \frac{\partial \psi}{\partial(\det \mathbf{F})}(\det \mathbf{F}, \mathbf{x}) = (\det \mathbf{F})(\mathbf{F}^{-1})^T \frac{\partial \psi}{\partial(\det \mathbf{F})}(\det \mathbf{F}, \mathbf{x}) \quad (3.15)$$

$$\mathbf{T}(\mathbf{F}, \mathbf{x}) = \frac{\partial \psi}{\partial(\det \mathbf{F})}(\det \mathbf{F}, \mathbf{x})\mathbf{I} \equiv -p(\det \mathbf{F}, \mathbf{x})\mathbf{I} \quad (3.16)$$

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{T}}(\mathbf{F}, \mathbf{x})\Big|_{\mathbf{F}=\mathbf{I}} &= -\frac{\partial p}{\partial(\det \mathbf{F})}(1, \mathbf{x})(\det \mathbf{F})'\Big|_{\mathbf{F}=\mathbf{I}}\mathbf{I} = \\ &= -\frac{\partial p}{\partial(\det \mathbf{F})}(1, \mathbf{x})\mathbf{I}(\mathbf{I} : \dot{\boldsymbol{\varepsilon}}) \equiv K(1, \mathbf{x})\mathbf{I}(\mathbf{I} : \dot{\boldsymbol{\varepsilon}})\end{aligned}\quad (3.17)$$

$$\Rightarrow \mathbf{L}(1, \mathbf{x}) = K(1, \mathbf{x})\mathbf{I} \otimes \mathbf{I}, \quad (3.18)$$

где $K(1, \mathbf{x})$ – поле модуля объемного сжатия жидкости в отсчетной конфигурации.

Подчеркнем, что отсчетная конфигурация не является разгруженной, в ней имеется ненулевое распределение давлений $p(1, \mathbf{x})$, характеризующее состояние равновесия в поле силы тяжести.

4. Исследуемое на устойчивость гидростатическое равновесное состояние системы в поле силы тяжести. ППЭ системы и статический энергетический критерий устойчивости/неустойчивости. Исследуемая на устойчивость равновесная конфигурация системы принимается в качестве отсчетной конфигурации \mathbf{K} . Она характеризуется некоторым

распределением плотности жидкости $\rho_{\mathbf{K}}(\mathbf{x})$ и, в силу предположения о гидростатическом напряженном состоянии, некоторым распределением давления $p_{\mathbf{K}}(\mathbf{x})$, удовлетворяющим уравнениям равновесия в областях B_- , B_+ и на границах Σ_- , Σ_+ , Σ_{+-} , Σ_s .

В отсчетной конфигурации тензоры напряжений Пиолы $\mathbf{T}_{\mathbf{K}_0}(\mathbf{x})$ и Коши $\mathbf{T}_0(\mathbf{x})$ совпадают между собой, а уравнение равновесия в среде имеет следующий вид:

$$\nabla_{\mathbf{K}} \cdot \mathbf{T}_{\mathbf{K}_0}(\mathbf{x}) + \rho_{\mathbf{K}}(\mathbf{x})\mathbf{g} = 0 \quad (4.1)$$

$$\mathbf{T}_{\mathbf{K}_0}(\mathbf{x}) = -p_{\mathbf{K}}(\mathbf{x})\mathbf{I} \Rightarrow \nabla_{\mathbf{K}} p_{\mathbf{K}}(\mathbf{x}) = -\rho_{\mathbf{K}}(\mathbf{x})\mathbf{g}\mathbf{e}_3 \quad (4.2)$$

Пользуясь известным приемом (беря ротор от обеих частей уравнения (4.2)), получаем:

$$\nabla_{\mathbf{K}} \rho_{\mathbf{K}}(\mathbf{x}) \parallel \mathbf{e}_3 \Rightarrow \rho_{\mathbf{K}}(\mathbf{x}) = \rho_{\mathbf{K}}(z), \quad p_{\mathbf{K}}(\mathbf{x}) = p_{\mathbf{K}}(z), \quad (4.3)$$

$$\frac{dp_{\mathbf{K}}}{dz}(z) = \rho_{\mathbf{K}}(z)g \quad (4.4)$$

Таким образом, в жидкости, которая находится в состоянии равновесия в поле силы тяжести, плотность и давление зависят только от глубины z , причем выполнено уравнение (4.4).

На свободной поверхности Σ_+ (где $z = 0$) имеем:

$$p\Big|_{\Sigma_+} = p_{\mathbf{K}}(0) = 0 \quad (4.5)$$

На изображенных на рисунке 1 поверхностях Σ_{+-} (где $z = l_+$) и Σ_- (где $z = l_+ + l_-$) давление постоянно:

$$p\Big|_{\Sigma_{+-}} = p_{\mathbf{K}}(l_+) \quad (4.6)$$

$$p \Big|_{\Sigma_-} = p_k (l_+ + l_-) \tag{4.7}$$

Условия свободного проскальзывания на Σ_-, Σ_{+-} и Σ_s сводятся к нормальности вектора начальных напряжений на этих поверхностях, что автоматически выполняется в силу первой части равенства (4.2) (т.е. в силу гидростатичности напряжений). Вследствие того, что на всех границах внешние силы либо отсутствуют, либо ортогональны допустимым скоростям (т.е. не производят работы), они не дают вклада в ППЭ системы, которая таким образом, представляет собой сумму упругой и гравитационной энергий:

$$U\{\mathbf{r}\} = \langle \sigma_k (\nabla_k \otimes \mathbf{r}(\mathbf{x}), \mathbf{x}) \rangle_B + \langle \rho_k(\mathbf{x}) g \mathbf{r}(\mathbf{x}) \cdot \mathbf{e}_3 \rangle_B \tag{4.8}$$

Здесь угловые скобки означают интегрирование по отсчетному множеству, указанному справа внизу. В невозмущенном состоянии (т.е. при $\mathbf{r} = \mathbf{X}$) имеем:

$$U_0 \equiv U\{\mathbf{x}\} = \langle \sigma_k (\mathbf{I}, \mathbf{x}) \rangle_B + \langle \rho_k(\mathbf{x}) g \mathbf{x} \cdot \mathbf{e}_3 \rangle_B \tag{4.9}$$

Анализ устойчивости и неустойчивости будет производиться на основе следующего энергетического определения:

- 1) равновесное состояние системы называется устойчивым в малом, если для любых кинематически допустимых малых отклонений от этого состояния ППЭ системы не уменьшается;
- 2) равновесное состояние системы называется неустойчивым в малом, если существуют такие кинематически допустимые малые отклонения от этого состояния, в результате которых ППЭ уменьшается.

В случае неустойчивости те поля малых смещений, которые приводят к уменьшению ППЭ, называются формами потери устойчивости (ФПУ).

Заметим, что в данном определении безразличное равновесие отнесено к устойчивости, что представляется естественным для жидкости в поле силы тяжести: существует большой класс виртуальных движений жидкости, не нарушающих равновесия (и поэтому не меняющих ее ППЭ). В частности, это любые горизонтальные изохорические движения, а также, в случае материально однородной жидкости, любые движения, не меняющие пространственных распределений давления и плотности. Такие отклонения не приводят к динамике с нарастанием кинетической энергии, и считать их ФПУ не имеет смысла.

Исходя из принятого энергетического определения устойчивости и неустойчивости, выведем тот критерий устойчивости/неустойчивости в малом, который и будет служить в дальнейшем непосредственным инструментом исследования данного вопроса. Для этой цели рассмотрим множество дважды дифференцируемых по времени кинематически допустимых виртуальных движений системы $\{\mathbf{r}(\mathbf{x}, t)\}$, начальные состояния которых совпадают с отсчетной конфигурацией:

$$\mathbf{r}(\mathbf{x}, 0) = \mathbf{x}, \quad \forall \mathbf{x} \in B \tag{4.10}$$

На каждом из таких движений ППЭ является дважды дифференцируемой функцией времени

$$U(t) \equiv U\{\mathbf{r}(\mathbf{x}, t)\} \tag{4.11}$$

и может быть представлена в окрестности $t=0$ по формуле Тейлора второго порядка:

$$U(\delta t) = U(0) + \delta t \dot{U}(0) + \frac{1}{2} (\delta t)^2 \ddot{U}(0) + o((\delta t)^2) \tag{4.12}$$

В дальнейшем будет показано, что $\dot{U}(0)$ и, следовательно, слагаемое первого порядка по δt (называемое первой вариацией) обращается в нуль (это следствие равновесности отсчетной конфигурации). Таким образом, разложение по формуле Тейлора для приращения ППЭ начинается с квадратичного по δt слагаемого:

$$U(\delta t) - U(0) = \frac{1}{2} (\delta t)^2 \ddot{U}(0) + o((\delta t)^2) \tag{4.13}$$

Удвоенное квадратичное слагаемое (называемое второй вариацией) определяет знак приращения ППЭ в тех случаях, когда это слагаемое отлично от нуля. Если же

оно равно нулю, то знак приращения U , формально говоря, определяется слагаемыми более высоких порядков, однако в данном случае, как будет показано ниже, при обращении в нуль второй вариации обращается в нуль и само приращение ППЭ. Таким образом, в смысле знака и обращения в нуль вторая вариация ведет себя точно так же, как и приращение ППЭ системы при малых отклонениях от положения равновесия. Отсюда вытекает критерий устойчивости/неустойчивости в малом:

1. равновесное состояние системы устойчиво в малом, если для любых кинематически допустимых полей малых смещений вторая вариация ППЭ неотрицательна;
2. равновесное состояние системы неустойчиво в малом, если существуют такие кинематически допустимые поля малых смещений (называемые ФПУ), для которых вторая вариация ППЭ отрицательна.

Для доказательства равенства нулю первой вариации ППЭ и преобразования ее второй вариации к виду, из которого вытекает анализ устойчивости, требуется вывести кинематические ГУ для скоростей и ускорений на поверхностях $\Sigma_s \cup \Sigma_- \cup \Sigma_{+-}$.

Начнем с неподвижных поверхностей $\Sigma_s \cup \Sigma_-$. На них задано условие проскальзывания, что в смысле кинематики означает тангенциальность скорости, т.е. ортогональность вектора скорости текущему значению вектора нормали. Заметим, что это условие можно записать и для любой неподвижной в пространстве точки стенок или дна резервуара:

$$\mathbf{v}(\mathbf{r}, t) \cdot \mathbf{n}(\mathbf{r}) = 0, \quad \mathbf{r} \in \Sigma_s \cup \Sigma_- \tag{4.14}$$

Дифференцируя равенство (4.14) при $\mathbf{r} = const$ и пользуясь формулой Эйлера, получим:

$$\left(\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} \right)_{\mathbf{r}} \cdot \mathbf{n} = 0 = (\dot{\mathbf{v}} - \mathbf{v} \cdot \nabla \otimes \mathbf{v}) \cdot \mathbf{n} \tag{4.15}$$

При $t = 0$ имеем: $\mathbf{r} = \mathbf{x}, \quad \mathbf{n} = \mathbf{n}_k, \quad \nabla \otimes \mathbf{v} = \nabla_k \otimes \mathbf{v}$. Следовательно, на $\Sigma_s \cup \Sigma_-$ справедливы следующие ГУ для скорости и ускорения:

$$\mathbf{v} \cdot \mathbf{n}_k = 0, \quad (\dot{\mathbf{v}} - \mathbf{v} \cdot \nabla_k \otimes \mathbf{v}) \cdot \mathbf{n}_k = 0 \quad (4.16)$$

Для вывода кинематических ГУ на подвижной поверхности раздела слоев Σ_{+-} введем два удовлетворяющих (4.10) поля трансформаций $\mathbf{r}_+(\mathbf{x}, t)$ и $\mathbf{r}_-(\mathbf{x}, t)$, определенным образом связанных между собой. Пусть $\mathbf{y}(\mathbf{x}, t)$ – некоторое вспомогательное поле трансформаций, характеризующееся тем, что оно переводит Σ_{+-} и край этой поверхности $\partial\Sigma_{+-}$ в себя и является тождественным при $t = 0$:

$$\mathbf{y}(\mathbf{x}, t) \in \Sigma_{+-}, \quad \forall \mathbf{x} \in \Sigma_{+-}, \quad \mathbf{y}(\mathbf{x}, t) \in \partial\Sigma_{+-}, \quad \forall \mathbf{x} \in \partial\Sigma_{+-} \quad (4.17)$$

$$\mathbf{y}(\mathbf{x}, 0) = \mathbf{x}, \quad \forall \mathbf{x} \in B \quad (4.18)$$

Для $\mathbf{r}_+(\mathbf{x}, t)$ примем следующее представление:

$$\mathbf{r}_+(\mathbf{x}, t) = \mathbf{r}_-(\mathbf{y}(\mathbf{x}, t), t) \quad (4.19)$$

Представление (4.19) является наиболее общим представлением, соответствующим проскальзыванию нижней границы верхнего слоя вдоль верхней границы нижнего слоя, которая сама изгибается и деформируется при виртуальных движениях системы.

Следствием условия (4.17) (означающего, что на Σ_{+-} $\mathbf{y}(\mathbf{x}, t) \cdot \mathbf{e}_3 = \text{const}$) являются равенства

$$\dot{\mathbf{y}}(\mathbf{x}, t) \cdot \mathbf{e}_3 = 0; \quad \ddot{\mathbf{y}}(\mathbf{x}, t) \cdot \mathbf{e}_3 = 0, \quad \mathbf{x} \in \Sigma_{+-} \quad (4.20)$$

Дифференцируя (4.19) единожды и дважды по t при постоянном \mathbf{x} , получим:

$$\dot{\mathbf{r}}_+(\mathbf{x}, t) = \left(\frac{\partial \mathbf{r}_-}{\partial t} \right)_y + \dot{\mathbf{y}} \cdot \nabla_y \otimes \mathbf{r}_-(\mathbf{y}, t) \quad (4.21)$$

$$\begin{aligned} \ddot{\mathbf{r}}_+(\mathbf{x}, t) &= \left(\frac{\partial^2 \mathbf{r}_-}{\partial t^2} \right)_y + \ddot{\mathbf{y}} \cdot \nabla_y \otimes \mathbf{r}_-(\mathbf{y}, t) + \\ &+ 2\dot{\mathbf{y}} \cdot \nabla_y \otimes \left(\frac{\partial \mathbf{r}_-}{\partial t} \right)_y + \dot{\mathbf{y}} \otimes \dot{\mathbf{y}} : \nabla_y \otimes \nabla_y \otimes \mathbf{r}_-(\mathbf{y}, t) \end{aligned} \quad (4.22)$$

При $t = 0$ с учетом (4.10), (4.18) и в силу (4.21) и (4.22) на поверхности Σ_{+-} справедливы следующие равенства:

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_+ - \mathbf{v}_- \equiv [\mathbf{v}] = \dot{\mathbf{y}} &\Rightarrow [\mathbf{v}] \cdot \mathbf{e}_3 = [\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3] = 0 \quad (4.23) \\ \Rightarrow [\dot{\mathbf{v}}] \cdot \mathbf{e}_3 &= 2[\mathbf{v}] \cdot \nabla_k \otimes \mathbf{v}_- \cdot \mathbf{e}_3 = 2[\mathbf{v}] \cdot \nabla_k (\mathbf{v}_- \cdot \mathbf{e}_3) \end{aligned}$$

В дальнейшем квадратные скобки будут использоваться для обозначения скачков любых величин на поверхности Σ_{+-} .

Заметим, что второе равенство в (4.23) эквивалентно равенству

$$[\mathbf{v}] = [\mathbf{v}] \cdot (\mathbf{I} - \mathbf{e}_3 \otimes \mathbf{e}_3) \quad (4.24)$$

С другой стороны, из (4.23) следует, что

$$\nabla_k^\Sigma [\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3] = 0 \Rightarrow [\nabla_k^\Sigma (\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3)] = [(\mathbf{I} - \mathbf{e}_3 \otimes \mathbf{e}_3) \cdot \nabla_k (\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3)] = 0, \quad (4.25)$$

где $\nabla_k^\Sigma(\dots)$ – двумерный градиент вдоль поверхности Σ_{+-} .

С учетом (4.24) и (4.25) при $t = 0$ на поверхности Σ_{+-} получим:

$$[\dot{\mathbf{v}} \cdot \mathbf{e}_3 - 2\mathbf{v} \cdot (\mathbf{I} - \mathbf{e}_3 \otimes \mathbf{e}_3) \cdot \nabla_k (\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3)] = 0 \quad (4.26)$$

Равенства (4.23) и (4.26) представляют собой кинематические соотношения для скоростей и ускорений слоев на их общей границе Σ_{+-} , которая является поверхностью их взаимного проскальзывания.

Используя выведенные кинематические ГУ для скоростей, докажем упомянутое выше равенство нулю первой вариации ППЭ. Исходя из (4.8), (4.11) и с учетом (2.5), представим $U(t)$ в следующем виде:

$$U(t) = \langle \sigma_k(\mathbf{F}(\mathbf{x}, t), \mathbf{x}) \rangle_B + \langle \rho_k(\mathbf{x}) g \mathbf{r}(\mathbf{x}, t) \cdot \mathbf{e}_3 \rangle_B \quad (4.27)$$

Тогда

$$\begin{aligned} \dot{U}(t) &= \left\langle \dot{\mathbf{F}}(\mathbf{x}, t) : \frac{\partial \sigma_k}{\partial \mathbf{F}}(\mathbf{F}(\mathbf{x}, t), \mathbf{x}) \right\rangle_B + \langle \rho_k(\mathbf{x}) g \dot{\mathbf{r}}(\mathbf{x}, t) \cdot \mathbf{e}_3 \rangle_B = \\ &= \langle \nabla_k \otimes \mathbf{v}(\mathbf{x}, t) : \mathbf{T}_k(\mathbf{F}(\mathbf{x}, t), \mathbf{x}) \rangle_B + \langle \rho_k(\mathbf{x}) g \mathbf{v}(\mathbf{x}, t) \cdot \mathbf{e}_3 \rangle_B \end{aligned} \quad (4.28)$$

Заметим, что

$$\nabla_k \cdot (\mathbf{T}_k \cdot \mathbf{v}) = (\nabla_k \cdot \mathbf{T}_k) \cdot \mathbf{v} + \nabla_k \otimes \mathbf{v} : \mathbf{T}_k \quad (4.29)$$

Поскольку при $t = 0$ выполнено уравнение равновесия в среде (4.1), получаем:

$$\nabla_k \otimes \mathbf{v} : \mathbf{T}_{k0} = \nabla_k \cdot (\mathbf{T}_{k0} \cdot \mathbf{v}) - \rho_k g \mathbf{e}_3 \cdot \mathbf{v} \quad (4.3)$$

$$\begin{aligned} \dot{U}(0) &= \langle \nabla_k \cdot (\mathbf{T}_{k0} \cdot \mathbf{v}) \rangle_B = \langle \mathbf{n}_k \cdot \mathbf{T}_{k0} \cdot \mathbf{v} \rangle_{\partial B_+} + \langle \mathbf{n}_k \cdot \mathbf{T}_{k0} \cdot \mathbf{v} \rangle_{\partial B_-} = \langle \mathbf{n}_k \cdot \mathbf{T}_{k0} \cdot \mathbf{v} \rangle_{\Sigma_+} + \\ &+ \langle \mathbf{n}_k \cdot \mathbf{T}_{k0} \cdot \mathbf{v} \rangle_{\Sigma_s \cup \Sigma_-} + \langle \mathbf{e}_3 \cdot \mathbf{T}_{k0} \cdot \mathbf{v} \rangle_{\Sigma_{+-}} + \langle (-\mathbf{e}_3) \cdot \mathbf{T}_{k0} \cdot \mathbf{v} \rangle_{\Sigma_{+-}} \end{aligned} \quad (4.31)$$

Учитывая (4.3), (4.5) – (4.7), а также (4.23), приходим к равенству

$$\dot{U}(0) = \langle p_{\kappa}(l_+) [\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3] \rangle_{\Sigma_{+-}} = 0, \tag{4.32}$$

доказывающему равенство нулю первой вариации ППЭ системы.

Заметим, что по существу доказательство равенства нулю первой вариации ППЭ основывалось только на уравнениях равновесия внутри среды и на границах, а также на кинематических ГУ. Таким образом, этот результат в равной мере справедлив и для упругих жидкостей, и для упругих твердых тел, и для других типов ГУ.

Иначе обстоит дело со второй вариацией ППЭ. Приводимое ниже преобразование второй вариации к нужному виду является центральным моментом анализа устойчивости системы.

5. Преобразование функционала второй вариации ППЭ. Дифференцируя равенство (4.28) по t и полагая $t = 0$, получим

$$\ddot{U}(0) = \left\langle \nabla_{\kappa} \otimes \mathbf{v} : \dot{\mathbf{T}}_{\kappa} \Big|_{\mathbf{F}=\mathbf{I}} \right\rangle_B + \left\langle \nabla_{\kappa} \otimes \dot{\mathbf{v}} : \mathbf{T}_{\kappa_0} \right\rangle_B + \left\langle \rho_{\kappa} g \mathbf{e}_3 \cdot \dot{\mathbf{v}} \right\rangle_B \tag{5.1}$$

С учетом (3.13) и (3.18) подынтегральная функция в первом интеграле для твердых тел и для жидкостей приводится к следующему виду:

$$\begin{aligned} \nabla_{\kappa} \otimes \mathbf{v} : \dot{\mathbf{T}}_{\kappa} \Big|_{\mathbf{F}=\mathbf{I}} &= \dot{\boldsymbol{\varepsilon}} : \mathbf{L} : \dot{\boldsymbol{\varepsilon}} - p(\nabla_{\kappa} \cdot \mathbf{v})^2 + p \nabla_{\kappa} \otimes \mathbf{v}^T : \nabla_{\kappa} \otimes \mathbf{v} = \\ &= K(\nabla_{\kappa} \cdot \mathbf{v})^2 - p(\nabla_{\kappa} \cdot \mathbf{v})^2 + p \nabla_{\kappa} \otimes \mathbf{v}^T : \nabla_{\kappa} \otimes \mathbf{v} \end{aligned} \tag{5.2}$$

Для преобразования второго и третьего интегралов воспользуемся следующим представлением поля ускорений:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{v}} &= \mathbf{b} + \mathbf{h}, \quad \mathbf{b} \equiv \dot{\mathbf{v}} - \mathbf{v} \cdot \nabla \otimes \mathbf{v} + \mathbf{v}(\nabla \cdot \mathbf{v}), \\ \mathbf{h} &= \mathbf{v} \cdot \nabla \otimes \mathbf{v} - \mathbf{v}(\nabla \cdot \mathbf{v}) = \nabla \otimes \mathbf{v}^T \cdot \mathbf{v} - \mathbf{v}(\nabla \cdot \mathbf{v}) \end{aligned} \tag{5.3}$$

С учетом равенства $\mathbf{r}(\mathbf{x}, 0) = \mathbf{x}$ при $t = 0$ имеем:

$$\nabla \otimes \mathbf{v} = \nabla_{\kappa} \otimes \mathbf{v}, \quad \nabla \cdot \mathbf{v} = \nabla_{\kappa} \cdot \mathbf{v}.$$

В дальнейшем слагаемые, содержащие \mathbf{b} , и слагаемые, содержащие \mathbf{h} , будут преобразовываться совершенно по-разному.

Покажем, что в (5.1) слагаемые, содержащие \mathbf{b} , в сумме дают нуль. В силу равенств (4.16) имеем:

$$\mathbf{b}(\mathbf{x}, 0) \cdot \mathbf{n}_{\kappa}(\mathbf{x}) = 0, \quad \mathbf{x} \in \Sigma_s \cup \Sigma_- \tag{5.4}$$

Заменяя в равенствах (4.28) – (4.31) поле $\mathbf{v}(\mathbf{x}, 0)$ на $\mathbf{b}(\mathbf{x}, 0)$, получим:

$$\begin{aligned} \left\langle \nabla_{\kappa} \otimes \mathbf{b} : \mathbf{T}_{\kappa_0} \right\rangle_B + \left\langle \rho_{\kappa} g \mathbf{e}_3 \cdot \mathbf{b} \right\rangle_B &= \left\langle p_{\kappa}(l_+) [\mathbf{b} \cdot \mathbf{e}_3] \right\rangle_{\Sigma_{+-}} = \\ &= p_{\kappa}(l_+) \left\langle [\mathbf{b} \cdot \mathbf{e}_3] \right\rangle_{\Sigma_{+-}} \end{aligned} \tag{5.5}$$

Преобразуем выражение для $\mathbf{b} \cdot \mathbf{e}_3$:

$$\begin{aligned} \mathbf{b} \cdot \mathbf{e}_3 &= \dot{\mathbf{v}} \cdot \mathbf{e}_3 - \mathbf{v} \cdot \nabla \otimes \mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3 + (\nabla \cdot \mathbf{v}) \mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3 = \dot{\mathbf{v}} \cdot \mathbf{e}_3 - 2\mathbf{v} \cdot (\mathbf{I} - \mathbf{e}_3 \otimes \mathbf{e}_3) \cdot \nabla(\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3) + \\ &+ (\mathbf{I} - \mathbf{e}_3 \otimes \mathbf{e}_3) : \nabla \otimes (\mathbf{v}(\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3)) \Rightarrow \\ \Rightarrow \mathbf{b} \cdot \mathbf{e}_3 &= \dot{\mathbf{v}} \cdot \mathbf{e}_3 - 2\mathbf{v} \cdot (\mathbf{I} - \mathbf{e}_3 \otimes \mathbf{e}_3) \cdot \nabla(\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3) + \nabla^{\Sigma} \cdot (\mathbf{v}(\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3)) \end{aligned} \tag{5.6}$$

Из равенства (5.6) с учетом (4.26) при $t = 0$ на Σ_{+-} получаем:

$$[\mathbf{b} \cdot \mathbf{e}_3] = [\nabla_{\kappa}^{\Sigma} \cdot (\mathbf{v}(\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3))] = \nabla_{\kappa}^{\Sigma} \cdot ([\mathbf{v}] \mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3) \tag{5.7}$$

$$\left\langle [\mathbf{b} \cdot \mathbf{e}_3] \right\rangle_{\Sigma_{+-}} = \left\langle \boldsymbol{\eta} \cdot [\mathbf{v}] (\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3) \right\rangle_{\partial \Sigma_{+-}} = 0, \tag{5.8}$$

где $\boldsymbol{\eta}$ – единичная внешняя нормаль к краю $\partial \Sigma_{+-}$ поверхности Σ_{+-} в плоскости, на которой эта поверхность лежит. Здесь применена двумерная теорема Гаусса-

Остроградского и учтено, что в точках края $\mathbf{v}_+ \perp \mathbf{n}_{\kappa}$, $\mathbf{v}_- \perp \mathbf{n}_{\kappa} \Rightarrow [\mathbf{v}] \perp \mathbf{n}_{\kappa}$ (где \mathbf{n}_{κ} – нормаль к Σ_s), а при этом $[\mathbf{v}] \perp \mathbf{e}_3$. Таким образом, $[\mathbf{v}]$ коллинеарен

касательной к $\partial\Sigma_{+-}$ и, следовательно, $[\mathbf{v}] \cdot \boldsymbol{\eta} \Big|_{\partial\Sigma_{+-}} = 0$. Заметим, что рассуждения, приведенные к равенству (5.8), справедливы не только для цилиндрического резервуара, но и для резервуара произвольной формы.

Из равенств (5.5) и (5.8) получаем:

$$\langle \nabla_{\kappa} \otimes \mathbf{b} : \mathbf{T}_{\kappa_0} \rangle_B + \langle \rho_{\kappa} g \mathbf{e}_3 \cdot \mathbf{b} \rangle_B = 0 \quad (5.9)$$

Преобразуем теперь в (5.1) слагаемые, содержащие \mathbf{h} :

$$\begin{aligned} \nabla_{\kappa} \otimes \mathbf{h} : \mathbf{T}_{\kappa_0} + \rho_{\kappa} g \mathbf{h} \cdot \mathbf{e}_3 &= -p_{\kappa} \nabla_{\kappa} \cdot \mathbf{h} + \rho_{\kappa} g \mathbf{h} \cdot \mathbf{e}_3 = \\ &= -p_{\kappa} \nabla_{\kappa} \cdot (\nabla_{\kappa} \otimes \mathbf{v}^T \cdot \mathbf{v} - (\nabla_{\kappa} \cdot \mathbf{v}) \mathbf{v}) + \rho_{\kappa} g (\mathbf{v} \cdot \nabla_{\kappa} (\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3)) - (\nabla_{\kappa} \cdot \mathbf{v}) \mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3 = \\ &= -(-p_{\kappa} (\nabla_{\kappa} \cdot \mathbf{v})^2 + p_{\kappa} \nabla_{\kappa} \otimes \mathbf{v}^T : \nabla_{\kappa} \otimes \mathbf{v}) - \\ &- 2\rho_{\kappa} g (\nabla_{\kappa} \cdot \mathbf{v}) \mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3 + \nabla_{\kappa} \cdot (\rho_{\kappa} g \mathbf{v} (\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3)) - g (\mathbf{v} \cdot \nabla_{\kappa} \rho_{\kappa}) \mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3 \end{aligned}$$

Таким образом,

$$\begin{aligned} \nabla_{\kappa} \otimes \mathbf{h} : \mathbf{T}_{\kappa_0} + \rho_{\kappa} g \mathbf{h} \cdot \mathbf{e}_3 &= -(-p_{\kappa} (\nabla_{\kappa} \cdot \mathbf{v})^2 + p_{\kappa} \nabla_{\kappa} \otimes \mathbf{v}^T : \nabla_{\kappa} \otimes \mathbf{v}) - \\ &- 2\rho_{\kappa} g (\nabla_{\kappa} \cdot \mathbf{v}) \mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3 + \nabla_{\kappa} \cdot (\rho_{\kappa} g \mathbf{v} (\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3)) + \frac{d\rho_{\kappa}}{dz}(z) g (\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3)^2 \end{aligned} \quad (5.10)$$

В ходе преобразований в (5.10) использовано известное равенство

$$\nabla_{\kappa} \cdot (\nabla_{\kappa} \otimes \mathbf{v}^T) = \nabla_{\kappa} (\nabla_{\kappa} \cdot \mathbf{v}), \quad (5.11)$$

а также равенство

$$\nabla_{\kappa} \rho_{\kappa}(\mathbf{x}) = -\frac{d\rho_{\kappa}}{dz}(z) \mathbf{e}_3 \quad (5.12)$$

С учетом (5.6) и (5.2) общее подынтегральное выражение в (5.1) для сжимаемых идеальных жидкостей принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} K (\nabla_{\kappa} \cdot \mathbf{v})^2 - 2\rho_{\kappa} g (\nabla_{\kappa} \cdot \mathbf{v}) \mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3 + \nabla_{\kappa} \cdot (\rho_{\kappa} g \mathbf{v} (\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3)) + \\ + \frac{d\rho_{\kappa}}{dz}(z) g (\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3)^2 = K (\nabla_{\kappa} \cdot \mathbf{v} - \frac{\rho_{\kappa} g}{K} \mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3)^2 + \\ + \nabla_{\kappa} \cdot (\rho_{\kappa} g \mathbf{v} (\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3)) + \left(\frac{d\rho_{\kappa}}{dz} - \frac{\rho_{\kappa}^2 g}{K} \right) g (\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3)^2 \end{aligned} \quad (5.13)$$

Заметим, что учитывая уравнение

$$\rho \det \mathbf{F} = \rho_{\kappa}, \quad (5.14)$$

а также равенство (3.17), получаем следующие выражения для K :

$$K = \rho(\mathbf{x}) \frac{\partial \rho}{\partial \rho}(\rho, \mathbf{x}) \Rightarrow \frac{1}{K} = \frac{1}{\rho(\mathbf{x})} \frac{\partial \rho}{\partial p}(\rho, \mathbf{x}) \quad (5.15)$$

В отсчетной конфигурации (которая является неоднородной)

$$\mathbf{F} = \mathbf{I}, \quad \det \mathbf{F} = 1, \quad \rho(\mathbf{x}) = \rho_{\kappa}(\mathbf{x}) = \rho_{\kappa}(z), \quad p(\mathbf{x}) = p_{\kappa}(\mathbf{x}) = p_{\kappa}(z).$$

Таким образом,

$$\frac{\rho_{\kappa}(z)}{K(z)} = \frac{\partial \rho}{\partial p}(p_{\kappa}(z), z) \quad (5.16)$$

Из (5.16) и (4.4) следует, что

$$\begin{aligned} \frac{d\rho_{\kappa}}{dz}(z) = \frac{d}{dz}(\rho(p_{\kappa}(z), z)) = \frac{\partial \rho}{\partial z}(p_{\kappa}(z), z) + \\ + \frac{\partial \rho}{\partial p}(p_{\kappa}(z), z) \frac{dp_{\kappa}}{dz}(z) = \frac{\partial \rho}{\partial z}(p_{\kappa}(z), z) + \frac{(\rho_{\kappa}(z))^2 g}{K(z)} \Rightarrow \end{aligned} \quad (5.17)$$

$$\Rightarrow \frac{d\rho_k}{dz} - \frac{\rho_k^2 g}{K} = \left(\frac{\partial \rho}{\partial z} \right)_p (\rho_k(z), z) \tag{5.18}$$

В конечном итоге, интегрируя (5.13) по области $B = B_+ \cup B_-$, применяя теорему Гаусса-Остроградского для каждой из областей B_+ и B_- и учитывая ГУ (4.16) и (4.23) для скорости, получим:

$$\begin{aligned} R\{\mathbf{v}\} \equiv \dot{U}(0) = & \left\langle \rho_k g (\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3)^2 \right\rangle_{\Sigma_+} + \\ & + \left\langle -[\rho_k] g (\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3)^2 \right\rangle_{\Sigma_{+-}} + \left\langle \left(\frac{\partial \rho}{\partial z} \right)_p g (\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3)^2 \right\rangle_B + \\ & + \left\langle K (\nabla_k \cdot \mathbf{v} - \frac{\rho_k g}{K} \mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3)^2 \right\rangle_B \end{aligned} \tag{5.19}$$

Квадратичный функционал $R\{\mathbf{v}\}$, являющийся второй вариацией ППЭ системы (здесь вместо поля малых смещений $\delta \mathbf{u}(\mathbf{x}) = \delta t \mathbf{v}(\mathbf{x})$ в качестве аргумента подставлено поле виртуальных скоростей $\mathbf{v}(\mathbf{x})$, что, очевидно, не влияет на знак второй вариации), представлен равенством (5.19) в виде, удобном для анализа. Дальнейшее исследование устойчивости/неустойчивости системы сводится к исследованию знака этого функционала.

6. Исследование знака функционала $R\{\mathbf{v}\}$ для жидкости. Заметим, что из равенства (5.19) совершенно очевидно, что функционал $R\{\mathbf{v}\}$ положительно определенным не является ни при каких равновесных распределениях плотности $\rho_k(z)$. Действительно, ненулевым бездивергентным полям виртуальных скоростей с нулевой вертикальной составляющей соответствуют нулевые значения $R\{\mathbf{v}\}$. Очевидно, что такие поля скоростей соответствуют изохорическим горизонтальным движениям жидкости, при которых сохраняются пространственные распределения давления и плотности, в силу чего сохраняется равновесие и не меняется ни упругая, ни гравитационная энергия. В дальнейшем будет показано, что в определенных случаях есть и другие ненулевые поля скоростей, для которых $R\{\mathbf{v}\} = 0$. Таким образом, исследование устойчивости/неустойчивости сводится:

- 1) к выяснению тех распределений $\rho_k(z)$, для которых возможны отрицательные значения $R\{\mathbf{v}\}$, что будет означать наличие неустойчивости системы;
- 2) к выяснению тех распределений $\rho_k(z)$, для которых функционал $R\{\mathbf{v}\}$ на любых кинематически допустимых полях скоростей принимает неотрицательные значения, и доказательству того, что поля скоростей, на которых $R\{\mathbf{v}\}$ принимает нулевые

значения, соответствуют движениям, не нарушающим равновесия системы (и, следовательно, не приводящим к изменению ее ППЭ). Такое сочетание свойств будет означать устойчивость системы (в смысле принятого определения).

Из равенства (5.19) для $R\{\mathbf{v}\}$ сразу ясно, что первое и четвертое слагаемые неотрицательны, а что касается второго и третьего слагаемых, то при выполнении условий

$$[\rho_k] \leq 0 \Leftrightarrow (\rho_k)_- \geq (\rho_k)_+ \tag{6.1}$$

$$\left(\frac{\partial \rho}{\partial z} \right)_p \equiv \frac{\partial \rho}{\partial z} (\rho_k(z), z) \geq 0, \quad \forall z \tag{6.2}$$

они тоже неотрицательны. Таким образом, можно ожидать, что при выполнении неравенств (6.1), (6.2) исследуемая система устойчива. Это и на самом деле имеет место, но данное утверждение нуждается в доказательстве, в ходе которого требуется рассмотреть несколько различных случаев равновесного распределения плотности, удовлетворяющего (6.1), (6.2).

а) Пусть неравенство (6.2) – строгое. Тогда очевидно, что первые три слагаемых в (5.19) обращаются в нуль при повсеместном выполнении равенства нулю вертикальной составляющей скорости. При этом четвертое слагаемое обращается в нуль только при повсеместном

обращении в нуль дивергенции скорости. Значит, $R\{\mathbf{v}\}$ обращается в нуль на полях скоростей, соответствующих неизменности пространственных распределений плотности и давления. Отсюда вытекает сохранение равновесия и, следовательно, сохранение значения ППЭ. На любых других полях скоростей $R\{\mathbf{v}\}$ положителен.

Значит, в данном случае двуслойная система неоднородных тяжелых жидкостей устойчива, в том числе и при $[\rho_k] = 0$.

б) Пусть в некотором горизонтальном слое нестрогое неравенство (6.2) превращается в равенство:

$$\left(\frac{\partial \rho}{\partial z} \right)_p = 0, \quad \underline{z} \leq z \leq \bar{z} \tag{6.3}$$

Без ограничения общности можно считать, что этот слой лежит внутри одного из слоев жидкости. Заметим, что равенство (6.3) означает физическую однородность жидкости в указанном слое.

Очевидно, что та часть третьего слагаемого в (5.19) которая соответствует слою $\underline{z} \leq z \leq \bar{z}$, равна нулю при

любых значениях $\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3$; поэтому для обращения в нуль $R\{\mathbf{v}\}$ нужно, чтобы в этом слое обращалось в нуль подинтегральное выражение в четвертом слагаемом. Заметим, что

$$\begin{aligned}
 -K(\nabla_{\mathbf{k}} \cdot \mathbf{v} - \frac{\rho_{\mathbf{k}} g}{K} \mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3) &= \dot{p} - \mathbf{v} \cdot \nabla_{\mathbf{k}} p_{\mathbf{k}} = \left(\frac{\partial p}{\partial t} \right)_{\mathbf{r}} = 0, \\
 -\rho_{\mathbf{k}}(\nabla_{\mathbf{k}} \cdot \mathbf{v} - \frac{\rho_{\mathbf{k}} g}{K} \mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3) &= -\rho_{\mathbf{k}} \nabla_{\mathbf{k}} \cdot \mathbf{v} - \mathbf{v} \cdot \nabla_{\mathbf{k}} \rho_{\mathbf{k}} = \\
 = \dot{p} - \mathbf{v} \cdot \nabla_{\mathbf{k}} \rho_{\mathbf{k}} &= \left(\frac{\partial p}{\partial t} \right)_{\mathbf{r}} = 0, \quad \underline{z} \leq z \leq \bar{z}
 \end{aligned}
 \tag{6.4}$$

Равенства (6.4) означают, что обращение $R\{\mathbf{v}\}$ в нуль имеет место на полях скоростей, на которых опять-таки пространственные распределения плотности и давления остаются неизменными, в силу чего соответствующие движения воспроизводят равновесное состояние среды и сохраняют ППЭ.

Что касается полей скоростей, для которых в слое $\underline{z} \leq z \leq \bar{z}$ равенства (6.4) выполняются не повсеместно, то на них $R\{\mathbf{v}\} > 0$. Следовательно, при малых отклонениях от исходного состояния ППЭ не уменьшается, что означает устойчивость упомянутого состояния.

Очевидно, что если слоев, где жидкость физически однородна (т.е. где (6.2) обращается в равенство), несколько, то вышеприведенное рассуждение относится к каждому из таких слоев. Особо отметим случай, когда

слой $\underline{z} \leq z \leq \bar{z}$ содержит границу раздела слоев жидкости: в этом случае нужно считать, что это два слоя, лежащих, соответственно, в B_+ и B_- и с разных сторон прилегающих к Σ_{+-} .

Рассмотрим теперь случай, когда нарушается хотя бы одно из неравенств (6.1), (6.2), и покажем, что тогда исследуемая система неустойчива. Доказательство в каждом случае сводится к предъявлению соответствующей ФПУ. При построении ФПУ будем исходить из более силь-

ных кинематических ГУ, а именно, из условия «прилипания» на $\Sigma_s \cup \Sigma_-$ и условия взаимного прилипания слоев жидкости на границе раздела Σ_{+-} :

$$\mathbf{v} \Big|_{\Sigma_s \cup \Sigma_-} = 0, \quad [\mathbf{v}] \Big|_{\Sigma_{+-}} = 0
 \tag{6.5}$$

Очевидно, что ФПУ, удовлетворяющие ГУ (6.5), удовлетворяют и ГУ проскальзывания, но при этом соответствующие поля скоростей реализуемы и в случае вязких жидкостей, для которых кинематические ГУ – это равенства (6.5).

Допустим, что нарушено неравенство (6.1):

$$[\rho_{\mathbf{k}}] \Big|_{\Sigma_{+-}} > 0
 \tag{6.6}$$

Покажем, что существуют такие удовлетворяющие ГУ (6.5) бездивергентные поля скоростей, отличные от нуля только в горизонтальном тонком слое, содержащем Σ_{+-} , у которых вертикальные скорости в упомянутом

слое ограничены, а на поверхности Σ_{+-} они ненулевые. Тогда второе слагаемое в (5.19) будет отрицательным и конечным, первое слагаемое будет равно нулю, а третье и четвертое слагаемые будут сколь угодно малы при достаточно малой толщине слоя.

Для того, чтобы задать конкретное поле скоростей описанного выше типа, введем декартовы прямоугольные координаты (x_1, x_2, x_3) с началом координат во внутренней точке Σ_{+-} :

$$\mathbf{x} = x_1 \mathbf{e}_1 + x_2 \mathbf{e}_2 + x_3 \mathbf{e}_3, \quad \mathbf{x} = \mathbf{0} \in \text{int } \Sigma_{+-}
 \tag{6.7}$$

Введем функцию тока $\varphi(\mathbf{x}) = \varphi_1(x_1) \varphi_2(x_2) \varphi_3(x_3)$ и зададим непрерывное бездивергентное поле скоростей равенствами

$$\mathbf{v}(\mathbf{x}) = \begin{cases} \nabla_{\mathbf{k}} \times (\varphi \mathbf{e}_2) = \mathbf{e}_3 \frac{\partial \varphi}{\partial x_1} - \mathbf{e}_1 \frac{\partial \varphi}{\partial x_3}, & \mathbf{x} \in \Omega_{\Delta} \\ \mathbf{0}, & \mathbf{x} \in B \setminus \Omega_{\Delta} \end{cases}
 \tag{6.8}$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x_1} = \varphi'_1(x_1) \varphi_2(x_2) \varphi_3(x_3); \quad \frac{\partial \varphi}{\partial x_3} = \varphi_1(x_1) \varphi_2(x_2) \varphi'_3(x_3)$$

где Ω_{Δ} – прямоугольный параллелепипед, задаваемый неравенствами

$$0 \leq x_1 \leq l_1; \quad 0 \leq x_2 \leq l_2; \quad -\Delta \leq x_3 \leq \Delta
 \tag{6.9}$$

причем l_1, l_2 и Δ таковы, что $\Omega_{\Delta} \subset \text{int } B$. Непрерывность поля $\mathbf{v}(\mathbf{x})$ на $\partial \Omega_{\Delta}$ обеспечивается равенствами

$$\begin{aligned}
 \varphi_1(0) &= \varphi_1(l_1) = \varphi'_1(0) = \varphi'_1(l_1) = 0 \\
 \varphi_2(0) &= \varphi_2(l_2) = 0 \\
 \varphi_3(-\Delta) &= \varphi_3(\Delta) = \varphi'_3(-\Delta) = \varphi'_3(\Delta) = 0
 \end{aligned}
 \tag{6.10}$$

Конкретно, зададим следующие функции $\varphi_i(x_i)$:

$$\begin{aligned} \varphi_1(x_1) &= 1 - \cos\left(2\pi \frac{x_1}{l_1}\right); & \varphi_2(x_2) &= \sin\left(\pi \frac{x_2}{l_2}\right); \\ \varphi_3(x_3) &= 1 + \cos\left(\pi \frac{x_3}{\Delta}\right); \end{aligned} \tag{6.11}$$

Тогда имеем:

$$\begin{aligned} (\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3)^2 &= \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_1}\right)^2 = \\ &= \left(\frac{2\pi}{l_1}\right)^2 \left(\sin\left(2\pi \frac{x_1}{l_1}\right)\right)^2 \left(\sin\left(\pi \frac{x_2}{l_2}\right)\right)^2 \left(1 + \cos\left(\pi \frac{x_3}{\Delta}\right)\right)^2 \end{aligned} \tag{6.12}$$

$$\langle (\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3)^2 \rangle_{\Sigma_+} = 0; \quad \langle (\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3)^2 \rangle_{\Sigma_{+-}} = \left(\frac{2\pi}{l_1}\right)^2 l_1 l_2;$$

$$\langle (\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3)^2 \rangle_{\Omega_\Delta} = \left(\frac{2\pi}{l_1}\right)^2 \frac{3}{4} l_1 l_2 \Delta \rightarrow 0, \quad \Delta \rightarrow 0 \tag{6.13}$$

Из равенств (6.13) следуют сформулированные выше свойства всех слагаемых в (5.19). Таким образом, при достаточно малой величине Δ имеем: $R\{\mathbf{v}\} < 0$; следовательно, система неустойчива, а поле ФПУ.

d) Допустим теперь, что в некотором горизонтальном слое жидкости нарушено неравенство (6.2). Без ограничения общности можем считать, что этот слой лежит либо в области B_+ , либо в области B_- .

Для доказательства неустойчивости системы построим поле скоростей, обладающее следующими свойствами: (1) оно отлично от нуля только в слое, где нарушено неравенство (6.2); (2) его вертикальная составляющая $\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3$ равна нулю не повсеместно и, значит,

$$\left\langle (\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3)^2 \right\rangle_B > 0 \tag{6.14}$$

(3) подынтегральное выражение в четвертом слагаемом в (5.19) равно нулю повсеместно:

$$\nabla_{\mathbf{k}} \cdot \mathbf{v} - \frac{\rho_{\mathbf{k}} g}{K} \mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3 \equiv 0 \tag{6.15}$$

Очевидно, что для поля с перечисленными свойствами третье слагаемое в (5.19) будет отрицательным, а

остальные слагаемые будут равны нулю, из чего будет следовать отрицательность $R\{\mathbf{v}\}$, означающая неустойчивость системы и тот факт, что поле $\mathbf{v}(\mathbf{x})$ — ФПУ.

Для построения поля $\mathbf{v}(\mathbf{x})$ введем декартовы координаты (x_1, x_2, x_3) аналогично (6.7), но с началом координат на нижней границе того слоя, где

$$\left(\frac{\partial \rho}{\partial z}\right)_p < 0$$

. Определим прямоугольный параллелепипед Ω_Δ , лежащий внутри упомянутого слоя, неравенствами

$$0 \leq x_1 \leq l_1; \quad 0 \leq x_2 \leq l_2; \quad 0 \leq x_3 \leq \Delta \tag{6.16}$$

Пусть функции $\varphi_1(x_1)$, $\varphi_2(x_2)$, и $\varphi_3(x_3)$ таковы, что

$$\begin{aligned} \varphi_1(0) &= \varphi_1(l_1) = \varphi_1'(0) = \varphi_1'(l_1) = 0 \\ \varphi_2(0) &= \varphi_2(l_2) = 0 \\ \varphi_3(0) &= \varphi_3(\Delta) = \varphi_3'(0) = \varphi_3'(\Delta) = 0 \end{aligned} \tag{6.17}$$

Поле скоростей представим в следующем виде:

$$\mathbf{v}(\mathbf{x}) = \begin{cases} -\mathbf{e}_1 \varphi_1(x_1) \varphi_2(x_2) \left(\varphi_3'(x_3) - \frac{\rho_{\mathbf{k}} g}{K} \varphi_3(x_3)\right) + \\ + \mathbf{e}_3 \varphi_1'(x_1) \varphi_2(x_2) \varphi_3(x_3), & \mathbf{x} \in \Omega_\Delta \\ \mathbf{0}, & \mathbf{x} \in B \setminus \Omega_\Delta \end{cases} \tag{6.18}$$

Непрерывность такого поля обеспечена равенствами (6.17); очевидно, что оно удовлетворяет уравнению (6.15).

Конкретный вид $\varphi_i(x_i)$ может быть, например, таким:

$$\begin{aligned} \varphi_1(x_1) &= 1 - \cos\left(2\pi \frac{x_1}{l_1}\right); & \varphi_2(x_2) &= \sin\left(\pi \frac{x_2}{l_2}\right); \\ \varphi_3(x_3) &= 1 - \cos\left(2\pi \frac{x_3}{\Delta}\right); \end{aligned} \quad (6.19)$$

$$\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3 = \frac{2\pi}{l_1} \sin\left(2\pi \frac{x_1}{l_1}\right) \sin\left(\pi \frac{x_2}{l_2}\right) \left(1 - \cos\left(2\pi \frac{x_3}{\Delta}\right)\right) \quad (6.20)$$

$$\langle (\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3)^2 \rangle_{\Omega_\Delta} = \left(\frac{2\pi}{l_1}\right)^2 \frac{3}{8} l_1 l_2 \Delta > 0 \quad (6.21)$$

Таким образом, доказано, что при выполнении нестрогих неравенств (6.1), (6.2) рассматриваемая двуслойная система устойчива, а при нарушении любого из них (т.е. либо при наличии инверсии плотности на границе раздела слоев, либо при наличии диапазона глубин, где плотность жидкости уменьшалась бы с глубиной при постоянном давлении) система неустойчива. Подчеркнем, что при доказательстве неустойчивости строились такие ФПУ, которые реализуемы и для вязких жидкостей.

7. Распространение полученных результатов на случай сжимаемых вязких жидкостей. В данном разделе t является физическим, а не виртуальным временем. Под сжимаемой вязкой жидкостью будем понимать такой материал, определяющее соотношение которого в терминах тензора напряжений Коши имеет следующий вид:

$$\mathbf{T}(\mathbf{F}, \dot{\mathbf{F}}, \mathbf{x}) = -p(\det \mathbf{F}, \mathbf{x}) \mathbf{I} + \mathbf{N}(\det \mathbf{F}, \mathbf{x}) : \dot{\boldsymbol{\epsilon}} \quad (7.1)$$

где тензор вязкостей $\mathbf{N}(\det \mathbf{F}, \mathbf{x}) \in \text{TR}(4)$, который является положительно определенным (т.е. $\dot{\boldsymbol{\epsilon}} : \mathbf{N} : \dot{\boldsymbol{\epsilon}} > 0$ при $\dot{\boldsymbol{\epsilon}} \neq 0$) и изотропным; он совпадает с тензором вязкостей линейно-вязкой жидкости. Очевидно, что в статике такая сжимаемая вязкая жидкость неотличима от соответствующей сжимаемой идеальной жидкости, подчиняющейся определяющим соотношениям (3.14) – (3.16).

Заметим, что непосредственное строгое перенесение на систему с вязкостью полученных выше результатов статического энергетического анализа устойчивости и неустойчивости упругой системы без вязкости (иными словами, консервативной системы) невозможно: при наличии вязкости статический критерий смысла не имеет. Однако если принять некую недоказанную (но практически всегда негласно принимаемую и действительно в высшей степени правдоподобную) гипотезу, то на основании и в рамках этой гипотезы такое перенесение возможно.

Гипотеза гласит: утверждения об устойчивости и неустойчивости, справедливые для систем с конечным числом степеней свободы (в дальнейшем – «конечномерных» систем) верны и для аналогичных распределенных систем (имеющих бесконечное число степеней свободы).

Докажем, что устойчивые консервативные конечномерные системы при добавлении вязких сил остаются

устойчивыми, а неустойчивые конечномерные системы остаются неустойчивыми.

Для конечномерных консервативных систем статический энергетический критерий устойчивости/неустойчивости допускает динамическое обоснование в терминах теории устойчивости Ляпунова, т.е. при наличии устойчивости в смысле энергетического критерия система устойчива и по Ляпунову, а при наличии неустойчивости в смысле энергетического критерия система неустойчива по Ляпунову.

Что касается случая устойчивости, то последняя, как известно, доказывается методом функций Ляпунова с очевидным выбором в качестве функции Ляпунова полной энергии системы, которая при движении остается неизменной. При добавлении вязкости в доказательстве по существу ничего не меняется: в качестве функции Ляпунова берется сумма кинетической энергии и положительного потенциала сил, и эта величина при движении уменьшается (энергия расходуется на работу вязких сил), из чего и следует устойчивость по Ляпунову.

В случае неустойчивости доказательство является нетривиальным и без вязкости: оно основано на теореме о неустойчивости по линейному приближению в сочетании с доказательством того, что из энергетического критерия неустойчивости следует неустойчивость системы линейного приближения. При наличии вязкости логика доказательства совершенно аналогична, но только из энергетического критерия неустойчивости для соответствующей консервативной системы неустойчивость системы линейного приближения, включающей в себя вязкие силы, прямо не следует. Поскольку доказательства этого весьма важного факта для конечномерных линейных систем с вязкостью в литературе обнаружить не удалось, авторы предлагают собственное доказательство соответствующего утверждения, приводимое ниже.

Рассмотрим линейную механическую систему с n степенями свободы, характеризующуюся тремя линейными операторами \mathbf{M} , \mathbf{A} и \mathbf{B} над n -мерным векторным пространством. Здесь \mathbf{M} – оператор инерции (симметричный и положительно определенный), \mathbf{B} –

оператор вязкости (симметричный и положительно определенный), \mathbf{A} – оператор жесткости (симметричный и не являющийся положительно полуопределенным: его квадратичная форма $\mathbf{u} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{u}$ в силу неустойчивости соответствующей консервативной системы принимает отрицательное значение по крайней мере на одном векторе \mathbf{u}).

Уравнение импульса для данной системы имеет вид:

$$\mathbf{M} \cdot \ddot{\mathbf{u}} = -\mathbf{A} \cdot \mathbf{u} - \mathbf{B} \cdot \dot{\mathbf{u}}, \quad (7.2)$$

где $\mathbf{u}(t)$ – обобщенное смещение, $\dot{\mathbf{u}}(t)$ – обобщенная скорость, $\ddot{\mathbf{u}}(t)$ – обобщенное ускорение. Нулевое решение $\mathbf{u}_0(t) = \mathbf{0}$ – положение равновесия; докажем, что оно неустойчиво по Ляпунову. Достаточно доказать, что уравнение (7.2) имеет экспоненциально нарастающее решение вида

$$\mathbf{u}(t) = \alpha \mathbf{q} e^{\lambda t}, \quad \lambda > 0, \quad (7.3)$$

что равносильно выполнению уравнения

$$\mathbf{C}(\lambda) \cdot \mathbf{q} \equiv (\lambda^2 \mathbf{M} + \lambda \mathbf{B} + \mathbf{A}) \cdot \mathbf{q} = \mathbf{0}. \quad (7.4)$$

Уравнение (7.4) означает, что вектор \mathbf{q} является собственным вектором симметричного оператора $\mathbf{C}(\lambda)$, причем соответствующее собственное число равно нулю.

Таким образом, нужно доказать, что существует $\lambda_* > 0$

такое, что $\mathbf{C}(\lambda_*)$ имеет нулевое собственное число. По теореме о спектральном разложении для симметричного оператора $\mathbf{C}(\lambda)$, существует ортонормированный базис $(\mathbf{q}_1(\lambda), \dots, \mathbf{q}_n(\lambda))$, состоящий из собственных векторов:

$$\begin{aligned} \mathbf{C}(\lambda) &= c_1(\lambda) \mathbf{q}_1(\lambda) \otimes \mathbf{q}_1(\lambda) + \dots + c_n(\lambda) \mathbf{q}_n(\lambda) \otimes \mathbf{q}_n(\lambda), \\ c_1(\lambda) &\leq c_2(\lambda) \leq \dots \leq c_n(\lambda) \end{aligned} \quad (7.5)$$

где $c_i(\lambda)$ – собственные числа, занумерованные в порядке неубывания. Пусть спектральные разложения для операторов \mathbf{A} , \mathbf{B} и \mathbf{M} имеют вид:

$$\begin{aligned} \mathbf{A} &= a_1 \mathbf{e}_1 \otimes \mathbf{e}_1 + a_2 \mathbf{e}_2 \otimes \mathbf{e}_2 + \dots + a_n \mathbf{e}_n \otimes \mathbf{e}_n, \\ a_1 &< 0, \quad a_1 \leq a_2 \leq \dots \leq a_n, \end{aligned} \quad (7.6)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{B} &= b_1 \mathbf{e}'_1 \otimes \mathbf{e}'_1 + \dots + b_n \mathbf{e}'_n \otimes \mathbf{e}'_n, \\ 0 &< b_1 \leq b_2 \leq \dots \leq b_n, \end{aligned} \quad (7.7)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{M} &= m_1 \mathbf{e}''_1 \otimes \mathbf{e}''_1 + \dots + m_n \mathbf{e}''_n \otimes \mathbf{e}''_n, \\ 0 &< m_1 \leq m_2 \leq \dots \leq m_n \end{aligned} \quad (7.8)$$

Очевидно, что для любого ненулевого вектора \mathbf{d} квадратичная форма

$$c(\mathbf{d}, \lambda) = \mathbf{d} \cdot \mathbf{C}(\lambda) \cdot \mathbf{d} \quad (7.9)$$

при $\lambda > 0$ является монотонно возрастающей непрерывной функцией λ .

Пусть $|\mathbf{e}| = 1, \lambda > 0$. Тогда

$$c(\mathbf{e}, \lambda) = \mathbf{e} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{e} + \lambda \mathbf{e} \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{e} + \lambda^2 \mathbf{e} \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{e} \geq a_1 + \lambda b_1 + \lambda^2 m_1 \quad (7.10)$$

$$\Rightarrow c_1(\lambda) = \min_{|\mathbf{e}|=1} \mathbf{e} \cdot \mathbf{C}(\lambda) \cdot \mathbf{e} \geq a_1 + \lambda b_1 + \lambda^2 m_1 \quad (7.11)$$

Заметим, что $\mathbf{C}(0) = \mathbf{A}$; следовательно,

$$c_1(0) = a_1 < 0. \quad (7.12)$$

Из неравенства (7.11) очевидно, что при достаточно

больших значениях λ (например, при $\lambda \geq \tilde{\lambda} = \frac{|a_1|}{b_1}$) имеем:

$$c_1(\lambda) > 0 \quad (7.13)$$

Нетрудно доказать, что $c_1(\lambda)$ при $\lambda > 0$ является непрерывной монотонно возрастающей функцией λ . Отсюда и из неравенств (7.12), (7.13) сразу следует, что

существует единственное λ_* такое, что

$$c_1(\lambda_*) = 0, \quad 0 < \lambda_* < \tilde{\lambda} \quad (7.14)$$

$$\Rightarrow \mathbf{C}(\lambda_*) \cdot \mathbf{q}_1(\lambda_*) = \mathbf{0}. \quad (7.15)$$

Значит, уравнение импульса (7.2) имеет нарастающее решение (7.3), а именно:

$$\mathbf{u}_*(t) = \alpha \mathbf{q}_1(\lambda_*) e^{\lambda_* t} \quad (7.16)$$

Заметим, что решение (7.16) является самым быстрорастущим. Действительно, при $\lambda > \lambda_*$ наименьшее собственное число $c_1(\lambda) > 0$, а следовательно, и остальные собственные числа положительны, т.е. нулевых собственных чисел у оператора $\mathbf{C}(\lambda)$ нет, из чего следует отсутствие экспоненциальных решений уравнения (7.2) с показателями экспоненты, превышающими λ_* .

Наличие экспоненциально нарастающего решения и свидетельствует о неустойчивости по Ляпунову положения равновесия линейной системы с вязкими силами при условии, что равновесие соответствующей нелинейной консервативной системы неустойчиво в смысле статического энергетического критерия. В силу теоремы о неустойчивости по линейному приближению получаем, что при добавлении вязких сил неустойчивая конечномерная консервативная система превращается в неустойчивую неконсервативную систему. Ранее упоминалось, что и устойчивая конечномерная консервативная система при добавлении вязких сил остается устойчивой.

В случае неустойчивости для показателя экспоненты в (7.16) может быть найдена оценка снизу. Действительно, пусть для некоторого ненулевого вектора \mathbf{d} квадратичная форма $\mathbf{d} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{d}$ отрицательна:

$$\mathbf{d} \neq 0, \quad \mathbf{d} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{d} < 0 \quad (7.17)$$

Рассмотрим следующее квадратное уравнение относительно λ :

$$c(\mathbf{d}, \lambda) = \lambda^2 \mathbf{d} \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{d} + \lambda \mathbf{d} \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{d} + \mathbf{d} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{d} = 0 \quad (7.18)$$

Оно имеет положительный корень

$$\underline{\lambda} = -\frac{\mathbf{d} \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{d}}{2 \mathbf{d} \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{d}} + \sqrt{-\frac{\mathbf{d} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{d}}{\mathbf{d} \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{d}} + \left(\frac{\mathbf{d} \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{d}}{2 \mathbf{d} \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{d}}\right)^2} > 0 \quad (7.19)$$

Очевидно, что для единичного вектора $\underline{\mathbf{e}} = \frac{\mathbf{d}}{|\mathbf{d}|}$

$$c(\underline{\mathbf{e}}, \underline{\lambda}) = \frac{c(\mathbf{d}, \lambda)}{\mathbf{d} \cdot \mathbf{d}} = 0 \quad (7.20)$$

Тогда

$$c_1(\underline{\lambda}) = \min_{|\mathbf{e}|=1} c(\mathbf{e}, \underline{\lambda}) \leq c(\underline{\mathbf{e}}, \underline{\lambda}) = 0 \quad (7.21)$$

В силу равенства (7.14) и монотонного возрастания

$c_1(\lambda)$ при $\lambda > 0$ имеем:

$$0 < \underline{\lambda} \leq \lambda_* \quad (7.22)$$

Таким образом, любой вектор, на котором потенциальная энергия линеаризованной системы принимает отрицательное значение, дает оценку снизу для экспоненциального показателя самого быстрорастущего решения. При отсутствии вязкости оценка (7.19) упрощается и принимает вид

$$\underline{\lambda}_0 = \sqrt{-\frac{\mathbf{d} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{d}}{\mathbf{d} \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{d}}} \leq \lambda_{*0} \quad (7.23)$$

$$\underline{\lambda} < \underline{\lambda}_0 \quad (7.24)$$

Очевидно, что чем больше величина $\underline{\lambda}_0$, тем лучше оценка снизу для консервативной системы, а чем больше величина $\underline{\lambda}$, тем лучше оценка снизу для системы с вязкостью.

Поясним, что добавление вязкости меняет характер возмущенных движений механической системы как в случае устойчивости, так и в случае неустойчивости. В случае устойчивости незатухающие колебания переходят при небольшой вязкости в затухающие колебания, а при большой – в монотонное приближение к положению равновесия. В случае неустойчивости наличие вязкости уменьшает темп удаления от положения равновесия. Однако такие изменения характера возмущенных движений не приводят к тому, чтобы устойчивость превратилась в неустойчивость и наоборот.

Таким образом, результат об устойчивости или о неустойчивости, полученный для конечномерных консервативных систем, распространяется и на соответствующие системы с вязкими силами. Если принять сформулированную выше гипотезу, то данный вывод относится и к распределенным системам, в том числе таким, которые рассматриваются в настоящей работе. Оценки снизу (7.19) и (7.23) для рассматриваемых в работе систем жидкостей (соответственно, сжимаемых вязких и сжимаемых идеальных) принимают следующий вид:

$$\underline{\lambda} = -\frac{\langle \nabla_{\mathbf{K}} \otimes \mathbf{v} : \mathbf{N} : \nabla_{\mathbf{K}} \otimes \mathbf{v} \rangle_B}{2 \langle \rho_{\mathbf{K}} \mathbf{v} \cdot \mathbf{v} \rangle_B} + \sqrt{-\frac{R\{\mathbf{v}\}}{\langle \rho_{\mathbf{K}} \mathbf{v} \cdot \mathbf{v} \rangle_B} + \left(\frac{\langle \nabla_{\mathbf{K}} \otimes \mathbf{v} : \mathbf{N} : \nabla_{\mathbf{K}} \otimes \mathbf{v} \rangle_B}{2 \langle \rho_{\mathbf{K}} \mathbf{v} \cdot \mathbf{v} \rangle_B}\right)^2} \quad (7.25)$$

$$\underline{\lambda}_0 = \sqrt{-\frac{R\{\mathbf{v}\}}{\langle \rho_{\mathbf{K}} \mathbf{v} \cdot \mathbf{v} \rangle_B}} ; \quad \underline{\lambda} < \underline{\lambda}_0 \quad (7.26)$$

где поле $\mathbf{v}(\mathbf{x})$ – ФПУ, т.е. $R\{\mathbf{v}\} < 0$. Таким образом, любая ФПУ системы сжимаемых идеальных жидкостей дает оценки (снизу) наибольшей скорости роста возмущений как для самой этой системы, так и для соответствующей системы сжимаемых вязких жидкостей.

Распространение полученных результатов на случай сжимаемых вязких жидкостей существенно расширяет область применения этих результатов; например, приобретает смысл их приложение к задачам геофизики, где зачастую геоматериалы считаются очень вязкими жидкостями.

8. Вид функционала $R\{\mathbf{v}\}$ и элементы анализа устойчивости/неустойчивости в случае твердых упругих материалов. С точки зрения уже упоминавшихся геофизических приложений исследуемой в работе задачи об устойчивости двуслойной механической системы в поле силы тяжести, помимо обсужденного выше случая сжимаемых вязких жидкостей, чрезвычайно интересен и случай, когда один или оба слоя состоят из твердого упругого материала [1,3], однако при этом начальное напряженное состояние является, как и для жидкостей, гидростатическим. Оправдание такой постановки задачи основывается на представлениях о совершенно разной природе и ха-

рактуре процессов, приведших к возникновению современного равновесного состояния, рассматриваемого как невозмущенное, и процессов, возмущающих это состояние, которое может оказаться как устойчивым, так и неустойчивым по отношению к таким возмущениям. Процессы формирования современного состояния считаются очень длительными (временной масштаб – миллионы лет); определенные их этапы характеризовались высокой температурой и релаксацией изначальных касательных напряжений, что и привело в конечном счете к нынешним нулевым касательным напряжениям, т.е. к гидростатике. Возмущающие процессы считаются относительно быстрыми, и в них проявляются современные упругие свойства геоматериалов, характеризующиеся не только объемными, но и сдвиговыми модулями жесткости.

Возвращаясь к преобразованию функционала второй вариации ППЭ, а именно, к равенствам (5.1), (5.2), заметим, что любому невырожденному инкрементальному закону можно поставить в соответствие эффективный объемный модуль K по формуле

$$K = \frac{1}{\mathbf{I} : \mathbf{L}^{-1} : \mathbf{I}} \quad (8.1)$$

$$R\{\mathbf{v}\} = \left\langle \rho_k g (\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3)^2 \right\rangle_{\Sigma_+} + \left\langle -[\rho_k] g (\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3)^2 \right\rangle_{\Sigma_{+-}} + \left\langle \dot{\boldsymbol{\epsilon}} : \tilde{\mathbf{L}} : \dot{\boldsymbol{\epsilon}} \right\rangle_B + \left\langle \left(\frac{d\rho}{dz} - \frac{\rho_k^2 g}{K} \right) g (\mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3)^2 \right\rangle_B + \left\langle K (\nabla_k \cdot \mathbf{v} - \frac{\rho_k g}{K} \mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_3)^2 \right\rangle_B \quad (8.4)$$

Очевидно, что при добавлении неотрицательного слагаемого положительная полуопределенность $R\{\mathbf{v}\}$, если таковая имела место, сохраняется, а вот ее отсутствие может не сохраниться. Таким образом, полученные ранее условия устойчивости системы жидкостей в случае твердых упругих материалов являются достаточными, но не являются необходимыми. Если только один из слоев твердый (причем неважно, верхний ли это слой или нижний), то выполнение условия (6.2) в другом (жидком) слое является, как и ранее, необходимым условием устойчивости.

Для получения полного набора необходимых условий устойчивости (нарушение которых давало бы достаточное условие неустойчивости) в случае одного или двух твердых слоев требуется провести отдельное исследование, аналогичное проведенному в работе [3]. При этом можно ожидать более или менее аналогичных результатов, качественно согласующихся и с некоторыми из результатов В.А. Дубровского [1].

9. Трехслойная система однородных жидкостей: несжимаемая-сжимаемая-несжимаемая. Варианты возникновения неустойчивости. Совершенно очевидно, что в случае большего, чем два, числа слоев полученные выше

где \mathbf{L}^{-1} – ТР(4), задающий обратный по отношению к \mathbf{L} оператор над пространством симметричных ТР(2). Такое значение K является наибольшим, при котором для любого $\dot{\boldsymbol{\epsilon}}$ выполняется неравенство

$$\dot{\boldsymbol{\epsilon}} : \tilde{\mathbf{L}} : \dot{\boldsymbol{\epsilon}} \equiv \dot{\boldsymbol{\epsilon}} : \mathbf{L} : \dot{\boldsymbol{\epsilon}} - K (\dot{\boldsymbol{\epsilon}} : \mathbf{I})^2 \geq 0 \quad (8.2)$$

Таким образом, имеем:

$$\dot{\boldsymbol{\epsilon}} : \mathbf{L} : \dot{\boldsymbol{\epsilon}} = \dot{\boldsymbol{\epsilon}} : \tilde{\mathbf{L}} : \dot{\boldsymbol{\epsilon}} + K (\dot{\boldsymbol{\epsilon}} : \mathbf{I})^2 \quad (8.3)$$

где положительно полуопределенная форма $\dot{\boldsymbol{\epsilon}} : \tilde{\mathbf{L}} : \dot{\boldsymbol{\epsilon}}$ определяется упругими модулями, соответствующими сдвиговым инкрементальным деформациям.

Далее во всех выкладках, повторяющих выкладки раздела 5, добавляется неотрицательное дополнительное слагаемое $\dot{\boldsymbol{\epsilon}} : \tilde{\mathbf{L}} : \dot{\boldsymbol{\epsilon}}$, что приводит к следующему

виду функционала $R\{\mathbf{v}\}$:

результаты остаются по существу теми же самыми. В частности, появление инверсии плотности на любой границе раздела слоев влечет за собой возникновение неустойчивости, а для физически однородных жидкостей других источников неустойчивости нет.

В качестве модели, иллюстрирующей возможные переходы от устойчивости к неустойчивости, рассмотрим упомянутую в названии раздела трехслойную систему (рис. 2), в которой средний слой образован конкретной сжимаемой идеальной жидкостью, которую можно назвать «жидкостью типа Муни-Ривлина» (в силу сходства некоторых ее свойств со свойствами соответствующего нелинейно-упругого твердого материала). Разумеется, можно было выбрать и любую другую сжимаемую идеальную жидкость, однако именно такое определяющее соотношение было выбрано по следующим двум причинам: (1) оно, как и классическое определяющее соотношение Муни-Ривлина, пригодно в принципе для адекватного описания поведения сжимаемой идеальной жидкости при сколь угодно больших объемных деформациях, т.е. при изменениях плотности в любое число раз; (2) как оказалось, зависимость плотности в нагруженном состоянии от глубины для такой жидкости предельно проста и удобна для анализа: это линейный двучлен.

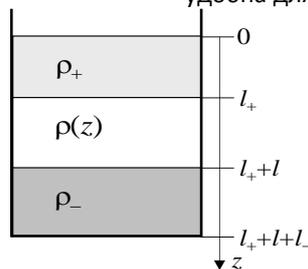


Рисунок 2. Трехслойная система, исследуемая на устойчивость

Для описания невозмущенного актуального (т.е. нагруженного) состояния трехслойной системы введем в качестве дополнительной отсчетной конфигурации разгруженную конфигурацию $\tilde{\mathbf{K}}$. Очевидно, что для несжимаемых верхнего и нижнего слоев ее отличие от актуальной конфигурации либо отсутствует, либо выражается в вертикальном смещении как жесткого целого, а вот для сжимаемого среднего слоя оно является существенным.

Обозначим радиусы-векторы материальных точек в конфигурации $\tilde{\mathbf{K}}$ через $\tilde{\mathbf{X}}$, а градиент по $\tilde{\mathbf{X}}$ соответствующей трансформации $\mathbf{r}(\tilde{\mathbf{x}})$ через $\tilde{\mathbf{F}}(\tilde{\mathbf{x}})$. Введем также следующие обозначения: ρ_+ – плотность верхней жидкости, ρ_- – плотность нижней жидкости, ρ_0 и ρ –

плотности средней (сжимаемой) жидкости, соответственно, в разгруженном и нагруженном (т.е. актуальном) состояниях, l_+ и l_- – толщины верхнего и нижнего слоев, l_0 и l – толщины среднего слоя в разгруженном и нагруженном состояниях, \tilde{z} – глубина материальной точки, отсчитываемая от поверхности в разгруженном состоянии (таким образом, $\tilde{z} = l_+$ для верхней границы раздела и $\tilde{z} = l_+ + l_0$ для нижней).

Упругий потенциал жидкости типа Муни-Ривлина зададим в следующем виде:

$$\sigma_{\tilde{\mathbf{K}}}(\tilde{\mathbf{F}}) = \frac{K_0}{2} \left(\det \tilde{\mathbf{F}} + \frac{1}{\det \tilde{\mathbf{F}}} \right) = \frac{K_0}{2} \left(\frac{\rho_0}{\rho} + \frac{\rho}{\rho_0} \right) \tag{9.1}$$

где K_0 – упругий модуль объемного сжатия в разгруженном состоянии. Соотношения, связывающие давление и плотность, таковы:

$$p(\rho) = \frac{K_0}{2} \left(\left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^2 - 1 \right) \tag{9.2}$$

$$\rho(p) = \rho_0 \sqrt{1 + \frac{2p}{K_0}} \tag{9.3}$$

Нетрудно получить зависимость давления от глубины относительно разгруженной конфигурации:

$$p(\tilde{z}) = \begin{cases} \rho_+ g \tilde{z}, & 0 \leq \tilde{z} \leq l_+ \\ \rho_+ g l_+ + \rho_0 g (\tilde{z} - l_+), & l_+ \leq \tilde{z} \leq l_+ + l_0 \\ \rho_+ g l_+ + \rho_0 g l_0 + \rho_- g (\tilde{z} - (l_+ + l_0)), & l_+ + l_0 \leq \tilde{z} \leq l_+ + l_0 + l_- \end{cases} \tag{9.4}$$

Из уравнений (9.3), (9.4) находятся значения плотности сжимаемой жидкости на верхней и нижней границах среднего слоя:

$$\begin{aligned} \rho(l_+) &= \rho_0 \sqrt{1 + \frac{2}{K_0} \rho_+ g l_+} > \rho_0 \\ \rho(l_+ + l_0) &= \rho_0 \sqrt{1 + \frac{2}{K_0} (\rho_+ g l_+ + \rho_0 g l_0)} > \rho(l_+) \end{aligned} \tag{9.5}$$

Отсюда, в свою очередь, получаются условия устойчивости и два варианта условий неустойчивости системы:

если $\rho_+ \leq \rho(l_+)$ и $\rho(l_+ + l_0) \leq \rho_-$, то нагруженное состояние системы устойчиво;

- 1) если $\rho_+ > \rho(l_+)$ (что возможно только если $\rho_+ > \rho_0$), то состояние системы неустойчиво из-за инверсии плотности на верхней границе раздела;

- 2) если $\rho(l_+ + l_0) > \rho_-$, то состояние системы неустойчиво из-за инверсии плотности на нижней границе раздела.

Заметим, что из первого равенства формулы (9.5) следует, что при $\rho_+ > \rho_0$ устойчивость переходит в неустойчивость по первому варианту при уменьшении толщины верхнего слоя l_+ (скажем, при сливании верхней жидкости). Из второго равенства (9.5) следует, что для перехода к неустойчивости по второму варианту возможны

два основных пути: либо увеличение l_+ (т.е. наливание верхней жидкости), либо увеличение l_0 (т.е. добавление жидкости в средний слой). Вообще, неустойчивость по второму варианту возникает вследствие роста подкоренного выражения во втором равенстве (9.5).

Если говорить о зависимости плотности сжимаемой жидкости не от \tilde{z} , а от реальной глубины z , то нетрудно получить следующий линейный двучлен:

$$\rho(z) = \rho_0 \left(\sqrt{1 + \frac{2}{K_0} \rho_+ g l_+ + \frac{1}{K_0} \rho_0 g (z - l_+)} \right),$$

$$l_+ \leq z \leq l_+ + l \tag{9.6}$$

где актуальная толщина слоя сжимаемой жидкости l (т.е. толщина в сжатом состоянии) меньше толщины в разгруженном состоянии l_0 . Точное равенство, выражающее l через l_0, l_+, ρ_0, K_0 и ρ_+ , по причине его громоздкости приводить не будем.

10. Заключение. В работе задача об устойчивости и неустойчивости двуслойной системы сжимаемых идеальных жидкостей в поле силы тяжести впервые исследована аналитически в корректной постановке и в полной общности: (1) рассмотрение велось для системы, занимающей ограниченную область и удовлетворяющей определенным ГУ на всех частях границы (отсутствие внешних усилий наверху, проскальзывание на боковых стенках и на дне, взаимное проскальзывание на поверхности раздела слоев); (2) распределения по глубине плотности и упругих свойств каждой из жидкостей в невозмущенном состоянии предполагались произвольными. Получено необходимое и достаточное условие устойчивости (нарушение которого является необходимым и достаточным условием неустойчивости), что представляет собой новый результат, который для данной задачи является исчерпывающим. Заметим, что в рассуждениях и выкладках ничего не изменится, если форма области будет не цилиндрической, а произвольной.

Строго установлено, что источниками неустойчивости могут являться либо инверсия плотности на поверхности раздела (т.е. большее значение плотности верхней жидкости на этой поверхности по сравнению с плотностью нижней), либо убывание или недостаточно быстрое нарастание плотности с глубиной внутри какого-либо слоя в пределах какого-либо диапазона глубин. Под недостаточно быстрым понимается такое нарастание плотности с глубиной, которое происходит медленнее, чем для соответствующей однородной сжимаемой идеальной жидкости вследствие увеличения давления с глубиной (нарушение неравенства (6.2)). Других источников неустойчивости рассматриваемой механической системы нет. Заметим, что если каждая из жидкостей при постоянном давлении однородна, то неравенство (6.2) обращается в равенство; следовательно, каковы бы ни были упругие свойства жидкостей, неустойчивость в этом случае может быть вызвана только инверсией плотности.

Для геофизических и иных приложений рассмотренной задачи о системе сжимаемых идеальных жидкостей весьма существенным является распространение полученных результатов на случай сжимаемых вязких жидкостей. В этом вопросе за основу была взята общепринятая гипотеза о наличии полной аналогии в отношении устойчивости и неустойчивости между свойствами систем с конечным числом степеней свободы и распределенных систем (имеющих бесконечное число степеней свободы). Для систем с конечным числом степеней свободы доказано, что хотя добавление вязкости меняет характер и темп возмущенного движения, тем не менее оно оставляет устойчивую систему устойчивой, а неустойчивую систему – неустойчивой. Принятие упомянутой гипотезы распространяет результаты работы на системы сжимаемых вязких жидкостей, причем вязкости могут быть любыми – от очень малых до очень больших (в геофизике, например, геоматериалы зачастую рассматриваются как жидкости, имеющие гигантскую вязкость). Подчеркнем, что при доказательстве неустойчивости для сжимаемых идеальных жидкостей использовались такие ФПУ, которые удовлетворяют более сильным кинематическим ГУ, чем условия проскальзывания, а именно, условиям «прилипания» на дне, боковых стенках и поверхности раздела жидкостей, т.е. тем условиям, которым должны были бы удовлетворять соответствующие вязкие жидкости. В противном случае даже принятие упомянутой гипотезы не обосновывало бы вывода о неустойчивости при наличии вязкости.

В случае неустойчивости (как при отсутствии вязкости, так и при ее наличии) дополнительно получены оценки снизу для наибольшего экспоненциального показателя роста малых возмущений.

Метод анализа, присущий скорее механике твердых тел (использование статического энергетического критерия устойчивости/неустойчивости на основе отсчетного описания среды), дал возможность получить некоторые выводы, касающиеся случаев, когда один или оба слоя являются твердыми. В этих случаях полученные условия устойчивости – достаточные, но не необходимые, а их нарушение не является достаточным условием неустойчивости. По аналогии с результатами работы [3], где получены достаточные условия неустойчивости сходной механической системы, можно предположить, что для твердых упругих слоев неустойчивость возникает тогда, когда либо инверсия плотности достигает некоторого критического значения, либо своего критического значения достигает приведенная скорость убывания плотности с глубиной (5.18). Нахождение этих критических значений и решение вопроса о возможности или невозможности возникновения неустойчивости такого рода в верхних слоях Земли, по мнению авторов, представляет несомненный интерес для геофизики.

Список литературы

1. Дубровский В.А. Тектонические волны // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1985. – №1. – С.29 – 34.
2. Рыжак Е.И. Бескоординатное тензорное исчисление для механики сплошных сред. М.: МФТИ, 2011. – 170 с.
3. Рыжак Е.И., Никитин Л.В. Об устойчивости и собственных колебаниях системы «плита-жидкость» с

- инверсией плотности. // Физика Земли. 2005. – №5. – С. 65 – 75.
4. Трусделл К. Первоначальный курс рациональной механики сплошных сред. М.: Мир, 1975. – 592 с.
 5. Baker L. Compressible Rayleigh-Taylor instability // Phys. Fluids. 1983. – V.26. – P. 950-952.
 6. Bernstein I. B. et al. An energy principle for hydromagnetic stability problems // Proc. Royal Society London. Ser. A. 1958. – V. 244. – P. 17-40.
 7. Livescu D. Compressibility effects on the Rayleigh-Taylor instability growth between immiscible fluids// Phys. Fluids. 2004. – V.47. – P. 118-127.
 8. Rayleigh, Lord. Investigation of the character of the equilibrium of an incompressible heavy fluid of variable density // Proc. London Math. Soc. 1883. – V. 14. – P. 170 – 177.
 9. Shivamoggi B.K. Rayleigh-Taylor instability of superposed barotropic fluids // Z. Angew. Math. Phys. 2012. – V.63. – P. 521-527.
 10. Vandervoort P. O. The character of the equilibrium of a compressible, inviscid fluid of varying density // Astrophys. J. 1961. – V. 134. – P. 699 – 717.

ОБ ОДНОЙ НЕЧЕТКОЙ КООПЕРАТИВНОЙ ЛИНЕЙНОЙ ДВУХУРОВНЕВОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ИГРЕ N +1 ЛИЦ

Сидоров Игорь Геннадиевич

кандидат технических наук, ст. преподаватель Московского Государственного Машиностроительного Университета г.Москва

ABOUT ONE COOPERATIVE FUZZY LINEAR TWO-LEVEL DIFFERENTIAL GAME OF N+1 PERSONS

Sidorov Igor, Candidate of Science, senior teacher of Moscow State, University of Machine Building, Moscow

АННОТАЦИЯ

В статье обобщается задача синтеза двухуровневой бескоалиционной линейной дифференциальной игры N+1 лиц с векторным линейным по стратегиям управления критерием оптимизации в условиях позиционного равновесия по Нэшу на случай кооперативной сбалансированной линейной дифференциальной игры N +1 лиц по нечеткому векторному критерию оптимизации в форме супераддитивной характеристической функции, линейному по стратегиям игроков методом параметрического линейного и нелинейного программирования с векторным параметром ресурсов. Разработан нечеткий аналог алгоритма синтеза в оптимальных по Нэшу стратегиях игроков, основанный на необходимых условиях оптимальности.

ABSTRACT

In the article, the task of the synthesis of two-level noncoalition linear differential game of N +1 persons is generalized on the case of the cooperative balanced linear by means of the fuzzy vector of the linear criterion of the optimization based on the player's strategies in the conditions of the position Nash equilibrium with using of the parameter linear and nonlinear programming of the vector parameter of resources is proposed in the class of the concave games in the form of the superadditive linear characteristic function.

Ключевые слова: равновесие по Нэшу, игра, дифференциальный, кооперативный, линейный, сбалансированность, С-ядро, нечеткий, синтез, двухуровневый, игрок.

Key words: Nash equilibrium, game, differential, cooperative, linear, balancing, C-kernel, fuzzy, synthesis, two-level, player.

Введение

В данной работе обобщается ранее полученный результат [4] на случай нечеткой сбалансированной кооперативной игры в условиях равновесия по

Нэшу [2]. Применяется новый подход, который использует аппарат классической кооперативной теории игр в условиях сбалансированности в классе вогнутых игр с супераддитивной характеристической функцией [2] в условиях равновесия по Нэшу с четким критерием оптимизации с использованием необходимых условий оптимальности.

1. Базовые понятия

Следуя [2] введем необходимые понятия. Если I - множество игроков, то каждая коалиция $J \subset I$ может быть отождествлена с ее характеристическим вектором

e^J , ставящем в соответствие каждому игроку $i \in I$ "интенсивность его участия" $e^J \in \{0,1\}^n$ в этой коалиции:

$$e^J_i = \begin{cases} 1, & i \in J, \\ 0, & i \notin J \end{cases}$$

В этом случае множество всех нечетких коалиций есть $[0,1]^n$, где n - общее число игроков.. Нечеткая кооперативная игра v - положительная однородная функция

функции на $[0,1]^n$. Определим понятие с-ядра на нечеткой игре [2, с.388]: Определение 2.1 Пусть v - нечеткая кооперативная игра. Ее С-ядром называется множество $c(v) = \{x \in R^I \mid \sum_{i \in I} x_i = v(1), \sum_{i \in I} \tau_i x_i \geq v(\tau) \forall \tau \in [0,1]^n\}$

Очевидно, что $x \in c(v)$ тогда и только тогда, когда $x \in \bar{\partial}(1)$, где

$$\partial v(1) = \{l \in R^1 \mid v(1) - v(\Theta) \geq (l, 1 - \Theta)\}$$

супердифференциал функции v в точке 1- коалиция всех игроков, $(l, 1 - \Theta)$ - скалярное произведение векторов. с-ядро может быть и пусто, однако, если v - вогнутая (и, тем самым, суперлинейная) функция, то с-ядро непусто. В этом случае особый интерес представляет так называемая суперрадивная оболочка πu классической кооперативной игры $\pi u : [0, 1]^n \rightarrow R^1$, определяемой формулой

$$\pi u(\tau) = \sup_{\mu_s \geq 0, \sum \mu_s e^s = \tau} \sum \mu_s u(s) \tag{1.1}$$

Функция $\pi u : [0, 1]^n \rightarrow R^1$ -наименьшая положительно однородная вогнутая функция, большая чем u .

Определение 2.2. Игра u называется сбалансированной, если $\pi u(1) = u(1)$ Так как $c(v) = \bar{\partial}(1)$..

2. Постановка задачи

Двухуровневая конфликтно управляемая система функционирует следующим образом. Управляющий центр A_0 , находящийся на первом уровне иерархии, выбирает вектор $\bar{u} = (\bar{u}_1, \dots, \bar{u}_N)$ из заданного множества управлений U , где \bar{u}_i - управляющее воздействие центра на подчиненные ему подразделения B_i , которые выбирают $\bar{v}_i(\bar{u}_i) \in V_i(\bar{u}_i)$, где $V_i(\bar{u}_i)$ множество управлений подразделения, предопределенное управлением центра. Управляющий центром имеет право первого хода и может ограничивать возможности подчиненных ему центров, направляя их действия в нужное русло. Цель центра A_0 заключается в максимизации по функционала $K_0(\bar{u}, \bar{v}_1, \dots, \bar{v}_N)$, а подразделения B_i , обладая собствен-

$$K_0(\bar{u}, \bar{v}_1(\square), \dots, \bar{v}_N(\square)) = \sum_{i=1}^{N+1} \bar{c}_i \bar{v}_i(\bar{u}_i), \bar{c}_i \geq 0, \bar{c}_i \in R^m, \forall \bar{c}_i \in [0, 1]^m$$

где \bar{c}_i - фиксированный вектор интенсивности i -ого подразделения на всем единичном m -мерном кубе, $i=1, \dots, N$; а $\bar{c}_i \bar{v}_i$ - скалярное произведение векторов \bar{c}_i и \bar{v}_i . Функцию выигрыша игрока B_i полагаем равной $K_i(\bar{u}, \bar{v}_1(\square), \dots, \bar{v}_N(\square)) = \bar{c}_i \bar{v}_i(\bar{u}_i) \in R^m, \forall \bar{c}_i \in [0, 1]^m$

ными целями стремятся максимизировать по \bar{v}_i функционалы $K_i(\bar{u}, \bar{v}_1, \dots, \bar{v}_N)$. Формализуем эту задачу как кооперативный нечеткий вариант линейной дифференциальной игры (N+1)-го лица $[I, v]$ в нормальной форме.

Пусть игрок A_0 выбирает вектор $\bar{u} \in U$, где

$$U = \{\bar{u} = (\bar{u}_1, \dots, \bar{u}_n) : \bar{u}_i \geq 0, \bar{u}_i \in R^l, i=1, \dots, n, \sum_{i=1}^n u_i \leq 1\},$$

-множество стратегий A_0 в игре $[I, v]$. Вектор \bar{u}_i будем интерпретировать как набор ресурсов l -

наименований, выделяемых центром A_0 для i -го производственного подразделения. Каждый из игроков B_i зная выбор A_0 , выбирает вектор $\bar{v}_i(\bar{u}_i) \in V_i(\bar{u}_i)$, где

$$V_i(\bar{u}_i) = \{\bar{v}_i \in R^m : \bar{v}_i A_i \leq \bar{u}_i + \bar{\alpha}_i, \bar{v}_i \geq 0\} \tag{2.0}$$

Вектор \bar{v}_i интерпретируется как производственная программа i -го производственного подразделения по различным видам продукции; A_i - производственная или технологическая матрица i -го подразделения (A_i); $\bar{\alpha}_i$ - вектор наличных ресурсов i -го производственного подразделения ($\bar{\alpha}_i \geq 0$). Под стратегиями игрока B_i в игре v будем понимать множество функций $\bar{v}_i(\square)$, ставящих в соответствие каждому элементу $\bar{u}_i \in U$ вектор $\bar{v}_i(\square)$, где $\bar{v}_i(\bar{u}_i) \in V_i(\bar{u}_i)$.

Множество таких функций будем обозначать через

$$V_i, i=1, \dots, N$$

Определим функции полезностей игроков в

$[I, v]$. Для игрока A_0 функция выигрыша имеет вид

где $\bar{c}_i \geq 0; \bar{c}_i \in R^m$ -фиксированный вектор интенсивности i -го подразделения на всем единичном m -мерном кубе, $i=1, \dots, N$; при условии, что состояние системы развивается в соответствии с линейной дифференциальной игрой N лиц на нижнем уровне и управляющим центром на верхнем уровне в виде:

$X^j(t) = (x_1^j, \dots, x_{nj}^j)$ - вектор состояния j-го игрока - вектор -столбец (значения компонент этого вектора в

дальнейшем будем рассматривать как количество неко-
торого ресурса); $U^j(t) = (\vec{u}_{1j}^j(t), \dots, \vec{u}_{nj}^j(t), j = \{1, \dots, N\}$ -управляющие
вектор-функция - стратегии игроков кусочно-непрерыв-
ные функции времени; $D^j = (\vec{d}_1^j, \dots, \vec{d}_{nj}^j)$ - вектор – стол-
бец свободных членов; $(A_k^j U_k^j(t))$ - матрица с элемен-
тами $a_{kl}^{jk} u_{kj}^{jq}(t)$; $B_k^j b_{kl}^{jq}$ - матрица с элементами $a_{kl}^{jk} u_{kj}^{jq}(t)$
- постоянный коэффициент; k - номер игрока выделяю-
щего ресурс; j - номер игрока потребляющего ресурс; l -

номер ресурса k - го игрока; $l = (1, \dots, n_k)$; q - номер ре-
сурса j -го игрока; $q = (1, \dots, n_q)$ a_{kl}^{jq} - постоянный коэф-
фициент; u_{kl}^{jq} - компонента искомой стратегии k -го иг-
рока, определяющая долю l -го ресурса выделяемую для
обеспечения роста (убыли) q -го ресурса j -го игрока.

$$\frac{dX^1}{dt} = (A_1^1 U_1^1) X^1 + (A_2^1 U_2^1) X^2 + \dots + (A_{N+1}^1 U_{N+1}^1) X^{N+1} + B_1^1 X^1 +$$

$$+ B_2^1 X^2 + \dots + B_{N+1}^1 X^{N+1} + D^1,$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\frac{dX^{N+1}}{dt} = (A_1^{N+1} U_1^{N+1}) X^1 + (A_2^{N+1} U_2^{N+1}) X^2 + \dots + (A_{N+1}^{N+1} U_{N+1}^{N+1}) X^{N+1} + B_1^{N+1} X^1 +$$

$$+ B_2^{N+1} X^2 + \dots + B_{N+1}^{N+1} X^{N+1} + D^{N+1},$$

(2.1)

$$X(t_0) = X_0 \quad X(t_1) = X_1 \tag{2.2}$$

Игровой процесс (2.1), (2.2) начинается в момент t_0 и заканчивается момент t_1 . Точка, в которую приходит траектория в момент t_1 обозначим X_1 . Каждый из игроков стремится так выбрать свою стратегию $\vec{U}^j(t)$, чтобы к моменту t_1 его целевой функционал

$$K_i(\vec{u}, \vec{v}_1, \dots, \vec{v}_N) = \Phi(\vec{X}_1) \rightarrow \max_{\vec{u} \in U, \vec{v}_j \in V_j} \tag{2.3}$$

принимал максимум, где $i = 0, \dots, N; j = 1, \dots, N$. Для простоты предполагаем, что максимумы в (2.3) достигаются.

Стратегии $\vec{U}^*, \vec{V}_1^*, \dots, \vec{V}_N^*$ назовем оптимальными, если для всех $j = 1, \dots, N$ выполняются соотношения

$$K_i(\vec{U}^*, \vec{V}_1^*, \dots, \vec{V}_j^*, \dots, \vec{V}_N^*) \geq K_i(\vec{U}^*, \vec{V}_1^*, \dots, \vec{V}_j, \dots, \vec{V}_N^*) \tag{2.4}$$

Решение, удовлетворяющее (2.4) называется ситуацией равновесия по

Нэшу в игре $\nu = [\vec{U}, \vec{V}_1, \dots, \vec{V}_N, K_0, \dots, K_N]$. Заметим, что эта ситуация также устойчива против отклонения от нее любой коалиции $S \subset \{B_1, \dots, B_N\}$, поскольку выигрыш K_i i -го игрока не зависит от стратегий \vec{v}_j (\square), $j \neq i, j \in \{1, \dots, N\}$.

3. Алгоритм синтеза

Отметим, что в общем случае решение, удовлетворяющее (2.4) может отсутствовать либо не быть единственным. Будем предполагать, что решение существует. Ниже приводится методика приведения нечеткой кооперативной двухуровневой дифференциальной игры N+1 лиц в условиях сбалансированности с-ядра по равновесию Нэша к классическому кооперативному варианту в двухуровневой дифференциальной игре N+1 лиц [2, с. 261]. Исходя из содержательного смысла задачи (2.0) и (2.1) и с использованием стратегий, образующих равновесие по Нэшу для каждой коалиции $S \subset N = (A_0, B_1, \dots, B_N)$ определим ее гарантированный доход $\nu(S)$:

$$\tilde{\nu}(S) = \begin{cases} 0, & \text{при } S = \{A_0\}, \\ \sum_{i: B_i \in S} \tilde{c}_i \tilde{v}_i^*(0) & \text{при } A_0 \notin S, \\ \max_{\{u \in U: \sum_{i: B_i \in S} u_i = 1\}} \sum_{i: B_i \in S} (\tilde{a}_i + \tilde{c}_i) \tilde{v}_i^*(\vec{u}_i) & \text{при } A_0 \in S, \end{cases} \tag{3.1}$$

где $\tilde{v}_i^*(\vec{u}_i)$, $i = 1, \dots, N$ - решение задачи параметрического линейного программирования. Можно показать [4, с.199], что функция $\tilde{v}(s)$, определяемая в (3.1) супераддитивна и следовательно нечеткую кооперативную игру $\tilde{v} = [\vec{U}, \vec{V}_1, \dots, \vec{V}_N, K_0, \dots, K_N]$ можно рассмотреть в форме характеристической функции (3.1).

В силу выполнения условия сбалансированности С-ядра в нечеткой игре v согласно п.1. приходим к аналогу алгоритма отыскания стратегий в условиях равновесия по Нэшу [4] и одновременно решение задачи синтеза в функции произвольных начальных условий (2.2), основанный на необходимых условиях оптимальности.

Список литературы

1. Болтянский В.Г. Математические методы оптимального управления. – М.: «Наука» – 1969 – 408 с.
2. Демьянов В.Ф., Рубинов А.М. Основы негладкого анализа и квазидифференциальное исчисление. – В кн.: Оптимизация и исследование операций. Вып. 23.- М.: «Наука» –1990 – 432 с.
3. Петросян Л.А., Зенкевич Н.А., Шевкопляс Е.В. Теория игр. –СПб «БХВ – Петербург», 2014– 432 с.
4. Карвовский Г.С., Кузнецов А.Д. Принцип максимума в теории дифференциальных игр N лиц // «Известия АН СССР. Техническая кибернетика» - 1966. - № 6. – С.13-16.

ДВИЖЕНИЕ МИКРОЧАСТИЦ ЛУННОГО РЕГОЛИТА ПРИ МАЛЫХ УГЛАХ ПАДЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Яковлев Андрей Борисович

кандидат физмат наук, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

THE MOTION OF LUNAR REGOLITH'S MICROPARTICLES FOR SMALL ANGLES OF INCIDENCE OF SOLAR RAYS

Yakovlev Andrey, Candidate of Sciences St.-Petersburg State University, St.-Petersburg

АННОТАЦИЯ

Вблизи поверхности безатмосферного небесного тела наиболее вероятным является немонотонное распределение потенциала с высотой. В настоящей работе параметры немонотонного потенциала определяются, как предложено А.М. Москаленко, из решения системы трех интегральных уравнений. Наводимый на пылевой частице электрический заряд и высота подъема микрочастиц над поверхностью Луны определяются совместным численным решением уравнения зарядки и уравнения движения пылинки под действием электрической и гравитационной силы.

ABSTRACT

Near a surface of the heavenly body deprived of atmosphere the nonmonotonic potential distribution is the most probable. In this work parameters of nonmonotonic potential are defined by the solving of the system of three integral equations as it is offered by A.M. Moskalenko. Electric charge directed on a dust particle and height of microparticles lifting above lunar surface are defined by the joint numerical solving of the charging equation and the dynamics equation of a grain under the influence of electrical and gravitational forces.

Ключевые слова: Луна; немонотонный потенциал; микрочастица

Keywords: the Moon; nonmonotonic potential distribution; microparticle

В связи с подготовкой к проведению программ "Луна - Глоб" и "Луна - Ресурс" в последнее время снова возрос интерес к исследованию пыли у поверхности Луны [1- 6]. Известно, что под действием электромагнитного излучения Солнца и окружающей плазмы происходит зарядка поверхности Луны. Потенциал лунной поверхности обычно определяется из условия равенства нулю суммарной плотности тока на ее поверхность, что связано с низкой проводимостью Луны. Первоначально зависимость электростатического потенциала от высоты над поверхностью Луны предполагалась монотонной [7 -12]. При этом из теории диодов известно, что при сильной эмиссии электронов из катода распределение потенциала является немонотонным [13]. Такой характер зависимости подтверждается, например, результатами измерений около спутников на геостационарной орбите [14]. В работах [15 - 19] сделаны попытки определения параметров немонотонного потенциала у поверхности лишеного атмосферы небесного тела в предположении равенства нулю электростатического поля на внешней границе двойного слоя. Однако, как следует из результатов работы [20]

и наших собственных исследований, использовавшиеся для определения параметров потенциала уравнения не имеют решения.

Расчет параметров немонотонного потенциала Как показано в [21] функцию распределения электронов для лунного грунта можно считать полумаксвелловской с концентрацией y у поверхности $N_{v0} = 1.3 \cdot 10^8 \text{ м}^{-3}$ и температурой $T_v = 1.5$ эВ. Для электронов и ионов солнечного ветра функции распределения является максвелловской с $T_e = 10$ эВ и $N_{e0} = 9 \cdot 10^6 \text{ м}^{-3}$ (спокойный солнечный ветер) или $N_{e0} = 6 \cdot 10^6 \text{ м}^{-3}$ (возмущенный солнечный ветер) [22]. Таким образом, для малых углов падения солнечного излучения θ выполняется условие высокой фотоэмиссии $N_{v0} \square N_{e0}$. Поэтому для частиц лунной поверхности

можно ожидать существование немонотонного потенциала.

Потенциал электрического поля и распределение частиц в двойном слое определяются системой уравнений Власова – Пуассона с соответствующими граничными условиями. Так как радиус Луны много больше дебаевского радиуса плазмы солнечного ветра, уравнение Пуассона становится одномерным

$$\frac{d^2\Phi}{dz^2} = -\frac{e}{\epsilon_0}(N_i - N_e - N_v) \tag{1}$$

Здесь Φ - потенциал электрического поля, z - высота точки над поверхностью Луны, N_i, N_e, N_v - концентрации ионов и электронов солнечного ветра и фотоэлектронов, ϵ_0 - диэлектрическая проницаемость вакуума.

Как и в работе [20] для определения немонотонного потенциала будем использовать четыре параметра:

$$\begin{aligned} \zeta = \frac{z}{D} \quad D = \left[\frac{\epsilon_0 k T_e}{N_{e0} e^2} \right]^{1/2} \quad w = \frac{V_0}{V_e} \cos \theta \quad \zeta_m = \frac{z_m}{D} \quad \tau = \frac{T_e}{T_v} \quad V_e = \sqrt{\frac{2kT_e}{m_e}} \quad \psi = -\frac{e\Phi}{kT_e} \quad \psi_0 = -\frac{e\Phi_0}{kT_e} \\ \psi_m = -\frac{e\Phi_m}{kT_e} \quad \psi_1 = -\frac{e\Phi_1}{kT_e} \quad \Psi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \\ N_{e0} = \frac{N_{e0}}{2\sqrt{\pi}} e^{-w^2} \left[\int_{\psi}^{\infty} \frac{\exp(-t + 2w\sqrt{t})}{\sqrt{t-\psi}} dt \mp \int_{\psi}^{\psi_m} \frac{\exp(-t + 2w\sqrt{t})}{\sqrt{t-\psi}} dt \right] \\ N_v(\psi) = \cos \theta \frac{N_{v0}}{2} \exp(\tau\psi_0 - \tau\psi) \left[1 \pm \Psi(\sqrt{\tau\psi_m - \tau\psi}) \right] \\ j_e(\psi_m) = N_{e0} \frac{V_e}{2\sqrt{\pi}} \left\{ \exp\left[-(w - \sqrt{\psi_m})^2\right] + \sqrt{\pi} w \left[1 + \Psi(w - \sqrt{\psi_m}) \right] \right\} \\ j_v(\psi_0, \psi_m) = -\cos \theta N_{v0} \frac{V_e}{2\sqrt{\pi}\sqrt{\tau}} \exp(\tau\psi_0 - \tau\psi_m) \quad j_i = N_i V_0 \cos \theta \\ Z_{1,2}(\psi) = -2(\psi_m - \psi) + e^{-\psi} \left[1 \mp \Psi(\sqrt{\psi_m - \psi}) \right] - \exp(-\psi_m) \left\{ 1 + \frac{A}{\tau} \exp[(1-\tau)\psi_m] \right\} + \frac{A}{\tau} \exp[-\tau\psi] \times \\ \times \left[1 \pm \Psi(\sqrt{\tau\psi_m - \tau\psi}) \right] \pm \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\psi_m - \psi} \exp(-\psi_m) \times \left\{ 1 - \frac{A}{\sqrt{\tau}} \exp[(1-\tau)\psi_m] \right\} + w \int_{\psi}^{\psi_m} F_{1,2}(\psi, \psi_m) d\psi \\ A = \frac{N_{v0}}{N_{e0}} \cos \theta \exp(\tau\psi_0) \quad F_{1,2}(\psi, \psi_m) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} e^{-\psi} \left[\int_0^{\infty} e^{-x^2} \sqrt{x^2 + \psi} dx \mp \int_0^{\sqrt{\psi_m - \psi}} e^{-x^2} \sqrt{x^2 + \psi} dx \right] \end{aligned}$$

Здесь верхний знак относится к области $0 \leq \zeta \leq \zeta_m$, нижний – к области $\zeta_m < \zeta < \infty$, V_0 - скорость солнечного ветра, плотность ионов $N_{i0} = N_{e0}$.

В новых переменных уравнение (1) записывается в виде

$$\frac{d^2\psi}{d\zeta^2} = 1 - \frac{N_e(\psi)}{N_{e0}} - \frac{N_v(\psi)}{N_{e0}} \tag{2}$$

Граничные условия для (2) имеют следующий вид:

$$\psi = \psi_0 \text{ при } \zeta = 0 \text{ и } \psi = \psi_1 \text{ при } \zeta \rightarrow \infty.$$

Φ_0 - потенциал на поверхности Луны, Φ_m - минимальное значение Φ на высоте z_m , Φ_1 - значение потенциала на внешней границе двойного слоя. Для нахождения указанных величин используются 3 условия:

– равенство нулю суммарной плотности тока на поверхность

$$j_i - j_e(\psi_m) - j_v(\psi_0, \psi_m) = 0$$

– квазинейтральность на внешней границе двойного слоя ($\zeta \rightarrow 1$)

$$N_e(\psi_1) + N_v(\psi_1) = N_i$$

– равенство нулю напряженности электрического поля внешней границе двойного слоя

$$\left. \frac{d\psi}{d\zeta} \right|_{\zeta \rightarrow \infty} = -|Z_2(\psi_1)|^{1/2} = 0$$

Здесь

Так как правая часть уравнения (2) не зависит от ζ , то решение этого уравнения находится путем интегрирования

$$\zeta = \zeta_m \mp \int_{\psi}^{\psi_m} \frac{d\psi}{\sqrt{Z_{1,2}(\psi)}}$$

где

$$\zeta_m = \int_{\psi_0}^{\psi_m} \frac{d\psi}{\sqrt{Z_1(\psi)}}$$

Численные расчеты проводились для двух значений солнечного ветра $V_0 = 308 \text{ км/с}$ (спокойный солнечный ветер) и $V_0 = 484 \text{ км/с}$ (возмущенный солнечный

ветер). На рисунках 1 и 2 представлены результаты расчетов параметров немонотонного потенциала для случаев спокойного и возмущенного солнечного ветра.

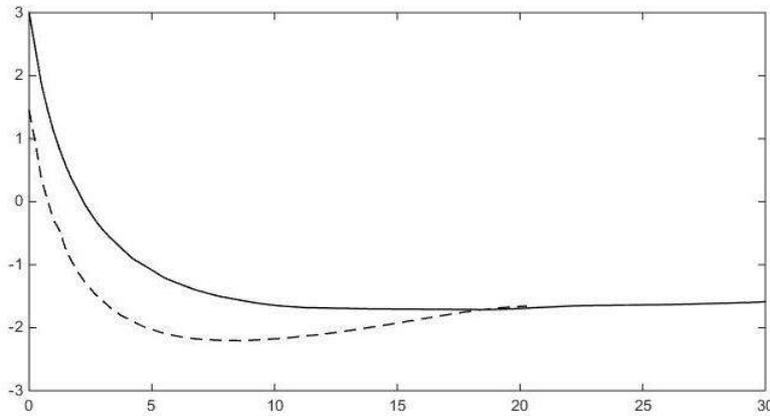


Рисунок 1. Зависимости потенциала (в Вольтах) от высоты (в метрах) при $\theta = 0^\circ$ для спокойного (пунктирная линия) и возмущенного (сплошная линия) солнечного ветра.

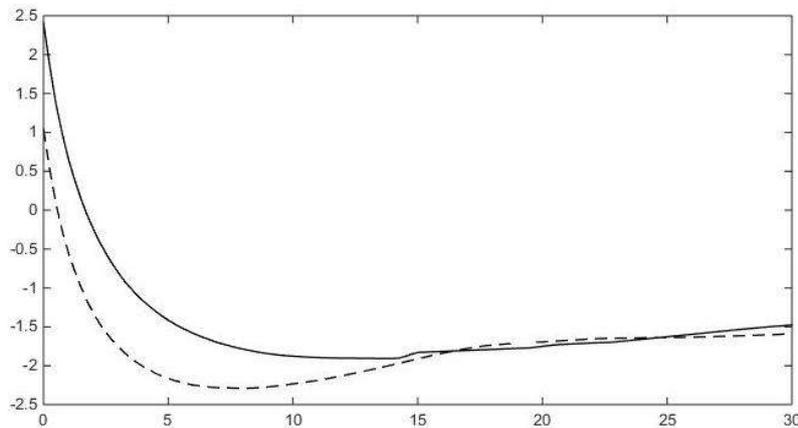


Рисунок 2. Зависимости потенциала (в Вольтах) от высоты (в метрах) при $\theta = 30^\circ$ для спокойного (пунктирная линия) и возмущенного (сплошная линия) солнечного ветра.

Динамика пылевых частиц в приповерхностном слое

Существование электрического поля у поверхности Луны, как показано в [10], может быть причиной подъема мелких пылевых частиц. Очевидно, что подъем пылевых частиц возможен когда непосредственно на поверхности Луны направленная вверх электростатическая сила превосходит силу тяжести. Как и в работах [10, 12, 23] мы пренебрегаем когезией пылинок с лунной поверхностью. Обоснование для такого предположения дано в [12, 23]. Для расчета величины электрического заряда отдельной пылинки, находящейся на поверхности Луны, предложено два различных подхода. Первый из них основан на предположении, что величина заряда частицы на поверхности Луны определяется таким же соотношением, что и во время ее движения над поверхностью [10, 11]. Второй подход, предложенный в [23], исходит из предположения, что потенциал поверхности Луны равен потенциалу

лежащей на ней частицы. Тогда заряд частицы равен $Q = 4\pi\epsilon_0 R\Phi_0$, где R - радиус пылинки.

При обоих подходах эволюция электрического заряда пылевой частицы определяется уравнением

$$\frac{dQ}{dt} = I_i - I_e - I_v + I_{ph} \tag{3}$$

где справа записана сумма потоков ионов I_i , электронов I_e и фотоэлектронов I_v на поверхность частицы и потока фотоэмиссии I_{ph} с поверхности частицы. Выражения для указанных выше потоков зависят от знака наведенного на частице заряда и расположения частицы выше или ниже z_m . Например, для случая $Q > 0$ и $0 \leq z \leq z_m$

$$I_e = \pi R^2 e N_{e0} \sqrt{\frac{8kT_e}{\pi m_e}} \left(1 + \frac{eQ}{4\pi\epsilon_0 R k T_e}\right) \exp\left(\frac{e\Phi_m}{kT_e}\right) \quad I_i = \pi R^2 e N_{e0} V_0$$

$$I_v = \pi R^2 e N_{v0} \cdot \cos \theta \sqrt{\frac{8kT_v}{\pi m_e}} \left(1 + \frac{eQ}{4\pi\epsilon_0 RkT_v}\right) \times \left[2 \exp\left(\frac{e\Phi}{kT_v}\right) - \exp\left(\frac{e\Phi_m}{kT_v}\right)\right] \exp\left(-\frac{e\Phi_0}{kT_v}\right)$$

$$I_{ph} = \pi R^2 e \frac{N_{v0}}{4} \sqrt{\frac{8kT_v}{\pi m_e}} \left(1 + \frac{eQ}{4\pi\epsilon_0 RkT_v}\right) \exp\left(-\frac{eQ}{4\pi\epsilon_0 RkT_v}\right)$$

Так как для немонотонного потенциала вектор напряженности электрического поля на поверхности планеты всегда направлен вверх, подъем частицы возможен только при положительном заряде частицы. При первом варианте расчета заряда для возмущенного солнечного ветра равновесный электростатический заряд частицы на

поверхности Луны $Q_{равн}(0)$ становится положительным при $\theta > 82.2^\circ$, а для спокойного – при $\theta > 82.4^\circ$. Таким образом, для малых углов падения солнечного излучения подъем микрочастиц при первом подходе невозможен. Для второго варианта определения заряда возможно только численное решение задачи о движении пылинки, так как начальное значение в этом случае сильно отличается от $Q_{равн}(0)$. Динамика микрочастицы лунного

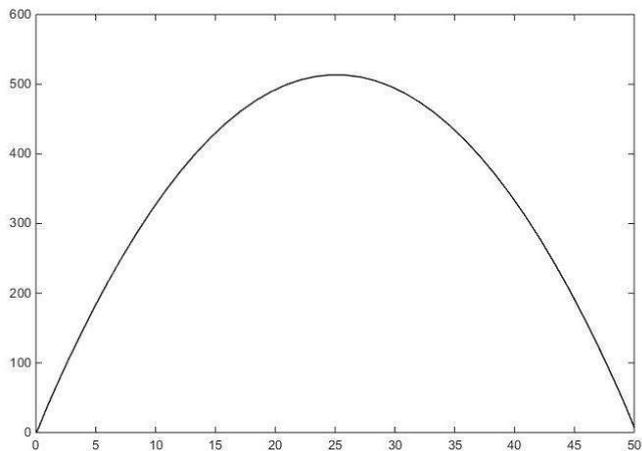


Рисунок 3. Зависимость от времени (в секундах) высоты подъема (в метрах) микрочастицы радиусом 10 нм при $\theta = 0^\circ$ для возмущенного солнечного ветра.

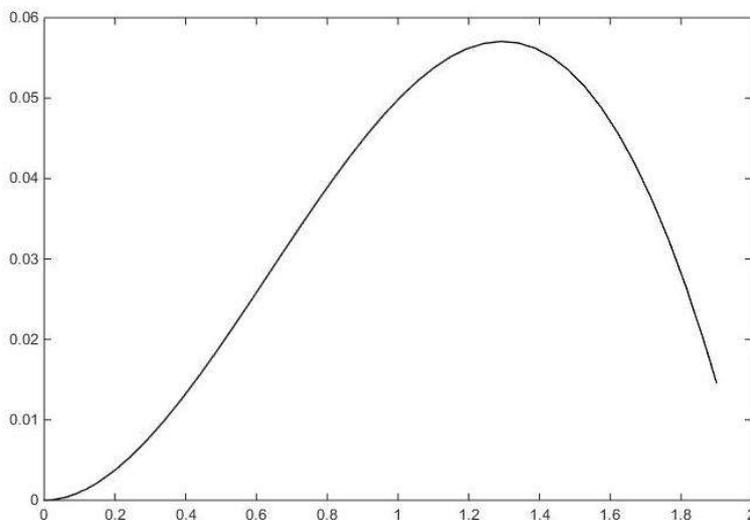


Рисунок 5. Зависимость от времени (в секундах) высоты подъема (в метрах) микрочастицы радиусом 180 нм при $\theta = 0^\circ$ для возмущенного солнечного ветра.

грунта определяется совместным численным решением уравнения зарядки (3) и уравнения движения пылинки под действием электрической и гравитационной силы

$$M \frac{d^2 z}{dt^2} = QE_z - Mg_{Moon}$$

Здесь M - масса пылинки, E_z - вертикальная составляющая напряженности электрического поля, g_{Moon} - величина ускорения свободного падения на поверхности Луны. На рисунках 3-6 показаны временные зависимости высоты подъема и фазовые траектории для частиц с радиусами 180, 160 и 10 нм, совершающих движения при углах $\theta = 0$ и 30 градусов в случае возмущенного солнечного ветра.

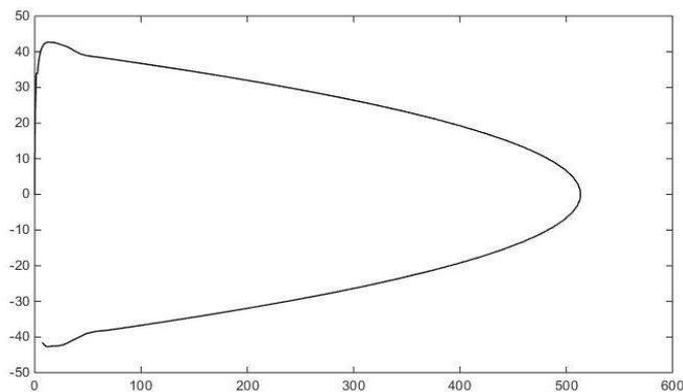


Рисунок 4. Фазовая траектория (высота в метрах, скорость в м/с) микрочастицы радиусом 10 нм при $\theta = 0^\circ$ для возмущенного солнечного ветра.

Заключение.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Подъем частиц пыли для малых углов падения θ возможен только при выполнении предположения о равенстве потенциалов поверхности Луны и лежащей на ней частицы.
2. Возникающее при этом движение представляет собой одиночные колебания, между которыми частица покоится на поверхности до момента достижения достаточного для нового подъема электрического заряда.
3. Высота максимального подъема частиц пыли при увеличении угла θ уменьшается.

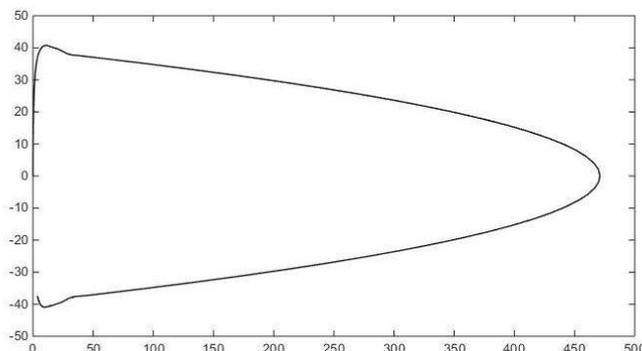


Рисунок 6. Фазовая траектория (высота в метрах, скорость в м/с) микрочастицы радиусом 10 нм при $\theta = 30^\circ$ для возмущенного солнечного ветра.

Список литературы

1. Xie J., Sternovsky Z. et al. //Plan. and Space Sci. 2013. Vol. 89. -P. 67.
2. Буринская Т. М. //Физика плазмы. 2014. Т. 40, № 1. - С. 17.
3. Борисов Н.Д., Захаров А.В. //Астрономический вестник. 2014. Т. 48, № 1. -С. 24.
4. Голубь А.П., Дольников Г.Г. // Письма в ЖЭТФ. 2012. Т. 95, № 4. -С. 198.
5. Попель С.И., Копнин С.И. //Астрономический вестник. 2013. Т. 47, № 6. - С. 455.
6. Stubbs T.J., Farrell W.M. // Plan. and Space Sci. 2014. Vol. 90. -P. 10.
7. Manka R.H. Plasma and potential at the lunar surface // in Photon and Particles Interaction with Surface in Space, Edited by R.J.L. Grard. Dordrecht: Reidel. 1973. -P. 347.
8. Walbridge E. //J. Geophys. Res. 1973. Vol. 78, № 19. - P. 3668.
9. Колесников Е.К., Мануйлов А.С. //Астрономический журнал. 1982. Т. 59, № 5. -С. 996.
10. Kolesnikov E.K., Yakovlev A.B. //Sol. Syst. Res. 1997. Vol. 31, № 1. -P. 62.
11. Yakovlev A.B. //Sol. Syst. Res. 1998. Vol.32, № 4. -P. 352.
12. Kolesnikov E.K., Yakovlev A.B. //Plan. and Space Sci. 2003. Vol. 51. -P. 879.
13. Жеребцов И.П. Основы электроники. // М. - Л. Госэнергоиздат. 1960. 608 С.
14. Whipple E.C. Jr. // J. Geophys. Res. 1976. Vol. 81, № 4. -P. 601.
15. Fu J.H.M. //J. Geophys. Res. 1971. Vol. 76, № 10. -P. 2506.
16. Guernsey R.L., Fu J.H.M. //J. Geophys. Res. 1970. Vol. 75, № 16. -P. 3193.
17. Мануйлов А.С., Колесников Е.К. Кинетика фотоэлектронного слоя у поверхности безатмосферного небесного тела // в кн. Физическая механика, под ред. Б.В. Филиппова, Л., изд. Ленингр. университета. 1984 Т. 5. -С. 110.
18. Мануйлов А.С., Колесников Е.К. // Вестник Ленинградского университета, сер. 1. 1984. Т. 7, № 2. -С. 101.
19. Попов В.В. // Космические исследования. 1989. Т. 27, № 5. -С. 777.
20. Москаленко А.М. //Кинематика и физика небесных тел. 1992. Т. 8, № 5. -С. 31.
21. Willis R.F., Anderegg M., Fauerbacher B. and Fitton B. Photoemission and secondary electron emission from lunar surface material // in Photon and Particles Interaction with Surface in Space. Edited by R.J.L. Grard. Dordrecht: Reidel. 1973. -P. 389.
22. Siscoe G.L. The particle environment in space // in Photon and Particles Interaction with Surface in Space. Edited by R.J.L. Grard. Dordrecht: Reidel. 1973. -P. 23.
23. Stubbs T.J., Vondrac R.R. and Farrell W.M. //Adv. in Space Res. 2006. Vol. 37. -P. 59.

ЛОКАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОБТЕКАНИЯ ТЕЛ ВЫСОКОСКОРОСТНЫМИ ПОТОКАМИ ГАЗА

Зяя Мью Мьинт

к.ф.-м.н., докторант, Московского физико-технического института, г. Жуковский

LOCAL METHODS FOR SOLVING PROBLEMS OF FLOW AROUND BODIES WITH HIGH VELOCITY GAS STREAM

Zay Yar Myo Myint, Candidate of Sciences, doctoral student of Moscow Institute of Physics and Technology, Zhukovsky

АННОТАЦИЯ

В настоящее время бурно развиваются методы решения задачи обтекания в переходном режиме. В данной работе представляются приближенные методы аэродинамического расчета в переходном режиме разреженным газом, основанные на предположении, что поток импульса на поверхности определяется местным углом падения, независимо от формы тела.

Ключевые слова: динамика разреженного газа, переходный режим, аэродинамические характеристики, число Рейнольдса, свободномолекулярный режим, континуальный режим.

ABSTRACT

At present, the rapidly developing methods for solving the problem of the gas flow in the transition mode. In this paper present the approximate methods for calculating aerodynamic in transition mode rarefied gas, based on the fact that the momentum flux at the surface is determined by the local incidence angle, not concerned with the form of the body.

Keywords: rarefied gas dynamics, transient, aerodynamic characteristics, the Reynolds number, the free-molecule regime, continuum mode.

Методы решения аэродинамики разреженных газов в переходном режиме определяется экспериментальным данным. Решение уравнения Больцмана при средних числах Кнудсена слишком трудно [1, 2, 4]. Экспериментальные результаты дают возможность развивать приближенные методы предсказания аэродинамических характеристик, не заходя глубоко на микро-уровень. Приближенный метод аэродинамического расчета в разрежен-

ном газе, основанный на предположении, что поток импульса на поверхности определяется местным углом падения, независимо от формы тела [2, 3, 6-8, 13, 14].

В работе [5] предложил полуэмпирический приближенный метод, основанный на численных и экспериментальных данных для расчетов аэродинамических характеристик сложных тел. Коэффициенты давления C_p и трения C_f для поверхности элемента с локальным углом падения α были представлены в следующих:

$$C_p = P_0 + P_1 \sin \alpha + P_2 \sin^2 \alpha, \quad C_f = \tau_0 \cos \alpha + \tau_1 \cos \alpha \sin \alpha$$

где P_0, P_1, P_2, τ_0 и τ_1 (коэффициенты режима течения) зависят от параметров подобия, например, числа Рейнольдса ($Re_0 = \rho^\infty V^\infty L / \mu_0$, где μ_0 - вязкость в точке торможения T_0), число Маха (M^∞), отношение теплоемкостей ($\gamma =$

c_p / c_v), температурный фактор ($tw = Tw/T_0$, где T_w и T_0 - температура стенки и температура торможения соответственно). Уравнения коэффициентов режима течения можно написать:

$$P_0 = P_0^{id} + (P_0^{fm} - P_0^{id}) F_{P_0}, \quad P_1 = P_1^{fm} F_{P_1}$$

$$P_2 = P_2^{id} + (P_2^{fm} - P_2^{id}) F_{P_2}, \quad \tau_0 = \tau_0^{fm} F_{\tau_0}, \quad \tau_1 = \tau_1^{fm} F_{\tau_1}$$

где fm и id - свободномолекулярного и континуального режима соответственно. Более конкретно, свободномолекулярное условие зависит от нормальных и тангенциальных компонент импульса, обмениваемых между газом и поверхностью. Континуальное условие зависит от коэффициента давления в точке торможения. Частности видов функций $F_{\tau_0}, F_{\tau_1}, F_{P_0}, F_{P_1}$ и F_{P_2} , получаемых полуэмпирической процедуры. Это зависит от результатов, полученных численных расчетов и экспериментальных данных для различных тел и на разных условиях испытаний.

В работе [10] представлен мостовой метод, разработанный Поттера и Петерсона. Значения коэффициентов трения C_f и давления C_p основаны на корреляции для сферы методом прямого статистического моделирования Монте-Карло (ПСМ) в переходном режиме: можно показать в этой работе, что соотношение между коэффициентом трения в переходном и в свободномолекулярном режиме (C_{ffm}) могут быть соотнесены с параметром Z , тогда

$$Z = f(\theta) \frac{[M_\infty / \sqrt{Re_\infty}] (T_\infty / T_w)^{(1-\omega)/2} (80H_w / H_0)^y}{\sin \theta}$$

$$P / P_{fm} = 1 - (1 - P_i / P_{fm}) / [1 + (0.6 + \theta)^4 (M_\infty / Re_\infty)^{1/2}], \text{ если } p_i \leq p_{fm}$$

$$P / P_{fm} = 1 + (P_i / P_{fm} - 1) / [1 + 0.6(M_\infty / Re_\infty)^{1/2}], \text{ если } p_i > p_{fm}$$

где $\gamma = V / 2.7 (V / 3.1 + 180)$, $V = M^\infty / \sqrt{Re^\infty}$, $f(\theta)$ - функция корреляции данных ПСМ, для сферы $f(\theta) = 1 + \sin \theta$, θ - угол между местной нормаль к поверхности и скорость свободного потока. В работе вычислялся C_f кодом ПСМ и C_{ffm} известным уравнением Максвелла [1, 4]. Они получили две корреляционные уравнения для $\theta \leq 75$ градусов:

$$C_f / C_{ffm} = [0.24 / (0.24 + Z^{1.3})]^{1.25} \text{ если } Z > 1$$

$$C_f / C_{ffm} = 0.1284Z \text{ если } Z \leq 1$$

В интервале $75 < \theta \leq 90$ градусов, C_f / C_{ffm} вычисляется путем линейной интерполяции между значением C_f / C_{ffm} на $\theta = 75$ градусов. По вышеуказанным уравнением, и значение $\theta = 90$ градусов, путем умножения правую часть первой уравнения на коэффициент $1 + 887.5 / (7.46 + Z \cdot 1.14)^2$, если $Z \geq 1$, или умножения правая часть второй уравнения на коэффициент $1 + 12Z^2$, если $Z < 1$.

Для оценки значения p/p^∞ , авторы [10] коррелируют это соотношение в зависимости от M^∞ / Re^∞ . Более конкретно

где p_i и p_{fm} - давления, соответствующие невязкому потоку и свободномолекулярному, которые вычисляются по известному уравнению Максвелла [4]. Давление p_i вычис-

ляется из отношения p_i/p_∞ , что аппроксимируется кривой, установка результаты, полученные методом характеристик для гиперзвукового обтекания шары.

$$p_i / p_\infty = 1 + 1.895S_\infty^2 (1 + 0.191\theta - 2.143\theta^2 + 1.564\theta^3 - 0.334\theta^4)$$

В работе предложена глобальная мостовая функция для вычисления коэффициентов аэродинамических сил

$$C = P_b \cdot C_{fm} + (1 - P_b) \cdot C_{cont}$$

где C глобальные давления и трения, и fm и $cont$ – значения коэффициентов в свободномолекулярном и континуальном режиме, соответственно. Мостовая функция P_b определяется в соответствии вариации между режимами свободномолекулярного и континуального с помощью числа Кнудсана, Маха, Рейнольдса и т.д. Мостовая функция имеет вид

$$P_b = \sin^2 \phi,$$

$$\phi = \pi \cdot (a_1 + a_2 \log_{10} Kn_\infty), \quad 0 \leq \phi \leq \frac{\pi}{2}$$

где a_1 и a_2 постоянные, зависящие от числа Кнудсана. Kn_{fm} и Kn_{cont} – в свободномолекулярном и континуальном режиме.

$$P_b = \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \left(\frac{\sqrt{\pi}}{\Delta Kn} \cdot \log \left(\frac{Kn_\infty}{Kn_m} \right) \right) \right)$$

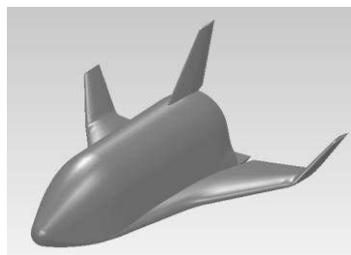
где Kn_m - в переходном режиме определено в $P_b = 0.5$ и ΔKn - логарифмическая ширина переходном режиме. При

$Kn_{cont} = 10^{-3}$ и $Kn_{fm} = 10$ получим $a_1 = 0.375$ и $a_2 = 0.175$. Кроме того, как константы a_1 и a_2 просто регулируемые параметры, соответствующие значения могут быть выбраны лучшее общее описание переходных потоков, когда дополнительные данные. Эти методы использованы в работах [3, 11] для определения коэффициентов аэродинамических характеристик высокоскоростных летательных аппаратов [9, 12].

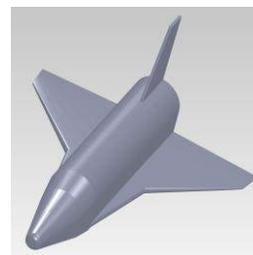
В работе [1-3] используются выражения для элементарных сил давления и трения $P = P_0 \sin^2 \theta + p_1 \sin \theta$

$\tau = \tau_0 \sin \theta \cos \theta$. Здесь коэффициенты p_0, p_1, τ_0 (коэффициенты режима течения) [1-3] зависят от числа Рейнольдса Re_0 .

Параметры задачи были следующие: отношение теплоемкостей $\gamma = 1.4$, температурный фактор $t_w = T_w/T_0 = 0.001$, число Рейнольдса $Re_0 = 0, 1, 10, 100, 1000, 10000$. На рис. 3-5 представлены зависимости $C_x(\alpha), C_y(\alpha), m_z(\alpha)$ при различных значениях числа Рейнольдса. Из этих результатов видно, что с увеличением числа Рейнольдса коэффициент сопротивления тела уменьшается (что можно объяснить уменьшением нормальных и касательных напряжений $p_1(Re_0)$ и $\tau_0(Re_0)$), при этом общий характер зависимости $C_x(\alpha)$ не изменяется.



«Клипер»



«Space Shuttle»

Рисунок 2. Геометрические представления вариантов аэрокосмических летательных аппаратов

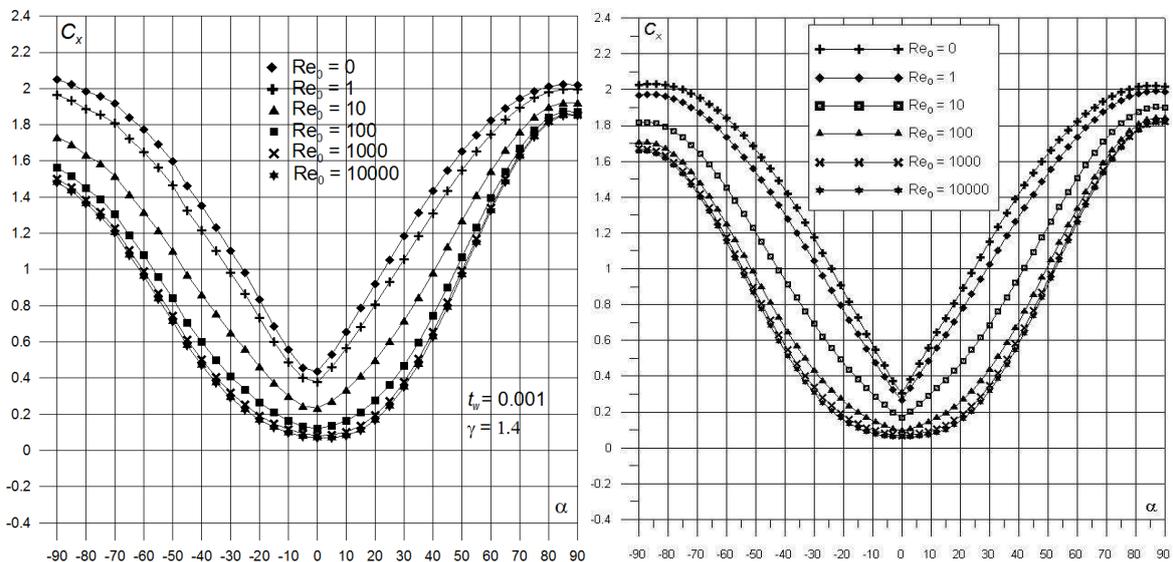
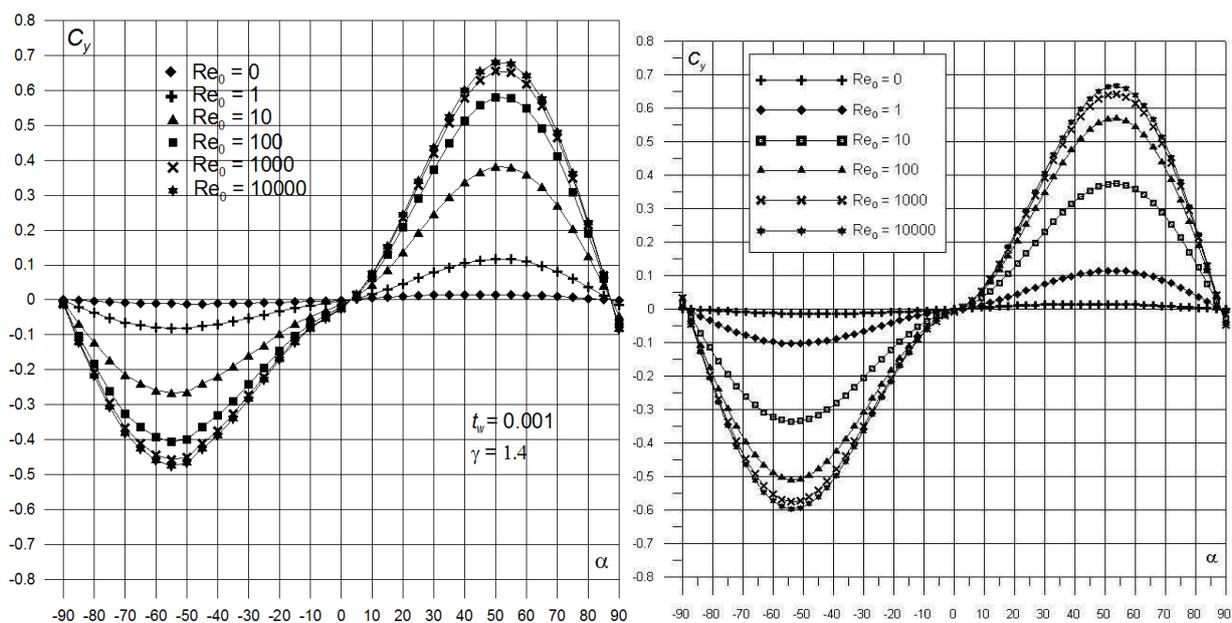
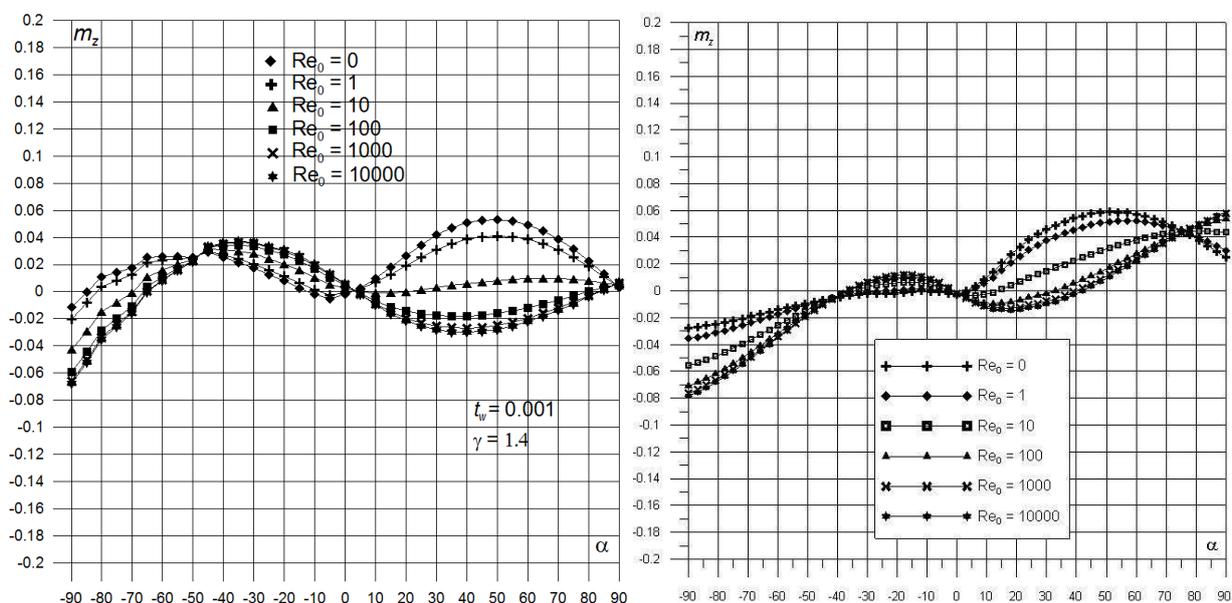


Рисунок 3. Зависимость $C_x(\alpha)$ для «Клипер» и типа «Space Shuttle»

Рисунок 4. Зависимость $C_y(\alpha)$ для «Клипер» и типа «Space Shuttle»Рисунок 5. Зависимость $m_z(\alpha)$ для «Клипер» и типа «Space Shuttle»

Зависимость $C_y(\alpha)$ является несимметричной при $Re_0 \rightarrow \infty$, так что значение C_y при положительных углах атаки существенно больше по модулю C_y при отрицательных углах атаки. Отметим, что балансировочный угол атаки аппарата при $Re_0 \rightarrow \infty$ составляет $\alpha_0 \approx 3$. Значения m_z весьма чувствительны к изменению числа Рейнольдса. При увеличении числа Рейнольдса происходит смена знака m_z при положительных углах атаки, пограничным является значение $Re_0 \sim 10$. При $Re_0 \rightarrow \infty$ пиковое значение $m_z = -0.03$ при положительных углах атаки достигается при $\alpha \approx 40^\circ$. Отметим, что при $Re_0 \rightarrow \infty$ $m_z(\alpha) < 0$ при $\alpha > \alpha_0$ и $m_z(\alpha) > 0$ при $\alpha < \alpha_0$, т.е. аппарат полностью неустойчив по тангажу.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 14-07-00564).

Список литературы

1. Белоцерковский О.М., Хлопков Ю.И. Методы Монте-Карло в механике жидкости и газа. М.: Азбука, 2008. – 330 с.
2. Зей Мью Мьинт, Хлопков А.Ю. Аэродинамические характеристики летательного аппарата сложной формы с учётом потенциала взаимодействия молекулярного потока с поверхностью // Ученые записки ЦАГИ. 2010. Т. XLI, № 5. с. 33-45.
3. Хлопков Ю.И., Чернышев С.Л., Зей Мью Мьинт, Хлопков А.Ю. Введение в специальность II. Высоко-скоростные летательные аппараты. М.: МФТИ, 2013. 192 с.
4. Bird G.A. Molecular Gas Dynamics and the Direct Simulation of Gas Flows, Oxford University Press, 1998.
5. Kotov V., Lychkin E., Reshetin A., Shelkonogov A. An Approximate Method of Aerodynamics Calculation of Complex Shape Bodies in a Transition Region // In proceeding of 13th International Conference on Rarefied Gas Dynamics, Plenum Press, New York, 1982. Vol. 1, pp. 487–494.
6. Khlopkov Yu.I., Chernyshev S.L., Zay Yar Myo Myint. Hypersonic aerothermodynamic investigation for

- aerospace system // Proceeding of 29th congress of the international council of the aeronautical sciences, St. Petersburg, September 7-12, 2014.
7. Khlopkov Yu.I., Zay Yar Myo Myint, Khlopkov A.Yu. Aerodynamic Investigation for Prospective Aerospace Vehicle in the Transitional Regime // International Journal of Aeronautical and Space Sciences, Vol. 14, N. 3, pp. 215-221. - 2013.
 8. Khlopkov Yu.I., Chernyshev S.L., Zay Yar Myo Myint, Khlopkov A.Yu. Notable Achievements in Aviation and Aerospace Technology. – Open Science Publishing, New York, 2015. – 126 p.
 9. Morsa Luigi, Zuppari Gennaro, Schettino Antonio and Votta Raffaele Analysis of Bridging Formulae in Transitional Regime // In proceeding of 27th international symposium on rarefied gas dynamics. AIP Conference Proceedings, 2011. Vol. 1333, pp. 1319-1324.
 10. Potter J.L., Peterson S. W. Local bridging to predict aerodynamic coefficients in hypersonic, rarefied flow // Journal of Spacecraft and Rockets, 1992. No. 29, pp. 344-351.
 11. Vashchenkov P.V., Ivanov M.S., Krylov A.N. Numerical Simulations of High-Altitude Aerothermodynamics of a Promising Spacecraft Model // In proceeding of 27th International Symposium on Rarefied Gas Dynamics, Pacific Grove, California, 2010 (10-15 July). pp. 1337-1342.
 12. Wilmoth R.G., Blanchard R.C., Moss J.N. Rarefied Transitional Bridging of Blunt Body Aerodynamics // NASA Langley Technical Report, 1988.
 13. Zay Yar Myo Myint, Khlopkov Yu.I., Khlopkov A.Yu. Aerothermodynamics Investigation for Future Hypersonic Aerospace Systems // Proceeding of 4th International Conference on Science and Engineering, Yangon, Myanmar, 9-10 December, 2013. (CD-ROM)
 14. Zay Yar Myo Myint, Khlopkov Yu.I., Khlopkov A.Yu. Application of Gas-Surface Interaction Models in Rarefied Hypersonic Flows // Journal of Physics and Technical Sciences. – 2014. – V. 2, N 1. – P. 1-7.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА АЭРОТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В СВОБОДНОМОЛЕКУЛЯРНОМ РЕЖИМЕ

Зяя Мью Мьинт

к.ф.-м.н., докторант, Московского физико-технического института, г. Жуковский

CALCULATION RESULTS OF AEROTHERMODYNAMICS CHARACTERISTICS OF AEROSPACE VEHICLE IN FREE MOLECULAR FLOW

Zay Yar Myo Myint, Candidate of Sciences, doctoral student of Moscow Institute of Physics and Technology, Zhukovsky

АННОТАЦИЯ

В работе представлены результаты расчета аэротермодинамических характеристик (АДХ) типичного космического аппарата (КА), полученные методом на основе трех различных моделей взаимодействия молекул газа с поверхностью – Максвелла (Maxwell), Черчиньяни-Лампис - Лорда (Cercignani-Lampis-Lord, CLL) и Леннарда-Джонса (Lennard-Jones, LJ). С применением этих моделей исследована чувствительность коэффициентов теплопередачи в гиперзвуковом свободномолекулярном потоке. Методика и результаты могут быть использованы при создании современных и перспективных ВКА.

Ключевые слова: аэротермодинамические характеристики, высотная аэродинамика, взаимодействие молекул с поверхностью, метод Монте-Карло.

ANNOTATION

In this paper presents the calculation results of aerothermodynamic characteristics of aerospace vehicle, obtained by the method based on three different models of the gas-surface interaction models - Maxwell, Cercignani-Lampis-Lord, (CLL) and Lennard-Jones (LJ). With the application of these models investigated sensitivity coefficients of heat transfer in a hypersonic free molecular flow. The methodology and results can be used to create modern and advanced aerospace vehicles.

Keywords: aerothermodynamic characteristics, high-altitude aerodynamics, the interaction of molecules with the surface, the Monte Carlo method.

При создании аэрокосмической техники является предсказание аэродинамических характеристик летательных аппаратов при очень высоких скоростях и на больших высотах. Вообще говоря, для проектирования космических аппаратов необходимо знать аэротермодинамические характеристики вдоль всей траектории – от орбитального полета до посадочного режима. Значение этого фактора многократно возрастает, когда он применяется для построения быстрых инженерных методов расчета типа «Cross Over» на этапе предварительного проектирования. Аэротермодинамические характеристики космического аппарата (КА) в свободномолекулярном режиме яв-

ляются предельными значениями траектории наибольшей высоты и максимальной скорости полета и могут быть вычислены точно. Аэротермодинамические характеристики космического аппарата определяются столкновениями молекул набегающего потока газа с поверхностью без учета межмолекулярных столкновений и для этого используются методы свободномолекулярной газовой динамики. Для анализа аэротермодинамических характеристик КА в переходном режиме, необходимо решать полное интегро-дифференциальное уравнение Больцмана для функции распределения с семью независимыми переменными [5-7]. Единственными методами, позволяю-

щими преодолеть трудности решения уравнения Больцмана, являются методы Монте-Карло [1]. Исследованиям законов взаимодействия молекулярных потоков с поверхностью обтекаемого тела посвящена работа [3, 4].

Аэротермодинамические характеристики тел в потоке газа определяются передачей импульса и энергии на поверхность тела, то есть связью между скоростями и энергиями падающих на поверхность и отраженных от нее молекул, что и составляет суть кинетических граничных условий на поверхности. Теоретический расчет характеристик теплопередачи тела в свободно-молекулярном потоке основывается на знании законов вероятности отражения молекул газа с поверхностью, т.е., на знании функции взаимодействия. Взаимодействие газа с поверхностью обтекаемого тела играет определяющую роль в высотной аэродинамике.

В качестве граничного условия, накладываемого на плотность распределения отраженных от поверхности молекул газа, часто используют зеркально-диффузную модель Максвелла [1]. Скорости отраженных молекул определяются одной величиной – коэффициентом диффузности. В граничном условии Черчиньяни [8] скорости отраженных молекул также определяются коэффициентом аккомодации тангенциального импульса σ_t . Более гибкой и реалистичной моделью является модель Черчиньяни-Лампис [10-12], которая позволяет при постановке граничных условий учесть коэффициент аккомодации тангенциального импульса σ_t и коэффициент аккомодации нормальной к поверхности кинетической энергии σ_n . Моделью Леннарда-Джонса является потенциал взаимодействия молекул, использующий электронно-ядерные представления [3, 4, 9].

Задача нахождения тепловых характеристик тел в свободномолекулярном потоке заключается в нахождении падающих q_i и отраженных q_r тепловых потоков. Коэффициент теплопередачи определяется по формулам

$$C_h = \frac{q_w}{\frac{1}{2} \rho_\infty V_\infty^3 S}, \quad q_w = \int_S (q_i - q_r) dS$$

где q_w – тепловой поток к поверхности тела рассчитывается по равнодействующим потокам энергии молекул, падающих на поверхность и отраженных с поверхности.

При свободномолекулярном обтекании основную роль играет взаимодействие молекул со стенками, столкновениями молекул между собой можно пренебречь. Уравнение Больцмана для одночастичной плотности распределения в этом случае принимает вид [1]

$$\frac{\partial f}{\partial t} + (\xi \cdot \nabla) f = 0$$

где $f(t, \mathbf{x}, \xi)$ – плотность распределения молекул в пространстве координат и скоростей, ξ – молекулярная скорость. Общее решение этого уравнения имеет вид

$$f(t, \mathbf{x}, \xi) = f(t_0, \mathbf{x} - \xi(t - t_0), \xi),$$

где t_0 – некоторый начальный момент времени. Плотность распределения сохраняется вдоль прямолинейной траектории молекулы до момента соударения.

Метод прямого статистического моделирования основывается на вероятностных моделях, описывающих элементарные процессы взаимодействия молекул газа

друг с другом и с поверхностью. Рассмотрим моделирование свободномолекулярного течения методом Монте-Карло. Без ограничения общности выделим около обтекаемого тела область в виде параллелепипеда, габариты которого превышают размеры тела в соответствующих направлениях. Будем считать, что на границах области столкновения молекул между собой не играют существенной роли, поэтому на границах функцию распределения влетающих в область молекул можно положить равной f_∞ .

Потоки молекул, влетающих в область через границы, выражаются в виде

$$N_j = S_j \int_{(\xi \cdot \mathbf{n}_j) > 0} (\xi \cdot \mathbf{n}_j) f_\infty(t, \xi) d\xi$$

где N_j – поток через границу с номером j , \mathbf{n}_j – единичный нормальный вектор, направленный внутрь области. Вычисление N_j сводится к известным интегралам от максвелловской функции, зависящим от скоростного отношения

$$S = V_\infty h_\infty^{1/2}$$

На первом этапе цикла моделирования разыгрывается номер границы, через которую влетает очередная молекула. В случае высокоскоростного потока алгоритм может быть упрощен: если поперечные к направлению потока размеры расчетной области достаточны для учета габаритов тела и теплового разброса скоростей молекул, влет можно рассматривать только с передней границы.

На втором этапе необходимо определить координату влета и скорость молекулы. Так как набегающий поток газа однороден, координаты молекул равномерно распределены по соответствующей границе. Скорость молекулы вычисляется как случайная величина, распределенная в соответствии с функцией f_∞ .

На третьем этапе, зная координаты точки влета и скорость молекулы, определяются координаты точки ее столкновения с телом (если это имеет место). Вычисляются величины импульса и момента импульса, передаваемые телу.

На четвертом этапе по функции распределения отраженных молекул определяется скорость молекулы после отражения, вычисляются реактивный импульс и момент импульса.

Осредняя по большому количеству молекул, находим силы и моменты, действующие на тело, а также поток энергии на поверхности.

В случае одного невыпуклого тела (в отличие от группы тел) учет вклада реактивного импульса должен производиться при последнем отражении от тела. Такой алгоритм дает правильные результаты, если в областях невыпуклости не играют существенной роли столкновения между молекулами (что может иметь место в случае их накопления).

В данном параграфе представлены результаты расчета коэффициента теплопередачи для варианта ВКА «модель ЦАГИ» при условиях суборбитального полета. Расчеты проведены в диапазоне углов атаки α от 0° до 90° с шагом в 5° . Угол атаки изменяется путем вращения тела около центра масс оболочки вокруг оси Oz.

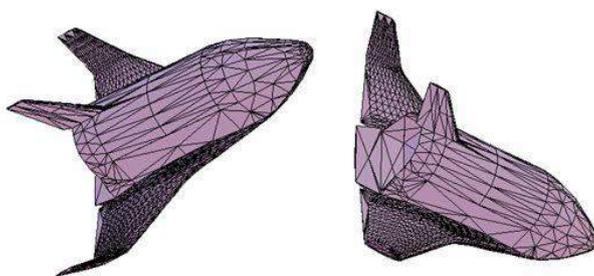


Рис. 1. Геометрическое представление варианта компоновки ВКА

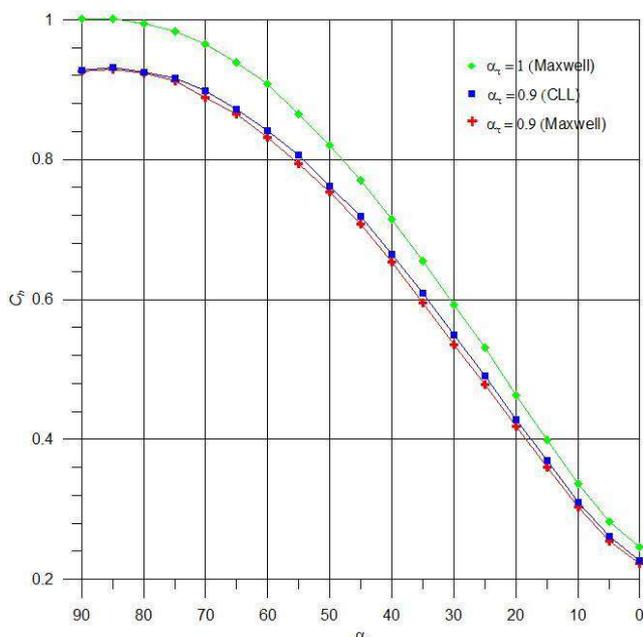


Рис. 2. Зависимости $Ch(\alpha)$ при $\sigma_t = 0.9$ и 1 ($tw = 0.1$) по моделям Максвелла и CLL

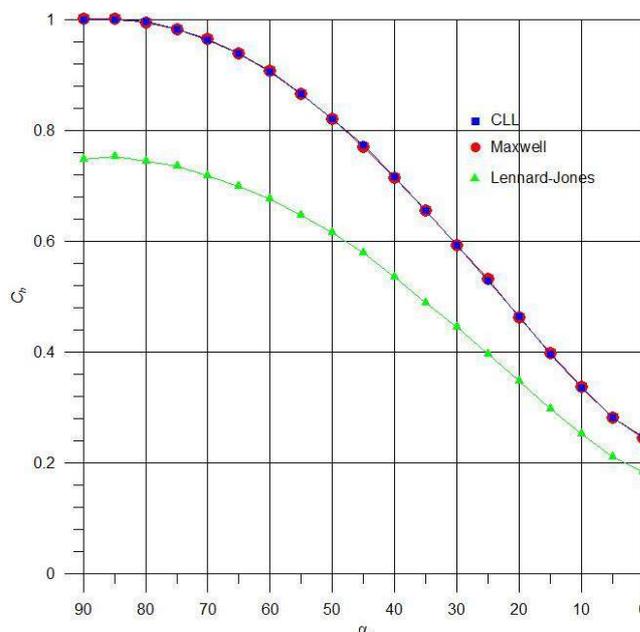


Рис. 3. Зависимости $Ch(\alpha)$ по моделям Максвелла, CLL ($\sigma_t, \sigma_n = 1$) и потенциала LJ

В качестве характерных площади и линейного размера взяты площадь проекции на плоскость Oxz и максимальный габарит вдоль оси Ox в этой проекции. Значения параметров: температурный фактор $tw = Tw/T_\infty = 0.1$; скоростное отношение $s = 10$; коэффициенты аккомодации $\sigma_t = 0.9, 1$ и $\sigma_n = 1$. Расчет проводился с использованием 5×10^6 моделирующих частиц.

Зависимости $Ch(\alpha)$ представлены на рис. 2 при различных σ_t по различным моделям взаимодействия молекул газа. Из результатов ясно, что модели Максвелл и CLL дают одинаковые значения при коэффициентах аккомодации равных единице. Модель CLL дает более высокое значение коэффициента теплопередачи чем модель Максвелла при том же коэффициенте аккомодации 0.9.

На рис. 3 представлены зависимости $Ch(\alpha)$ с использованием различных моделей взаимодействия молекул с поверхностью (Максвелл, CLL, Леннард-Джонс). Коэффициент Ch увеличивается с ростом угла атаки. Из графиков ясно, что коэффициент Ch чувствителен к различным моделям взаимодействия молекул с поверхностью.

Проведен анализ различных подходов к расчету аэротермодинамических характеристик перспективного воздушно-космического аппарата – модель ЦАГИ «Клипер, [2]» в высокоскоростном потоке разреженного газа. Разработаны расчеты коэффициента теплопередачи для различных модели взаимодействия газа с поверхностью для КА с помощью метода Монте-Карло. Модели

Максвелл и CLL дают одинаковые значения при коэффициентах аккомодации равных единице. Модель CLL дает более высокое значение коэффициента теплопередачи чем модели Максвелла при коэффициенте аккомодации 0.9. Модель Леннарда-Джонса хорошо описывает поведение аэротермодинамические характеристики. Однако при расчете тепловых потоков, значения Ch могут отличаться от значений по классическим моделям до 25%. Методика и результаты могут быть использованы при создании современных и перспективных КА.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 14-07-00564).

Список литературы

1. Белоцерковский О.М., Хлопков Ю.И. Методы Монте-Карло в механике жидкости и газа. – М.: Азбука, 2008. – 330 с.
2. Ваганов А.В., Дроздов С.М., Дудин Г.Н., Косых А.П., Нерсесов Г.Г., Пафнутьев В.В., Чельшева И.Ф., Юмашев В.Л. Численное исследование аэродинамики перспективного возвращаемого космического аппарата // Ученые записки ЦАГИ. – 2007. – Т. XXXVIII, № 1-2. – С. 16-26.
3. Воронич И.В., Зей Мью Мьинт Влияние особенностей взаимодействия газа с поверхностью на аэродинамические характеристики космического аппарата // Вестник МАИ. – 2010. – Т. 17, № 3. – С. 59-67.

4. Зей Мьо Мьинт, Хлопков А.Ю. Аэродинамические характеристики летательного аппарата сложной формы с учётом потенциала взаимодействия молекулярного потока с поверхностью // Ученые записки ЦАГИ. – 2010. – Т. ХLI, № 5. – С. 33-45.
5. Коган М.Н. Динамика разреженного газа. Кинетическая теория. – М.: Наука, 1967.
6. Хлопков Ю.И. Статистическое моделирование в вычислительной аэродинамике. – М.: МФТИ, 2006. – 158 с.
7. Bird G.A. Molecular Gas Dynamics and the Direct Simulation of Gas Flows. - Oxford: Clarendon Press, 1994.
8. Cercignani C., Lampis M. Kinetic Models for Gas-Surface Interactions // Transport Theory and Statistical Physics. –1971. – V. 1, N. 2. – P. 101-114.
9. Khlopkov Yu.I., Chernyshev S.L., Zay Yar Myo Myint, Khlopkov A.Yu. Notable Achievements in Aviation and Aerospace Technology. – Open Science Publishing, New York, 2015. – 126 p.
10. Lord R.G. Application of the Cercignani-Lampis Scattering Kernel to Direct Simulation Monte Carlo Calculations // Proc. of 17th Int. Symp. on Rarefied Gas Dynamics. – 1991. – P. 1427-1433.
11. Lord R.G. Some Further Extensions of the Cercignani-Lampis Gas-Surface Interaction Model // Phys. Fluids. – 1995. –V. 7, N. 5. – P. 1159-1161.
12. Padilla J.F. Assessment of Gas-Surface Interaction Models for Computation of Rarefied Hypersonic Flows // Ph.D. Dissertation. – University of Michigan, 2008.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

РАЗВИТИЕ ВЗГЛЯДОВ НА ПРИРОДНУЮ ОЧАГОВИСТЬ ИНФЕКЦИЙ (МАТЕРИАЛЫ ЛЕКЦИИ)

Чайка Станислав Юрьевич

*Доктор биологических наук, профессор, Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова, Москва*

ADVACEMENT OF VIEWS ON NATURAL FOCALITY OF INFECTIONS (LECTURE MATERIALS)

Chaika Stanislav, Doctor of Sciences, Professor, Lomonosov Moscow State University, Moscow

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены основные вопросы концепции природной очаговости трансмиссивных инфекций: развитие концепции, основные понятия, природный очаг.

ABSTRACT

The main questions the concept of natural focality of infections: development of concepts, basic concepts, natural infection foci.

Ключевые слова: природная очаговость, природный очаг.

Keywords: natural focality, natural infection foci.

Важнейшим достижением биологии XX века было открытие крупнейшим зоологом и паразитологом, академиком АН СССР Е.Н. Павловским (1884-1965) явления природной очаговости трансмиссивных болезней человека. Основные положения теории природной очаговости были опубликованы Е.Н. Павловским в 1939 году [13]. Значительный вклад в теоретическую разработку биоэкологических аспектов теории природной очаговости внес В.Н. Беклемишев.

Под природной очаговостью трансмиссивных болезней Е.Н. Павловский понимал «явление, когда возбудитель, специфический его переносчик и животные – резервуары возбудителя в течение смены своих поколений неограниченно долгое время существуют в природных условиях вне зависимости от человека как по ходу своей уже прошедшей эволюции, так и в настоящий ее период» [16, с. 174]. Е.Н. Павловский отмечал, что «болезни с природной очаговостью стары для природы и новы лишь в отношении времени и условий поражения ими людей...» [14, с. 14], т.е. возбудители болезней являются сочленами естественных биоценозов. Следовательно, в состав природного очага входит обязательная триада: возбудитель – переносчик – носитель (позвоночное животное). По сути, речь идет о существовании в природе трехчленных паразитарных систем, хотя природный очаг является понятием более широким, чем паразитарная система, поскольку последняя является составной частью природного очага как экосистемы [11]. При этом следует учитывать, что во многих природных очагах переносчики и носители делятся на основных, второстепенных и дополнительных.

Патогенные агенты (вирусы, бактерии, простейшие и др.), т.е. возбудители болезней в период активности переносчика постоянно циркулирует среди сочленов биоценоза, а человек, не имея значения для их существования, но, попав в природный очаг, становится жертвой при про-

никновении в него при кровососании возбудителя болезни. Таким образом, характерной чертой всех природно-очаговых трансмиссивных инфекций является постоянная циркуляция возбудителя в естественных биоценозах между инфицированными позвоночными животными (донорами), кровососущими членистоногими и животными-реципиентами. Исключением из этого правила является, например, возбудитель чумы, существующий долгое время в позвоночных без циркуляции, т.е. без его трансмиссии блохами.

Созданию основ теории природной очаговости предшествовали многие открытия, важнейшими из которых является открытие явления смены хозяев многими паразитическими организмами, доказательство роли членистоногих в трансмиссии возбудителей болезней и, наконец, открытие патогенности многих простейших и бактерий [17]. Начиная с середины XIX было известно, что распространение некоторых болезней (малярии, желтой лихорадки) осуществляется кровососущими насекомыми, хотя сами возбудители еще не были выделены. Начиная с конца XIX века, значительно расширился список болезней, возбудители которых передаются кровососущими членистоногими. Среди них – пироплазмоз, трипаносомоз, лейшманиозы, возвратный тиф, риккетсиозы и др. Почти одновременно стали накапливаться данные и об источниках (резервуарах) возбудителей трансмиссивных болезней. Большое значение имела концепция «организма как среды обитания», сформулированная Е.Н. Павловским. Однако, если и до Е.Н. Павловского было известно, что возбудители многих болезней сохраняются в диких животных, и что возбудители могут передаваться человеку или животным с помощью членистоногих, то в чем заключается принципиальная новизна концепции природной очаговости трансмиссивных болезней?

Многие современники Е.Н. Павловского считают, что весьма близок к открытию явления природной очаговости был Д.К. Заболотный. Им были выявлены все три звена, обеспечивающие вспышки чумы (позвоночное животное – микроб – блохи) и, кроме того, было установлено, что возбудитель сохраняется в эпидемических очагах долгие годы в грызунах, которые являются хранителями чумы в природе. Д.К. Заболотный, несомненно, заложил теоретические основы природной очаговости чумы. Но, как отмечает Э.И. Коренберг, «до обобщения, имеющего общеприродное значение и приложимого не только к чуме, но и к возбудителям многих других болезней, оставалось сделать последний шаг. Этот шаг сделал Е.Н. Павловский» [5, с. 14]. Фундаментальная сущность теории природной очаговости заключается в том, что возбудители ряда болезней возникли и существуют в природе под влиянием основных факторов эволюции, и являются естественными сочленами экосистем [11].

Круг природноочаговых болезней человека даже в период исследований Е.Н. Павловского был достаточно широк; это – клещевой и японский энцефалиты, клещевой сыпной тиф, клещевой возвратный тиф, кожный и висцеральный лейшманиозы, лихорадка паппатачи, чума, туляремия и др. Возбудителями природноочаговых инфекций могут быть вирусы, риккетсии, простейшие, черви и другие. В настоящее время список инфекций с природной очаговостью существенно расширился, особенно за счет арбовирусных инфекций. Широкое распространение имеет также иксодовый клещевой боррелиоз, поражающий людей в лесных ландшафтах Европы, Азии и Северной Америки.

Основными чертами природной очаговости трансмиссивных инфекций являются циркуляция возбудителя в природе, приуроченность природно-очаговых заболеваний к определенным биотопам и сезонность передачи возбудителя инфекции.

Циркуляция возбудителей болезней в природе осуществляется по схеме «животное-донор – переносчик – животное-реципиент». После размножения возбудителя в организме реципиента последний становится животным-донором и циркуляция, таким образом, осуществляется по спирали с охватом новых и новых животных. На процесс непрерывной циркуляции возбудителя инфекции оказывают влияние разные факторы, главными из которых являются численность и плотность членистоногих-переносчиков, способность их передавать возбудителя, способность возбудителя интенсивно размножаться в организме переносчика, а также наличие соответствующих условий внешней среды. Так, размножение вируса японского энцефалита в комарах происходит при температуре не ниже 21-22°C, а развитие малярийного плазмодия в организме комаров блокируется при температуре ниже 16°C.

В последние годы получено много данных, позволивших пересмотреть место переносчика в структуре природных очагов многих трансмиссивных инфекций. В настоящее время кровососущие членистоногие рассматриваются не только как переносчики возбудителей инфекций, но и как природные резервуары и амплификаторы возбудителей. Как отмечает Ю.С. Балашов, для риккетсий и боррелий иксодовые клещи как природные резервуары этих возбудителей имеют большее значение, чем теплокровные животные [2]. Благодаря наличию

трансфазовой и трансвариальной передачи возбудителей инфекции последние сохраняются в переносчиках по несколько лет.

Большинство природных очагов инфекций приурочено к определенным ландшафтам, как на малоосвоенных территориях, так и в пределах трансформированной человеком среды обитания. Приуроченность природно-очаговых трансмиссивных болезней к определенным биотопам определяется ареалом основного переносчика. Для решения вопросов приуроченности природноочаговых инфекций к определенным территориям сформировалась специальная отрасль науки – ландшафтная эпидемиология. При типизации природных очагов инфекций было установлено, что наиболее обширные ареалы свойственны туляриям, чуме, клещевому энцефалиту, лейшманиозам. Для многих природных очагов был выяснен их палеогенез. В целом ландшафтное районирование территорий с природной очаговостью болезней необходимо для прогнозирования эпизоотологических ситуаций, их контролирования и разработки соответствующих противоэпидемических мероприятий.

Для природных очагов характерна пространственная стабильность. Так, по данным Олсуфьева природные очаги туляриями существуют в одних и тех же местах на протяжении всего периода наблюдений, т.е. более полувека [12]. Приуроченность природных очагов к определенной территории, следовательно, и к определенным климатическим условиям, определяет ритм подъемов и спадов эпидемической напряженности в очагах.

Сезонность природноочаговых болезней связана с периодом активности основного переносчика. Подъем числа заболеваний наблюдается только в определенное время года.

В ходе интенсивных исследований, проведенных по выяснению особенностей природноочаговых инфекций, было установлено, что природная очаговость свойственна не только трансмиссивным болезням, но и болезням, возбудители которых циркулируют и передаются человеку и животным без участия переносчиков [9]. Это открытие положило начало второму этапу развития учения о природной очаговости болезней. К таким не трансмиссивным зоонозным инфекциям относятся лептоспирозы, сибирская язва, листериоз, сальмонеллезы, токсоплазмоз, псевдотуберкулез, бешенство и другие. Так, возбудитель лептоспирозов передается от источника инфекции через воду и сырую почву. Уже давно известно, что возбудитель чумы способен циркулировать в популяциях теплокровных без участия переносчика. Однако только сравнительно недавно стали появляться сведения о возможности существования этого возбудителя в почве, т.е. в межэпизоотические периоды он существует вне паразитарной системы. Однако детали этого явления пока остаются неизученными.

Открытие возможности существования природных очагов болезней без участия переносчика неминуемо привело и к корректировке определения понятия природной очаговости, которое в формулировке Е.Н. Павловского звучит как «участок географического ландшафта со свойственным ему биоценозом, среди особей которого циркулирует возбудитель болезни» [15, с. 101]. В это же время В.Н. Беклемишев, рассматривая проблему возбудителей болезней как членов биоценоза, сделал акцент на популяционных характеристиках природного очага, но

при этом выделил очаги двух типов – с переносчиком и без такового. По В.Н. Беклемишеву, природный очаг инфекции – «это популяция возбудителя вместе с поддерживающими ее существование популяциями позвоночных хозяев, а в случае трансмиссивных инфекций – также и членистоногих переносчиков. При этом следует иметь в виду, что каждая конкретная популяция всегда приурочена к какой-либо определенной территории» [3, с. 452].

Но и на этом не закончился пересмотр концепции природной очаговости болезней. С середины прошлого века начался третий этап развития учения о природной очаговости. Стали появляться публикации о сапронозах, возбудители которых, развивающиеся в почве или водоемах, также образуют природные очаги. Паразитизм таких возбудителей на позвоночных носит случайный характер (столбняк, ботулизм, холера, мелиоидоз и другие, включая условно-патогенные бактерии и грибы). Кроме того, многочисленные данные свидетельствовали о том, что природная очаговость свойственна не только болезням человека, но и болезням сельскохозяйственных животных, рыб, растений, что значительно расширило круг болезней с природной очаговостью.

В связи с тем, что по мере расширения списка заболеваний, возбудители которых формируют природные очаги, куда входят не только трансмиссивные инфекции, но и болезни, возбудители которых передаются без переносчика, и возбудители, не имеющие в естественной среде обитания хозяина-носителя, стала очевидной необходимость пересмотра самого определения природного очага. Такое определение дано в 1979 г., по которому «природным очагом заразной болезни мы понимаем любые естественные экосистемы, компонентом которых является популяция возбудителя» [11, с. 183].

Предложено и иное определение природного очага инфекций, в соответствии с которым «очаг инфекции – это антропоэкосистема определенного иерархического уровня, в которой обеспечивается существование и проявление возбудителя болезни и реализуется тот или иной уровень заражения людей» [4, с. 9]. Совершенно очевидно, что такое понимание природного очага применимо только к очагам облигатно антропонозных инфекций; оно не согласуется с сутью изначально сформулированной концепции природного очага и неприемлемо при анализе природных очагов инфекций как естественных экосистем. Вместе с тем, известно, что многие возбудители природноочаговых инфекций существуют и в антропогенно трансформированных ландшафтах.

Таким образом, необычность формирования и развития концепции природной очаговости состоит в том, что первой была выявлена высшая и наиболее сложная форма организации природного очага, состоящего из триады: возбудитель – переносчик – носитель, и только затем были выявлены природные очаги болезней, лишенные переносчика, или и переносчика и носителя инфекции. Чрезмерное расширение списка природноочаговых инфекций привело к определенному размыванию концепции природной очаговости болезней, сформулированной первоначально Е.Н. Павловским для трансмиссивных инфекций. Но вместе с тем, многогранность явления природной очаговости болезней дает основания рассматривать его как одно из направлений симбиотологии, если подходить к нему с общебиологических позиций [11].

Структура природного очага наиболее детально изучена Э.И. Коренбергом [5, 6]. Обычно границы природного очага проходят по естественным физическим или экологическим границам, которые препятствуют выходу за пределы очага популяций возбудителя, переносчика и носителя инфекции. В пределах любого природного очага имеются участки территории с разной интенсивностью эпизоотий. Различают следующие элементы очага: 1) ядро очага, т.е. участки, где наблюдается стойкое сохранение возбудителя; 2) участки выноса инфекции; 3) участки, преимущественно свободные от возбудителя. Э.И. Коренберг, анализируя природные очаги клещевого энцефалита, дает следующие характеристики этих структурных элементов природного очага [6].

Локализация ядра очага определяется размещением пятен устойчиво высокой численности переносчика. Ядро очага (их может быть и несколько) обычно занимает не более 10% общей площади природного очага. Для ядра очага характерны высокая численность основного переносчика, непрерывная циркуляция возбудителя, сохранение возбудителя даже в периоды депрессии эпизоотий. Сформировавшееся ядро очага располагается из года в год практически на одном и том же месте. Участки выноса инфекции размещаются вокруг ядра природного очага, их площадь значительно превышает таковую ядра, а циркуляция возбудителя менее интенсивна, вплоть до возможного исчезновения возбудителя в отдельные годы. И, наконец, в очаге имеются участки, на которых практически не обнаруживается возбудитель. Так, применительно к природным очагам клещевого энцефалита, такими участками являются непригодные для жизни клещей биотопы, например, распаханные поля, некоторые болота или леса, приречные луга, на которых не встречаются клещи, но они могут использоваться животными – резервуарами возбудителя [6].

В том случае, если какое-либо природноочаговое заболевание регистрируется в достаточно удаленных друг от друга местах, например, клещевой энцефалит, чума и др., то возникает вопрос, как долго существует природных очагов данного заболевания? Ответить на этот вопрос можно только прибегнув к системе районирования очагов, когда учитываются такие параметры как границы между отдельными очагами, размеры последних, численность переносчиков и носителей возбудителя инфекции.

Э.И. Коренберг, давая анализ природным очагам клещевого энцефалита, выделил шесть категорий: 1) природный очаг; 2) группа очагов; 3) класс очагов; 4) очаговый регион; 5) группа очаговых регионов; 6) ареал возбудителя (область распространения природных очагов) [5].

Характеристика элементарного природного очага дана выше. Поскольку элементарный природный очаг соответствует одной популяции, то большое значение приобретает определение ее границ, что сделать зачастую трудно. Группа очагов включает несколько природных очагов, где каждый природный очаг функционирует независимо от остальных. Группа очагов соответствует понятию группы популяций. Хотя связь между такими очагами необязательна, но она возможна. Площадь, занимаемая группой очагов, бывает разной, но эти очаги характеризуются сходными условиями существования и представляют собой единый территориальный комплекс. В класс очагов, который соответствует классу популяций, входят несколько десятков групп очагов. Площадь, занимаемая

классом очагов, довольно обширна и соответствует зональному типу растительности. Очаговый регион, включающий несколько классов очагов, имеет большую площадь, очерченную географическими рубежами (реки, горные хребты), и измеряемую сотнями тысяч квадратных километров. Группа очаговых регионов представляет собой крупный сектор ареала возбудителя. В пределах ареала возбудителя насчитывается большое количество природных очагов. Так, в хорошо изученном ареале вируса клещевого энцефалита, выявлено несколько десятков тысяч природных очагов. Е.Н. Павловский, анализируя пространственную структуру природных очагов, предложил название «общей зоны природной очаговости» для всего пространства, на котором обнаруживается возбудитель болезни. Конечно, не все ареалы возбудителей природноочаговых болезней непременно слагаются из всех рассмотренных выше категорий. Некоторые из них могут отсутствовать или быть слабо выраженными.

Однако даже самые стойкие природные очаги не остаются неизменными в течение длительного периода их анализа. Продолжительность существования природных очагов зависит от обилия популяций переносчика и носителей инфекции, продолжительности сохранения в их организме возбудителя, стойкости к воздействиям неблагоприятных внешних условий и др.

Природные очаги эволюционируют также в связи с хозяйственной деятельностью человека. Распашка целинных земель, создание водохранилищ, мелиорация, рубка леса вызывают перестройку первичных природных очагов, сопровождающуюся как угнетением сочленов природного очага, так и напротив – увеличением числа переносчиков или носителей и расширением их видового состава. Урбанизация может привести к трансформации зооноза в антропоноз со сменой переносчика или резервуара возбудителя [1, 10].

Природные очаги можно классифицировать по ряду других признаков. По происхождению природные очаги разделяют на первичные природные и вторичные природные. Вторичные очаги формируются в результате иррадиации первичных очагов. Происхождение антропоургических очагов связано с деятельностью человека. По месту нахождения природные очаги делятся на автохтонные, местонахождение которых совпадает с местом их возникновения, и гетерохтонные – очаги, отделившиеся от материнского очага и смесившиеся вместе со своими переносчиками на другое место. По возрасту среди природных очагов выделяют древние и рецентные, а по прочности существования – стойкие и эфемерные. По специфичности возбудителя – зоонозные, возбудители патогенны для животных и человека и антропонозные, возбудители которых передаются только от человека к человеку. По числу переносчиков выделяют моноекторные (с одним видом переносчика) и полиекторные (с несколькими видами переносчиков) очаги. По количеству видов животных – носителей возбудителя различают моногостальные (с одним видом позвоночного хозяина) и полигостальные (с несколькими видами позвоночных хозяев). В зависимости от хода эволюции природных очагов среди последних выделяют прогрессирующие, регрессирующие, метаморфные и реципрокные очаги. Метаморфными называют очаги, в которых в ходе эволюции произошла замена основного животного-резервуара или членистоногого-переносчика другим видом. Для реципрокных

очагов характерно обратное развитие – от антропоургических к природным. Заражение человека осуществляется преимущественно в валентных (от лат. *valens* – сила) очагах, которые характеризуются полным комплексом составляющих его сочленов, а также при наличии голодных переносчиков в активном состоянии и соответствующих условий среды их обитания.

Природные очаги делятся на простые (с одним видом возбудителя) и сопряженные – с несколькими видами возбудителей инфекций, которые совместно существуют на одной территории. Установлено, например, что один и тот же вид иксодового клеща является переносчиком и резервуаром разных видов возбудителей, в частности арбовирусов, риккетсий, боррелий и пироплазмид. Но и среди возбудителей имеются виды, которые связаны одновременно с несколькими видами клещей [2]. Сопряженные природные очаги формируют и комары, которые одновременно могут быть инфицированы арбовирусами, гемоспоридиями и филяриями. Это приводит к возникновению достаточно сложных связей между компонентами природного очага. Формирование сопряженных природных очагов может происходить в разных ландшафтных зонах, но особенно многочисленны сопряженные очаги на стыке ландшафтных зон. Если речь идет об антропоургических природных очагах, то развитие сопряженных природных очагов происходит повсеместно. Получены данные относительно разной степени патогенности возбудителей инфекций в простых и сопряженных природных очагах.

Современные проблемы и перспективы исследований в области природной очаговости, такие как механизмы и формы резервации возбудителей природноочаговых инфекций, использование молекулярно-биологических методов в изучении феномена природной очаговости инфекций, пути появления “новых” природноочаговых инфекций и стратегия профилактики инфекций, детально проанализированы Э.И. Коренбергом [7, 8].

Оценивая теорию природной очаговости болезней, следует отметить ее колоссальное значение для практики регуляции вредоносности природных очагов или их ликвидации. Теория природной очаговости дает возможность выявить связь трансмиссивного заболевания с географическим ландшафтом, выявить и классифицировать паразитарные системы, лежащие в основе конкретных очагов, составить прогноз их дальнейшего развития и наметить наиболее рациональные меры борьбы с ними. Можно не сомневаться, что при дальнейшем изучении природной очаговости будут открыты новые закономерности биологической эволюции и организации органического мира.

Список литературы

1. Балашов Ю.С. Идеи Е.Н. Павловского в современной паразитологии // Зоологический журнал. 1984. Т. 63, вып. 3. С. 325-336.
2. Балашов Ю.С. Роль кровососущих клещей и насекомых в природных очагах инфекций // Паразитология. 1999. Т. 33, вып. 3. С. 210-222.
3. Беклемишев В.Н. Биоценологические основы сравнительной паразитологии. М.: Наука, 1970. 502 с.
4. Болотин Е.И. Структурная и функциональная организация природных очагов клещевого энцефалита.

- Автореферат ... доктора биол. наук. Владивосток, 2004. 44 с.
5. Коренберг Э.И. Биохорологическая структура вида (на примере таежного клеща). М.: Наука, 1979. 171 с.
 6. Коренберг Э.И. Что такое природный очаг? М.: Знание, 1983. 63 с.
 7. Коренберг Э.И. Природная очаговость инфекций: современные проблемы и перспективы исследований // Зоологический журнал. 2010. Т. 89, вып. 1. С. 5-17.
 8. Коренберг Э.И., Помелова В.Г., Осин Н.С. Природноочаговые инфекции, передающиеся иксодовыми клещами. М., 2013. 463 с.
 9. Кучерук В.В. Учение о природной очаговости болезней человека на современном этапе // Медицинская энтомология и паразитарные болезни. 1976. №3. С. 262-268.
 10. Кучерук В.В. Антропогенная трансформация окружающей среды и природноочаговые болезни // Вестник АМН СССР. 1980. № 10. С. 24-32.
 11. Литвин В.Ю., Коренберг Э.И. Природная очаговость болезней: развитие концепции к исходу века // Паразитология. 1999. Т. 33. № 3. С. 179-191.
 12. Олсуфьев Н.Г. Современное состояние и перспективы развития исследований по природной очаговости туляримии // В кн.: Природноочаговые болезни человека. М.: Изд. Ин-та эпидемиол. и микробиол. АМН СССР. С. 41-46.
 13. Павловский Е.Н. О природной очаговости инфекционных и паразитарных болезней // Вестник АН СССР. 1939. № 10. С. 98-108.
 14. Павловский Е.Н. Учение о природной очаговости трансмиссивных болезней человека // Журнал общей биологии. 1946. № 1. С. 3-33.
 15. Павловский Е.Н. О значении для клинической медицины учения о природной очаговости болезней // Клиническая медицина. 1957. № 10. С. 99-108.
 16. Павловский Е.Н. Общие проблемы паразитологии и зоологии. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1961. 424 с.
 17. Чеснова Л.В. Проблемы общей энтомологии. М.: Наука, 1974. 208 с.

ВИДОВАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ МЕТОДАМИ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКОГО ТИПИРОВАНИЯ

Джакибаева Гульнар Тураровна

кандидат биологических наук, РГП «Институт микробиологии и вирусологии» КН МОН РК, г.Алматы

SPECIES IDENTIFICATION OF LACTIC ACID BACTERIA BY MOLECULAR GENETIC TYPING

Dzhakibaeva Gulnar Turarovna, candidate of biological science, Institute of microbiology and virology, Almaty

АННОТАЦИЯ

Проведен молекулярно-генетический анализ нуклеотидных последовательностей гена 16S rRNA 16 штаммов молочнокислых бактерий. Идентифицировано до вида 16 культур бактерий рода Lactobacillus, которые являются промышленно-значимыми штаммами.

Ключевые слова: молочнокислые бактерии, штаммы, молекулярно-генетический анализ, идентификация.

ABSTRACT

The molecular-genetic analysis of nucleotide sequences of gene of rRNA of 16s is conducted 16 strains of lactobacillus. 16 cultures of bacteria of sort of Lactobacillus are identified to the kind, that are industrially-meningful strains.

Keyword: milk acid bacteria, strains, molecular-genetic analysis, identification.

В последние годы интерес к микроорганизмам как компоненту биологического разнообразия заметно растет. Теперь им все чаще отводится место в широких SP международных инициативах. Так, в качестве одного из приоритетных направлений обозначено интенсивное изучение микроорганизмов, связанных с деятельностью человека и участвующих в восстановлении затронутых этой деятельностью экосистем [1].

Один из эффективных способов изучения и сохранения микроорганизмов — это их поддержание в лабораторных резервациях, микробных коллекциях. Если еще до недавнего времени было распространено представление о коллекциях только лишь как о месте складирования хаотическим образом собранных штаммов, то теперь коллекции микробных культур находятся в эпицентре научных исследований, предоставляя не только культуры, но и значительные объемы полезной научной информации. Одной из важных задач коллекций микроорганизмов за-

ключается в точной таксономической идентификации депонируемых микроорганизмов. В настоящее время в большинстве коллекций нашей Республики при идентификации используются классические микробиологические методы. Однако в развитых коллекциях используется полифазный подход, который заключается в объединении всех возможных данных как фенотипического, так и генетического характера, с целью получения достоверной идентификации [2].

Данное исследование было направлено на применение полифазного подхода при идентификации молочнокислых бактерий.

Материалы и методы исследований

В работе были использованы 16 штаммов молочнокислых бактерий из коллекции Института микробиологии и вирусологии.

ДНК выделяли методом Kate Wilson [3]. Концентрацию ДНК измеряли спектрофотометрическим методом с использованием спектрофотометра NanoDrop при длине

волны 260 нм (табл.1), а также проводили качественную оценку ДНК электрофоретическим методом.

Реакция ПЦР была выполнена с универсальными праймерами [4] 8f 5' – AgAgTTTgATCCTggCTCAg-3 и 806R- 5' ggACTACCAgggTATCTAAT в общем объеме 30 мкл. ПЦР смесь содержала 150 нг ДНК, 1 Ед. Maxima Hot Start Taq DNA Polymerase (Fermentas), 0,2 mM каждого дНТФ, 1-х ПЦР буфер (Fermentas), 2,5 mM MgCl₂, 10 пмоль каждого праймера. Программа ПЦР амплификации включала длительную денатурацию 95°C в течение 7 минут; 30 циклов: 95°C – 30 секунд, 55°C - 40, 72°C – 1 минута; заключительная элонгация 7 минут при 72°C, ПЦР программа была выполнена с применением амплификатора GeneAmp PCR System 9700 (Applied Biosystems).

Очистку ПЦР продуктов проводили ферментативным методом, используя экзонуклеазу (Fermentas) и щелочную фосфатазу (Fermentas) [5].

Реакцию секвенирования проводили с применением BigDye® Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems) согласно инструкции производителя, с последующим разделением фрагментов на автоматическом генетическом анализаторе 3730xl DNA Analyzer (Applied Biosystems). Нуклеотидные последовательности 16S rRNA гена 20 идентифицируемых штаммов были проанализированы и объединены в общую последовательность в программном обеспечении SeqScape 2.6.0 (Applied Biosystems).

Построение филогенетических деревьев проводили с использованием программного обеспечения Mega 3.1 [6], для выравнивания нуклеотидных последовательностей использовали алгоритм Clustal W, для построения филогенетических деревьев метод присоединения ближайших соседей (Neighbor-Joining NJ).

Результаты и обсуждение

Биохимические и морфологические свойства лактобацилл являются в настоящее время основным и единственным критерием межродовой и видовой идентификации этих микроорганизмов. Однако при идентификации лактобацилл только с использованием стандартных микробиологических тестов могут возникнуть трудности. Так, например, идентификация близкородственных *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *L. delbrueckii*

subsp. *delbrueckii*, *L. delbrueckii* subsp. *lactis*, *L. rhamnosus*, *L. plantarum*, *L. casei*, *L. paracasei* на основании физиолого-биохимических свойств затруднена вследствие общности их свойств. Альтернативой классической биохимической идентификации могут служить современные молекулярно-генетические методы. В 1980-х годах в практику вошел новый стандарт идентификации бактерий, позволяющий идентифицировать микроорганизм, не имея представлений о его биологических особенностях. С. Woese с сотрудниками установили, что филогенетические отношения бактерий могут быть определены путем сравнения высококонсервативной части генетического кода, что послужило началом развития интенсивно развивающейся универсальной системы идентификации [7]. Высокая идентичность нуклеотидной последовательности 16S rRNA гена, по сравнению с другими рРНК генами, позволила использовать его как стандартный генетический маркер для идентификации и таксономической классификации бактериальных разновидностей [8]. Метод основан на определении нуклеотидной последовательности 16S rRNA гена, с достаточным количеством внутривидовых полиморфизмов, позволяющих проводить статистически достоверную идентификацию.

В нашем исследовании генетическая идентификация 16 штаммов была осуществлена методом определения прямой нуклеотидной последовательности фрагмента 16S rRNA гена, с последующим определением нуклеотидной идентичности с последовательностями, депонированными в международной базе данных Gene Bank, а также построением филогенетических деревьев с нуклеотидными последовательностями референтных штаммов.

В результате выделения ДНК были получены образцы ДНК с высокой концентрацией и хорошего качества. Методом ПЦР был амплифицирован фрагмент 16S rRNA гена, молекулярной массой около 800 п.н. (рисунок 1) у всех идентифицируемых штаммов. Продукты ПЦР амплификации были использованы для определения нуклеотидной последовательности.

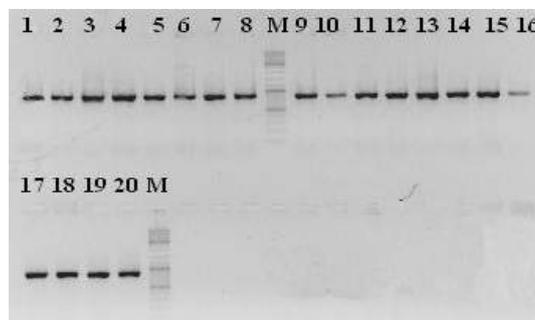


Рисунок 1 - Электрофоретическая программа ПЦР-продуктов амплификации фрагмента 16S rRNA гена ДНК

1-20 – образцы, нумерация согласно п/н; М – маркер молекулярного веса (Fermentas) (100 – 10000 п.н., от 100-1000 шаг 100 п.н.)

При анализе нуклеотидных последовательностей 4 штаммов: 6; 6ШЗ; 9К1 и 5К3 был установлен смещенный профиль сигналов флореттограмм. Что свидетельствовало о контаминации идентифицируемых штаммов.

После удаления концевых фрагментов (нуклеотидные последовательности праймеров, фрагменты, имеющие низкий показатель качества) были получены нуклеотидные последовательности протяженностью 730 п.н., для оставшихся 16 штаммов, которые были идентифицированы в GeneBank по алгоритму BLAST.

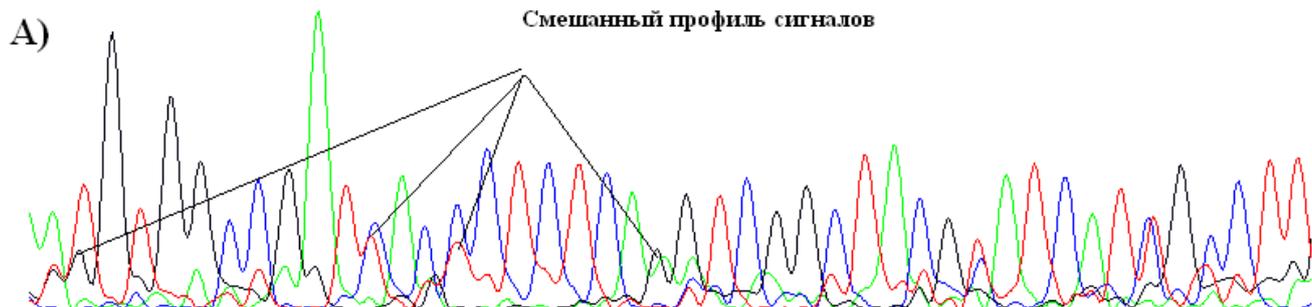
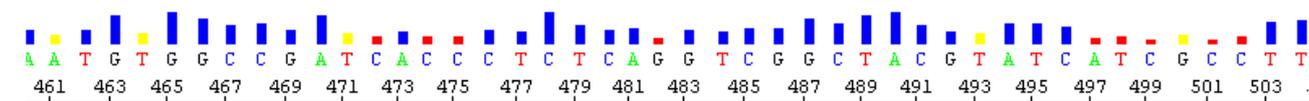


Рисунок 2 - Хроматограмма секвенирования фрагмента 16S rRNA гена штамма №6

При идентификации с использованием международной базы данных NCBI (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) были взяты первые три вида с максимальной идентичностью. Результаты идентификации приведены в таблице 1.

Как видно из результатов, приведенных в таблице 1, один и тот же идентифицируемый штамм имеет максимальное совпадение с несколькими видами. А также при-

нимая во внимание литературные данные [9,10,11], свидетельствующие о наличии в международных банках нуклеотидных последовательностей GeneBank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>), Ribosomal Database Project (RDP-II) (<http://rdp.cme.msu.edu/html/>), ошибок, мы дополнительно провели построение филогенетического дерева с нуклеотидными последовательностями 16S rRNA гена референтных штаммов данных видов.

Таблица 1

Результаты идентификации нуклеотидных последовательностей в международной базе данных

Наименование штамма	Инвентарный номер GeneBank	Наименование штамма	% совпадения
82-27.05.11	JF896433	Lactobacillus casei strain D31	100
	CP002618	Lactobacillus casei BD-II	100
	HM462420	Lactobacillus paracasei strain ChR-II-str14	100
3Ш1 – 25.05.11	HQ449670	Lactobacillus fermentum strain UN01	99
	HQ650232	Lactobacillus fermentum strain KN02	99
	CP002033	Lactobacillus fermentum CECT 5716	99
1 – 27.05.11	JF896433	Lactobacillus casei strain D31	99
	CP002618	Lactobacillus casei BD-II	99
	HM462420	Lactobacillus paracasei strain ChR-II-str14	99
8Ш4-4-25.05.11	HQ449670	Lactobacillus fermentum strain UN01	99
	HQ650232	Lactobacillus fermentum strain KN02	99
	CP002033	Lactobacillus fermentum CECT 5716	99
8Ш4-2-25.05.11	HQ449670	Lactobacillus fermentum strain UN01	99
	HQ650232	Lactobacillus fermentum strain KN02	99
	CP002033	Lactobacillus fermentum CECT 5716	99
9К4-25.05.11	HM218420	Lactobacillus pontis strain NM100	99
	NR_026310	Lactobacillus panis strain DSM	97
	HQ293066	Lactobacillus vaginalis strain NWL43	96
127-27.05.11	JF896433	Lactobacillus casei strain D31	100
	CP002618	Lactobacillus casei BD-II	100
	HM462420	Lactobacillus paracasei strain ChR-II-str14	100
111-27.05.11	JF896433	Lactobacillus casei strain D31	100
	CP002618	Lactobacillus casei BD-II	100
	HM462420	Lactobacillus paracasei strain ChR-II-str14	100
4Ш2- 25.05.11	FJ749690	Lactobacillus helveticus strain IMAU30124	99
	HM218446	Lactobacillus helveticus strain NM104-4	99
	GU344729	Lactobacillus helveticus strain 2020T	99
КМ-1 – 27.05.11	JF896433	Lactobacillus casei strain D31	99
	CP002618	Lactobacillus casei BD-II	99
	HM462420	Lactobacillus paracasei strain ChR-II-str14	99

Наименование штамма	Инвентарный номер GeneBank	Наименование штамма	% совпадения
129 – 27.05.11	JF896433	Lactobacillus casei strain D31	100
	CP002618	Lactobacillus casei BD-II	100
	HM462420	Lactobacillus paracasei strain ChR-II-str14	100
9K3 – 25.05.11	HM218420	Lactobacillus pontis strain NM100	99
	NR_026310	Lactobacillus panis strain DSM	97
	HQ293066	Lactobacillus vaginalis strain NWL43	96
4Ш1 – 25.05.11	FJ749690	Lactobacillus helveticus strain IMAU30124	99
	HM218446	Lactobacillus helveticus strain NM104-4	99
	GU344729	Lactobacillus helveticus strain 2020T	99
114 – 27.05.11	JF896433	Lactobacillus casei strain D31	100
	CP002618	Lactobacillus casei BD-II	100
	HM462420	Lactobacillus paracasei strain ChR-II-str14	100
126 – 27.05.11	JF896433	Lactobacillus casei strain D31	99
	CP002618	Lactobacillus casei BD-II	99
	HM462420	Lactobacillus paracasei strain ChR-II-str14	99
6Ш1 – 25.05.11	HQ449670	Lactobacillus fermentum strain UN01	99
	HQ650232	Lactobacillus fermentum strain KN02	99
	CP002033	Lactobacillus fermentum CECT 5716	99

Также в анализ были включены нуклеотидные последовательности 16S rRNA гена наиболее филогенетически связанных микроорганизмов[12].

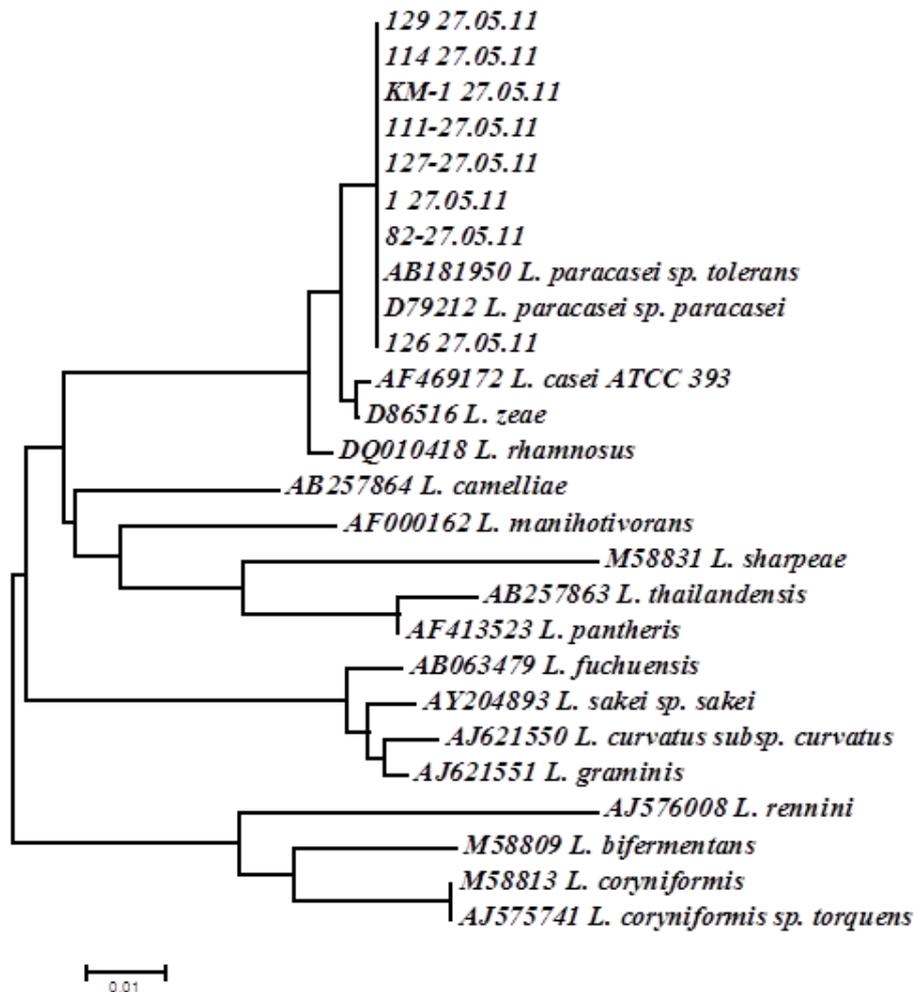


Рисунок 3 - Филогенетическое дерево, построенное на основании анализа фрагмента гена 16S rRNA группы *L. Casei*

Как видно на рисунке 3, нуклеотидные последовательности от 8 штаммов, идентифицируемые как *L. casei*/*L. paracasei*, при идентификации в Gene Bank находятся на одной филогенетической ветви с *L. paracasei*

subsp. *paracasei*, *L. paracasei* subsp. *Tolerans*, в то время как нуклеотидные последовательности от референтных штаммов *L. casei* ATCC 393 и *L. zeae* сформировали отдельную филогенетическую ветвь. Таким образом, 8 штаммов:

129, 114, KM, 111, 127, 1, 82, 126 на основании анализа нуклеотидной последовательности 16S rRNA гена идентифицированы как *L. raucarasei*. Высокий процент идентичности идентифицируемых культур в GeneBank с *L. casei* (99-100%) связан с использованием на протяжении 12 лет *L. casei* ATCC 334 в качестве референтного штамма *L. casei*, а *L. casei* ATCC 393 как референтный штамм *L. zeae*. Это при-

вело к накоплению большого массива нуклеотидных последовательностей в международных базах данных, депонированных как *L. casei*. Последующее признание недействительности переименования вышеуказанных штаммов и исключение *L. zeae* Международным комитетом Систематики Бактерий в 2008 году [13] привело к образованию идентификационных ошибок и в литературных источниках.

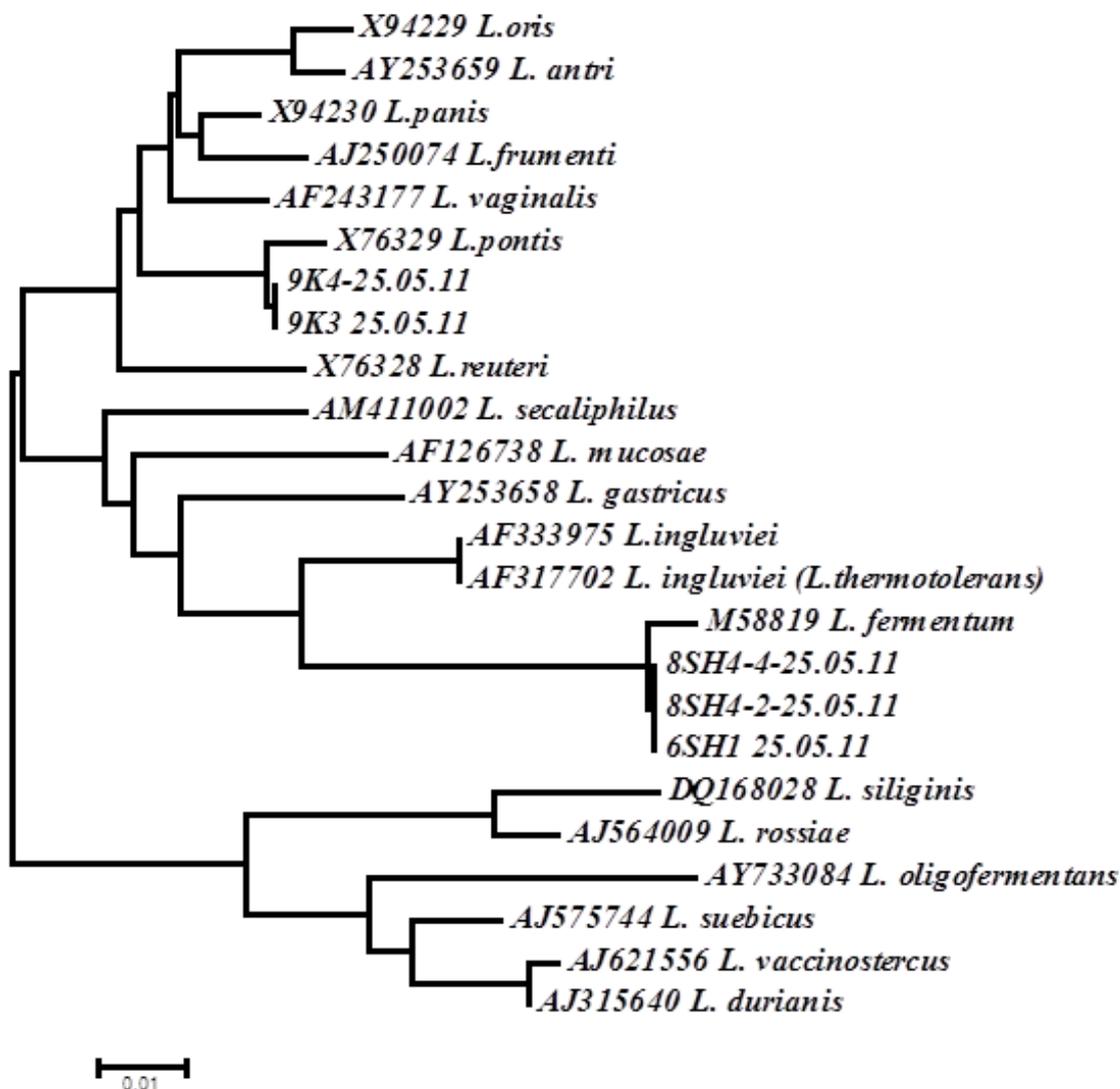


Рисунок 4 - Филогенетическое дерево, построенное на основании анализа фрагмента гена 16S rRNA группы *L. Reuteri*

Как видно на рисунке-4, штаммы 8Ш4-4, 8Ш4 и 6Ш1 при филогенетическом анализе фрагмента 16S rRNA гена были объединены в один кластер с *L. fermentum*. При идентификации в Gene Bank нуклеотидные последовательности 16S rRNA данных штаммов не имели процент совпадения с другими видами, превышающий официально признанный порог. Штаммы: 9К3 1 и 9К4 при филогенетическом анализе фрагмента 16S rRNA гена были объединены в один кластер с *L. pontis*.

Как видно на рисунке-5, штаммы 4Ш2 и 4Ш1 при филогенетическом анализе фрагмента 16S rRNA гена были объединены в один кластер с *L. helveticus*.

При генетической идентификации на основе анализа нуклеотидной последовательности 16S rRNA гена исследователи сталкиваются с проблемой невозможности

идентифицировать генетически близкие виды. Официально признано, что идентичность в 97% нуклеотидной последовательности 16S rRNA гена является пороговым значением видовой характеристики [14]. Однако, идентичность между разными видами иногда составляет менее 0,5%.

В нашем исследовании с использованием «полифазного подхода» достоверно удалось идентифицировать 16 штаммов. На наш взгляд, более целесообразно первоначально проводить генетическую идентификацию на основе анализа нуклеотидной последовательности 16S rRNA гена, так как она позволяет определить контаминацию идентифицируемых культур и сократить количество анализируемых показателей за счет определения предварительного спектра предполагаемых видов.

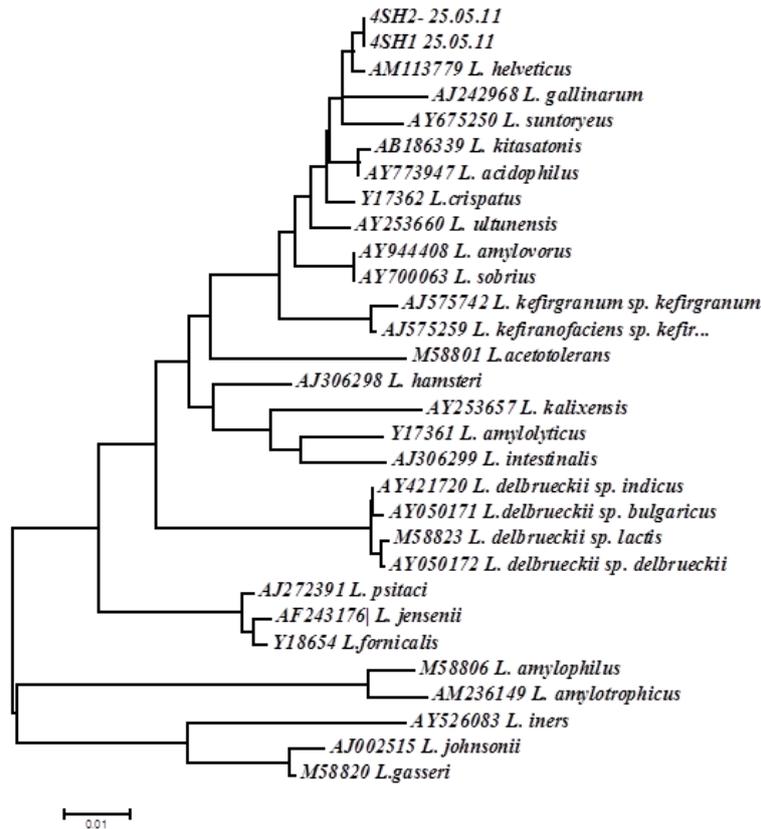


Рисунок 5 - Филогенетическое дерево, построенное на основании анализа фрагмента гена 16S rRNA группы *L. Acidophilus*

Список литературы

1. Понизовкина Е. Микроорганизмы могут все... если знать, как попросить их об этом// Наука Урала. - 2003. - №2 (830). - С. 5-8.
2. Vandamme P., Pot B., Gillis M., De Vos P., Kersters K., Swings J. Polyphasic Taxonomy, a Consensus Approach to Bacterial Systematics // Microbiological Reviews. - 1996. - Vol. 60, №2. - P. 407-438.
3. Wilson K. Preparation of genomic DNA from bacteria. Current Protocols in Molecular Biology. Editors (Editors Ausubel F.M., Brent R., Kingston, R.E., Moore D.D., Seidman J.G., Smith J.A., et al.). - New York: Wiley, 1987. - 650 p.
4. Vegas E.Z.S., Nieves B., Araque M., Velasco E., Ruiz J., Vila J. Outbreak of Infection With Acinetobacter Strain RUH 1139 in an Intensive Care Unit // Infection control and hospital epidemiology. - 2006. - Vol. 27, №4. - P. 397-404.
5. Werle E., Schneider C., Renner M., Völker M., Fiehn W. Convenient single-step, one tube purification of PCR products for direct sequencing // Nucleic Acids Res. - 1994. - Vol. 22. - P. 4354-4355.
6. Kumar S., Tamura K., Nei M. MEGA3: Integrated software for Molecular Evolutionary Genetics Analysis and sequence alignment // Briefings in bioinformatics. - 2004. - Vol. 5, №2. - P. 150-163.
7. Woese C.R., Stackebrandt E., Macke T.J., Fox G.E. A phylogenetic definition of the major eubacterial taxa // Syst. Appl. Microbiol. - 1985. - Vol. 6. - P. 143-151.
8. Kolbert C.P., Persing D.H. Ribosomal DNA sequencing as a tool for identification of bacterial pathogens // Current Opinion in Microbiology. - 1999. - Vol. 2. - P. 299-305.
9. Clayton R.A., Sutton G., Hinkle P.S., Bult Jr. C., Fields C. 1995. Intraspecific variation in small-subunit rRNA sequences in GenBank: why single sequences may not adequately represent prokaryotic taxa // International Journal of Systematic Bacteriology. - 1995. - Vol. 45. - P. 595-599.
10. Zhang Q., Kennon R., Koza M.A., Hulten K., Clarridge III J.E. 2002. Pseudoepidemic due to a unique strain of Mycobacterium szulgai: genotypic, phenotypic, and epidemiological analysis // Journal of Clinical Microbiology. - 2002. - Vol. 40. - P. 1134-1139.
11. Clarridge III J.E. Impact of 16S rRNA Gene Sequence Analysis for Identification of Bacteria on Clinical Microbiology and Infectious Diseases // Clinical Microbiology Reviews. - 2004. - Vol. 17. - P. 840-862.
12. Pot B., Tsakalidou E., Taxonomy and Metabolism of Lactobacillus. Lactobacillus molecular biology from Genomics to Probiotics. - Norfolk UK: Caister Academic Press, 2009. - 206 p.
13. Judicial Commission of the International Committee on Systematics of Bacteria. The type strain of Lactobacillus casei is ATCC 393, ATCC 334 cannot serve as the type because it represents a different taxon, the name Lactobacillus paracasei and its subspecies names are not rejected and the revival of the name 'Lactobacillus zae' contravenes Rules 51b (1) and (2) of the International Code of Nomenclature of Bacteria. Opinion 82 // International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. - 2008. - Vol. 58. - P. 1764-1765.
14. Stackebrandt E., Goebel B.M. Taxonomic note: a place for DNA-DNA reassociation and 16S rRNA sequence analysis in the present species definition in bacteriology // International Journal of Systematic Bacteriology. - 1994. - Vol. 44. - P. 846-849.

«ВЛИЯНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ДОБАВОК НА БРОДИЛЬНУЮ АКТИВНОСТЬ ДРОЖЖЕЙ»

Фролова Ольга Витальевна

Аспирант, ФБГОУ ВПО "Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского", г. Москва

Даниловцева Алла Борисовна

канд.техн.наук, профессор, ФБГОУ ВПО "Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского", г. Москва

"THE IMPACT OF DIETARY SUPPLEMENTS ON THE FERMENTATION ACTIVITY OF YEAST"

АННОТАЦИЯ

В настоящее время особое внимание уделяется интенсификации технологии производства пивных напитков. Для этого применяют различные технологические приемы, ускоряющие процессы брожения и созревания пива, а также исследуется влияние биологически активных добавок на ход брожения и физиологическое состояние дрожжей. Пивные дрожжи издавна применяют для приготовления различных пивных напитков, поэтому всестороннее изучение жизнедеятельности дрожжевой клетки очень важно с технологической точки зрения.

Ключевые слова: дрожжи, брожение, добавки, технология.

ABSTRACT

Special attention is paid to the intensification of production technology beer beverages. Use a variety of technological methods to accelerate the process of fermentation and maturation of beer, as well as investigate the influence of dietary supplements on the course of fermentation and yeast physiological state. Brewer's yeast has long been used for the preparation of different drinks beer, so a comprehensive study of life of yeast cells is very important from a technological point of view

Keywords: yeast, fermentation, additives, technology.

Высокая скорость брожения, наблюдается при активной деятельности дрожжевых клеток, а именно их интенсивном размножении и накоплении биомассы, то есть их развитии, так как скорость потребления сахаров при этом значительно выше, чем когда клетки находятся в стационарной фазе [1].

Из способов стимуляции функциональных свойств дрожжевой клетки можно рассмотреть влияние биологически активных добавок, входящих в состав питательной среды в небольших количествах, но являющихся жизненно необходимыми для улучшения физиологического состояния дрожжей и повышения бродительной активности [2].

Определяющими факторами при выборе биологически активных добавок являются, прежде всего, экологическая безопасность и экономическая эффективность. В связи с этим проводятся комплексные исследования по повышению продуктивности дрожжей при использовании в рационах различных биологически активных добавок, в том числе на основе молочного сахара и аминокислоты.

Дрожжи - одноклеточные лишённые хлорофилла немиецелиальные грибы. Форма их клеток очень разнообразна, в некоторых случаях форма клетки бывает настолько характерна, что она может служить опознавательным признаком рода. Дрожжевые клетки крупнее бактерий (до 8-10 мкм в диаметре), неподвижны [3].

По современным данным, дрожжи являются достаточно сложными одноклеточными организмами.

Дрожжевая клетка состоит из клеточной стенки, цитоплазматической мембраны, протоплазмы, цитоплазматических включений - митохондрий и рибосом, ядра, вакуоли и частиц запасных веществ - волютина, гликогена и жировых капель.

Особое внимание следует уделить нуклеиновым кислотам в цитоплазме клетки, которые активно участ-

вуют в синтезе белка - рибонуклеиновая (РНК) и дезоксирибонуклеиновая (ДНК), которые различаются между собой по химической природе входящего в их состав сахара и присущим им функциям [4].

В свете последних достижений в биологии клетки синтез белков происходит в мельчайших субклеточных структурах, называемых рибосомами. Рибосомы обнаружены в ядрах, митохондриях, цитоплазме.

Синтез белка осуществляется за счет энергии, выделяющейся при дыхании и брожении. В улавливании и использовании этой энергии клеткой важнейшую роль играют макроэргические соединения, в первую очередь аденозинтрифосфорная кислота (АТФ). Ферментативный синтез белка в живых системах начинается с процесса активирования аминокислот. Для каждой аминокислоты имеется свой специфический фермент, активирующий именно данную кислоту. Процесс синтеза белка в рибосоме схематично изображен на рис. 1.

В живой клетке процесс биосинтеза белка неразрывно связан с процессом биосинтеза нуклеиновых кислот, которые, в свою очередь, синтезируются благодаря каталитическому действию специфических белков-ферментов.

Питательная среда для развития дрожжей должна иметь определенное значение pH, содержать водный раствор или суспензию усвояемых форм углерода, азота, необходимого набор макроэлементов и питательных солей. Кроме важнейших элементов и соединений, в состав клеток входят микроэлементы: молибден, марганец, цинк, медь, бром, йод и др.

В процессе роста дрожжевым клеткам необходимы азотсодержащие соединения, что связано с синтезом белков.

Белки состоят из полипептидов и аминокислот - простых соединений, имеющих с одной стороны своей молекулы аминогруппу NH₂, а с другой - кислотную группу COOH [5].

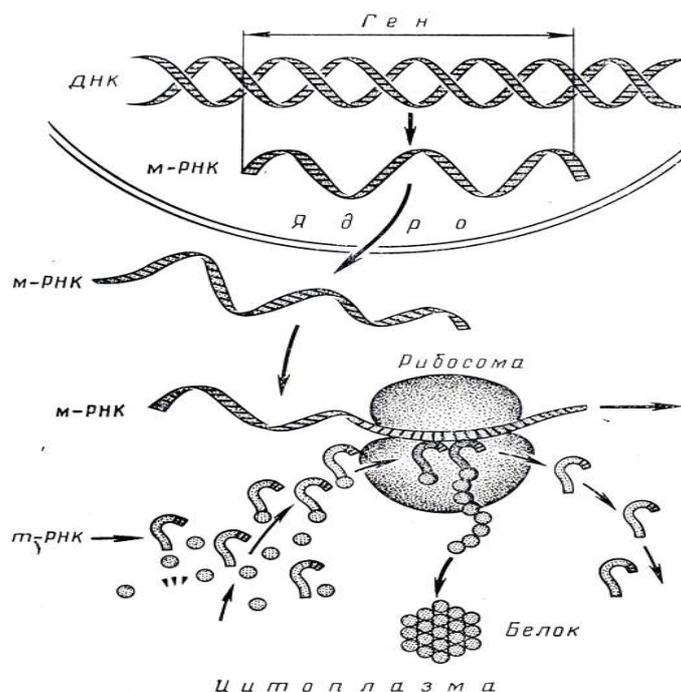


Рисунок 1. Схема синтеза белка в рибосоме.

Соединяясь между собой, аминокислоты образуют молекулы простых белков или протеинов. К ним относятся альбумины, глобулины, гистоны и др. При присоединении к простому белку небелковой группы образуются сложные белки, или протеиды.

Аминокислоты и азот суслу непрерывно поглощаются дрожжами и их клеточный цикл повторяется до тех пор, пока он не прекратится из-за нехватки питательных веществ или стресса. Поэтому определенным аминокислотным составом можно улучшить физиологическое состояние дрожжей, за счет улучшения аминокислотного состава клетки, и тем самым интенсифицировать синтез высших спиртов при использовании одного и того же штамма дрожжей.

Также, проблемы неполного сбраживания происходят, когда в сусле недостаточно усваиваемых соединений азота, витаминов и микроэлементов, необходимых для метаболических процессов.

Обеспечив более полное проникновение питательных веществ в дрожжевую клетку, процесс брожения пойдет с более полным сбраживанием сахаров суслу, путем более активного проникновения питательных веществ в клетку, которые непосредственно могут влиять на улучшение ее общего физиологического состояния.

В настоящее время проводятся исследования пищевых добавок на основе молочного сырья. Современные достижения биотехнологии позволили получить лактулозу - углевод, относящийся к классу олигосахаридов и подклассу дисахаридов, так как его молекула состоит из остатков галактозы и фруктозы, и которому пророчат важное значение в третьем тысячелетии [6].

Согласно проведенным исследованиям добавление олигосахаридов приводит к активации дрожжей [7], путем добавления их в питательную среду, состоящей из суслу или молодого пива и пищевой добавки.

Такая обработка позволит ускорить процесс разбраживания, повысить бродильную способность, действительную степень сбраживания, снизить количество

мертвых клеток пивных дрожжей. Действие добавок объясняется их влиянием на проницаемость стенок дрожжевых клеток, за счет чего происходит повышение проникающей способности дрожжей и они усваивают большее количество питательных веществ, чем без нее.

Таким образом, добавлением добавок в виде определенных аминокислот, микроэлементов и изомеризованных сахаров можно влиять на деятельность дрожжей и синтез высших спиртов в ходе брожения, а добавление изомеризованного молочного сахара может оказывать влияние на более полное проникновение различных питательных веществ из суслу в дрожжевую клетку, способствуя улучшению аминокислотного состава в клетке.

Следовательно, путем введения биологически активных добавок можно создать более благоприятные условия для интенсификации процесса брожения, получая продукт с более высокими качественными показателями, что является актуальным в настоящее время.

Список литературы

1. Тишин В.Б., Аль Ассад К., Кхалил М. М. «Исследование влияния некоторых факторов на кинетику роста дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* при периодическом культивировании». / Вестник Международной академии холода, 2007, №1, 44-47 стр.
2. Пермякова Л.В., Помозова В.А., Русских Р.В., Павлов А.А. «Пути активации пивных дрожжей с помощью природных биологически активных компонентов»/ Кемерово: Сборник материалов международного научного форума и конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. «Пищевые инновации и биотехнологии», 2013, 478 – 483 стр.
3. Жвирблянская А.Ю., Исаева М. «Дрожжи в пивоварении»/ М.: Пищевая промышленность, 1979, 246 стр.
4. Коновалов С. А. «Биохимия дрожжей»/ М.: Пищевая промышленность, 1980, 21 стр.
5. Меледина Т.В. «Сырье и вспомогательные материалы в пивоварении»/ СПб.: Профессия 2003, 304 стр.

6. Храмцов А.Г., Рябцева С.А., Лодыгин А.Д. «Перспективы использования ионообменной обработки лактозосодержащего сырья в технологии пребиотических и синбиотических препаратов»/М.: Сборник материалов МНТК «Пробиотики, пребиотики, синбиотики и функциональные продукты питания. Современное состояние и перспективы», 2004, 203стр.
7. Серов А.В., Евдокимов И.А., Ким В.В., Поляков В.А, Бурачевский И.И. «Лактоза и ее производные в производстве алкогольных напитков» /Ставрополь: Сборник научно-технических работ. «Российская лактулоза. Чудо из молока», 1999, 86 – 90 стр.

ДОННАЯ ФАУНА И ЭКОЛОГИЯ МШАНОК МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Гонтарь Валентина Ивановна

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург

FAUNA AND ECOLOGY OF BRYOZOA OF THE LAPTEV SEA

Gontar Valentina Ivanovna, Candidate of Science, senior researcher, The Zoological Institute RAS, Saint Petersburg

АННОТАЦИЯ

История изучения исследований моря Лаптевых, одного из наиболее труднодоступных морей России, продолжается более 120 лет. Особенно плохо были изучены мелководья, где ледовый режим часто суров. Море Лаптевых в отношении количественного распределения бентоса до недавнего времени оказалось практически не исследованным. В статье уточняется и дополняется обзор фауны мшанок моря Лаптевых, приведены данные о количественном распределении мшанок в море Лаптевых и биоценозах, в некоторых из них мшанки были руководящими видами.

ABSTRACT

History of investigation of the Laptev Sea, one of the region difficult of access, is continuing during 120 years. Shallow water was very poorly investigated, because of ice regime, which is very severe. The Laptev Sea was not almost investigated in relation of quantitative distribution of benthos as well. Review of the bryozoan fauna of the Laptev Sea, data of quantitative distribution of Bryozoa and of biocenoses are given, in some of the last mentioned Bryozoa was dominant species.

Ключевые слова: мшанки, количественные данные, распределение, бентос, Море Лаптевых

Key words: Bryozoa, quantitative data, distribution, benthos, the Laptev Sea

Несмотря на многолетнюю историю изучения, моря Арктического бассейна исследованы далеко не достаточно. Это связано с тем, что эти моря большую часть года покрыты льдами, затрудняющими проведение исследовательских работ. Большинство данных, полученных к недавнему времени, касались лишь средних отделов шельфа на участках относительно менее суровой ледовой обстановкой. В своем подавляющем большинстве имеющиеся данные носили качественный характер и не несли информации о количественном распределении арктической морской флоры и фауны. Особенно плохо были изучены мелководья, где ледовый режим часто суров, а большие корабли из-за своей осадки не могут к ним подойти. Экосистемы Северного Ледовитого океана оказываются самыми молодыми на земном шаре, и познание их структуры и функционирования дает материал для представления о результатах крупномасштабных изменений в биосфере. В то же время очевидна необходимость увеличения промысла в еще слабо освоенных труднодоступных районах Арктики. Что касается полезных ископаемых, то их поиск на шельфе Северного Ледовитого океана очень быстро активизируется, и необходимо знать свойства морских арктических экосистем для того, чтобы предусмотреть их охрану.

История изучения исследований моря Лаптевых, одного из наиболее труднодоступных морей России, продолжается с перерывами уже более 120 лет. Первые сведения о качественном составе фауны и в меньшей степени флоры моря Лаптевых были получены после экспедиции

на судне «Вега» в 1875–1879 гг. под руководством шведского исследователя А.Е. Норденшельда и известного дрейфа судна «Фрам» под руководством Ф. Нансена. Значительные материалы из моря Лаптевых были собраны Русской полярной экспедицией под руководством Э.Толя на шхуне «Заря» (1900–1903гг.). Часть из этих материалов были обработаны Н.М.Книповичем и А.А.Бируля. Очередное существенное увеличение материалов о фауне моря Лаптевых произошло после больших сборов Л.М.Старокадомского во время океанографической экспедиции под руководством Б.Вилькицкого на судах «Таймыр» и «Вайгач» в 1912–1915 гг. Далее сборы из моря Лаптевых были проведены экспедицией под руководством Р. Амундсена на судне «Мод» (1918–1920гг).

Следующий шаг в изучении фауны этого моря был сделан благодаря сборам А.М.Попова в юго-восточной части моря и в устье р. Лены во время Якутской экспедиции Академии наук на судне «Полярная Звезда» (1927г.). В 1932г. материалы из моря Лаптевых были получены В.Л.Вагиным и Н.Л. Кондаковым с борта ледокола «Русанов» с более подробным обследованием западной части моря в районах проливов Вилькицкого и Шокальского. В этом же году интересные сборы с ледокола «Сибиряков» были выполнены Л.О.Ретовским у Северной Земли и в южной части моря Лаптевых. В 1934г. были сделаны небольшие сборы в южной части моря с судна «Темп». Существенным дополнением к сведениям о донной фауне моря Лаптевых оказались обширные сборы З.Макарова с л/п «Седов» (1937), Г.П. Горбунова с л/п «Садко»(1937–

38), А.П.Андряшева с л/п «Малыгин» (1937), В.Л.Вагина и В.М.Колтуна л/п «Литке»(1948), американской экспедиции на судне «Northwind»(1963). Общие научные результаты исследований моря Лаптевых были кратко изложены А.М.Поповым [1932] и лишь относительно недавно по рейсам ледоколов «Таймыр», «Вайгач» Н.И.Евгеновым и В.Н.Купецким [1985]. Бентос эстуария реки Лены в общих чертах отражен в работе К.М.Дерюгина [1932]. Бентосу Новосибирского мелководья посвящены работы Г.П.Горбунова [1939, 1946]. Рыбы моря Лаптевых и история их изучения рассмотрены в специальных работах А.П.Андряшева [1939, 1948], а связь некоторых из них с распределением зоопланктона показана А.К.Луциком с соавторами [Луцик и др.,1981]. Краткий обзор исследований до середины 70-х представлен в работах А.Н. Голикова и др.[1990] и А.В.Смирнова[12].

Море Лаптевых в отношении количественного распределения бентоса до недавнего времени оказалось практически не исследованным. Первые количественные исследования были проведены на системной основе в августе–сентябре 1973 г. Зоологическим институтом АН СССР. Верхние отделы шельфа до глубин 35–40 м были исследованы в водолазном снаряжении при пирамидальной системе количественного учета донных водорослей и беспозвоночных. В соответствии с современными требованиями изучалось количественное распределение и макробентоса, и мейобентоса. Параллельно на Новосибирском мелководье и прилегающих водах моря Лаптевых изучался планктон и общий гидрологический и ландшафтный фон.

Материалы, собранные преимущественно водолазным количественным методом в июле–сентябре 1973г. в юго–восточной части моря Лаптевых, на Новосибирском мелководье и к северо-востоку между островами Котельный и Беннетта представляют особый интерес. Работы велись с бортов шхуны «Фарватер» и логера «Зенит», принадлежавших Тиксинской гидробазе. В прибрежных водах у материка, где высокая мутность бурой воды с прозрачностью менее 0.3м из–за полного отсутствия видимости сводила преимущества водолазных исследований к минимуму, количественные пробы брались дночерпателем Петерсена с площадью захвата 0.025кв.м и тралом Сигсби. На плотных грунтах при отсутствии видимости пробы брались водолазом вслепую водолазным дночерпателем с площадью захвата 0.05кв.м. В водах с достаточной прозрачностью, допускающих хотя бы минимальную видимость у грунта, работы велись водолазным количественным методом [Голиков, Скарлато,1965,1967]. При этом производились промеры участков каждого биотопа, занятых однородным населением, и сбор крупных и редко встречающихся организмов с 3 дифференцированных площадей по 5кв.м вдоль мерного фала или из рамкой площадью 1кв.м. Кроме того, на каждом однородном участке биотопа бралось по 3 выборки площадью 0.1кв.м. при помощи рамы или водолазного дночерпателя.

За короткий период с 1993г. по 1998г. только в море Лаптевых и соседних акваториях были организованы 7 экспедиций на судах «Иван Киреев» (1993), «Polarstern» (1993,1995,1998), «Профессор Мультиановский», «Яков Смирнитцкий» (1995), «Капитан Драницын» (1995), «Alpha-Helix». В ходе этих экспедиций был собран богатейший материал (более 370 проб на более чем 150 станциях). Ценность новых материалов состоит в том, что

большая их часть представлена количественными пробами, распределенными более или менее равномерно по всему шельфу моря Лаптевых. Несомненным успехом последних экспедиций была также их работа в северных глубоководных частях подводного хребта Ломоносова.

Границы моря Лаптевых определяются: на западе это восточная граница Карского моря (Остров Комсомолец) от мыса Молотова до мыса Юго-восточный, затем–остров Октябрьской Революции от мыса Ворошилова до мыса Анючина, далее–остров Большевик от мыса Уншлихта до мыса Евгенова, и далее–до мыса Прончищева на материке. На севере граница проходит по линии, соединяющей мыс Молотова и северную оконечность острова Котельный. На востоке граница проходит от северной оконечности острова Котельный через сам остров до мыса Медвежий. Далее, через Малый Ляховский остров, до мыса Вагина Большого Ляховского острова. И далее до мыса Святой Нос на материке. В то же время, согласно данным IBCAO (International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean), северная граница моря (между островами Комсомолец и Котельный) проходит через точку пересечения меридиана северной оконечности о.Котельный с краем материковой отмели (79°00'00"с.ш. 139°00'00"в.д.). Площадь поверхности моря 672 000кв.км.

Море Лаптевых занимает обширное мелководье, в особенности в восточной части у Новосибирских островов, и среди всех евразийских морей занимает особое положение. Батиметрические и абиссальные районы Арктического бассейна вклиниваются на значительное пространство в северной его части. Здесь гигантский Срединно-океанический хребет, оканчивающийся в Северном Ледовитом океане хребтом Гаккеля, встречается с материковым склоном.

В море преобладают глубины до 50 м, наибольшая глубина 3385 метров, средняя глубина 540 метров. Более половины моря (53%)–пологая материковая отмель со средней глубиной менее или немногим более 50 метров, к тому же районы дна к югу от 76-ой параллели находятся на глубине менее 25 метров. В северной части моря дно круто обрывается к ложу океана с глубинами порядка одного километра (22 % площади моря). В мелководных районах дно покрыто песком и илом с примесью гальки и валунов. У берегов речные осадки накапливаются с большой скоростью, до 20–25 сантиметров в год. На больших глубинах дно покрыто илом.

Материковый склон прорезан жёлобом Садко, переходящим на севере в котловину Нансена с глубинами свыше 2 километров, здесь же отмечена максимальная глубина моря Лаптевых–3385 метров (79°35'с.ш., 124°40'в.д.).

Море характеризуется низкой температурой воды. В зимний период подо льдом температура составляет от–0,8°С в юго–восточной части до–1,8°С на севере. Выше глубины 100 метров весь слой воды имеет отрицательные температуры (до–1,8°С). Летом в свободных ото льда районах моря самый верхний слой воды может прогреваться до 4–6°С, в заливах до 8–10°С, но остаётся близкой к 0°С подо льдом.

В глубоководной зоне моря на глубине 250–300 метров находятся поступающие из арктических акваторий Атлантики относительно тёплые воды (до 1,5°С). Им требуется 2,5–3 года, чтобы достичь моря Лаптевых от места их образования в районе Шпицбергена. Ниже этого слоя

температура воды вновь становится отрицательной до самого дна, где составляет около $-0,8^{\circ}\text{C}$.

Солёность морской воды у поверхности в северо-западной части моря зимой составляет 34‰, в южной части—до 20–25‰, летом уменьшаясь до 30–32‰ и 5–10‰ соответственно. С увеличением глубины солёность быстро увеличивается, достигая 33‰. Около устьев рек она составляет менее 10‰. Сильное влияние на солёность поверхностных вод оказывают таяние льда и сток сибирских рек. Последний равен около 730 куб.км и является вторым по величине в мире после Карского моря, формируя пресноводный слой толщиной 135см по всему морю.

Берега сильно изрезаны и образуют заливы и бухты различных размеров. Прибрежный ландшафт разнообразен, с невысокими горами. Крупные заливы: Хатангский, Оленёкский, Фаддея, Янский, Анабарский, бухта Марии Прончищевой, Буор-Хая.

Крупнейшая река, впадающая в море Лаптевых (и вторая по величине из рек Арктики после Енисея)—Лена с её большой дельтой. В море также впадают реки: Хатанга, Анабар, Оленёк, Яна.

Большая часть речного стока (около 70% или 515куб.км в год) приходится на долю Лены. Другие реки, вносящие значительный вклад в совокупный сток: Хатанга (более 100куб.км), Оленёк (35куб.км), Яна (более 30куб.км) и Анабар (20куб.км), сток остальных рек вместе—около 20куб.км. Из-за сезонности таяния льда и снега в бассейнах рек около 90% годового стока приходится на период с июня по сентябрь (с 35–40% только в августе), тогда как в январе он составляет лишь 5%.

В западной части моря и дельтах рек расположено несколько десятков островов общей площадью 3784км². Частые штормы и течения вследствие таяния льда приводят к сильной эрозии островов, так, например, Семёновский и Васильевский острова, открытые в 1815 году, уже исчезли. Наиболее значительные группы островов: Северная Земля, Комсомольской правды и Фаддея. Крупнейшие одиночные острова: Большой Бегичев (1764кв.км), Бельковский (500кв.км), Малый Таймыр (250кв.км), Столбовой (170кв.км), остров Старокадомского (110кв.км), и Песчаный (17кв.км).

Поверхностные течения моря образуют циклонический (то есть, против часовой стрелки) круговорот. Он состоит из течения с севера на юг возле Северной Земли, которое достигает материкового побережья, движется вдоль него с запада на восток, усиливается стоком реки Лены и отклоняется на север и северо-запад в сторону Северного Ледовитого океана. Небольшая часть круговорота утекает через пролив Санникова в Восточно-Сибирское море. Круговорот имеет скорость около 2 сантиметров в секунду, которая уменьшается по направлению к центру. Сам центр круговорота медленно дрейфует, что немного изменяет характер течения.

Приливы полусуточные, высотой в среднем до 50 сантиметров. Величину приливов значительно уменьшает ледяной покров. В Хатангском заливе из-за его воронкообразной формы приливная волна может достигать 2 метров, и заметна даже на расстоянии 500 км вверх по течению реки. В других реках моря Лаптевых приливные волны затухают на более коротких расстояниях.

Сезонные колебания уровня моря относительно невелики—уровень моря поднимается на 40 см летом

возле речных дельт и опускается зимой. Сгонно-нагонные колебания уровня моря значительные—до 2 метров, а в заливах достигают 2,5 метров. Наблюдаются в течение всего года, но чаще осенью, с появлением сильных ветров постоянного направления. В целом, уровень моря повышается при северном ветре и понижается при южном. Вследствие относительно слабых ветров и небольших глубин море Лаптевых относительно спокойно, с волнами обычно в пределах 1 метра.

Большую часть года море Лаптевых покрыто льдами. Зимой часты штормовые ветры, вьюга и метели, летом—снежные заряды и туманы. Ледообразование начинается в сентябре на севере и в октябре на юге. Зимой юго-восточная часть моря занята обширным припаем. Под воздействием преобладающих южных ветров вдоль мористого края припая ежегодно сохраняется так называемая Великая Сибирская полынья, севернее которой располагаются дрейфующие льды. Эта незамерзающая река среди торосов—одно из самых загадочных мест планеты. Его еще называют «фабрикой льда»—потому что именно там, у кромки воды, он и образуется. В 2012 году ученые столкнулись с новой загадкой: из-за потепления лед на полюсах интенсивно тает, а на океанской фабрике, наоборот, его много как никогда. Здесь оазис жизни в Арктике. Сюда устремляется все живое—белые медведи, моржи, нерпы, много водорослей и различных микроорганизмов. Именно здесь сконцентрировано большое количество жизни. В море Лаптевых существует целая система полыней: Восточно-Североземельская, Таймырская, Ленская и Новосибирская. Последняя располагается к северу от Новосибирских островов и в отдельные годы может занимать огромные площади двух морей Лаптевых и Восточно-Сибирского. Ленская и Новосибирская полынь в июле-августе достигают огромных размеров—многие тысячи квадратных километров. Уникальность существования феномена открытой воды в жесточайшие арктические зимы определяется особенностями гидродинамики морских течений и атмосферной циркуляции в этих регионах. Вертикальная циркуляция воды в полынях, высокие концентрации биогенных веществ и отсутствие ледяного покрова определяют высокую продуктивность биоценозов. При выносе молодых льдов соли, концентрирующиеся при образовании льда, остаются на месте и общая солёность воды повышается. Происходит обогащение воды хлоридами, силикатами, и обеднение карбонатами и сульфатами. Осолонение воды происходит в течение всей зимы, и в результате содержание солей в воде может превышать не только среднюю солёность моря Лаптевых, но и среднюю океаническую солёность [Гуков, 2009]. Осолонение и охлаждение повышают плотность воды и вызывают конвективное перемешивание слоев, и таким образом создается оптимальный для донной фауны кислородный режим.

Фауна мшанок моря Лаптевых изучалась русскими и иностранными исследователями. В этой статье уточняется и дополняется обзор фауны мшанок моря Лаптевых.

Первые сведения о фауне моря Лаптевых имеются из работ шведской экспедиции в 1878–1879гг. на судне «Vega» под руководством Норденшельда [Попов, 1932]. Биологом этой экспедиции доктором Стуксбергом в пределах моря Лаптевых были исследованы 19 станций, расположенных по маршруту экспедиции вдоль морского побережья. Материал был обработан и опубликован как

Стуксбергом, так и другими специалистами. Сборы были произведены, главным образом, в западной части вблизи береговой линии, а в восточной части моря станции дали скудный материал.

Stuxberg Anton [18,19] участвовал в изучении коллекций экспедиции на судне «Vega» (1878–1879гг) и отметил в море Лаптевых мшанок на 9 станциях: на станции 66 Bryozoa на различных трубках Annelida, в большом количестве видов на станции 67 (среди них *Defrancia lucernaria*), на станции 70 многочисленные Bryozoen, на станции 74 *Alcyonidium mammilatum* чрезвычайно многочисленный, на станции 75,76 Bryozoen, на станции 79 *Alcyonidium mammilatum*, на станции 83,84 Bryozoen на куске древесины из пресной воды, на станции 84 также *Alcyonidium* sp. большой. Грунты были преимущественно илистые, только на станции 75 грунт каменистый.

Stuxberg также указывал для сублитторали без точной привязки к морю (Сибирские моря) 15 видов (глубина в футах): *Crisia denticulato-producta* (28) и *Tubulipora fungia* (18) – в скобках глубина в саженях (это возможно были *Crisia denticulata* и *Tubulipora penicillata*). Для элиторали *Crisia eburneo-producta* (50-125), *Diastopora repens* (35), *Diastopora simplex* (35), *Diastopora intricaria* (35-125), *Tubulipora incrassato-fungia* (40-90), *Defrancia lucernaria* (35-80), *Entalophora deflexa* (40-125), *Hornera violacea* f. *proboscina* (40-125), *Biflustra abissicola* (130), *Cellularia ternata* f. *duplex* (50-125), *Cellularia scabra* f. *elongata* (50-80), *Cribrilina punctata* (35-125), *Hippothoa biapertura* (50-125), *Discopora Skenei* (35), *Discopora cellulosa* (40-125) [соответственно в современной номенклатуре *Crisia eburneodenticulata* Busk, *Oncousoecia dilatans* (Johnston), *Berenicea oblonga* Kluge, *Diplosolen intricarius* (Smitt), *Tubulipora soluta* Kluge, *Defrancia lucernaria* (M.Sars), *Entalophora clavata* (Busk), *Stegohornera arctica* (Kluge), *Sarsiflustra abyssicola* (G.Sars), *Notoplites smitti* (Norman), *Scrupocellaria arctica* (Busk), *Cribrilina punctata* (Hassall), *Buffonellaria arctica* Berning et Kuklinski, *Palmicellaria skenei tridens* (Busk), *Retepora cellulosa* (L.)].

Для обеих зон сублиторали и элиторали в Сибирских морях Stuxberg привел 41 вид: *Alcyonidium mammilatum* (20-125), *Alcyonidium disciforme* (6-80), *Alcyonidium gelatinosum* (15-150), *Vesicularia uva* (20-150), *Crisia eburnea typica* (2-125), *Crisia eburneo-denticulata* (15-150), *Crisia denticulata* (20-150), *Diastopora hyalina* (2-125), *Tubulipora incrassata* (7-125), *Tubulipora atlantica* (18-125), *Hornera lichenoides* (20-50), *Lichenopora verrucaria* (2-125), *Flustra membranaceo-truncata* (10-150), *Membranipora lineata* (3-125), *Membranipora craticula* (4-124), *Membranipora Americana* (10-125), *Bugula Murrayana* (5-60), *Cellularia ternata typica* (2-125), *Cellularia gracilis* (5-125), *Cellularia scabra* (5-50), *Cellularia Peachii* (28-60), *Gemellaria loricata* (5-150), *Cribrilina annulata* (4-125), *Leieschara crustacea* (10-125), *Leieschara subgracilis* (7-60), *Cellepora tuberosa* (2-125), *Escharella pertusa* (2-125), *Escharella majuscula* (30-50), *Escharella palmata* (10-125), *Escharella Jacotini* (10-125), *Escharella verrucosa* (10-125), *Escharella cervicornis* (28-125), *Escharella elegantula* (10-125), *Escharella laevis* (30-80), *Discopora sincera* (18-125), *Discopora ventricosa* (10-125), *Discopora labiata* (30-125), *Discopora appensa* (10-125), *Discopora scabra* (30-125), *Discopora Sarsi* (10-60), *Discopora elongata* (26-125) [соответственно в современной номенклатуре *Alcyonidium mammilatum*, *Alcyonidium disciforme*,

Alcyonidium gelatinosum, *Vesicularia uva*, *Crisia eburnea*, *Crisia eburneodenticulata*, *Crisia denticulata*, *Diastopora obelia arctica*, вероятно, *Proboscina incrassata* или *Idmoneoides arctoflabellaris*, *Idmidronea atlantica gracillima*, *Hornera lichenoides*, *Disporella verrucaria*, *Terminoflustra membranaceotruncata*, *Callopora lineata*, *Callopora craticula*, *Tegella armifera*, *Dendrobeatia murrayana*, *Tricellaria ternata*, *Tricellaria gracilis*, *Scrupocellaria scabra*, *Bugulopsis peachii*, *Eucratea loricata*, *Cribrilina annulata*, *Myrionzoella crustacea*, *Leieschara subgracilis*, *Cellepora smitti*, *?Lepralioides nordlandica*, *Smittina majuscula*, *Pseudoflustra solida*, *Parasmittina jeffreysii*, *Porella proboscidea*, *Porella compressa*, *Cystisella saccata*, *Smittina concinna*, *Cheiloporina sincera*, *?Celleporina ventricosa*, *Phylactella labiata*, *Escharoides jacksoni*, *Rhaphostomella scabra*, *Escharopsis lobata*, *Phidolopora elongata*]. Всего им было отмечено для сибирских морей 55 видов.

Stuxberg также описал *Alcyonidium*-formation (*Alcyonidium mammilatum* в чрезвычайно большом количестве), вероятно, это был биоценоз, который был им отмечен на станции 74 (к юго-востоку от устья реки Чатанга), где глубина составляла 4–6 футов и грунт был представлен илом или грубым песком. В этом сообществе также встречались многочисленные виды Bryozoa. Кроме мшанок там были встречены в большом количестве *Yoldia arctica*, *Chiridota laevis*, *Ophiglypha nodosa* и различные асцидии.

Nordgaard [16,17] исследовал материалы Норвежской Полярной экспедиции на судне «Maud» в 1918–1925гг. и привел для моря Лаптевых три вида на ст.29 и глубине 23м: *Eucratea loricata* (L), которая была прикреплена к створкам *Portlandia arctica* и *Serripes groenlandicus*, *Serratiflustra serrulata* (Busk) [13, согласно Ключе], *Rhaphostomella bilaminata* (Hincks) на раковине *Serripes groenlandicus*. Однако в отношении последнего вида Ключе [13] также указал, что это *Rhaphostomella bilaminata sibirica* Kluge.

Ключе [8] на основании обработанных им коллекций экспедиции Норденшельда на судне «Vega» (1878–1879гг), Русской Полярной экспедиции на судне «Заря» под руководством Э.Толя в 1900–1902гг., Гидрографической экспедиции на судах «Таймыр» и «Вайгач» в 1914–1916гг. под руководством Б. Вилькицкого приводит список из 85 видов и варьететов из трех отрядов (в старой систематической номенклатуре).

Абрикосов [1932] в небольшой статье приводит 10 видов мшанок из отряда *Cheilostomata* из сборов Гидробиологического отряда Якутской экспедиции Академии Наук в 1927г., встреченных на 7 станциях преимущественно по направлению к Большому Ляховскому острову, собранных в диапазоне глубин 16–24, на илистых грунтах, и при придонной солености наибольшей на станции 16 и равной 30,68 ‰ и более низкой на других станциях (самая низкая соленость на станции 13, S=21,56‰). *Alcyonidium disciforme* встречен на илистом грунте при пониженных соленостях от 21,56 до 23,37‰. Остальные виды встречены на илистом грунте и при солености превышающей 28‰, преимущественно на трубках *Polychaeta*.

Гонтарь и Денисенко [14] по литературным данным указывали 121 вид и подвид мшанок из трех отрядов Bryozoa. Гонтарь [2] по данным экспедиции ЗИН РАН 1973 года и коллекционным фондам, имеющимся в Зоологическом институте РАН, привела список из 114 видов и под-

видов из трех отрядов Bryozoa. В статье Гонтарь[15] по материалам экспедиции на судне «Polarstern» в 1993 году приводятся 59 видов и подвидов из трех отрядов мшанок. В 2001 был опубликован «Список видов свободно живущих беспозвоночных Евразийских Арктических морей и прилежащих глубоководных частей Арктики», в котором Гонтарь[3] перечислила для моря Лаптевых 126 видов и подвидов мшанок. Гонтарь[4] был составлен список из 142 видов и подвидов, в который были включены несколько видов из пролива Вилькицкого. Клюге[13] указывал для моря Лаптевых 121 вид и подвид Bryozoa. И наконец, общий список видов и подвидов мшанок по материалам экспедиций на судах «Иван Киреев» (1993), «Polarstern» (1993, 1995, 1998), «Профессор Мультиановский» «Яков Смирнитцкий» (1995), «Капитан Драницын» (1995) насчитывает 147 видов и подвидов мшанок, в их числе 46 новых для фауны моря Лаптевых. Таким образом, в настоящее время для моря Лаптевых по литературным и нашим собственным данным известно 195 видов и подвидов из отрядов Cyclostomata, Stenostomata и Cheilostomata. Экспедиции на судне «Polarstern» работали также в прилегающих к морю Лаптевых районах Арктического океана и там были встречены 69 видов и подвидов мшанок.

Особенный интерес представляют данные о количественном распределении мшанок в море Лаптевых и биоценозах, в некоторых из них мшанки были руководящими видами.

Первое упоминание о таком биоценозе было сделано Stuxberg[18,19], который описал *Alcyonidium*-formation (*Alcyonidium mammilatum* в чрезвычайно большом количестве). Вероятно, это был биоценоз, который был отмечен на станции 74, где глубина составляла 4–6 футов, и грунт был представлен илом или грубым песком. В этом сообществе также встречались многочисленные виды Bryozoa. Кроме мшанок там были встречены в большом количестве *Yoldia arctica*, *Chiridota laevis*, *Ophiglypha podosa* и различные асцидии.

В 1973 году экспедиция ЗИН РАН изучала биоценозы верхних отделов шельфа моря Лаптевых. Это были первые количественные пробы, полученные с помощью легководолазной техники, и первые данные о количественном распределении мшанок в море Лаптевых.

Alcyonidium gelatinosum был встречен в 1973 году в биоценозе *Balanus crenatus*+*Suberites domuncula*+*Eucratea loricata* на глубине 12–18 м с наибольшей плотностью поселения $1,16 \pm 0,45$ экз/кв.м. Наибольшей биомассы вид ($10 \pm 3,53$ г/кв.м) достигал в биоценозе *Musculus corrugatus*+*Suberites domuncula*.

Alcyonidium disciforme был встречен в биоценозе *Portlandia arctica* +*Alcyonidium disciforme*+*Rhizomolgula globularis* на глубине 4,8 м, с наибольшей плотностью поселения $40,2 \pm 1$ экз/кв.м и с наибольшей биомассой $14,5 \pm 4,72$ г/кв.м.

Eucratea loricata был встречен в биоценозе *Eucratea loricata*+*Saduria entomon* на глубине 7–8 м, с наибольшей плотностью поселения $70 \pm 24,7$ экз/кв.м и с наибольшей биомассой $44 \pm 15,5$ г/кв.м.

Eucratea loricata cornuta и *Tegella armifera* были встречены в биоценозе *Saduria sibirica*+*Portlandia arctica*+*Haliclona gracilis* на глубине 17 м.

Carbasa carbasa был встречен в биоценозе *Balanus crenatus*+*Suberites domuncula*+*Eucratea loricata* на

глубине 15,9 м, с наибольшей плотностью поселения $5 \pm 1,8$ экз/кв.м и наибольшей биомассой $3,25 \pm 1,21$ г/кв.м.

Escharella ventricosa был встречен в биоценозе *Phyllophora sp.*+*Reniera sp.* с наибольшей плотностью поселения $1 \pm 0,5$ экз/кв.м и с наибольшей биомассой $0,25 \pm 0,09$ г/кв.м.

Arctonula arctica был встречен в биоценозе *Saduria sibirica*+*Portlandia siliqua*+*Haliclona gracilis* на глубине 17 м.

Cystisella saccata был встречен в биоценозе *Saduria sibirica*+*Myriotrochus rinkii* на глубине 31 м, с наибольшей плотностью поселения $0,24 \pm 0,08$ экз/кв.м и с наибольшей биомассой $0,2 \pm 0,07$ г/кв.м.

Escharoides jacksoni rostrata был встречен в биоценозе *Suberites domuncula*+*Haliclona gracilis* на глубине 18 м, с наибольшей плотностью поселения $1,66 \pm 0,64$ экз/кв.м. В биоценозе *Phyllophora sp.*+*Phyllaria sp.* на глубине 8 м достигал наибольшей биомассы $1,2 \pm 0,64$ г/кв.м.

Петряшев и др.[11] по материалам экспедиций 1990-х годов привели данные о биоценозах, в которых были встречены мшанки.

1. Северо–восточнее дельты р. Лена на глубине 17 м и илисто–песчаном грунте биоценоз [1] *Alcyonidium disciforme* (B=8,0 г/кв.м). В этом биоценозе преобладали бореально–арктические и высокобореально–арктические виды, представленные широко распространенными видами, а также видами атлантического или тихоокеанского происхождения. Арктические виды представлены небольшим числом видов.

2. *Eucratea loricata* была встречена в биоценозе [2] губок *Suberites domuncula* на глубине 12–35 м и каменистых грунтах. Ее биомасса достигала 4,8 г/кв.м. В этом биоценозе преобладали прикрепленные организмы.

На Рис.1 показано распределение биоценозов по данным этих авторов. В биоценозе 1 и 2 были встречены мшанки со значительными биомассами. В биоценозе 5 мшанки не указаны, но он совпадает границами, в основном, с таким же биоценозом, указанным Гуковым [7] и там встречался вид *Eucratea loricata* (плотность поселения 20 экз/кв.м, биомасса 1,2 г/кв.м), а также *Alcyonidium disciforme* (плотность поселения 40 экз/кв.м, биомасса 0,7 г/кв.м), *Escharella ventricosa* (10 экз/кв.м, 0,08 г/кв.м), *Myriarora subgracilis* (20 экз/кв.м, 0,03 г/кв.м).

В 1993 г. во время экспедиций на г/с «Иван Киреев» и л/к «Polarstern» впервые исследования проводились одновременно от приустьевых участков от дельты Лены до Новосибирского мелководья на юге моря до котловин Нансена и Амундсена на севере и от о-вов Новая Земля, п-ова Таймыр и Анадырского залива на западе до Новосибирских островов на востоке. Были получены первые данные о плотности поселений, биомассе макробентоса в центральных и ряде западных районов. [10, Петряшев и др.]. В этом отношении наиболее подробно были исследованы прибрежные районы юго–восточной части моря. Мшанки были отмечены в качестве субдоминантного вида в биоценозе *Ophiotecten sericum*+*Onuphis conchilega* на северо-западном разрезе л/к «Polarstern» на глубинах 30–60 м (северо–западнее о.Котельный). На остальных станциях л/к «Polarstern» мшанки отмечены в качественных сборах.

В экспедиции на г/с «Иван Киреев» на станции $1(74^{\circ}59'6''N$ и $114^{\circ}32'6''E)$ на глубине 45 м и грунте глина с илом в биоценозе *Ciliatocardium ciliatum*+*Nuculana pernula* был отмечен вид *Cellepora costazii* (N=число экземпляров/кв.м=6.6 и B=биомасса=0.093 г/кв.м).

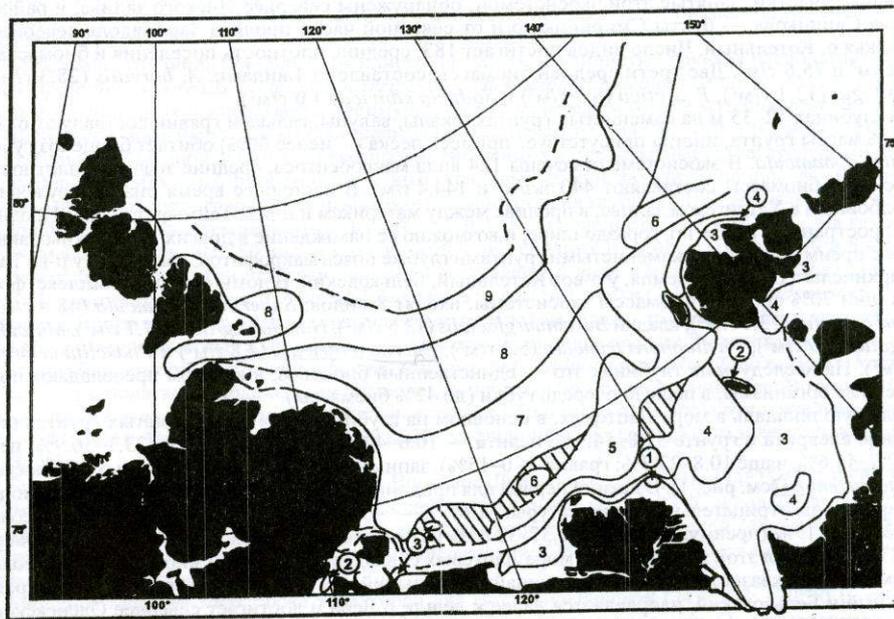


Рис. 1. Донные биоценозы на шельфе моря Лаптевых глубже 10 м: 1 — *Alcyonidium disciforme*; 2 — *Suberites domuncula*; 3 — *Portlandia arctica*; 4 — *Astarte borealis* + *A. montagui* + *Portlandia arctica*; 5 — *Leionucula tenuis*; 6 — *Ocnus glacialis*; 7 — *Astarte borealis* (+ *A. montagui* + *Maldane sarsi*); 8 — *Ophiocten sericeum*; 9 — *Ophiopieura borealis* + *Ophiocten sericeum* + *Ophiacantha bidentata* (районы, для которых количество данных недостаточно, заштрихованы)

Рис.1. Распределение различных биоценозов в море Лаптевых [11, по Петрашеву и др.]

На станции 12 (74°29'7"N и 134°01'2"E) на глубине 14 м и песчаном грунте в биоценозе *Tridonta borealis* + *Nicania montagui* встречен вид *Eucratea loricata* (N=6.6 и V=0.06).

На ст.13 (74°29'8"N и 137°01'6"E) на глубине 23.0 м и песчаном иле в биоценозе *Gersemia fruticosa* был встречен *Bugulopsis peachii* (N=6.6, V=0.040).

На ст. 14 (74°30'N и 139°40'1"E) на глубине 24.0 м и грунте ил, песок с гравием в биоценозе *Scalibregma robusta*+*Hydrozoa gen.sp.*+*Portlandia arctica siliqua*+*Tridonta borealis* были обнаружены *Bryozoa gen.sp.* (N=13.3 и V=0.093).

На ст. 16 (73°38'N и 128°39'8"E) на глубине 11.0 м и грунте илистый песок в биоценозе, где руководящим видом был *Alcyonidium disciforme*+*Aglaophamus malmgreni*+*Saduria sabini robusta*.

Alcyonidium disciforme достигал численности N=6.6 и биомассы V= 8.0.

На ст. 26 (72°30'N и 136°40'E) на глубине 24.0 м и глинистом иле в биоценозе *Haliclona gracilis* были отмечены 2 вида: *Tegella inermis* (N=10.00 и V=0.04) и *Septentriopora karasi* (T=10.00 и V=0,07).

На ст.30 (75°00'N и 136°00'E) на глубине 31.0 м и илистом грунте в биоценозе *Nephtys ciliata*+*Saduria sabini robusta*+*Aglaophamus malmgreni* встречался вид *Eucratea loricata* (N=6.6 и V=1.086).

На ст.32 (75°00'N и 123°00'E) на глубине 32.0 м и заиленном песке в биоценозе *Tridonta borealis*+*Ophiura sarsi* были отмечены *Septentriopora karasi* и *Tegella armifera* (N=86.6666 и V=0.12667).

На ст. 33 (75°00'N и 119°50'E) на глубине 33 м и заиленном песке в биоценозе *Tridonta borealis*.

Были отмечены 2 вида *Bugulopsis peachii* (N=6.6 и V=0.013) и *Crisia eburneodenticulata* (N=13.33 и V= 0.173).

На ст. 34 (75°29'N и 119°54' E) на глубине 40.0 м и илистом грунте в биоценозе *Brada granulata*+*Bathyarca*

glacialis были встречены 2 вида *Rhaphostomella costata* (N=6.66 и V=0.006) и *Scrupocellaria scabra paenulata* (N=13.33 и V= 0.046).

На ст. 35 (75°29' N и 123°50'5" E) на глубине 44.0 м и глинистом иле в биоценозе *Tridonta borealis* +*Ophiura sarsi* +*Nuculana lamellosa* были отмечены *Carbasea carbasea*, *Dendrobeatia sp.*, *Escharella ventricosa*, *Cyclostomata* (N=40.00 и V=1.45) и *Porella sp* (N=13.3 и V=0.0266).

На ст. 37 (75°18'6"N и 129°33'4"E) на глубине 44.0 м и илистом грунте в биоценозе *Portlandia arctica siliqua*+*Leionucula bellotii bellotii*+*Ophiura sarsi*+*Serratiflustra serrulata* в качестве доминантного вида была *Serratiflustra serrulata* (N=6.66 и V=7.3).

На ст.39 (77°06'7"N и 137°13'5"E) на глубине 33 м и глинистом иле в биоценозе *Haliclystidae gen.sp.*+*Arctinula groenlandica*+*Ophiocten sericeum*+*Neopolynoe paradoxa* был отмечен *Kinetoskias arborescens* (N=6.66 и V=0.20).

На ст. 39 (77°06'7"N и 137°13'5"E) на глубине 33 м и глинистом иле в биоценозе *Haliclystidae gen.sp.*+*Neopolynoe paradoxa*+*Arctinula groenlandica*+*Ophiocten sericeum* встречался *Kinetoskias arborescens* (N=6.6 и V=0.20).

Кроме выше перечисленных станций мшанки были встречены также на станциях 3,5,7,15,18,28 в качественных сборах. Общее число встреченных видов в этой экспедиции достигло 38 видов и подвидов. Для 18 видов были приведены количественные данные.

В сборах экспедиции на судне «Профессор Мультановский» в 1994 году были встречены 11 видов и подвидов мшанок на 8 станциях.

На станции 10 (75°30'N и 126°00'E) на глубине 37.0 м и глинистом иле в биоценозе *Neptunea sp.*+*Portlandia arctica arctica*+*Tridonta borealis*+*Terebellides stroemi* был встречен *Bugulopsis peachii subsp.nov.* (N=33.33 и V=0.360).

На станции 14 (75°56'86"N и 136°44'20"E) на глубине 20.0 м и илистом песке в биоценозе *Tridonta borealis* был отмечен *Eucratea loricata* (N=6.66 и B=0.62).

На станции 15 (74°00'N и 125°59'E) и глубине 13.5 м и песчаном грунте в биоценозе *Tridonta borealis*+*Nicania montagui* встретился *Eucratea loricata* (N=3.33 и B=0.003).

На станции 24 (72°13'N и 134°00'E) на глубине 21.0 м и глинистом иле в биоценозе *Saduria sibirica*+*Nicania montagui* также был отмечен *Eucratea loricata* (N= 4.0000 и B=0.096).

На станции 26 (73°20'N и 134°00'E) на глубине 14.0 м и илистом грунте в биоценозе *Tridonta borealis* опять был отмечен *Eucratea loricata* (N=10.00 и B=0.127).

Кроме того, мшанки были отмечены в этой экспедиции на станции ст.7 (75°30'N и 114°30'E), на глубине 38 м и грунте: глинистый ил+гравий+галька в числе 6 видов: *Escharopsis lobata* 2,9гр/кв.м, *Scrupocellaria minor* 0.002гр+0.001гр/кв.м, *Eucratea loricata* 0.001гр/кв.м, *Porella minuta* 0.0025гр/кв.м, *Crisia denticulata* 0.0015гр/кв.м, *Corynopenella tenuis* 0.0035гр/кв.м.

На ст.12/13 (75°30'N и 132°00'E) на глубине 18 м и илистом песке встречался *Escharopsis lobata* в количестве 0.110гр/кв.м.

На станции 27 (73°50'N и 120°40'E) на глубине 14 м и песчаном грунте был отмечен *Alcyonidium disciforme* в количестве 0.055гр/кв.м.

На станции 28 (74°30'N и 114°17'E) на глубине 14 м и глинистом иле встретились 2 вида мшанок *Carbasea nordenskjoldi* 0.024гр/кв.м и *Cystisella saccata* 0.2055гр/кв.м.

Гуков [5] при изучении донной фауны Ленской полыньи в 1985–1990гг. к северу от Оленекского залива на глубине 22,5м (T=-1,64°C, S=31,05‰, O₂=4,08, pH=7,75) и песчаном иле в биоценозе *Tridonta borealis*+*Portlandia siliqua* отметил, что в пробах (6 проб) постоянно встречались мшанки *Eucratea loricata*, *Alcyonidium disciforme*. К северо-востоку от дельты р.Лена в 130км от берега на глубине 26м и песчаном иле в биоценозе *Rhizomolgula globularis*+*Saduria sabinii* (T=-1,21°C, S=25,0‰, O₂=9,00, pH=7,70) характерным видом для биоценоза был *Alcyonidium disciforme*.

Гуков [6] указывал для донных биоценозов в проливах Новосибирских островов в береговой зоне проливов доминирование макрофитов и мшанок, с увеличением глубины преобладали моллюски и губки. В частности, у о. Котельный, в губе Нерпичьей на илистом грунте и глубине 2–3м наблюдался биоценоз *Eucratea loricata*+*Saduria sabinii*. Плотность поселения *E.loricata* 50,0±16,6экз/кв.м и биомасса 11,6±3,2 г/кв.м. С увеличением глубины до 4–5м происходила смена биоценоза, но в эпифауне заметной формой был *Alcyonidium gelatinosum*. В проливе Санникова у мыса Медвежий на глубине 5–7м был обнаружен биоценоз *Eucratea loricata* на заиленном щебне с плотностью поселения 80,0±27,0экз/кв.м и биомассой 10,2±3,6г/кв.м. В 25 км юго-восточнее мыса Медвежьего по линии разреза мыс Медвежий-мыс Хвойнова на глубине 32м на илистом грунте был обнаружен биоценоз *Eucratea loricata*. Плотность поселения в этом биоценозе у мшанки была 125,6±3,95экз/кв.м с биомассой 26,4±6,7г/кв.м. Был также отмечен *Alcyonidium disciforme*. В 10 км от м. Хвойнова (северо-восточная оконечность острова Малый Ляховский) в биоценозе *Saduria lutomon*+*S.sabinii* на глубине 18м и заиленном песке были также отмечены

мшанки. В проливе Заря на глубинах 5–6м и песчаном иле в биоценозе *Polysiphonia arctica*+*Ampharete vega* был отмечен вид *Eucratea loricata*. На глубинах 4–15м и илисто-песчаном грунте с участками заиленной гальки был обнаружен биоценоз *Laminaria solidungula*+*Musculus corrugatus*, в котором были отмечены *Eucratea loricata* и *Alcyonidium* sp. У входа в залив Стахановцев (Арктика) на глубине 6–8м и илистом грунте в биоценозе *Portlandia siliqua* в инфауне были отмечены *Eucratea loricata* и *Alcyonidium disciforme*.

В 1995 году экспедицией на судне «Polarstern» на ряде станций были сделаны количественные сборы и имеются данные о биомассах некоторых видов.

На станции 4 (78°00'6"N и 144°54'2"E) и глубине 54.0 и песчаном иле были встречены следующие виды: *Alcyonidium gelatinosum anderssoni* (N=1,00 число экз/кв.м, B=1.10 г/кв.м), *Alcyonidium mammilatum erectum* (N=1.0, B=0.081), *Arctonula arctica* (N=1.0, B=0.175), *Bugulopsis peachii* (N=3.0, B=12.076), *Callopora craticula* (N=1.0, B=0.021), *Cauloramphus intermedius* (N=1.0, B=0.004), *Cellepora* sp.nov. (N=1.0, B=0.39), *Corynopenella tenuis* (N=1.0, B=0.0005), *Crisia eburneodenticulata* (N=1.0, B=0.0005), *Diplosolen obelia arctica* (N=1.0, B=0.045), *Disporella hispida* (N=1.0, B=0.005), *Eucratea loricata* (N=3.0, B=12.446), *Flustra nordenskjoldi* (N=2.0, B=8.60), *Flustra serrulata* (N=1.0, B=2.6), *Hippoporina reticulatopunctata* (N=2.0, B=0.088), *Parasmittina jeffreysii* (N=1.0, B=0.4), *Pseudoflustra solida* (N=1.0000, B=4.8), *Scrupocellaria minor* (N= 2.0, B=2.904), *Tegella armifera* (N=1.0, B=0.122), *Terminoflustra membranaceotruncata* (N=2.0, B=5.528). Таким образом, общая биомасса всех видов мшанок на этой станции достигала значительной величины 51.39г/кв.м.

На станции 6 (78°58'73"N и 147°20'74"E) на глубине 97.0м была встречена *Pseudoflustra solida* (N=4.0, B=0.004).

На станции 7 (79°27'4"N и 148°06'7"E) и глубине 224м и глинистом грунте были найдены *Celleporina nodulosa* (N=4.0, B=0.152), *Pseudoflustra solida* (N=4.0, B=0.152), *Sarsiflustra abyssicola* (N=8.0, B=0.328), *Scrupocellaria scabra paenulata* (N=4.00, B=0.002), *Tubulipora ventricosa* (N=4.00, B=0.006) и общая биомасса была невелика 0.640г/кв.м.

На станции 8/1 (79°08'91"N и 146°21'18"E) и глубине 102.2м и глинистом грунте была отмечена только *Eucratea loricata* (N=4.0, B=0.304).

На станции 8/2 (79°08'88"N и 146°21'31"E) и глубине 100.2м и глинистом иле были встречены *Bugulopsis peachii* (N=4.0, B=0.008), *Crisia eburneodenticulata* (N=4.0, B=0.004), *Eucratea loricata* (N=8.0, B=0.04), *Flustra* sp. (N=4.0, B=0.0004), *Scrupocellaria minor* (N=4.0, B=0.008). Общая биомасса встреченных видов достигала незначительной величины и равнялась 0.0604г/кв.м.

На станции 40 (78°29'9"N и 133°49'E) и глубине 1733м на грунте глина+песок были встречены *Bugulopsis peachii* (N=4.0 B=0.002), *Eucratea loricata* (N=4.0, B=0.002), *Idmidronea* sp. (N=4.0, B=0.002), *Tubulipora* sp.nov. (N=4.0, B=0.012). Общая биомасса мшанок на этой большой глубине достигала 0.018г/кв.м.

На станции 65 (79°29'8"N и 148°13'5"E) и глубине 232.0м, на грунте заиленная глина+песок встретились *Alcyonidium gelatinosum* (N=40.0, B=0.128), *Alcyonidium radiculatum* (N=4.0, B=0.008), *Escharella macrodonta* (N=4.0, B=0.004), *Idmidronea atlantica gracillima* (N=8.0,

$V=0.032$), *Pseudoflustra birulai* ($N=12.0$, $V=0.184$). Общая биомасса их достигала 0.356г/кв.м .

На станции 71 ($78^{\circ}20'9''\text{N}$ и $135^{\circ}10'8''\text{E}$) и глубине 534м, на заиленной глине были обнаружены *Alcyonidium mammilatum erectum* ($N=4.0$, $V=0.008$), *Celleporina nodulosa* ($N=4.0$, $V=0.0004$), *Idmidronea atlantica gracillima* ($N=20.0$, $V=0.112$), *Kinetoskias mitsukurii* ($N=4.0$, $V=0.004$), *Notoplites normani* ($N=4.0$, $V=0.032$), *Pseudoflustra birulai* ($N=4.0$, $V=0.008$). Общая биомасса мшанок достигала 0.16440г/кв.м .

На станции 72 ($78^{\circ}19'57''\text{N}$ и $135^{\circ}23'14''\text{E}$) и глубине 214м, на грунте заиленный песок+глина встречались *Alcyonidium radicellatum* ($N=16.0$, $V=0.056$), *Callopora craticula* ($N=4.0$, $V=0.0004$), *Cellepora nodulosa* ($N=4.0$, $V=0.208$), *Sarsiflustra abyssicola* ($N=4.0$, $V=0.016$), *Tubulipora*

nordgaardii ($N=8.0$, $V=0.048$). Общая биомасса была равна 0.328г/кв.м .

На станции 81 ($78.40.7\text{N}$ и $112.40.2\text{E}$), на глубине 535м и грунте заиленный песок было встречено также несколько видов *Cellepora nodulosa* ($N=4.0$, $V=0.032$), *Escharoides bidenkapi* ($N=8.0$, $V=0.34$), *Idmidronea atlantica aff.gracillima* ($N=4.0$, $V=0.06$), *Notoplites normani* ($N=8.0$, $V=0.092$), *Pseudoflustra sinuosa* ($N=4.0$, $V=0.012$), *Sarsiflustra abyssicola* ($N=8.0$, $V=0.674$), *Porella sp.nov.* ($N=4.0$, $V=0.024$), *Pseudoflustra solida* ($N=4.0$, $V=0.04$) с общей биомассой 1.274 г/кв.м .

На станции 84 ($77.53.5\text{N}$ и $13.45.4\text{E}$) на глубине 101.0м и грунте заиленный песок+глина была отмечена *Parasmittina trispinosa* ($N=4.0$, $V=1.2$).

Гуков [1999] в исследовании «Экосистема Новосибирской полыньи»

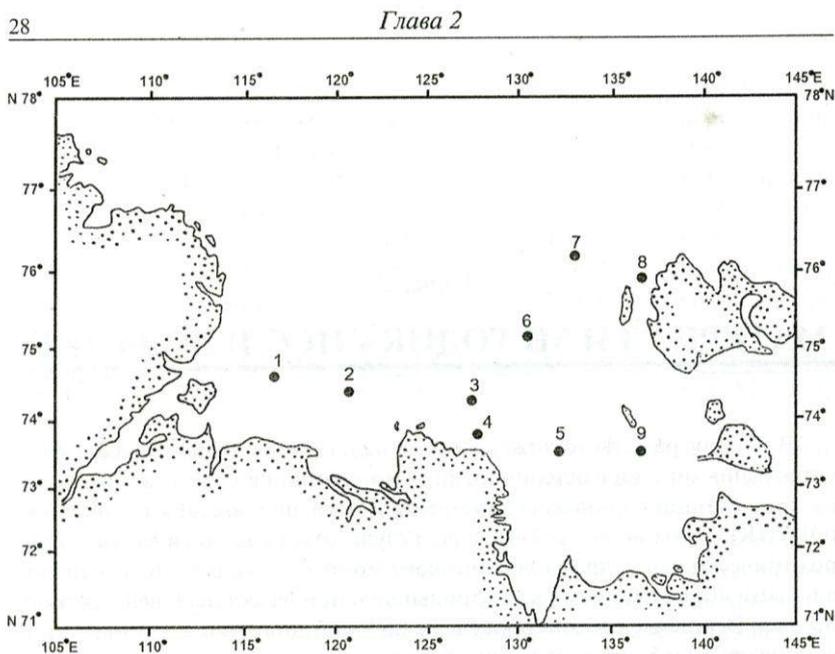


Рис.2.1. Расположение станций экологического мониторинга в районе Сибирской полыньи

Рис.2.2. Ландшафт заприпайной полыньи с борта самолета

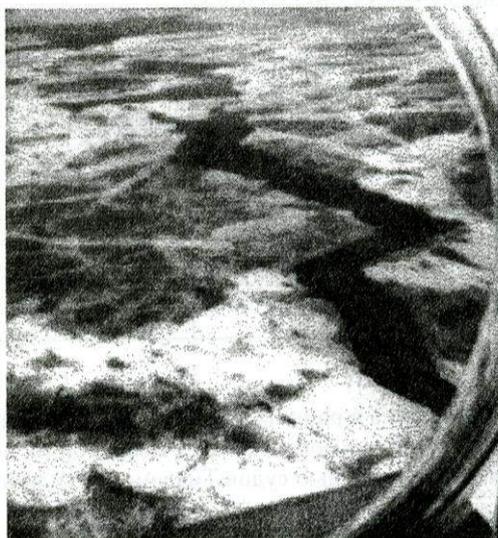


Рис.2. Карта станций экологического мониторинга в районе Сибирской полыньи [по Гуков, 1999]

указывал на присутствие мшанок почти на всех станциях (рис.2) (исключение ст.2), в их числе два вида, обладающие в море Лаптевых широким распространением *Eucratea loricata* и *Alcyonidium disciforme*.

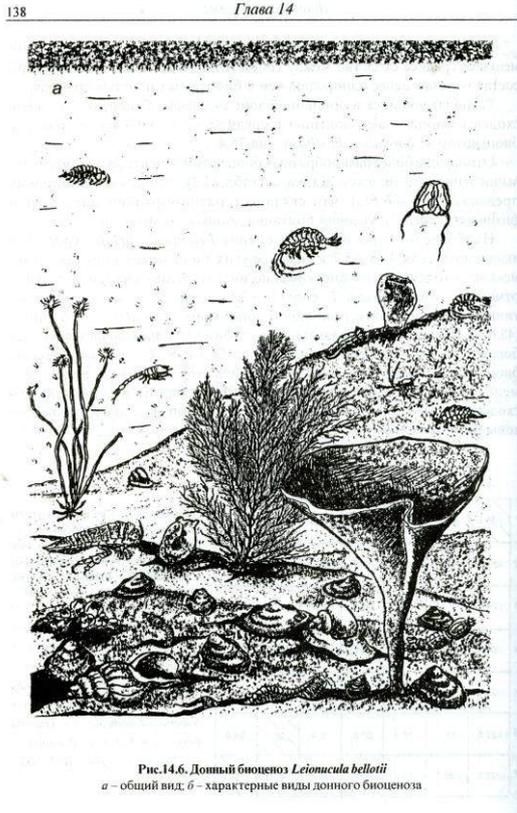
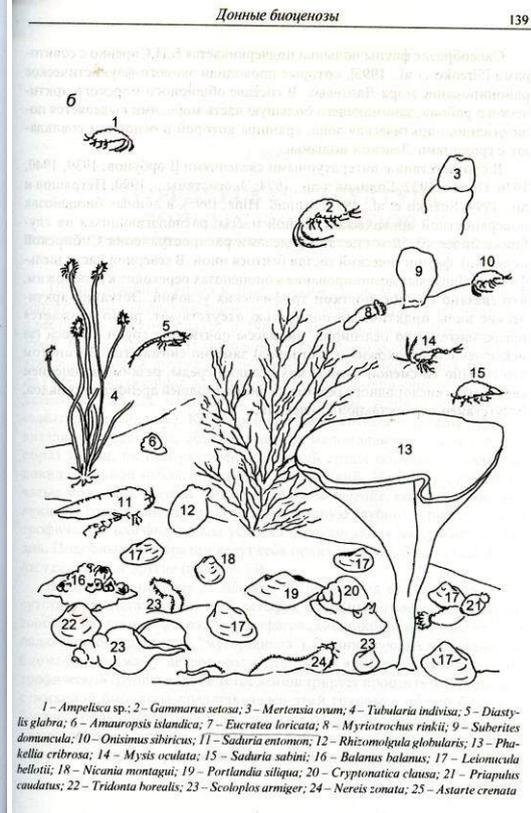


Рис.14.6. Донный биоценоз *Leionuncula bellotii*
а – общий вид; б – характерные виды донного биоценоза



1 – *Ampelisca* sp.; 2 – *Gammarus setosa*; 3 – *Mertensia ovum*; 4 – *Tubularia indivisa*; 5 – *Dia-stylis glabra*; 6 – *Amauropsis islandica*; 7 – *Eucratea loricata*; 8 – *Myriotrochus rinkii*; 9 – *Suberites domuncula*; 10 – *Oniscus sibiricus*; 11 – *Saduria entomon*; 12 – *Rhizomolgula globularis*; 13 – *Pha-kellia cribrata*; 14 – *Mysis oculata*; 15 – *Saduria sabini*; 16 – *Balanus balanus*; 17 – *Leionuncula bellotii*; 18 – *Nicania montagu*; 19 – *Portlandia siliqua*; 20 – *Cryptonatica clausa*; 21 – *Priapulus caudatus*; 22 – *Tridonta borealis*; 23 – *Scoloplos armiger*; 24 – *Nereis zonata*; 25 – *Astarte crenata*

Рис.3. Биоценоз *Leionuncula tenuis* [по Гуков, 1999]

Биоценоз *Leionuncula tenuis* (*beliotii*), на ст. 3,6 на песчанистом илу и на ст.7 на илистом грунте на глубинах от 22,5 до 24,5м имел наиболее богатый видовой состав. В эпифауне были отмечены мшанки *Eucratea loricata* (плотность поселения 20экз/кв.м, биомасса 1,2г/кв.м), *Alcyonidium disciforme* (плотность поселения 40экз/кв.м, биомасса 0,7г/кв.м), *Escharella ventricosa* (10 экз/кв.м, 0,08г/кв.м), *Myriapora subgracilis* (20экз/кв.м, 0,03г/кв.м) (см. рис.3).

Eucratea loricata (плотность поселения 20экз/кв.м, биомасса 2,3г/кв.м) была встречена на ст.1 в биоценозе *Portlandia siliqua*+*Tridonta borealis* на илистом песке и глубине 18,7м.

В биоценозе *Rhizomolgula globularis*+*Saduria sabini* на песчанистом илу и глубине 26,2м на ст.4 были отмечены мшанки *Eucratea loricata* (плотность поселения 70экз/кв.м, биомасса 0,3г/кв.м), *Alcyonidium disciforme* (плотность поселения 70экз/кв.м, биомасса 1,3г/кв.м).

5 видов мшанок (без точного определения) были встречены на ст.5 в биоценозе *Nephtys longosetosa* +*Suberites domuncula* на песчанистом илу и глубине 26,4м.

На ст.8 на глубине 25,4м и илистом грунте в составе биоценоза *Tridonta borealis*+*Suberites domuncula* были отмечены мшанки *Eucratea loricata* (плотность поселения 70экз/кв.м, биомасса 0,3г/кв.м), *Alcyonidium disciforme* (плотность поселения 70экз/кв.м, биомасса 1,3г/кв.м).

В составе донного биоценоза *Saduria sibirica*+*Saduria sabini* на ст.9 в припайной зоне на глубине 25,0м и глинистом илу был обнаружен вид *Eucratea loricata* (плотность поселения 20 экз/кв.м, биомасса 0,1г/кв.м).

Литература

1. Абрикосов Г.Г. К фауне мшанок (Bryozoa) моря Лаптевых. // Исследования фауны морей, 15. Издание

Государственный Гидрологический институт: Ленинград. –1932. –С. 142–146

2. Гонтарь В.И. Мшанки (Bryozoa) моря Лаптевых и Новосибирского мелководья. Экосистемы Новосибирского мелководья и фауна моря Лаптевых и сопредельных вод. //Исследования фауны морей, 37(45). –Ленинград: «Наука», 1990. –С.130–138.

3. Гонтарь В.И. Тип Bryozoa. List of species of free-living invertebrates of eurasian Arctic seas and adjacent deep waters.// Sirenko V.I. (Ed.).–St.Petersburg.:Изд-во ЗИН РАН, 2001. – 115–121С.

4. Гонтарь В.И. Bryozoa. Фауна и экосистемы моря Лаптевых и сопредельных глубоководных участков Арктического бассейна Часть 1 и 2. //Исследования фауны морей, 54(62). – Санкт-Петербург:ЗИН РАН, 2004. –С.63–64, 151–156.

5. Гуков А.Ю. Донная фауна в районе Ленской долины. //Научные результаты экспедиции ЛАПЭКС–93. Ред. Л.А.Тимохова.–ААНИИ. Гидрометеиздат:Санкт-Петербург,1994а. –С.311–318.

6. Гуков А.Ю. Распределение донных биоценозов в проливах Новосибирских островов. //Научные результаты экспедиции ЛАПЭКС–93. Ред. Л.А.Тимохова. ААНИИ. Гидрометеиздат:Санкт-Петербург, 1994б. – С.319–325.

7. Гуков А.Ю. Экосистема Сибирской долины.// М.:Научный Мир, 1999. –334С.

8. Клюге Г.А. (Kluge H.). Die Bryozoen des Sibirischen Eismees.// Работы Мурманской биологической станции, III.–Издание Мурманской Биологической станции, Ленинград, 1929. –33С.

9. Клюге Г.А. Мшанки северных морей СССР.// М.–Л.:Изд-во АН СССР, 1962. –578 С.

10. Петряшев В.В, Сиренко Б.И., Рахор А., Хинц К. Распределение макробентоса в море Лаптевых по материалам экспедиций на г/с «Иван Киреев» и л/к «Polarstern» в 1993г. //Научные результаты экспедиции ЛАПЭК-93. Ред. Л.А.Тимохова. ААНИИИ. Гидрометеоиздат:Санкт–Петербург,1994. – С.319–325.
11. Петряшев В. В. [и др.] Макробентос шельфа моря Лаптевых // Фауна и экосистемы моря Лаптевых и сопредельных глубоководных участков Арктического бассейна. СПб., 2004. –Ч. 1. –С.9–27.
12. Смирнов А.В. Исторический очерк биологических исследований, проводившихся Арктическим и антарктическим научно-исследовательским институтом//Проблемы Арктики и Антарктики. – 2003. – Вып. 73. –С. 208–215.
13. Kluge H. Ecology and distribution of Bryozoa in the Barents Sea and in the Siberian seas.LULU Inc.:Санкт-Петербург, 2009. –216С.
14. Gontar V.I. and Denisenko N.V. Arctic Ocean Bryozoa. //The Arctic Seas. Climatology, oceanography, geology and biology. Y. Hermann (Ed.). New York:Van Nostrad Reinhold Company, 1989. –341–371 P.
15. Gontar V.I. Bryozoa collected by the «Polarstern» expedition in 1991 and 1993.// Zoosystematica Rossica, 1996.–4(1). –P.45–47.
16. Nordgaard O. BRYOZOA. In: The Norwegian North Polar Expedition with the «Maud» 1918–1925. //Scientific Results. –Vol. V –No.10. (Meddelelser fra Det Zoologiske Museum, Oslo, No.19?). Bergen, 1929. –Pp.3–12.
17. Nordgaard O. Bryozoa. In:The Norwegian North Polar expedition with the «Maud» 1918–1925. //Scientific Results. (Bergen: A.S.John Griegs Bokhtrykkeri, 1929), 1929. –Vol.V. –No.10. –12 P.
18. Stuxberg A. Die Evertebratt Fauna des Sibirisches Eismeers. Vorläufige Mittheilungen. In:Die Wissenschaftlichen Ergebnisse der Vega-Expedition.// Erster Band. Leipzig, 1883.– P. 481–600.
19. Stuxberg A. Die evertebraten-fauna des Sibirischen Eismeeres. In: Die Wissenschaftlichen Ergebnisse der Vega-Expedition. Leipzig:Brockhaus, 1883. –481–600p.

БИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОКУНЕВЫХ РЫБ МАЛОГО КЫЗЫЛАГАЧСКОГО ЗАЛИВА ЮЖНОГО КАСПИЯ

Ибрагимов Шаиг Рагим

*доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией ихтиологии, Институт зоологии
Национальной Академии Наук Азербайджана, г. Баку*

Таиров Эмин Хафиз

Диссертант, Институт зоологии Национальной Академии Наук Азербайджана, г. Баку

BIO-ECOLOGICAL FEATURES OF PERCIDS OF THE SMALL KYZYLAGACH BAY OF SOUTHERN CASPIAN

Ibrahimov Shaig Rehim, Doctor of biological sciences, professor, Head of laboratory of ichthyology, Institute of Zoology of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku

Tahirov Emin Hafiz oglu, Postgraduate student, Institute of Zoology of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku
АННОТАЦИЯ

До исследований, проведенных автором, данные по биоэкологическим показателям окуневых рыб Малого Кызылагачского залива Южного Каспия были весьма скудными и во многом устаревшими. В 2009-2011 гг. в этом водоеме отловлены 97 экз. полупроходного судака и 563 экз. туводного окуня, которые были исследованы ихтиологическими методами. Определены длина и масса тела, упитанность различных возрастных групп, спектр питания. Учитывая многочисленность окуня в заливе, предлагается проводить его избирательный отлов во все сезоны года.

ABSTRACT

Prior to research of the author the data on bio-ecological indicators of perch fishes of the Small Kyzylagach Bay of South Caspian were very scarce and largely obsolete. In 2009-2011 in this reservoir 97 specimens of semi-migratory pike and 563 specimens of non-migratory perch were caught and studied by ichthyological methods. The length and weigh of body, fatness of different age groups, feeding were identified. Given the large number of perch in the bay, the fishing of this species all the year is proposed.

Ключевые слова: Каспийское море; рыба; судак; окунь.

Keywords: the Caspian Sea; fish; pike; perch.

Малый Кызылагачский залив расположен в западной части Южного Каспия примерно на 15 км севернее г. Ленкорань. Длина этого водоема 16,7 км, ширина 6,5 км, площадь 150 км², максимальная глубина более 2,5 м. Сюда впадают реки Гумбашинка и Виляшчай, благодаря чему вода в нем пресная. Залив отгорожен от открытой части моря дамбой, связь с морем – только через каналы.

Из высших растений здесь преобладает тростник, в составе зоопланктоне 65, а бентоса 28 видов. В период проведенных нами исследований здесь отмечен 31 вид рыб, среди которых есть несколько полупроходных форм, заходящих сюда из моря на нерест. Несмотря на значительное рыбохозяйственное значение Малого Кызылагача, до

наших исследований все, причем довольно скудные, данные по рыбам этого водоема приходились на 50-е [1] и 80-е [2] годы прошлого столетия.

2009-2011 годах во время сбора материала по ихтиофауне Малого Кызылагачского залива вместе с другими рыбами нами были отловлены также 97 экз. судака и 563 экз. окуня. При этом использовались ставные сети с размерами ячей 32 x 32 и 40x40 мм, а также откидные невода с размерами ячей 12 x 12 мм. Все рыбы были исследованы общепринятыми ихтиологическими методами [4, 5], установлены их биологические показатели. Полученные результаты были подвергнуты вариационно-статистической обработке [3]. Ниже приводятся биоэкологические данные исследованных нами судака и окуня.

Речной судак - *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758) широко распространен в бассейне Каспийского моря, где он образует как жилые, так и полупроходные популяции. В Малом Кызылагачском заливе встречается только полупроходной судак, заходящий сюда из открытого моря в период нереста.

Среди исследованных нами судаков возраст самой маломерной особи был 2 года, а самой крупной – 5 лет. С возрастом биологические показатели изменялись следующим образом: общая длина тела у двухлеток колебалась в пределах 27,9-31,2 см, будучи в среднем 28,9±0,46 см; у трехлеток соответственно 29,8-41,3 см и 33,7±0,51 см; у четырехлеток 39,8-44,3 см и 41,3±0,57 см; у пятилеток 42,4-51,2 см и 46,8±0,72 см. Стандартная длина тела у двухлеток колебалась в пределах 25,4-27,8 см, будучи в среднем 26,1±0,57 см; у трехлеток соответственно 26,4-36,6 см и 30,4±0,72 см; у четырехлеток 35,7-39,7 см и 36,8±0,83 см; у пятилеток 38,8-46,3 см и 42,9±0,86 см. Общая масса тела у двухлеток колебалась в пределах 278,0-387,0 г, будучи в среднем 314,7±46,2 г; у трехлеток соответственно 397,0-562,0 г и 452,7±60,3 г; у четырехлеток 527,0-997,0 г и 681,7±64,3 г; у пятилеток 943,0-1832,0 г и 1157,3±98,4 г. Масса тела без внутренностей у двухлеток колебалась в пределах 246,0-339,0 г, будучи в среднем 274,6±27,3 г; у трехлеток соответственно 347,0-497,0 г и 379,4±32,9 г; у четырехлеток 463,0-843,0 г и 589,6±52,7 г; у пятилеток 824,0-1583,0 г и 996,4±86,7 г. Коэффициент упитанности по Фультону у двухлеток колебался в пределах 1,13-2,54, будучи в среднем 1,49±0,06; у трехлеток соответственно 1,16-2,49 и 1,50±0,04; у четырехлеток 1,19-2,65 и 1,52±0,05; у пятилеток 1,21-2,68 и 1,53±0,07. Коэффициент упитанности по Кларку у двухлеток колебался в пределах 0,99-2,32, будучи в среднем 1,37±0,04; у трехлеток соответственно 1,01-2,31 и 1,39±0,07; у четырехлеток 1,03-2,43 и 1,40±0,06; у пятилеток 0,98-2,42 и 1,36±0,05.

В показателях длины и массы тела самцов и самок исследованных рыб не были отмечены значительные различия. Упитанность во Фультону у самок в среднем была немного (на 0,06) выше, чем у самцов. В целом у обоих полов судака упитанность по Фультону была наиболее высокой к концу зимы и началу весны, перед нерестом. Конечно, основной причиной этого является созревание половых желез к этому времени. После икрометания коэффициент упитанности резко падает.

С возрастом коэффициент упитанности снижается. Так, у рыб возраста 4-5 лет он бывает наиболее высоким, а у двухлеток – самым низким. Основной причиной этого является то, что у младших групп более интенсивен ли-

нейный, а у старших групп весовой рост. Последнее с переходом на питание хищника на более крупный пищевой объект.

В Малом Кызылагачском заливе молодь судака до года питается мизидами и циклопами. По данным литературы после этого он переходит на питание молодью таких рыб, как вобла, сазан, красноперка, лещ и др. [2]. В связи с тем, что обследованные нами особи судака, будучи полупроходными, заходили в залив только для нереста, в их желудках нами обнаружено небольшое количество остатков молоди воблы, шемаи, и морских рыб атерины и килек.

Речной окузь – *Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758 широко распространен в низинных пресноводных водоемах бассейна Каспийского моря, образуя там жилые популяции. По нашим наблюдениям эта рыба весьма многочисленна в Малом Кызылагачском заливе. Возраст исследованных нами рыб колебалась в пределах 2-5 лет, при этом преобладали двух- и трехлетки.

Биологические показатели различных возрастных групп были следующие. Общая длина тела у двухлеток колебалась в пределах 16,7-25,7 см, будучи в среднем 20,8±0,47 см; у трехлеток соответственно 24,5-30,1 см и 25,7±0,74 см; у четырехлеток 28,7-35,7 см и 31,6±0,59 см; у пятилеток 34,3-39,7 см и 36,8±0,73 см. Стандартная длина тела у двухлеток колебалась в пределах 14,5-22,1 см, будучи в среднем 17,9±0,38 см; у трехлеток соответственно 21,1-25,9 см и 23,4±0,72 см; у четырехлеток 24,2-31,1 см и 27,8±0,64 см; у пятилеток 30,2-34,5 см и 32,6±0,49 см. Общая масса тела у двухлеток колебалась в пределах 71,0-178,7 г, будучи в среднем 139,7±11,7 г; у трехлеток соответственно 146,3-335,7 г и 247,6±19,8 г; у четырехлеток 286,4-657,9 г и 427,6±31,7 г; у пятилеток 598,9-945,4 г и 719,7±54,7 г. Масса тела без внутренностей у двухлеток колебалась в пределах 58,7-137,9 г, будучи в среднем 97,3±7,86 г; у трехлеток соответственно 129,3-275,4 г и 197,8±18,1; у четырехлеток 246,4-563,5 г и 356,9±28,9 г; у пятилеток 489,2-787,6 г и 592,4±49,7 г. Коэффициент упитанности по Фультону у двухлеток колебался в пределах 1,23-2,73, будучи в среднем 2,38±0,08; у трехлеток соответственно 1,17-2,59 и 2,35±0,06; у четырехлеток 1,19-2,68 и 2,34±0,09; у пятилеток 1,19-2,70 и 2,37±0,10. Коэффициент упитанности по Кларку у двухлеток колебался в пределах 1,13-2,51, будучи в среднем 2,15±0,10; у трехлеток соответственно 1,06-2,41 и 2,12±0,08; у четырехлеток 1,07-2,54 и 2,14±0,07; у пятилеток 1,06-2,48 и 2,11±0,09. Масса тела и упитанность рыб, исследованных до и во время нереста, были заметно выше таковых после него. Это связано с тем, что зрелые половые продукты составляют значительное место в массе тела рыб.

По нашим наблюдениям окузь обитает в Малом Кызылагачском заливе, достигает половой зрелости в 2 года и нерестится одновременно в марте-апреле, когда температура воды достигает 7-10°C. Плодовитость самок колебалась в пределах 22,8-178,4 тыс. икринок, равняясь в среднем 87,5±12,7 икринок. Диаметр зрелых икринок составляет 2,1-2,4 мм. В период с июня по сентябрь мы обследовали 83 экз. молоди этой рыбы. Длина тела мальков была 3,7-6,3 см, а масса 2,8-8,3 г.

Молодь окуня, обитающего в водоемах Азербайджана, вначале жизни питается водными беспозвоночными и икрой других рыб. Достигнув годовалого возраста,

эта рыба переходит к ихтиофагии [1]. В желудках обследованных нами рыб были обнаружены остатки быстрянок и уклек, а также молоди красноперки и карася.

Судак и окунь, будучи хищниками, играют важную роль в регуляции численности популяций других рыб. Питаясь в основном сорными рыбами, они способствуют снижению напряженности их пищевой конкуренции и промысловыми видами рыб. С другой стороны, чрезмерное увеличение численности ихтиофагов неминуемо приводит к тому, что в их пищевом спектре все большее место занимает молодь промысловых рыб. Для предотвращения этого нежелательного результата и учитывая многочисленность окуня в заливе, следует проводить избирательный отлов этой рыбы во все сезоны года. Для этого целесообразно использовать лов откидными сетями и

удочкой в местах наибольшего скопления этой рыбы, для ловли крупных особей можно использовать спиннинг.

Литература

1. Абдурахманов Ю. А. Рыбы пресных вод Азербайджана. Баку: Элм, 1962, 405 с.
2. Кулиев З.М. Карповые и окуневые рыбы Южного и Среднего Каспия. Баку, 2002, 215 с.
3. Плохинский Н.А. Математические методы в биологии. М.: Изд-во МГУ, 1978, 264 с.
4. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищепромиздат, 1966, 376 с.
5. Чугунова Н.И. Руководство по изучению возраста и роста рыб. М.: Изд-во АН СССР, 1958, 164 с.

ПОКАТНАЯ МИГРАЦИЯ ОМУЛЯ РЕКИ ЛЕНА

Карлов В. М.

Государственный Природный Заповедник Усть-Ленский, Республика Саха(Якутия), п.Тикси

АННОТАЦИЯ

Промысел отнерестившегося омуля был начат ещё в XIX веке в районе посёлка Кюсюр, что в 325 километрах от устья реки Лена. Необходимость лова была обусловлена отсутствием в зимнее время достаточного питания и корма для собак, хотя пищевая ценность мяса покатной рыбы значительно уступает нагульной. В настоящее время уловы покатного омуля резко сократились ввиду ограниченных квот вылова этого вида сиговых. С точки зрения науки, это можно только приветствовать. Мониторингом ската омуля и ряпушки до 1996 года практически никто не занимался из-за недостаточного количества ихтиологов. Последние наблюдения за пассивным скатом омуля на реке Лена проводились в 60-х годах и сводились к линейным промерам и проценту встречаемости. Сегодня этот пробел восполняется автором.

ABSTRACT

The craft of spawned arctic cisco has been started still in XIX century in area of settlement Kjusjur, that is located in 325 kilometers from a mouth of the Lena river. Necessity of fishing has been caused by absence during winter time of sufficient feed and a forage for dogs though food value of downstream fish considerably concedes feeding fish. Now catch of downstream arctic cisco were abruptly reduced in view of the limited catch quotas for this kind of whitefish.

From the point of view of a science, it can be welcomed only. Practically nobody was engaged in monitoring of a slope of arctic cisco and humpback whitefish till 1996 because of insufficient quantity of ichthyologists. Last supervision over a passive slope of arctic cisco on the Lena river were carried out in 60th years and reduced to linear measurements and calculation of percent occurrence. Today this blank is filled with the author.

Ежегодные уловы в 1975-2007 годах, согласно статистике, колебались от 70 до 250 тонн. Большое влияние на величину уловов оказывает факт ледообразования и его сроки. Сильное торошение льда на местах лова не даёт возможности рыбакам установить сети на фарватере, где наблюдается максимальная плотность пассивного ската, поэтому рыбаки ищут «окна» или поляны, где лишь бы поставить сеть, а это искажает картину ската. Зная сроки ската, можно рассчитать расстояния до нерестилищ, о которых никто ничего не знает, так как в силу пластичности вида, его способности осваивать разнообразные водные площади, найти нерестилища очень сложно, тем более, что места нереста растянуты на расстояние около 2500 км по реке Лена. В этих районах отмечены десятки случаев поимки гибридных форм омуля с нельмой, поскольку часть нерестовых площадей у них совпадает. Это первый признак неблагополучия популяций омуля и нельмы. Не выяснено, когда начинается скат омуля с нерестилищ, а это особи первого подъёма. Установлено

что часть популяции омуля нерестится в протоках дельты и отнерестившиеся рыбы встречаются на морской границе дельты в начале октября, ещё по открытой воде, в уловах рыбаков артели «Арктика» ежегодно. Объёмы вылова омуля при пассивном скате составляют 25% от суммарного улова на местах нагула и местах преднерестового хода, поэтому хотя бы частичный запрет или значительное снижение квот вылова окажет благотворное влияние на устойчивость популяции вида.

Покатной лов, в соответствии Правилам рыболовства Якутии, проводится ставными сетями с ячейей 55 мм и, в основном, на фарватере реки, где наблюдается максимальная плотность ската на глубинах 8-14 метров, хотя в контрольных сетях у берега омуль тоже отмечен. Мы имеем дело с несколькими образованиями (стаи, группы, косяки и т.п., возможно, популяции или субпопуляции), которые в период миграции на нерест разделены по времени начала хода. Так, первые особи начинают подъём уже в конце июня, пики (а их два), наблюдаются в первой

половине июля и во второй декаде августа. Ещё один подъём омуля отмечен в первой половине сентября, но не каждый год. Структурный состав подъёмных стад практически одинаков, это подтверждают неводные уловы. Число генераций 7-8, а в период ската только 4-5, это объясняется селективностью орудий лова, поэтому мы можем сравнивать весо-ростовые данные подъёмного и покатного омуля только 4-5 генераций без учёта конкретных периодов подъёма и вида орудий лова. Специальных исследований на промысле плавными сетями ячеей 55 мм не проводилось. Вычислена скорость подъёма омуля и его пассивного ската. Это 20 и 72 км в сутки соответственно, что и даёт возможность приближённо определить часть нерестовых площадей, на которых необходимо организовать наблюдения. По имеющимся материалам по скату омуля, можно сделать некоторые выводы. Несмотря на совпадение сроков полового созревания индигирского, колымского и ленского омулей, размерный состав половозрелых ленских стад заметно крупнее, чем омулей Восточной Якутии. В силу иммунофизиологических особенностей, молодь омуля «запоминает» органические особенности воды на всём пути ската. Первые ко-

сяки, идущие на нерест, более крупные, это зависит от отбирающего фактора течения, так как во второй декаде июня в низовьях Лены вода высокая и, соответственно, течение сильное. Скорость ската больше, чем скорость подъёма, из-за сильного течения при падении уровня воды подо льдом. Согласно эюграмм скоростей течения, максимум приходится на середину потока по глубине, а это около 5-8 метров, в зависимости от рельефа глубин. В летний же период, по данным эюграмм, максимальная плотность хода стай омуля отмечена на глубинах 8 и более метров, то есть ближе ко дну, где скорость течения меньше. Но это не означает, что рыба должна плыть быстрее, чем в период ската. Это связано с эволюцией и энергетикой вида. При меньших скоростях хода сохраняется больше энергетических ресурсов, необходимых для развития половых продуктов, которые созревают в процессе всего пути. Период ската достаточно прогнозируем. Определены сроки начала, пика и окончания ската и их размах во времени. Так, начало ската колеблется от 25 сентября до 2 ноября, пик от 26 октября до 15 ноября и окончание – от 6 ноября до 15 декабря, хотя отмечены особи и в феврале следующего года.

Таблица 1

Линейно-весовые и возрастные характеристики покатного омуля в 2006 году, участок Соболев, период 27.10 -6.11

Длина по Смитту, см	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
самки, 146 экз.	12	23	35	28	13	15	3	11	1	2	1	1	1
самцы, 67 экз.	8	17	19	8	3	5	-	2	1	1	1	1	1
всего оба пола, экз.	20	40	54	36	16	20	3	13	2	3	2	2	2
% встреч оба пола	9.4	18.8	25.4	16.9	6.1	9.4	1.4	6.1	0.9	1.4	0.9	0.9	0.9
возраст, лет на 01.11	8+	8+	9+	9+	9+	10+	10+	10+	11+	11+	12+	12+	14+
средняя навеска, г	850	880	1050	1070	1100	1130	1150	1250	1250	1320	1400	1450	1370

Таблица 2

Динамика ската омуля 1996-2012 гг.

участок промысла на р.Лена	год	рас. ст. от устья, км	кол. сетей шт.	улов шт.	вес улова кг	средняя навеска грамм	число генераций	начало ската дата	пик ската дата	оконч. ската дата	период ската суток	характер ската	условия ската	улов на 1 ставн. сеть/сут. штук
Соболев	1996	145	20	5775	6930	1200	4	26.10	30.10	17.11	22	норма	норма	13
Соболев	1997	145	18	2223	2668	1200	5	31.10	3.11	16.11	17	норма	дружный	7
Соболев	2001	145	18	4224	5111	1210	4	19.10	26.10	12.11	24	норма	норма	10
Соболев	2002	145	18	3202	3842	1200	4	18.10	29.10	17.11	30	норма	норма	6
Соболев	2003	145	18	70	85.4	1220	3	26.10	31.10	10.11	15	дружный	8 суток пурга	0-1
Соболев	2006	145	18	850	1020	1200	4	27.10	1.11	6.11	10	дружный	5 суток пурга	5
Соболев	2007	145	18	4075	4931	1210	4	29.10	5.11	17.11	19	дружный	норма	12
Тит-Ары	2007	157	15	3115	3769	1210	4	30.09	15.11	15.12	45	растянут	ранний	5
Тит-Ары	2008	157	15	4361	5233	1200	4	25.09	15.11	15.12	50	растянут	ранний	6
Тас-Ары	2008	180	18	2140	2568	1200	4	29.10	9.11	16.11	18	дружный	норма	7
Тит-Ары	2009	157	15	2662	3194	1200	4	2.11	6.11	16.11	14	дружный	норма	13
Тит-Ары	2010	157	15	4410	5336	1210	4	23.10	1.11	12.11	20	норма	норма	15
Тит-Ары	2011	159	8	2091	2050	980	5	28.10	4.11	10.11	15	норма	норма	17
Тит-Ары	2012	157	3	2234	2116	947	3	28.10	4.11	29.11	32	норма	норма	23

Половое соотношение самок к самцам 2:1 (при подходе к нерестилищам 2:1.5). Похоже, что часть рыб после нереста погибает, при этом самок больше). Такое бывает у проходных лососей. Тела рыб прогонистые, мясо твёрдое, заражённость микроспоридиезом (финноз) около 12%. Одновременно в сетях наблюдается в массе подъёмные полупроходная, речная и дельтовая (больше-ротая) формы муксуна, преднерестовый чир, нагульный осётр (в основе неполовозрелые особи), налим, сиг-пыжьян. Таймень и нельма встречаются единично.

Выводы

Подъёмные образования омуля условно разделены на три периода. Ранний, в июне-начале июля, поднимается вверх на 2- 2.5 тысячи км. Июльский омуль нерестится в 1000-1200 км по правому берегу реки Лена. Осенняя популяция вида поднимается на 500-800 км. Пассивный скат омуля дружный, период ската не более 2-3 недель по фарватеру. Уже в середине октября наблюдается смешивание нагульного и скатившегося омуля в местах нагула в восточной части дельты реки Лена. После-нерестовый скат омуля сильно растянут по времени. Мы имеем дело с осенней нерестовой популяцией, т.к. первые скопления просто не могут быть в исследуемом районе по времени. Осенняя популяция состоит из рыб старших возрастных групп. Когда скатываются рыбы первых двух подъёмов – пока не выяснено.

The craft of spawned arctic cisco has been started still in XIX century in area of settlement Kjusjur, that is located in 325 kilometers from a mouth of the Lena river. Necessity of fishing has been caused by absence during winter time of

sufficient feed and a forage for dogs though food value of downstream fish considerably concedes feeding fish. Now catch of downstream arctic cisco were abruptly reduced in view of the limited catch quotas for this kind of whitefish.

From the point of view of a science, it can be welcomed only. Practically nobody was engaged in monitoring of a slope of arctic cisco and humpback whitefish till 1996 because of insufficient quantity of ichthyologists. Last supervision over a passive slope of arctic cisco on the Lena river were carried out in 60th years and reduced to linear measurements and calculation of percent occurrence. Today this blank is filled with the author.

Литература и материалы

1. Берг Л.С. Промысловые рыбы СССР ВНИРО, ПИЩЕПРОМИЗДАТ, 1949, 774 стр.
2. Кириллов Ф.Н. Рыбы Якутии. М.: Наука, 1972. 360 с.
3. Моисеев П.А. и др. ИХТИОЛОГИЯ. М. Лёгкая и пищевая промышленность, 1981. – 384 с.
4. Отчёты ихтиологов Якутрыбвода за 1965-1980 гг.
5. Отчёты ихтиологов Минохраны природы за 1993-2000 гг., ст.ихтиолог В.М.Карлов
6. Отчёты научного отдела ФГУ ГПЗ Усть-Ленский за 1996-2012 гг.с, н.с. В.М. Карлов
7. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб // М.: Пищепромиздат, 1966. с. 376
8. Решетников Ю.С. Атлас пресноводных рыб России в 2т. М.: Наука, 2003.- 379 с.: ил.
9. Чугунова Н.И. Руководство по изучению возраста и роста рыб. М.: АН СССР, 1959. 162 с.

АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА STEVIA REBAUDIANA (BERTONI) HEMSL., ВЫРАЩЕННОЙ В УСЛОВИЯХ ЦЧР

Колесникова Елена Олеговна

кандидат биол. Наук, Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свёклы и сахара им.

А.Л. Мазлумова, Рамонь

Галдина Татьяна Евгеньевна

кандидат с.-х. наук, доцент, Воронежская Государственная Лесотехническая Академия, Воронеж

ANALYSIS OF CHEMICAL COMPOSITION OF STEVIA REBAUDIANA (BERTONI) HEMSL., GROWN UNDER CONDITIONS OF THE CENTRAL BLACK-EARTH REGION

Kolesnokova Elena, Candidate of Biological Science The A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar, Ramon

Galdina Tatyana, Candidate of Agricultural Science, associate professor, The Voronezh State Forestry Engineeringacademy, Voronezh

АННОТАЦИЯ

Целью работы явилось определение особенностей химического состава листьев стевии, выращенной в ЦЧР. В исследованиях применялись методы жидкостной хроматографии и амперометрического детектирования. Выявлено количественное содержание гликозидов, стевииозида, ребаудиозидов А и С, содержание антиоксидантов, дубильных веществ и зольность. Полученные результаты подтверждают пищевую ценность стевии и определяют перспективность её использования.

Ключевые слова: стевия; подсластитель; гликозиды; стевииозид; антиоксидантная активность.

ABSTRACT

Aim of the work is to determine chemical composition peculiarities of stevia leaves grown in The Central Black-Earth Region. In the investigations, methods of liquid chromatography and amperometric detection have been used. Quantitative content of glycosides, stevioside, A and C rebaudiosides as well as antioxidant and tanning material and ash content have been determined. The obtained results confirm food value of stevia and show promises of its use.

Key words: stevia; sweetener; glycosides; stevioside; antioxidant activity.

Введение. В наше время возрастают нагрузки на организм человека, снижая его адаптационный потенциал. Вследствие чего постоянно увеличивается число больных сахарным диабетом, ожирением и другими формами нарушения обмена веществ. Возросший спрос на продукты питания с оздоровительным эффектом акцентируется на перспективном растении с антидиабетическим действием *Stevia rebaudiana* Bertoni – эндемике плоскогорий Северо-восточного Парагвая у границы с Бразилией [10]. Стевия — многолетнее (на родине) травянистое растение рода *Stevia*, который включает более 180 видов, относится к семейству Астровые *Asteraceae* [4]. *Stevia rebaudiana* представляет интерес как подсластитель для пищевых продуктов и лекарственных средств, обладая низкой калорийностью и способностью нормализовывать в организме углеводный обмен. Сладость стевии определяется комплексом дитерпеновых гликозидов (стевиозид, ребаудиозиды А, В, С, Д, Е и др.), содержащихся во всех надземных органах [8]. Также стевия и продукты ее переработки содержат большое разнообразие ценных веществ, в том числе природных антиоксидантов.

Массовое использование и распространение стевии в России затруднено из-за недостаточной изученности этой культуры, в частности в биохимическом аспекте. Практически все продукты из стевии на нашем рынке – из Парагвайского сырья. Поэтому актуальным является проведение исследований по определению содержания биологически активных веществ и антиоксидантов в этом новом растении, выращенном в России.

Целью исследований явилось определение у стевии, химического состава сухих листьев, характеризующего данную культуру как источник ценных веществ для питания человека.

Материалы и методы. Углеводный состав сухих листьев стевии определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии [2]. Определение относительного содержания стевиозида, ребаудиозиды А и С осуществлено методом внутренней нормализации. Используя данные по общему и относительному содержанию дитерпеновых гликозидов, были рассчитаны их абсолютные концентрации в растворах сравнения.

Для изучения антиоксидантной активности использовали электрохимический прибор «ЦветЯуза-01-АА» по ТУ МЕКВ. 414538.001, работающий на основе амперометрического метода детектирования [5]. Массовую долю золы определяли по общепринятой методике [1]; влажность – по ГОСТ 24027.2-80; содержание дубильных веществ – по ГОСТ 19885-74. Все измерения проводили в трех биологических повторностях.

Материалом исследования в данной работе являлись сухие листья коллекционных образцов стевии, выращенных в полевых условиях Центрально-черноземного региона.

Основная часть. Полученные результаты расчетов содержания Стевиозида, Ребаудиозиды А, Ребаудиозиды С относительно образца Стевиозида («Shandong Huaxian Stivia Co. LTD» (Китай)) в исследуемых образцах листьев *Stevia rebaudiana*, показали, что их количество различается в зависимости от сорта. Наибольшее количество стевиозида (11,02%), ребаудиозиды А (6,98%), а также суммы гликозидов обнаружилось в сухих листьях стевии сортаобразца №37 (сорт Мечта) (табл. 1).

Таблица 1

Содержание гликозидов в сухих листьях стевии

№ сортообразца	Концентрация Стевиозида, %	Концентрация Ребаудиозиды (А), %	Концентрация Ребаудиозиды (С), %	Суммарное содержание гликозидов, %
0	6,41	3,01	3,50	12,92
35	6,02	1,40	2,16	9,58
37	11,02	6,94	0,70	18,66
28	6,66	1,01	6,98	14,65

Кроме того, высокой концентрацией стевиозида (6,66 %) и суммарным содержанием гликозидов (14,65 %) отличались листья № 28 (сорт София). Наибольшая концентрация ребаудиозиды С была обнаружена также в листьях № 28 и составила 6,98 %.

Установлено, что за год хранения количество гликозидов в высушенных листьях стевии, выращенной в ЦЧР, колебалось незначительно в пределах 1-0,5 % в ту или иную сторону. Это согласуется с литературными данными о том, что сухой лист стевии имеет сладкий вкус, интенсивность которого не уменьшается при хранении в течение более 60 лет [7].

Исследования показали, что экстракт из сухих листьев стевии, выращенной в условиях ЦЧР, обладает выраженными антиоксидантными свойствами. АОА листьев стевии обусловлена присутствием в них флавоноидов - кверцетина, авикулярина, гвалверина, кверцитрина. Известно, также, наличие в листьях стевии производных коричной кислоты (кофейная и хлорогеновая кислоты) и

других ценных веществ [3], которые обладают уникальным биологическим действием [9].

Содержание антиоксидантов у разных генотипов также различалось. Наиболее высокие антиоксидантные свойства показали экстракты из сухих листьев №35 (0,42 мг/г), №37 (0,33 мг/г) (рис. 1).

Наименьшее содержание антиоксидантов - 0,12 мг/г - оказалось в сухих листьях сортообразца №28.

Содержание золы в сухих листьях составило 11,21-8,50 %.

Анализ содержания дубильных веществ в некоторых сортообразцах стевии показал, что наибольшее количество данных соединений – 17,41% содержится в диплоидном №0, в тетраплоидном №35 их оказалось 10,39% и меньше всего – в триплоидном №37 – 4,68%. Такое высокое содержание дубильных веществ стевии (в коре дуба их содержится 20 %, черном чае 5-17%) должно обеспечивать её бактериостатическое и бактерицидное действие.

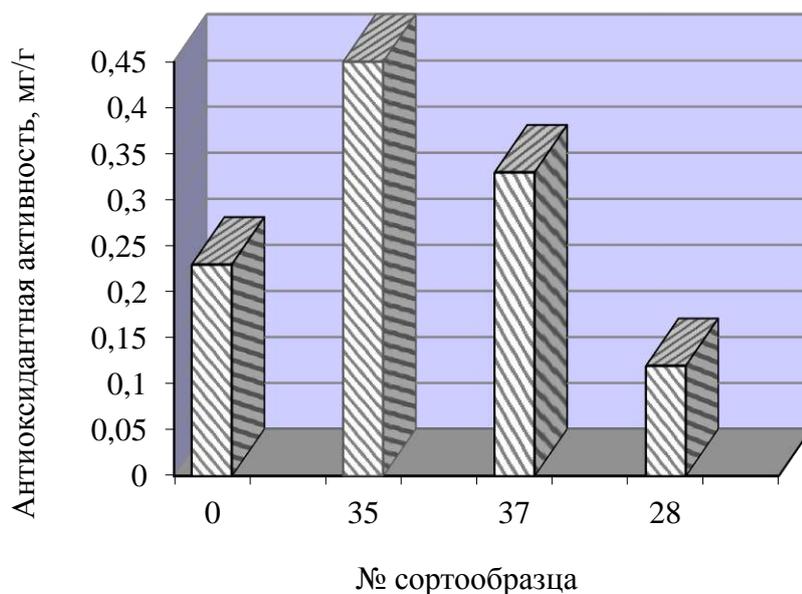


Рисунок 1. Антиоксидантная активность в сухих листьях стевии

Заключение. Проведенные исследования показали, что сухой лист стевии, выращенной в условиях ЦЧР, имеет высокое содержание сладких веществ (различных гликозидов: стевиозида – до 11,49 %; ребаудиозида А – до 6,94 %; ребаудиозида С – до 6,98 %; суммы гликозидов – до 18,66 %); обладает выраженной антиоксидантной активностью; содержит большое количество дубильных веществ (4,68 % - 17,41 %). Содержание ценных веществ варьирует в зависимости от генотипа. Полученные результаты определяют перспективность использования стевии в производстве пищевых продуктов функционального назначения.

Литература

1. Базарнова Н.Г. Химия древесины и ее основных компонентов: Методическое пособие. – Барнаул: АГУ, 2002г.
2. Кедик С.А. и др. Контроль качества и критерии стандартизации сухого очищенного экстракта из листьев стевии // Вопросы биол., мед. и фарм. химии. – 2008. – №2.
3. Комиссаренко Н.Ф. Дитерпеновые гликозиды и фенолпропаноиды листьев *Stevia rebaudiana* Bertoni // Растительные ресурсы. - 1994. - Т. 30, N 1-2. - С. 53-64.
4. Полудённый Л. В., Журавлёв Ю. П. Заготовка, выращивание и переработка лекарственных растений, 2005—2008 гг. / <http://lekrasprom.ru/cgi-bin/file.cgi?tema=lr&file=39>
5. Яшин А.Я. и др. Новый прибор для определения антиоксидантов в лекарственных препаратах, биологически активных добавках, пищевых продуктах и напитках Цвет Яюза-01-АА. - НПО «Химавтоматика». – М., 2005 г.
6. Shock C.C. Kebauid's stevia: Natural noncaloris sweeteners / C.C. Shock // Calif. Agric. – 1982. – V. 36. – P. 4 – 5.
7. Soejarto D.D., Kinghorn A.D., Farnworth B.B. Potential sweetening agents of plant origin. III. Organoleptic evaluation of stevia leaf herbarium samples for sweetness // J. Nat. Prod. - 1982. - V. 45, N 5. - P. 590-599.
8. Tanaka O. Chemistry of *Stevia rebaudiana* Bertoni – New source of natural sweeteners // Resent Adv. Nat. Prod. Res. – 1980. – V. 1. – P. 111 – 119.
9. Wollenweber E., Dietz V.H. Occurrence and distribution of free flavonoid aglycones in plants // Phytochem. - 1981. - V. 20, N 5. - P. 869-932.

ИЗМЕНЕНИЯ В МАКРОБЕНТОСЕ БУХТЫ МИНОНОСОК (ЗАЛ. ПОСЬЕТА, ЯПОНСКОЕ МОРЕ): РАЗРЕЗ № 1

Лебедев Евгений Борисович

младший научный сотрудник, Дальневосточный морской заповедник, г. Владивосток

Вышкварцев Дмитрий Иванович

кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, Институт биологии моря имени А. В. Жирмунского ДВО РАН, г. Владивосток

Vyschkvartsev Dmitry Ivanovich, PhD, senior researcher, of A.V.Zhirmunsky Institute of Marine Biology FEB RAS, Vladivostok

АННОТАЦИЯ

Проведено сравнительное изучение бентосных сообществ на базовом разрезе № 1 б. Миноносок в 1997 г. гидробиологическими методами и в 2012 г. дистанционными методами. Наиболее заметные изменения в сообществах и поясах выявлены в литоральной и в верхних горизонтах сублиторальной зон. Уменьшилась биоценотическая роль макрофитов. Как следствие, снизилась общая биомасса бентоса. Возросла роль детритоядных и хищных иглокожих и моллюсков в бентосных сообществах средних горизонтов сублиторали.

ABSTRACT

The comparative research of benthic communities had been conducted on one basic transect in the Minonosok Bay in 1997 by hydrobiological method and in 2012 by remote method. The most marked changes in communities and belts of the littoral and upper sublittoral were revealed. The role of macrophytes in biocenoses was down. As a consequence, the total biomass of benthos decreased. The role of detritophagous and predaceous echinoderms and mollusks was increased especially in the middle horizons of sublittoral.

Ключевые слова: бентос, разрез, литораль, сублитораль, сообщество, пояс, бухта Миноносок.

Key words: benthos, transect, littoral, sublittoral, community, belt, Minonosok Bight.

Роль донных сообществ в обеспечении устойчивого функционирования прибрежных экосистем трудно переоценить. Бентосные сообщества обычно высокопродуктивны, они характеризуются значительным таксономическим разнообразием, занимают обширные площади и создают среду обитания многих водных организмов [7]. Комбинированный эффект загрязнения морской среды и изменение гидрологического режима прибрежных акваторий под влиянием строительства сооружений, создания зон отдыха, хозяйственной деятельности, как правило, изменяет состав и структуру донных сообществ [5].

Для картирования и оценки состояния донных сообществ необходимо описание в одной точке по глубине и знанию параметров пространства занимаемого на дне, таких как ширина и протяженность вдоль береговой линии. В 1990-е гг. в б. Миноносок зал. Посыета с точной координатной привязкой были описаны базовые гидробиологические разрезы [2; 4]. В 2012 г. были проведены фотонимические исследования макробентоса на тех же разрезах. Целью данной работы является сравнительный анализ современного состояния бентосных сообществ южного берега б. Миноносок (зал. Посыета, Японское море).

Исследования проводили в б. Миноносок на базовом разрезе № 1 (южный берег) от булыжной супралиторали до зоны илисто-песчанистого грунта в центре бухты в 1997 г. и в 2012 г. Координаты начальной точки отсчета разреза на берегу (42036.360' с.ш., 130051.678' в.д.) на высоте 2 м над уровнем моря определяли с помощью GPS-навигатора. Разрез общей протяженностью 212 м оканчивался на глубине 13.2 м. Сбор, обработку и анализ материала в 1997 г. проводили по стандартным гидробиологическим методикам [1; 6]. Пояса и ступени выделяли по физиономическим признакам, исходя из структуры фаций [5] и принципов подхода Ж. Браун-Бланке [8]. Фотонимические исследования на разрезе № 1 в 2012 г. выполняли по трансекте с помощью подводной видеокамеры до глубины 13.1 м; общая протяженность разреза составила 185 м.

На пологом подводном склоне, сформированном выходами коренных пород с булыжно-галечной наброской, в 1997 г. было выделено 9 поясов с различными соотношениями плотности поселения и биомассы 140 учтенных таксонов. По числу видов преобладали Bivalvia (32 вида), Gastropoda (23), Rhodophyta (23) и Polychaeta (8). По частоте встречаемости доминировали полихеты, ракообразные, моллюски и иглокожие. По биомассе лидировали

Bivalvia и Echinodermata, по плотности поселения – Gastropoda и Polychaeta.

В супралиторали (пояс 1) макробентос отсутствовал. На крупногалечной литорали (пояс 2) выделено две ступени. Верхняя ступень была занята поясом брюхоногих моллюсков *Littorina brevicula*. На нижней ступени располагалось смешанное сообщество молодежи устриц *Crasostrea gigas*, брюхоногих *Nucella heyseana* и усонюгих раков *Chthamalus dalli* (рисунок, а).

В сублиторали было выделено 7 поясов. От уреза воды до глубины 0.6 м на скальных выходах с крупной галькой выделялся пояс 3 – Echinodermata и Rhodophyta. По биомассе доминировали иглокожие; на втором месте был вид-эдификатор красная известковая водоросль *Corallina pilulifera* (рисунок, б).

На глубине 0.6-0.95 м на крупной гальке располагался пояс 4 – Chlorophyta. На верхней ступени доминантами являлись зеленые водоросли *Codium fragile*, *Ulva lactuca* и черный еж *Mesocentrotus nudus*. Субдоминантами были бурая водоросль *Sargassum myabei* и зеленая водоросль *Vryopsis plumosa*. В общей биомассе доли водорослей и двустворчатых моллюсков возрастали от верхней ступени к нижней. Доля иглокожих, напротив, снижалась (рисунок, в).

На глубине 0.9-0.95 м (пояс 5) в общей биомассе бентоса голого булыжного плато 9% приходилось на Algae, 61.6% – на зарывающиеся Bivalvia, 14.4% – на Spongia и 7.9% – на Echinodermata (рисунок, г).

Глубже располагался пояс 6 – крупных мидий, на среднебулыжно-галечном грунте с примесью песка на глубине 1.0-2.2 м. В этом поясе были выделены три ступени. На верхней ступени доминировали *Modiolus kurilensis* и *Crenomytilus grayanus* (10% проективное покрытие). Характерно присутствие черного ежа *M. nudus* и красной известковой водоросли *Pachyarthron cretaceum* с 50% проективным покрытием дна.

На средней ступени вид *S. grayanus* занимал 80% площади дна. На нижней ступени креномидия *S. grayanus* вытеснялась другим видом – *M. kurilensis*, с 50% проективным покрытием. Доля двустворчатых моллюсков в суммарной биомассе бентоса достигала 93% на средней ступени, и снижалась до 87% на нижней ступени. Водоросли глубже 1.5 м были представлены незначительным количеством Chlorophyta и Rhodophyta. Среди других групп бентоса наиболее заметен был вклад иглокожих (рисунок, д).

Глубже пояса крупных мидий на мелкобулыжно-галечном с песком грунте располагался пояс 7 – гребешков с 2 ступенями. На верхней ступени на глубине 2.2–3.5 м около 52% общей биомассы бентоса приходилось на *Bivalvia* и около 45% – на *Echinodermata*. Биомасса остальных групп была незначительной.

На нижней ступени пояса гребешков на песке с ракушей, на глубине 3.5–5.0 м, преобладали гребешки и редкие друзы мидий. В общей биомассе бентоса около 87% приходилось *Bivalvia* и 12.6% – на *Echinodermata* (рисунок, е).

Глубже пояса гребешков, на глубине 5–10 м на заиленном песке с ракушей и галькой, выделялся пояс 8 – редких друз мидий с 5% проективным покрытием дна. В суммарной биомассе организмов на *Bivalvia* приходилось 55%, на *Echinodermata* – 34.9%. По сравнению с другими поясами, была заметна доля асцидий – 4% (рисунок, ж).

По мере увеличения глубины редкие друзы мидий исчезали, и эти участки, занятые илами, определялись как пояс 9 – голого дна. В общей биомассе организмов 60.5% приходилось на долю офиур, 15.7% – на немуртины, 6.2% – на полихеты. Доли остальных групп были незначительны (рисунок, з).

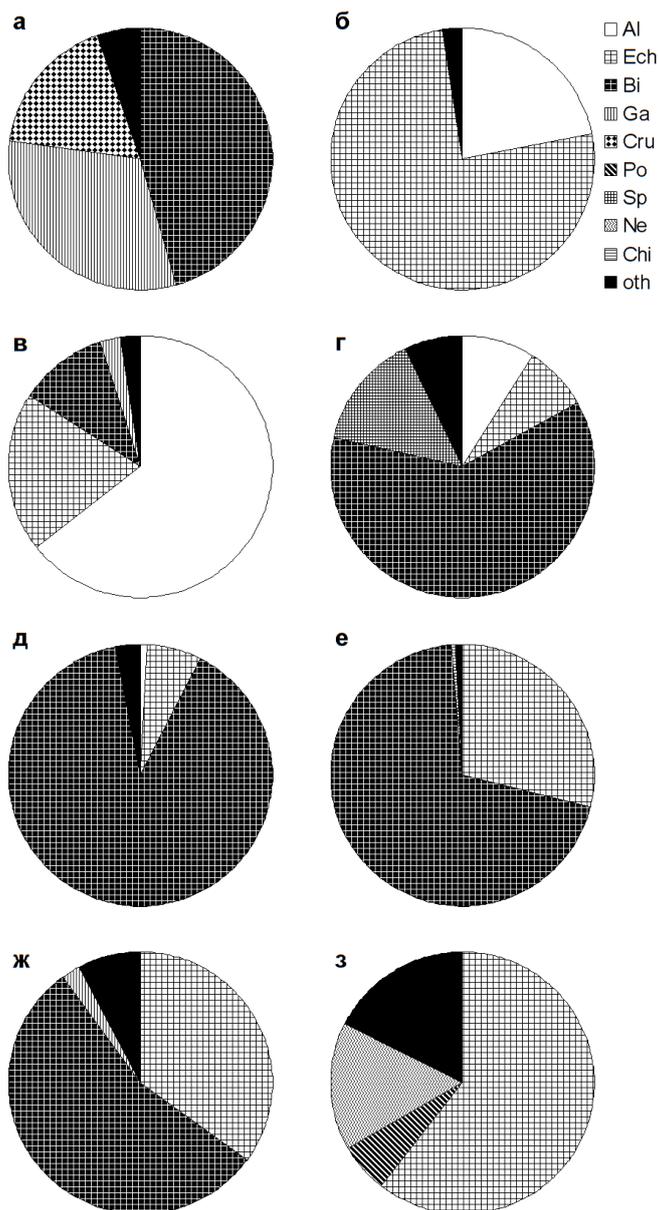


Рисунок. Вклад организмов в биомассу бентоса на гидробиологическом разрезе № 1: а – пояс 2, б – пояс 3, в – пояс 4, г – пояс 5, д – пояс 6, е – пояс 7, ж – пояс 8, з – пояс 9. Обозначения: Al – макрофиты, Ech – иглокожие, Cru – ракообразные, Po – полихеты, Bi – двустворчатые моллюски, Ga – брюхоногие, Sp – губки, Ne – немуртины, Chi – хитоны, oth – прочие.

Как видно, в литоральной зоне разреза № 1 совместно доминировали брюхоногие моллюски, ракообразные и полихеты-спирорбиды. В сублиторали в верхней части преобладали водоросли и иглокожие, глубже доминировали двустворчатые моллюски и, по мере выполажи-

вания дна, – иглокожие, немуртины и полихеты. Бентосные сообщества характеризовались большим числом видов и значимой биомассой. Максимум биомассы был отмечен в поясе крупных мидий – 19.6 кг/м²; минимум, в центре бухты, – 16.2 г/м².

В 2012 г. на разрезе № 1 проведены фотонимические исследования, выявившие изменение состава грунта и изменения в составе ряда сообществ.

1. На литорали группировка литорин и пояс устриц+нуцелл+хтамалусов замещены поясом хтамалусов+тегул.
2. В сублиторальной кайме исчез пояс иглокожих и красных водорослей, он заместился поясом полихет-спирорбид и брюхоногих – литорин и тегул.
3. В верхней сублиторали на глубине 0.6-1 м пояс зеленых водорослей с преобладанием *Codium* заместился поясом мелких бурых водорослей, и характерными видами в нем стали брюхоногие *L. brevicula* и *T. rustica*.
4. На глубине 0.8-1.1 м руководящая роль перешла от *Rhodophyta*, *Bivalvia* и *Spongia* к *Gastropoda*, *Echinodermata* и *Rhodophyta*.
5. На глубине 1-2.2 м пояс крупных мидий *S. grayanus* замещен мозаикой известковых *Rhodophyta*, *Bivalvia*, *Gastropoda* и *Echinodermata*.
6. Существовавший на глубине 2.3-5 м пояс гребешков *Mizuhopecten yessoensis* сохранился на верхней ступени (до гл. 3.3 м) в виде смешанного с мидиями и иглокожими сообщества. Глубже он заместился поясом друз мидий.
7. Пояс редких друз мидий расширился, занимая глубины 3.4-13 м. Характерно наличие водорослей на друзьях: зеленых *Ulva* (до гл. 4.3 м) и бурых *Agarum*, *Costaria* – глубже 6 м.

В 2012 г. было отмечено, что в поясах 4-6 изменился состав грунта. Современные литоральные сообщества на разрезе № 1 формируют сестонофаги (усоногий рак *Ch. dalli*) и фито-детритофаги – брюхоногий моллюск *T. rustica*. В верхней части сублиторали произошла замена растительных сообществ на животные или смешанные сообщества. Биоценотическая роль макрофитов в верхних горизонтах резко снизилась. Усилилась мозаичность сообществ, в них совместно доминируют 2-3 группы: чаще всего *Gastropoda*, известковые *Rhodophyta* и *Echinodermata*. Пояс одних *Bivalvia* – гребешков *M. yessoensis*, сменился поясом других – креномидий *S. grayanus*. В нижних горизонтах, вероятно, из-за сильного заиления дна, стало характерным прикрепление *Algae* не к грунту, а к друзьям *S. grayanus*: на глубине 3-4 м – зеленых, а на глубине 6-13 м – бурых и красных водорослей.

Таким образом, на разрезе № 1, так же как и на разрезе № 2 южного берега б. Миноносков [3], наиболее заметные изменения в бентосных сообществах произошли на литорали и в верхних горизонтах сублиторали. Уменьшилась биоценотическая роль макрофитов. Как следствие, снизилась общая биомасса бентосных организмов. Увеличилась роль детритоядных и хищных видов иглокожих и моллюсков, особенно в средних горизонтах сублиторали.

Литература

1. Голиков А.Н., Скарлато О.А. Гидробиологические исследования в зал. Посыета с применением водозлазной техники // Исследования фауны морей. 1965. Т. 3, № 11. С. 5-21.
2. Лебедев Е.Б., Вышкварцев Д.И. Состав и распределение донных сообществ бухты Миноносков залива Посыета Японского моря (разрезы № 3 и № 4) // Биота и среда заповедников Дальнего Востока / отв. ред. А.Н. Тюрин. – Владивосток: ДВМБГПЗ ДВО РАН, 2011. № 1. С. 82-110.
3. Лебедев Е.Б., Вышкварцев Д.И. Изменения в макробентосе бухты Миноносков (залив Посыета, Японское море): разрез № 2 // Проблемы современной биологии: Материалы XI Международной научно-практической конференции (15.01.2014). – Москва: Издательство «Спутник+», 2014. С. 33-36.
4. Лебедев Е.Б., Левенец И.Р., Вышкварцев Д.И. Донные сообщества бухты Миноносков залива Посыета (Японское море) // Известия ТИНРО. 2004. Т. 137. С. 378-392.
5. Петров К.М., Поздеев В.Б. Подводные ландшафты и фитобентос у берегов Южного Сахалина. – Владивосток: Изд. Дальневост. ун-та, 1992. 128 с.
6. Фадеев В.И., Лукин В.И. К методике подводных гидробиологических исследований в условиях подвижных морских экспедиций // Подводные гидробиологические исследования. – Владивосток, 1982. С. 21-34.
7. Шунтов В.П. Биология дальневосточных морей России. Том 1. – Владивосток: Тинро-центр. 2001. 580 с.
8. Braun-Blanquet J. Pflanzensociologie. 3. Aufl. – Wien, 1964. 865 p.

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СИМПАТОАДРЕНАЛОВОЙ СИСТЕМЫ И ТЕРМОРЕГУЛЯТОРНЫЕ СДВИГИ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ ДЕЙСТВИИ ХОЛОДА И ГИПОКСИИ

Матющенко Наталья Сергеевна

кандидат биол. наук, доцент, Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек

Закиров Джеенбек Закирович

доктор мед. наук, профессор, Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек

Кучук Энвер Мамудович

кандидат мед. наук, доцент, Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек

THE FUNCTIONAL STATE OF THE SYMPATHO-ADRENAL SYSTEM AND THERMOREGULATORY DEVIATIONS UNDER SIMULTANEOUS ACTION OF COLD AND HYPOXIA

Matyushchenko Natalia, Candidate of Science, assistant professor, Kyrgyz-Russian Slavic University, Bishkek

Zakirov Dgeenbek, Doctor of medical Sciences, professor, Kyrgyz-Russian Slavic University, Bishkek

Kuchuk Enver, Candidate of Science, assistant professor, Kyrgyz-Russian Slavic University, Bishkek

АННОТАЦИЯ

Исследована ответная реакция симпатoadренальной системы (САС) и терморегуляторные сдвиги в условиях одновременного воздействия высокогорной гипоксии и гипотермии различной длительности. Полученные данные о состоянии биогенных аминов в крови, надпочечниках, сердечной мышце демонстрируют дестабилизирующее влияние высокогорной гипоксии и низкой температуры, действующих в перекрестном режиме.

Ключевые слова: симпатoadренальная система; катехоламины; гипоксия; гипотермия.

ABSTRACT

The response of the sympatho-adrenal system (SAS) and thermoregulatory deviations in the conditions of simultaneous exposure of high altitude hypoxia and hypothermia different durations were investigated. The obtained data of the state of biogenic amines in the blood, adrenal glands, cardiac muscle demonstrate the destabilizing effect of high altitude hypoxia and low temperature which were operating in cross mode.

Key words: sympathoadrenal system; catecholamine; hypoxia; hypothermia.

Симпатoadренальная система, стоящая на стыке нервных и эндокринных регуляций, выполняет в организме очень важные функции (аварийную, гомеостатическую, адаптационно-трофическую) и во многом определяет его устойчивость к неблагоприятным воздействиям внешней среды, обеспечивая пусковые и модуляторные эффекты. Несмотря на большое число работ, посвященных изучению влияния экстремальных температурных раздражителей на животных и человека, закономерности реагирования САС на воздействие холодовых факторов еще недостаточно расшифрованы. Остаются невыясненными резервные возможности симпатoadренальной системы при кратковременном и хроническом холодовом воздействии на организм, не только в высокогорных условиях [2,5], но и в предгорных условиях, зависящих от интенсивности синтеза предшественников катехоламинов дофамина и ДОФА. Между тем сдвиги дофамина и ДОФА имеют большое биологическое и функциональное значение и указывают не только на резервные возможности САС, но и обладают (дофамин) самостоятельной медиаторной функцией [3], определяющей готовность к ответной реакции на экстремальное воздействие.

Поэтому мы сделали попытку, в нашем исследовании в какой-то мере восполнить эти пробелы и в единых методических условиях систематически исследовать сдвиги в САС при кратковременном экзогенном охлаждении в условиях высокогорной гипоксии.

Объектом для исследования послужили белые беспородные крысы-самцы, массой тела 180-220 гр. Исследования проводились в условиях высокогорья пер. Туя-Ашу (3200 м). Животные были предварительно разделены на группы: контрольная - крысы содержались при оптимальной температуре в условиях вивария (18-200С) и опытная. Для исследования холодового воздействия крысы опытной группы содержались в открытом воздушном пространстве в индивидуальных клетках, не ограничивающих их подвижность при температуре воздуха $4\pm 20\text{C}$ в течение 30, 60, и 180 минут. По окончании опыта все крысы умерщвлялись путем декапитации. У них собирали кровь, извлекали надпочечники, печень и сердце. В полученном материале исследовали содержание адреналина (А), норадреналина (НА), ДОФА и дофамина флуориметрическим методом по описанной стандартной методике [6,7].

Полученные результаты подвергнуты статистической обработке; различия между показателями оценивали по критерию Стьюдента, считая их достоверными при $p < 0,05$.

Для оценки состояния животных, подвергавшихся холодовому воздействию, измеряли у них ректальную

температуру, массу тела. Измерение ректальной температуры, показало достоверное её снижение у животных сразу после холодового воздействия в условиях высокогорной гипоксии через 30 минут на $2,2\pm 0,20\text{C}$, через 60 минут на $2,6\pm 0,20\text{C}$, а через 180 минут на $3,0\pm 0,40\text{C}$ по сравнению с контрольной группой. Температура кожи была снижена в области спины на $2,4\pm 0,12$, $3,0\pm 0,2$ и $4,8\pm 0,10\text{C}$, соответственно, на коже хвоста – на $8,8\pm 0,3$, $9,1\pm 0,2$ и $9,6\pm 0,30\text{C}$.

Полученные нами данные газообмена и электромиограмма свидетельствовали о том, что теплопродукция претерпевала фазовые изменения: оба показателя повышались через 30 и 60 минут и снижались при 180 минутной холодовой экспозиции, но не доходили до контрольных величин. Следовательно, холодовое воздействие на фоне гипоксии было достаточно интенсивным. Об этом свидетельствует, прежде всего, напряжение терморегуляторных реакций – повышение газообмена, электромиограммы и снижение температуры кожи хвоста – специфического органа теплоотдачи некоторых грызунов [4].

Сочетание холодового фактора и условий высокогорья вызывает острые структурно - метаболические изменения во всех органах и системах, и в первую очередь - нейроэндокринной системе, одной из важных составляющих которой является изменение симпатoadренальной активности.

Содержание адреналина и норадреналина в крови через 30 минут холодового воздействия в условиях высокогорья повысилось на 54% и 25%, а концентрация предшественников катехоламинов – дофамина и ДОФА, наоборот, снизилась, соответственно, на 38 и 30% против контрольных величин. Через 60 минут действия холода и гипоксии уровень адреналина в крови увеличился и составил 197%, а концентрация дофамина и ДОФА снизилась по сравнению контроля (рис.1). Через 180 минут холодового воздействия в условиях высокогорья наблюдался высокий уровень А, НА при субконтрольных величинах дофамина и ДОФА в периферической крови.

В надпочечниках 30-ти минутное воздействие холода в условиях высокогорья снижает содержание катехоламинов, 60-ти и 180-ти минутное воздействие увеличивало уровень А и НА, а уровень предшественников, наоборот, снизился по сравнению с контрольными величинами (рис.2). Сопоставление наших данных по содержанию дофамина и ДОФА в надпочечниках крыс, подвергнутых холодовому воздействию и гипоксии, обнаруживает определенную коррелятивную связь. Так, снижение уровня ДОФА, как правило, сопровождается уменьшением концентрации дофамина и, наоборот, увеличение количества

ДОФА вызывает увеличение дофамина. Необходимо отметить, что пики снижения концентраций этих предшественников катехоламинов имеют большую выраженность через 30 и 60 минут, что свидетельствует о снижении их биосинтеза, т. е. не мобилизуются в достаточной

мере резервные возможности гормонального звена симпатoadренальной системы. Таким образом, кратковременное холодовое воздействие и высокогорная гипоксия вызывают угнетение функции мозгового слоя надпочечников.

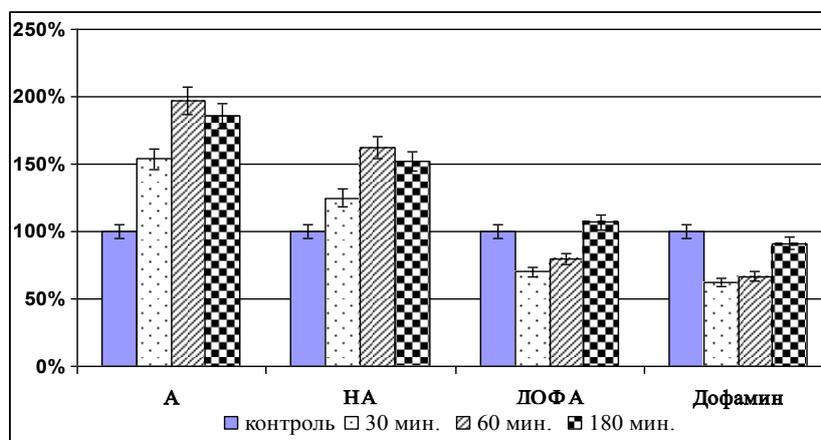


Рис.1. Изменения содержания катехоламинов в крови при одновременном действии холода и гипоксии

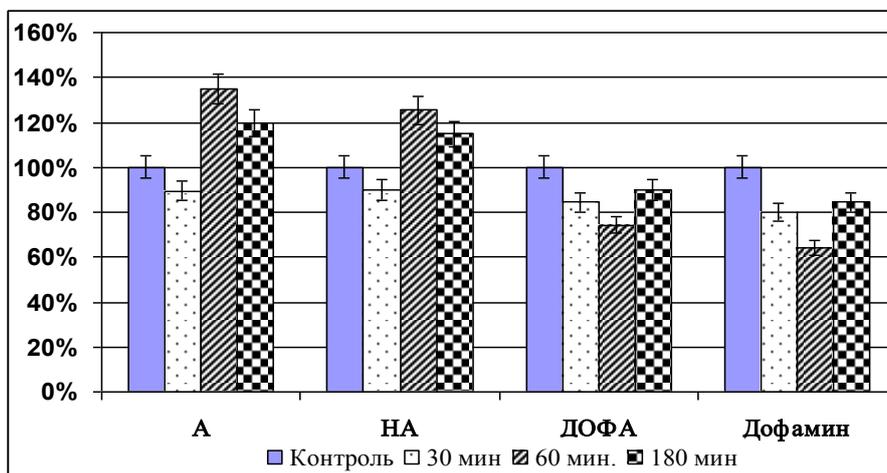


Рис. 2. Изменение содержания катехоламинов в надпочечниках при одновременном действии холода и гипоксии

Через 60 и 180 минут действия холода и гипоксии увеличение содержания А в надпочечниках и крови можно объяснить преобладанием повышенной скорости синтеза А над увеличенной скоростью высвобождения его в кровь. Уровень норадреналина в крови в указанные сроки также оказался повышенным, возможно, за счет усиленного синтеза и усиленной секреции НА в кровь из симпатических нервных окончаний и надпочечников. Однако скорость высвобождения НА из мозгового вещества надпочечников через 30 и 60 минут несколько отставала от скорости его синтеза, что могло привести к повышению уровня НА в надпочечниках, как это и имело место на самом деле. О высокой скорости синтеза НА в надпочечниках свидетельствовало также снижение уровня дофамина и ДОФА во все сроки холодового воздействия в горах и быстрое превращение предшественника в норадреналин.

Через 180 минут одновременного действия холода и гипоксии содержание А и НА в крови крыс все еще оставалось на высоком уровне по сравнению с контролем и незначительно снижалось по сравнению с 60-ти минутным сроком исследования. Это может значить, что синтез и высвобождение катехоламинов в надпочечниках все

еще интенсивны, однако скорость секреции преобладала над скоростью ресинтеза, поскольку уровень А и НА в мозговом веществе надпочечников был понижен по сравнению с 60-тью минутами холодовой экспозиции. С другой стороны, возможными механизмами такого снижения содержания А и НА могло быть уменьшение в надпочечниках к концу 180 минутного охлаждения запасов непосредственных предшественников катехоламинов - ДОФА и дофамина и торможение синтеза КА по принципу «обратной связи» вследствие повышенного уровня их в крови.

Таким образом, синтез КА в надпочечниках через 180 минут охлаждения был увеличенным по сравнению с контролем, но в то же время наблюдалось некоторое его снижение по сравнению с 60 минутным сроком охлаждения. Об этом свидетельствовало также уменьшение повышенного уровня КА в крови. Усиленным терморегуляторным реакциям соответствовал усиленный синтез КА в надпочечниках, что вполне объяснимо с точки зрения повышения активности катехолсинтезирующих ферментов при кратковременном охлаждении.

Сердце, скелетные мышцы и печень является органами, на которые действуют катехоламины. Несмотря на

повышенный уровень катехоламинов в крови в течение 180-ти минутного действия холода и гипоксии, повышение адреналина через 30 минут происходило только в сердечной мышце. Через 60 минут концентрация адреналина и норадреналина увеличилась в сердце и скелетной мышце, что соответствовало максимальному уровню терморегуляторной реакции

В сердечной мышце при одновременном действии холода и гипоксии через 30 минут отмечено повышение уровня адреналина (150%) и дофамина (118,2%), а концентрация НА и ДОФА была сниженной, через 60 минут -

повышено содержание адреналина и норадреналина и снижено дофамина и ДОФА (рис.3). Через 180 минут – повышен уровень А, НА и дофамина и снижено содержание ДОФА. На начальных стадиях гипотермии и высокогорной гипоксии сердце работает наиболее интенсивно, в частности, повышается минутный объем, обеспечивая повышенное теплообразование и транспорт КА. Это, по-видимому, могло сопровождаться усиленной инактивацией КА в миокарде, что мы и получили через 60 минут охлаждения в условиях высокогорья.

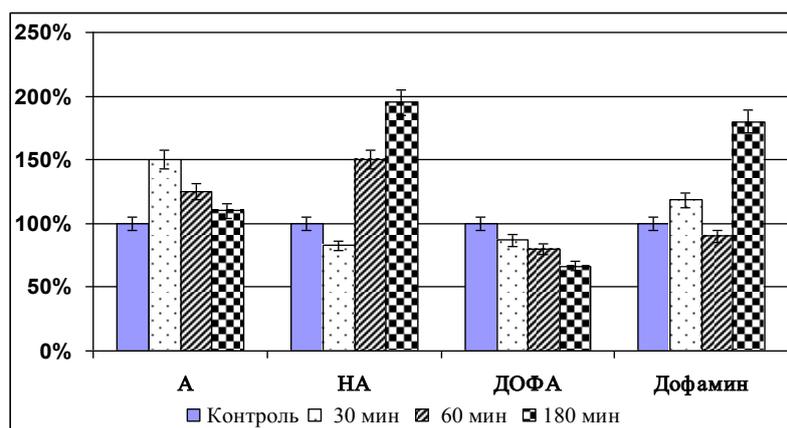


Рис.3. Изменение содержания катехоламинов в сердце при одновременном действии холода и гипоксии

Повышение уровня НА и дофамина через 180 минут действия низкой температуры и гипоксии могло быть следствием усиленного захвата их из кровотока и усиленного биосинтеза в симпатических нервах сердца. При этом резкое снижение количества ДОФА через 180 минут сопровождается увеличением содержания дофамина и норадреналина, указывающем на компенсаторное усиление перехода ДОФА в дофамин, дофамина — в норадреналин. Уровень дофамина в этот срок значительно возрос за счет ДОФА, содержание которого было снижено до 66,7% по сравнению с контролем. Таким образом, при одновременном действии холода и гипоксии в сердечной мышце крыс отмечались ускоренный синтез и усиленный метаболизм катехоламинов, причем, все эти процессы соответствовали усиленным терморегуляторным реакциям.

На 180 минуте охлаждения в условиях гипоксии, как в печени, так и скелетных мышцах происходило накопление норадреналина и усиленный расход адреналина. Возможно, что отсутствие выраженных изменений в содержании А, НА, ДОФА и дофамина через 30 и 60 минут в печени и скелетной мышце происходит вследствие более усиленного поступления их в эти органы, ускоренного синтеза и более быстрого использования [1]. На основе полученных нами данных можно сделать предположение, что различные ткани организма не одинаково утилизируют катехоламины при воздействии холода $4\pm 20^{\circ}\text{C}$ в условиях высокогорной гипоксии.

Таким образом, полученные данные о состоянии биогенных аминов в крови, надпочечниках, печени и сердце демонстрируют дестабилизирующее влияние высокогорной факторов и низкой температуры, действующих в перекрестном режиме на симпатoadреналовую систему.

Литература

1. Закиров Дж.З. Физиологические механизмы формирования функциональных взаимоотношений эндокринных комплексов в условиях высокогорья // Автореф. дисс. ... д.м.н. – Бишкек, 1996. – 55 с.
2. Ибраева Н.И. Изменение функции гипоталамо-гипофизарно-адреналовой системы у домашних мышей и лабораторных крыс при циклической температурной адаптации в условиях высокогорья (3200 м): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Бишкек, 2008. – 32 с.
3. Манухин Б.Н. Физиология адренорецепторов. – М., 1968. – 234 с.
4. Слоним А.Д. Частная экологическая физиология млекопитающих. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1962. – 498 с.
5. Султанов Ф.Ф., Султанов Г.Ф. Температурные адаптации в различных экологических условиях и особенности их исследования // Очерки по экологической физиологии. – Новосибирск. Изд-во Сибирск. Отд. РАН, - 1999. – С. 52-60.
6. Alekhina T.A., Gilinsky M.A., Kolpakov V. G. – Catecholamines level in the brain of rats with a genetic predisposition to catatonia // Biogenic Amines/ 10: 443-450. 1994.
7. Schlumpf M., Lichtensteiger W., Langemann H. et al. – A fluorimetric microteaching for simultaneous assay of 5-hydroxytryptamine, noradrenaline and dopamine in milligrams of brain tissue. // Biochem. Pharmacol, 32: 2337-2446, 1974)

ОПЫТ АССОЦИАЦИИ «ЖИВАЯ ПРИРОДА СТЕПИ» И ЗАПОВЕДНИКА «РОСТОВСКИЙ» ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ БИОРАЗНООБРАЗИЯ АНТРОПОГЕННО ОПУСТЫНЕННЫХ СТЕПЕЙ

Миноранский Виктор Аркадьевич

доктор с/х наук, профессор Южного федерального университета, председатель ассоциации «Живая природа степи», г. Ростов-на-Дону

Малиновская Юлия Валерьевна

Безуглова Екатерина Андреевна

науч. сотр. ассоциации «Живая природа степи», г. Ростов-на-Дону

Minoranskiy Viktor, Chairman of the Presidium of «The Wildlife of Steppes» Association, SFEDU professor

Malinovskaya Julia, Researcher «The Wildlife of Steppes» Association

Bezuglova Ekaterina, Researcher «The Wildlife of Steppes» Association

АННОТАЦИЯ

Совместная деятельность заповедника «Ростовский» и Ассоциации «Живая природа степи» позволила за короткий срок на антропогенно опустыненных землях восстановить естественный травостой и богатый животный мир, наладить широкую экопросветительскую и экотуристическую деятельность.

ABSTRACT

The combined efforts of the State natural biosphere reserve «Rostovskiy» and «The Wild life of steppe» Association allowed to restore for a short period the natural grass and abundant wildlife on anthropogenically desertified lands. Environmental education and ecotourism activities have established in the region.

Ключевые слова: Степи, озеро Маныч-Гудило, антропогенное опустынивание, заповедник Ростовский», ассоциация «Живая природа степи», восстановление биоразнообразия, экопросвещение, экотуризм.

В Ростовской области (далее Ро) земли сельскохозяйственного назначения составляют 87,3% площади. Их длительная интенсивная эксплуатация негативно отразилась на биоразнообразии. Многие в прошлом промысловые животные, исчезли, как виды, или попали в Красные книги МСОП, РФ, Ро. Одной из наиболее эффективных форм сохранения биоразнообразия является их территориальная охрана и, прежде всего, особо охраняемые природные территории. На протяжении всего XX в. ученые и специалисты добивались организации на Дону степного заповедника, и лишь в 1995 г. здесь был создан кластерный заповедник «Ростовский» с общей площадью 9454,8 га. Находится он в юго-восточных районах РО (Орловском и Ремонтненском), где в результате неразумного увеличения поголовья овец и других сельскохозяйственных животных, практически полного стравливания ими пастбищ, степи к 90-м годам XX в. претерпели антропогенное опустынивание. Усложняли нормальное развитие заповедника в эти годы трудные политические, экономические и другие причины. Кризисная ситуация с биоресурсами заставляла адаптировать сложившиеся в прошлом системы природопользования к новым условиям, совершенствовать природоохранную деятельность, искать её новые формы. В 2000 г. при участии ученых Ростовского государственного университета (далее РГУ) была создана охранная зона заповедника с площадью 74, 350 тыс. га. Инициативной группой, включающей представителей Законодательного собрания (ЗС) Ро, РГУ (с 2006 г. Южный федеральный университет – ЮФУ), Южного научного центра РАН (ЮНЦ РАН), бизнеса, была предложена идея создания Ассоциации «Живая природа степи» (Ассоциация). Ее учредителями выступили РГУ-ЮФУ, ЮНЦ РАН, государственные и коммерческие сельскохозяйственные (ООО «Солнечное», Конный завод «Донской», др.) и промышленные (ООО

«Орловская нефтебаза», «Башнефть-Юг», ОАО «Регионгаз», «Ростовоблгаз») предприятия, представители ЗС Ро, бизнеса, заповедников «Ростовский» и «Черные земли». Основными направлениями работы Ассоциации являются координация природоохранной деятельности, охрана и восстановление биоразнообразия, экологическое образование и воспитание населения.

Интересы Ассоциации охватывают степи Ро и Калмыкии. Основная работа ведется в долине Западного Маныча, модельная территория находится в охранной зоне заповедника «Ростовский» (заповедник). В п. Маныч Орловского р-на Ассоциация организовала полевой стационар (Стационар), где на площади более 40 км2 сооружены помещения, фермы и вольеры для животных (страусов, ламы, оленя Давида, антилопы канны, лошади Пржевальского, др.), свободно пасутся верблюды (бактрианы), буйволы, яки, бизоны, куланы. В степи обитают филин, стрепет, корсак и многим другим животным. На Стационаре пробурены скважины, построены плотины и созданы пруды, в которые запустили рыбу, в 2005-2006 гг. поставили 500 искусственных гнезд для птиц, 28 кормушек и 11 подкормочных площадок, ежегодно для подкормки птиц используют по 25 т корма, организовано 50-80 га кормовых полей. В х. Кундрюченском построен Центр редких животных европейских степей (Центр), где в вольерах находятся страусы, журавли, дрофы, филины и другие виды, а в обширном дворе – лебеди, гуси, кряква, огарь, пеганка, павлин и иные виды. Имеется в Ассоциации Центр по реабилитации хищных птиц (беркута, тетеревины, сокола, балобана, др.), и ведётся работа по их лечению, использованию для демонстрационных «соколиных» охот, разгона птиц в Ростовском аэропорту. При поддержке Ассоциации с 2008 г. в п. Маныч работает полевой стационар ЮНЦ РАН, в котором ученые научных центров

страны проводят исследования степей. Ассоциация работает в тесном контакте заповедником. Она лоббирует его интересы в административных структурах, запрете охоты в охранной зоне, оказывала помощь при сооружении скважин с пресной водой на о-ве Водный, постройке наблюдательной вышки, причала и парома для переправы на этот остров; её инспектора совместно с инспекторами заповедника установили строгий природоохранный режим в районе. В суровые снежные зимы Ассоциация помогает заповеднику обеспечивать мустангов сеном, зерном. Она активный участник запрета весенней охоты в Ро (2002-2015 гг.), полного запрета охоты на большей части охранной зоны заповедника (2005-2015 гг.).

Ассоциация заключила творческие договора по сохранению биоресурсов с Ростоблкомприродой, администрациями Ро и ряда районов, Ин-том степи УРО РАН, заповедниками «Черные земли» и «Аскания-Нова», Ростовским зоопарком, полицией, рыбинспекциями, казаками Великокняжеского юрта, другими структурами. Она составила и реализовала «План мероприятий по устойчивому развитию природного комплекса «Маньч», включая водно-болотные угодья международного значения «Веселовское водохранилище» и «Озеро Маньч-Гудило» (ВБУ), Государственный природный заповедник «Ростовский» и его охранную зону». Разработаны «Основные положения Стратегии и Плана действий по сохранению и устойчивому использованию биоразнообразия на территории ВБУ». Специалисты РГУ-ЮФУ и Ассоциации дали природную характеристику, описали состав ценных и редких животных ВБУ. Они курируют ряд охотхозяйств (Нижнекундрюченское, Маньчское, др.), где создана материальная база, налажена охрана биоресурсов, проводится реклиматизация и акклиматизация животных.

Маньчский комплекс (далее Маньч), включающий модельную территорию, заповедник, Стационары Ассоциации и ЮНЦ РАН, Центр, стал одним из ведущих полевых научных центров на юге, где проводят исследования ученые и специалисты ЮФУ, МГУ, ЮНЦ РАН, ИПЭЭ РАН, Инта географии РАН, Калм.ГУ, заповедников и других организаций. Выясняются гидробиологические особенности водохранилищ, изучается флоры и фауны степей, исследуются вопросы сохранения и восстановления биоразнообразия, другие. На Стационаре и в Центре решаются проблемы содержания ценных и редких животных, разработана биотехнология разведения сайгака в искусственных условиях и получена его самовоспроизводящая группировка. Маньч стал базой для производственной практики студентов ЮФУ, МГУ, РГАУ-МСХА им. К.А.Тимирязева, других ВУЗов страны и многие из них, используя собранный здесь данные, защитили дипломы, магистерские и кандидатские диссертации.

Деятельность Ассоциации и заповедника позволила за 10-15 лет на антропогенно-опустыненных землях юго-востока восстановить естественный травостой, где отмечено 460 видов высших растений. Большие площади занимают ковыли, типчак, тюльпаны, касатик карликовый, рябчик малый и иные растения. Отмечаются коктельский и татарский катраны, чашечный, пузырчатый и другие астрагалы, франкения припудренная, беллевалия сарматская, кермеки, катабросочка низкая, гребенщики стройный и Мейера, другие редкие виды. Возросла численность размножающихся особей пеганки, стрепета, журавля-красавки, серой куропатки, степного жаворонка,

зайца-русака, лисицы, енотовидной собаки и ряда других животных, начала гнездится дрофа. Обычны богомол эмпуза, аскалаф пестрый, желтобрюхий полоз, степная гадюка. Размножаются дыбка степная, венгерская и бессарабская жужелицы, кудрявый пеликан, колпица, черноголовый хохотун, ушастый еж, перевязка, корсак, светлый хорек, большой тушканчик, земляной зайчик и другие редкие животные. В 2014 г. найдены гнезда орлана-белохвоста и курганика. Здесь отмечено 273 вида птиц, из которых более 135 – размножается, в том числе серый гусь, кряква, красноголовый и красноносый нырки, другие ценные виды. Успехи деятельности Ассоциации и заповедника подтвердили участники 5-и международных природоохранных конференций, представители Минприроды РФ, ИПЭЭ РАН, ЮНЦ РАН, ЮНЕСКО, СИТЕС, WWF, других структур. Решением 20-ой сессии Международного координационного совета по программе ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (Мадрид, 3.02.2008 г.) заповедник «Ростовский» был включён во Всемирную сеть биосферных резерватов.

Успешная деятельность по сохранению биоразнообразия невозможно без формирования экологических знаний и культуры у населения. Большое внимание уделяется экопросвещению и экотуризму. Выпускаются календари, буклеты, альбомы с ландшафтами, ценными растениями и животными степей, которые передаются в школы, вузы, библиотеки. Альбом «Живая природа Маньчской долины» стал официальным изданием к саммиту Россия-ЕС (2010). Ежегодно члены Ассоциации участвуют в 25-30 передачах по телевидению, в 30 выступлениях в газетах и журналах. Примерно столько же используют СМИ и работники заповедника, ЮНЦ РАН. В Ассоциации и заповеднике подготовлены экскурсоводы, имеются музей природы, описания экологических маршрутов, места для отдыха, тематических игр, костров и отдыха, и т.д. В различных областных и районных структурах, на Маньче организуются эколагеря, проводятся экологические школы и слеты, экологические акции (экопоходы, конкурсы и т.д.). За эту работу на IV Всероссийском фестивале социальных инициатив «Содействие» (Москва, 2012 г.) Проект Ассоциации занял I место.

В 2012 г. Ассоциация реализовала государственный проект «Организация взаимодействия институтов гражданского общества для развития экологического туризма и образования в Ро». Его основой стала комплексная обучающая программа для выездных экологических школ и экспедиций на природных территориях РО. В Донской публичной библиотеке Ассоциация оборудовала компьютерный класс, приобрела программу ARCGIS, подготовила справочники-путеводители по экомаршрутам Ро, ежегодно проводила обучающие семинары, знакомство экотуристов с природой Маньча. Студенты, учителя, школьники, любители природы освоили работу в геосистеме по программе ARCGIS, познакомились с актуальными экологическими проблемами Ро. Создан Добровольческий экологический Центр «За здоровую окружающую среду», основной задачей которого стало развитие современных форм экологического краеведения и туризма. На 10 семинарах в процесс дополнительного экологического образования участвовало больше 500 человек.

Для подведения итогов многогранной просветительской и экотуристической деятельности 10-11.10.2013

г. Ассоциация организовала I Областной фестиваль экологического туризма «Воспетая степь», проведенный на Маньчском комплексе и объединивший различные занимающиеся в РО экотуризмом структуры. Целями фестиваля стали акцентирование внимание жителей РО на уязвимости степных ландшафтов и на необходимости бережного отношения к ним, повышение роли экологического туризма в образовательной среде. На Маньче собралось более 300 школьников, студентов, учителей, преподавателей и других участников со всех районов РО. Были обсуждены наиболее актуальные вопросы развития экотуризма, проведен парад «Марш флагов», объединивший школьников под экологическими флагами. На промо-акции «Ускоряя мечту» экотуристы посадили тюльпаны, а историческая реконструкция «Скифские амазонки» воссоздала воинственных женщин на лошадях. Стоянки «Сокол на перчатке», «От отходов в доходы», «Сувенирный шалаш», «Рисование на пленере», «Весь мир-театр» и другие – предложили участникам активное взаимодействие с образовательным акцентом. II-ой «Воспетая степь» Ассоциация провела 18-19.04.2014 г. Партнерами Ассоциации были Общественная палата РО, Центр экологической политики и культуры (г. Москва), Институт устойчивого развития Общественной палаты РФ, Ростоблкомприрода, РРДМО «Содружество детей и молодежи Дона», Центр содействия экологическим инициативам «ЭКОМОСТ», ОАО «Газпром, газораспределение, Ростов-на-Дону»,

ООО «Конный завод «Донской», ООО «Солнечное» и другие структуры. Фестиваль обобщил деятельности Ассоциации и связанных с ней структур по экологическому образованию и воспитанию населения, развитию экотуризма на Дону. В фестивале участвовало около 500 человек из различных районов области, других регионов России. По инициативе участников I и II-го фестивалей Ассоциация при активном участии Минприроды РО, заповедника «Ростовский» и ОАО «Газпром газораспределение Ростов-на-Дону» 19-20.09.2014 г. провела III-й фестиваль «Воспетая степь». В нем приняло участие 630 человек – в основном педагогов и учащихся из всех муниципальных образований РО, других регионов. Символом фестиваля стал журавль.

С каждым годом деятельность Ассоциации и заповедника по развитию экологического образования и мышления у населения, экотуризма расширяется. Если в начале XXI в. Маньчский комплекс посещали десятки сотни людей в год, то в 2013 г. их было около 17 тыс. В 2014 г. только 18-19 апреля, помимо участников II фестиваля «Воспетая степь», Маньчский комплекс посетило около 4000 экотуристов, приехавших посмотреть цветущую весеннюю степь из различных районов РО, соседних регионов, Москвы, Санкт-Петербурга. На IV Всероссийском съезде по охране окружающей среды (2-4.12.2013 г., Москва) деятельность Ассоциации отмечена благодарностью Президента России.

БИОТОПИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ ЭКОСИСТЕМ ДЕЛЬТЫ ВОЛГИ (АСТРАХАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЗАПОВЕДНИК)

Соколова Илга Валерьевна

кандидат биол. наук, старший научный сотр. Астраханский государственный биосферный заповедник

BIOTOPIC STRUCTURE OF BATS COMMUNITIES INHABITING FLOOD PLAIN ECOSYSTEMS OF THE DELTA OF THE VOLGA RIVER (ASTRAKHAN STATE RESERVE)

Sokolova Ilga, Candidate of Science, senior science researcher Of Astrakhan State Reserve

АННОТАЦИЯ

Исследована биотопическая структура сообществ рукокрылых надводной части дельты Волги в Астраханском заповеднике. Всего за 2013–2014 гг. учтено 884 особи 4 видов. Выделено 2 основных типа биотопов. Установлено, что значительный вклад в изменение характеристик сообществ рукокрылых вносят не только биотопические особенности местообитания. Также размещение рукокрылых по территории заповедника сильно зависит от сезона и от конкретных условий учётного года. Наибольшая биотопическая избирательность была отмечена у рукокрылых в осенний сезон 2014 года. Предпочтение только к одному типу биотопов обнаруживают как в 2013, так и в 2014 Р. *kuhlii* и *M. daubentonii*. Предпочтение ими определённого биотопа меняется в зависимости от сезона года.

ABSTRACT

Investigated biotopic community structure bats topside of the Volga delta in the Astrakhan Reserve. Total for the 2013-2014. accounted for 884 individuals of 4 species. Allocated 2 main types of habitats. It was found that a significant contribution to the change in the characteristics of communities of bats are making not only biotopic particular habitats. Also placing bats in the reserve is strongly dependent on the season and the specific conditions of the accounting year. Most biotopic selectivity was observed in bats in autumn 2014. Preference is only one type of habitats detected as 2013 and 2014, P. *kuhlii* and *M. daubentonii*. The preference of a particular habitat varies depending on the season.

Ключевые слова: рукокрылые, биотопическая структура, дельта Волги, Астраханский государственный заповедник.

Key words: bats, biotopic structure, Delta of Volga River, Astrakhan State Reserve

Последние профессиональные исследования рукокрылых в дельте Волги проводились около четверти века назад [6, 1990]. Фактически, до настоящего времени окончательно не выявлен даже видовой состав рукокрылых в

дельте Волги, как и в целом в Астраханской области. Исследования рукокрылых в Астраханском заповеднике, как на модельной территории могут выявить закономерности

их обитания в дельте Волги. В связи с этим, большой интерес представляют исследования выявления возможных закономерностей размещения рукокрылых по территории заповедника. Чаще всего размещение того или иного вида по изучаемой территории связывают с его биотопической приуроченностью. Для рукокрылых предпочтительными биотопами часто называются облесенные территории вблизи водоёмов [1, 1998; 2, 2005; 3, 1999]. Такие условия присутствуют по большей части территории надводной части дельты в Астраханском заповеднике. Кроме того, значительную часть этой территории занимают также тростниковые ассоциации. В данной статье мы постарались проследить, по даны учётов, только ли биотопические предпочтения определяют характер размещения рукокрылых в заповеднике.

Материал и методы.

Стационарные исследования проводили, в общей сложности, на 12 маршрутах, имеющих различные эколого-ландшафтные характеристики. Перемещение по территории осуществлялось водным транспортом на лодках и катерах заповедника весной и осенью 2013 и 2014 годов. Зверьков учитывали при помощи гетеродинных ультразвуковых детектора D-100 (Pettersson Elektronik AB). Сигналы записывались на диктофон с целью их дальнейшей идентификации. Нахождение каждой особи в пространстве фиксировалось с помощью GPS – навигатора и затем наносилась на карту с помощью программы GIS. Биотопы нанесены на карту заповедника по данным лесоустройства и спутниковым картам. Учёт рукокрылых осуществляли в часы наибольшей их ночной активности, в зависимости от сезона, с 20.00 до 23.00 (по Москве). Во время детекторного учёта фиксировали количество «пролетов» и «кормовых жужжаний».

Для оценки избирательности видов при выборе разных биотопов использовали степень относительной биотопической приуроченности [6, 1982], которая учитывает долю вида в структуре сообществ разных мест обитания и не требует равного объема исследований в разных

типах биотопов. Степень относительной биотопической приуроченности вычисляли по формуле:

$$F_{ij} = \frac{n_{ij}N - n_iN_j}{n_{ij}N + n_iN_j - 2n_{ij}N_j},$$

где n_{ij} – число особей i -го вида в j -выборке объемом N_j ; n_i – число особей этого вида во всех сборах объемом N . Величина F_{ij} изменяется от «+1» до «-1». Значение показателя F_{ij} больше нуля интерпретируется как проявление видом определенных предпочтений к данному типу местообитания, где он встречается регулярно, а меньше нуля – как отсутствие явных предпочтений. Чем сильнее отклонение показателя от нуля, тем больше приуроченность или избегание. Значение «+1» принимается, когда вид встречается исключительно в данном типе пространства, «-1» – вид полностью избегает его, а «0» – вид к нему «безразличен», т.е. не предпочитает, но и не избегает. Под биотопической приуроченностью понимали участок среды, характеризующийся определенным типом растительного сообщества, к которому привязана ночная активность рукокрылых [4, 2012; 6, 1982].

На исследуемой территории в пределах прибрежных экотонов было выделено 2 основных типа биотопов: естественные насаждения – галерейные леса, состоящие почти исключительно из ивы белой, с примесью ивы трёхтычинковой, и тростниковые ассоциации (преимущественно тростник южный с примесью рогозов и ежеголовника).

Результаты.

Всего за два полевых сезона было учтено 884 особи 4 видов рукокрылых. Среди пойманных и учтенных животных доминировали *Myotis daubentonii* (33,7%) и *Nyctalus noctula* (28,2%), несколько меньше было учтено *Vespertilio murinus* (23,6%). Наименее многочисленным в учётах оказался *Pipistrellus kuhlii* (14,5%).

Таблица 1

Степень приуроченности видов рукокрылых к различным типам биотопов

Название вида	Биотопы							
	Естественные насаждения				Тростниковые ассоциации			
	2013 год		2014 год		2013 год		2014 год	
	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень
<i>M. daubentonii</i>	0.13	1	-0.08	0.53	-0.39	-0.46	-0.82	0.62
<i>N. noctula</i>	-0.39	-0.30	-0.36	0.96	0.26	-0.23	0.15	0.25
<i>P. kuhlii</i>	0.76	-0.61	0.03	0.29	-1	0.25	-0.92	0.70
<i>V. murinus</i>	-0.40	-0.24	-0.68	0.62	0.34	-0.98	-0.43	0.70
Среднее (F_{ij})	0.025	-0.04	-0.27	0.60	-0.20	-0.37	-0.50	0.57
Число видов	4	4	4	4	3	4	4	4
Видов $F_{ij} > 0$	2	1	1	4	2	1	1	4

Примечание. Жирным шрифтом выделены наиболее значимые значения показателей приуроченности к биотопам.

Сразу следует отметить, что в пределах исследованной островной части дельты Волги ночная активность наибольшего числа видов рукокрылых сильно варьирует по сезонам, в плане приуроченности к какому-либо типу сообществ. Эта степень также подвержена изменчивости и по годам (таблица 1). В 2013 году средний коэффициент биотопической приуроченности, как в случае естественных насаждений, так и в случае тростниковых ассоциаций (ТА) с весны по осень изменялся незначительно. Заметная сезонная изменчивость наблюдалась лишь у отдельных

видов и главным образом по отношению к естественным насаждениям. Так, степень приуроченности к этому типу биотопов у *M. daubentonii* возросла в этот период с практически «безразличной» (0.13) до полного предпочтения (1). У *P. kuhlii*, наоборот, предпочтительность естественных насаждений (ЕС) к осени значительно снизилась (таблица 1). Кроме того, *P. kuhlii* практически отсутствовал весной в тростниковых ассоциациях, а осенью появился в незначительных количествах.

В 2014 году прослеживаются значительно более чёткие и заметные сезонные тенденции. Средний коэффициент предпочтительности обоих биотопов с весны до осени вырос с практически избегания до заметного предпочтения (таблица 1). Та же самая тенденция прослеживается и на отдельных видах. Если в весенний период заметного предпочтения какого-либо биотопа практически не наблюдалось, то к осени произошла значительная перегруппировка учитываемых видов по биотопам. Так, рыжие вечерницы почти исключительно переместились в галерейные леса, а нетопырь Куля – в тростниковые ассоциации. Что же касается водяной ночницы и двухцветного кожана, то их размещение по биотопам осенью было практически равномерным, с некоторым предпочтением ТА (таблица 1).

Заключение

Большинство исследованных в работе видов используют оба основных типа биотопов, степень биотопической приуроченности к которым различна. Более того, степень приуроченности к отдельным биотопам у изученных 4 видов значительно подвержена как межсезонным, так и межгодовым колебаниям. Таки образом, размещение рукокрылых по территории островной дельты Астраханского заповедника зависит не только от биотопических

предпочтений отдельных видов, но и от сезона, а также от конкретных условий учётного года.

Литература

1. Крусков С.В. Эколого-морфологическое разнообразие гладконосых рукокрылых (*Vespertilio*, *Chiroptera*): Ав-тореф. Дис. канд. биол. наук. М.: Диалог-МГУ, 1998. 24 с.
2. Курмаева Н.М. Эколого-фаунистическая характеристика рукокрылых (*Mammalia*, *Chiroptera*) Южного Урала и сопредельных территорий: ...дис. канд. биол. наук. Саратов, 2005. 152 с.
3. Смирнов Д.Г. Рукокрылые Среднего Поволжья (фауна, распространение, экология, морфология): ...дис. канд. биол. наук. М., 1999. 242 с.
4. Смирнов Д.Г., Вехник В. П. Биотопическая структура сообществ рукокрылых пойменных экосистем Самарской Луки. // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т 14. № 1.
5. Стрелков П.П., Ильин В.Ю. Рукокрылые (*Chiroptera*, *Vespertilionidae*) юга Среднего и Нижнего Поволжья // Тр. Зоол. ин-та АН СССР. 1990. Т. 225. С. 42–167.
6. Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука, 1982. 287 с.

ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОСОСУДИСТОГО ЭНДОТЕЛИЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЭМИ КВЧ

Трибрат Наталья Сергеевна

канд.биол.наук, доцент, Крымский федеральный университет им. В.И.Вернадского, г. Симферополь

Чуян Елена Николаевна

доктор биол. наук, проф., Крымский федеральный университет им. В.И.Вернадского, г. Симферополь

CHANGE OF THE MICROVASCULAR ENDOTHELIUM IN ACTION UNDER LOW INTENSITY EHF EMR

Tribrat Natalia, Candidate of biological Science, assistant of Professor, Crimean Federal V.I. Vernadsky University, Simferopol
Chuyan Elena, Doctor of biological Sciences, Professor, Crimean Federal V.I. Vernadsky University, Simferopol

АННОТАЦИЯ

Исследование посвящено изучению влияния низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на функциональную активность микрососудистого эндотелия. Показано, что ЭМИ КВЧ способствует увеличению базальной активности микрососудистого эндотелия, а также увеличению параметров эндотелий-зависимой вазодилатации в ходе проведения окклюзионной и холодной проб.

Ключевые слова: низкоинтенсивное ЭМИ КВЧ; эндотелий.

ABSTRACT

Study is investigated the influence of low-intensity EHF EMR on the functional activity of the microvascular endothelium. It is shown that EHF EMR increases the basal activity of the microvascular endothelium, as well as an increase in the parameters of endothelium-dependent vasodilation in the course of the occlusal and cold tests.

Key words: low-intensity EHF EMR; endothelium.

По мнению отечественных и зарубежных анатомов, физиологов и клиницистов микроциркуляция крови представляет собой фундаментальный процесс, определяющий конечную цель функционирования сердечно-сосудистой системы и играющий ключевую роль в трофическом обеспечении тканей и поддержании тканевого гомеостаза. Расстройства функционирования микрососудистого эндотелия являются одним из центральных звеньев патологии сердечно-сосудистой системы. По данным ВОЗ заболеваемости сердечно-сосудистой системы одна из наиболее

частых причин смертности в мире. Таким образом, актуальны вопросы коррекции микроциркуляторных расстройств, в числе которых и эндотелиальная дисфункция. Требования к современным методам коррекции и профилактики микроциркуляторных расстройств включают отсутствие побочных эффектов, противопоказаний, а главное - высокую эффективность. Этим требованиям удовлетворяет низкоинтенсивное электромагнитное излучение крайне высокой частоты (ЭМИ КВЧ) (длина волны - 7,1 мм,

плотность потока мощности – 0,1 мВт/см²). Эффективность коррекции с помощью ЭМИ КВЧ подтверждена в многочисленных экспериментах в качестве противовоспалительного, обезболивающего и других эффектов. Возможно, что в основе доказанных эффектов лежит и коррекция микроциркуляторных расстройств, в числе которых и эндотелиальная дисфункция. Однако влияние ЭМИ КВЧ на функциональную активность эндотелия остается неисследованным, что и явилось целью настоящего исследования.

Исследование проводилось на базе Центра коррекции функционального состояния человека. В исследовании принимали участие 30 девушек 20-35 лет.

Исследование эндотелиальной активности при действии низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ проводилось с помощью метода лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ), с использованием лазерного анализатора микроциркуляции «ЛАКК-02» (Лазма, Россия). Исследовали функциональную активность микрососудистого эндотелия в ходе проведения окклюзионной и холодовой функциональных проб, позволяющих выявить способность эндотелия к выработке оксида азота (NO). Функциональные пробы проводили до КВЧ-воздействия, а также после первого и десятого сеансов КВЧ-терапии.

КВЧ-воздействие осуществляли с помощью 7-канального терапевтического генератора «КВЧ. РАМЕД. ЭКСПЕРТ-04» в течение 10-ти дней, ежедневно, в утреннее время суток с экспозицией 30 минут на область симметричных биологически активных точек GI-4, RP-6, E-36.

В ЛДФ-грамме регистрировали показатель микроциркуляции (ПМ), характеризующий общую усредненную перфузию микрососудов за время исследования [4, с. 254].

В ходе проведения окклюзионной пробы ЛДФ-волновод фиксировали на области Захарьина-Геда сердца (на 4 см выше шиловидных отростков вентральной поверхности запястья). На предплечье предварительно фиксировалась манжета. Проба проводилась по следующей схеме: в течение одной минуты осуществлялась регистрация исходного уровня кровотока в состоянии покоя, затем создавалась окклюзия путем быстрого нагнетания давления в манжете до уровня 250 мм рт. ст. и проводилась дальнейшая регистрация потока крови в течение трех минут периода окклюзии. По истечении трехминутной окклюзии воздух из манжеты быстро выпускался и, в течение последующих шести минут, регистрировалась реакция перфузии в ходе восстановления кровотока. При интерпретации результатов окклюзионной пробы оценивали показатель РКК (%) – резерв кожного кровотока, регистрируемый в окклюзионной пробе, который рассчитывается по формуле:

$$\text{РКК} = \text{ПМ}_{\text{исх}} / \text{ПМ}_{\text{макс}} * 100\%, \quad (1)$$

где ПМ_{исх} – исходная величина показателя перфузии; ПМ_{макс} – максимальное значение показателя перфузии, зарегистрированное в период постокклюзионной гиперемии.

Параметр РКК, регистрируемый после трехминутной окклюзии, характеризует степень сохранности NO-синтазного механизма вазодилатации и составляет по мнению различных авторов [5, с. 48], 200-300%.

Холодовое тестирование проводили с помощью блока для проведения функциональных проб «ЛАКК-ТЕСТ», имеющего холодовой пробник. Локальное холодо-

вое тестирование проводили на области вентральной поверхности указательного пальца правой руки, размещая при этом холодовой пробник на дистальной фаланге пальца. Начальная температура пробника составляла 320С. Охлаждение проводили со скоростью 40С в минуту до достижения температуры пробника 50С. Локальное холодовое тестирование проводили по следующей схеме: регистрация исходного уровня перфузии при температуре 320С в течение 1-й минуты → регистрация перфузии в течение охлаждения до температуры 50С → регистрация показателя микроциркуляции в течение 5-ти минут при температуре пробника 50С.

По результатам локального холодового тестирования оценивали время Т (с), от начала охлаждения до начала первого вазодилатационного подъема. Данный показатель также характеризует NO-синтазную активность эндотелия.

При статистической обработке данных использовали непараметрический метод статистического анализа (критерий Вилкоксона).

Как показали результаты исследования, в ходе проведения окклюзионной и холодовой функциональных проб наблюдались изменения эндотелиальной активности при КВЧ-воздействии. Так, при проведении окклюзионной пробы до воздействия ЭМИ КВЧ у испытуемых показатель РКК, зарегистрированный в период реактивной постокклюзионной гиперемии составил 157,30%. Однако уже после первого сеанса КВЧ-излучения показатель РКК составил 199,06%, а после десятого сеанса - 220,58%, что на 41,76% (p≤0,05) и 63,28% (p≤0,05) больше, чем значения этого показателя, зарегистрированные до воздействия ЭМИ КВЧ.

Согласно экспериментальным исследованиям, постокклюзионная реактивная гиперемия является нейрогенной реакцией, реализуется преимущественно через высвобождение нейропептида кальцитонин-ген-родственного пептида и нейронального NO, секретируемых афферентными ноцицептивными С-волоконками. Эти факторы индуцируют синтез NO эндотелием, который, в свою очередь, воздействуя на гладкую мускулатуру сосудов, вызывает вазодилатацию [9, с. 1214]. Таким образом, параметр РКК характеризует степень сохранности NO-синтазного механизма вазодилатации. Поскольку результаты окклюзионной пробы свидетельствуют об увеличении уровня РКК в реактивной постокклюзионной гиперемии после воздействия ЭМИ КВЧ, то, можно предполагать, что КВЧ-излучение способствует увеличению стимулированного релизинга NO эндотелием.

Результаты проведения холодовой пробы подтвердили вовлеченность микрососудистого эндотелия в ответ на воздействие низкоинтенсивным ЭМИ КВЧ. Так, при проведении холодовой пробы показатель, характеризующий время от начала охлаждения до начала подъема уровня перфузии – Т составил у испытуемых в контроле 315 с. Временной показатель Т после первого КВЧ-воздействия уменьшился на 23,83% (p≤0,05) относительно контроля, достигая значения 240 с. Десятикратное воздействие ЭМИ КВЧ привело к сокращению времени достижения первого вазодилатационного пика на 20,24% (p≤0,05) относительно контроля, достигая значения 252 с. Таким образом, время, затраченное на инициацию холодовой вазодилатации, сократилось.

Результаты экспериментальных исследований с предварительным использованием ингибитора NO – L-NAME указывают на то, что феномен холодовой вазодилатации обусловлен выделением NO [3, с. 107]. Таким образом, сокращение времени достижения холодовой вазодилатации, свидетельствует об увеличении реактивности микрососудов, обусловленной увеличением рилизинга эндотелия NO при действии ЭМИ КВЧ.

Таким образом, результаты проведения окклюзионной и холодовой функциональных проб свидетельствуют о том, что низкоинтенсивное ЭМИ КВЧ приводит к увеличению функциональной активности микрососудистого эндотелия посредством увеличения выработки NO. Вероятно, увеличение функциональной активности микрососудистого эндотелия после КВЧ-воздействия, может быть обусловлено рядом факторов.

Известно, что синтез NO в обычных условиях существенно лимитируется активностью фермента эндотелиальной NO-синтазы (eNOS). Среди возможных путей повышения биосинтеза NO в физиологических условиях является изменение регуляции активности фермента NO-синтазы (NOS). При этом, физиологический характер синтеза NO определяется конститутивными формами NOS, в частности, eNOS. Ключевую роль в инициации каталитической активности eNOS играет увеличение концентрации внутриклеточного Ca²⁺ в цитоплазме, которое, происходит под влиянием низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ [2, с. 15].

Кроме того, известно, что NO легко диффундирует в межклеточное вещество, проникает в миоциты сосудов и активирует внутриклеточную растворимую гуанилатциклазу. Вследствие этого в мышечной клетке существенно повышается концентрация внутриклеточного цГМФ, под влиянием которого и происходит релаксация гладкомышечных волокон сосудистой стенки, результатом чего является вазодилатация. Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что при действии ЭМИ КВЧ отмечаются изменения в базальном уровне циклических нуклеотидов, в частности, отмечается увеличение уровня цГМФ в 4 раза по сравнению с исходными данными у больных с язвенной болезнью.

Кроме того, механизм действия ЭМИ КВЧ может быть связан с выделяемыми в тканях биологически активными веществами. Показано, что под влиянием ЭМИ КВЧ (42,253 ГГц, плотность потока мощности от 100 мВт/см² до 50 мВт/см²) [1, с. 635; 7, с. 1102] происходит дегрануляция тучных клеток кожи с выделением биологически активных веществ (гистамин, серотонин). Выделение биологически активных веществ при их дегрануляции, по-видимому, является одним из механизмов в каскаде событий, ведущих к системному ответу организма на воздействие низкоинтенсивного ЭМИ. Показано, например, что уровень гистамина в зоне дегрануляции тучных клеток под действием КВЧ-излучения увеличивается в 30 раз [7, с. 1096]. Известно, что гистамин стимулирует 90 kDa тирозин-фосфорилированный eNOS-связанный протеин, который оказывает положительное влияние на активность eNOS, что стимулирует продукцию NO [6, с. 418].

Наряду с этим показано, что под влиянием КВЧ-излучения происходит увеличение содержания серотонина в периферической крови экспериментальных животных [8, с. 14], что стимулирует эндотелий-зависимую вазодилатацию с выработкой NO через рецепторы эндотелия.

Таким образом, воздействие ЭМИ КВЧ вероятно является естественным физиологическим регулятором активности эндогенного NO в физиологических системах организма посредством увеличения его продукции.

ВЫВОДЫ

1. Результаты проведения окклюзионной пробы свидетельствуют об увеличении функциональной активности микрососудистого эндотелия при воздействии ЭМИ КВЧ, о чем свидетельствует увеличение параметра резерва кожного кровотока, характеризующего степень сохранности выработки NO, на 41,76% ($p \leq 0,05$) после первого и 63,28% ($p \leq 0,05$) десятого сеансов.
2. Результаты проведения холодовой пробы подтверждают увеличение эндотелиальной активности при КВЧ-воздействии, в пользу чего свидетельствует сокращение времени достижения вазодилатационного пика, характеризующего сохранность эндотелиальной функции на 23,83% ($p \leq 0,05$) после первого и 20,24% ($p \leq 0,05$) после десятого сеансов.

Список литературы

1. Воронков, В.Н. Морфологические изменения в коже при действии КВЧ ЭМИ / В. Н. Воронков, Е. П. Хижняк // Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине: межд. симпоз.: сб. докл. – М.: ИРЭ АН СССР, 1991. – С. 635–638.
2. Гапеев, А.Б. Действие непрерывного и модулированного ЭМИ КВЧ на клетки животных: обзор. Ч. I: Особенности и основные гипотезы о механизмах биологического действия ЭМИ КВЧ / А.Б. Гапеев, Н.К. Чемерис // Вестник новых мед. технологий. – 1999. – Т. 6, № 1. – С. 15–22.
3. Звездин, М.С. Реактивность сосудов кожи при дистантном тепловом воздействии / М. С. Звездин, В. В. Ачкасова // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2006. – № 4(20). – С. 107–110.
4. Крупаткин, А.И. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови / А. И. Крупаткин, В. В. Сидоров. – М.: Медицина, 2005 – 254 с.
5. Метод лазерной доплеровской флоуметрии в кардиологии. Пособие для врачей / Под ред. Маколкин В.И., Бранько В.В., Богданова С.А. и др. – М.: Россельхозакадемия, 1999. – 48 с.
6. Мойбенко, А.А. Влияние ингибирования NO-синтазы на кардиогенные депрессорные рефлексы у животных разных видов / А.А. Мойбенко, В.Б. Павлюченко, В.В. Даценко // Нейрофизиология. – 2003. – Т. 35. – №5. – С. 418–424.
7. Попов, В.И. Дегрануляция тучных клеток кожи под действием низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайне высокой частоты / В. И. Попов, В. В. Рогачевский, А. Б. Гапеев // Биофизика. – 2001. – Т. 46, вып. 6. – С. 1096–1102.
8. Чуян, Е.Н. Роль катехоламинов в регуляции тканевого кровотока при действии низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайне высокой частоты / Чуян Е.Н. Раваева М.Ю. // Проблемы современной науки и образования. – 2014. – №8.(26) – с. 14-19.
9. Early decrease of skin blood flow in response to locally applied pressure in diabetic subjects / B. Fromy, P. Abraham, C. Bouvet [et al.] // Diabetes. – 2002. – Vol. 51. – P. 1214–1217.

ВИДОВАЯ, ЭКОСИСТЕМНАЯ И СОЦИАЛЬНАЯ ФОРМЫ РАЗВИТИЯ ЖИВОГО НА ЗЕМЛЕ

Зубков А.Ф.

Профессор, доктор биологических наук, Всероссийский НИИ защиты растений, Санкт-Петербург

SPECIFIC, ECOSYSTEMIC AND SOCIAL FORMS OF LIFE DEVELOPMENT ON THE EARTH

A.F. Zubkov, Professor, Dr.Sci.Biol., All-Russian Research Institute of Plant Protection, St. Petersburg

АННОТАЦИЯ

Для разнообразной научной общественности понимание сложных биологических явлений (возникновение, эволюция и функционирование) существенно упорядочивается, если принять упрощенную «рабочую» модель, которую, в частности, принял для себя автор: биосферная (видовая и экосистемная) и ноосферная (социальная) формы развития живого на Земле. В основу методологии исследования положены интерпретации учения В.И.Вернадского о роли живого вещества на Земле.

Ключевые слова: живая материя; форма развития: видовая, экосистемная и социальная; эгоизм человека.

ABSTRACT

The understanding of complex biological phenomena (emergence, evolution and functioning) by a scientific community is significantly ordered, if we use the simplified "working" model: biosphere (specific and ecosystemic) and noosphere (social) forms of life development on the Earth. Interpretations of the V.I. Vernadsky doctrine about a role of living material on the Earth are the basis for our research methodology.

Key words: live matter; development form: species, ecosystem, society; human egoism.

Применительно к рассматриваемой теме следует определить первоначальную научную базу исследований. Использовался междисциплинарный (синергетический) подход к оценке развития (эволюции) органического мира*. В этом направлении в XIX веке состоялось два величайших открытия: «Происхождение видов путем естественного отбора»** Ч.Дарвином в 1859 г. и биоценоза К.Мёбиусом в 1877 г. как «Объединение живых организмов, соответствующее по своему составу, числу видов и особей некоторым средним условиям среды, ... в котором организмы связаны взаимной зависимостью». Эти открытия определили основополагающие направления биологического естествознания на два века вперед, и нашли многочисленных сторонников и противников.

Теория Ч.Дарвина огорчила ламаркистов, но ее любили материалисты, хотя ведущей роли внешней среды, ими пропагандируемой, видится больше, например, в библейском «Всемирном потопе», чем в «естественном отборе». Там водная стихия, а здесь - гносеологическое фразеологическое описание неопределенности - за каждым видом маячит нечто - «естественный отбор»...

По сути дела теория Ч.Дарвина впервые открыла научно обоснованную форму развития живого - возникновение первых живых существ в «бульоне» из органических веществ, собирающихся в теплых лагунах из атомов физико-химических элементов в соответствии с первородными свойствами саморазвивающейся материи, а также бурное развитие видов по формуле = «изменчивость + наследственность + естественный отбор». Первые два свойства живых организмов были известны людям

еще с древности, и использовались при улучшении пород животных и выращиваемых растений.

Третий фактор - «естественный отбор», эквивалентный по смыслу термину «выживание», Ч.Дарвин считал главным творцом эволюции, и был им придуман, видимо, для объяснения поступательного механизма эволюции видов - так лучше смотрится вектор развития, постоянного приспособления видов, чем, например, равнозначный термин «выживание». Так увереннее можно было противостоять креационистам. Ч.Дарвин писал, что никогда не отрицал существование Бога, но был агностиком и в церковь не ходил... Эволюция по Дарвину «ненаправленная», но поступательная и необратима. На мой студенческий вопрос преподавателю: «можно ли путем создания внешних условий повернуть эволюцию вспять?», ответил - «нет» Он был из числа сосланных в Сибирь вейсманистов-морганистов...

Если бы «Гены» были открыты в дарвиновское время, то еще неизвестно посчитал бы Ч.Дарвин Natural Selection главным механизмом эволюции. Естественный отбор - завершающий фактор бесчисленных эволюционных минипроцессов, но вначале для него надо что-то наковать, чтобы что-то было выбрано потом. Роль естественного отбора первичных живых существ мог играть первичный «бульон» из органических веществ в условиях абсолютной стерильности, а далее до наших дней - факторы все поедающей биологической среды.

Эволюция по Ч.Дарвину соответствовала научному знанию того времени. По мере углубления науки, особенно генетики, внутрь живого вещества накапливались

* СИН-...[вместе] - приставка в сложных словах, обозначающая совместность, одновременность. Термин синергетика, кстати, заменил дефиницию «системный анализ», преподносимую как новый методологический прием современной биологии, хотя это - аналог категорий диалектики Ф.Гегеля «единичное и общее», «части и целое». Значения вторых категорий этих сочленов свидетельствуют о добавочных (эмерджентных) качествах целостных систем.

** В русском переводе. За «естественным отбором» мерещится возможная управляющая роль Бога. Семантика термина «natural selection», использованного Дарвином, удалена от Всевышнего, поскольку протекает в поле и наглядно знакома человеку. Первые переводы "Происхождения видов" Ч.Дарвина на русский язык трактовали термин "Natural Selection" не как "естественный отбор", а как "естественный подбор" или "осознанный выбор" (неважно кем он ведется Человеком или Природой).

противоречия, уточнения. В итоге в конце XIX - начале XX веков большинство биологов принимало концепцию эволюции, но мало кто считал, что естественный отбор является главной ее движущей силой. Большую популярность имела красивая теория номогенеза Л.С.Берга 1920-х годов - направленная эволюция законами развития живой и неживой природы. Фантазия последней, например, в виде морозных узоров на окнах, не уступит причудливому разнообразию растительного и животного мира.

Авторы синтетической теории эволюции (СТЭ) спустя 100 лет оказались в похожей ситуации: они также отдали пальму первенства в эволюции естественному отбору тогда, когда забрезжил рассвет генетической революции в эволюции. Л.С.Бергу и сторонникам его номогенеза открытие генов пораньше также было бы весьма кстати, особенно в отношении главной их позиции, что борьба за существование и естественный отбор не являются факторами прогресса, так как будучи консервативными, охраняют норму.

СТЭ объединила дарвинизм и генетику. Неодарвинизм - синтез лучших компонентов ранее предложенных теорий, представлений о мутационном процессе, открытий генетики, в частности, генетики популяций, положения о принципиальном единстве механизмов микро- и макроэволюции, подтвердивших в целом эволюционную теорию Ч.Дарвина. Эволюция имеет поступательный ненаправленный к некоей конечной цели характер, не предсказуема. Иначе говоря, эволюция «не носит финалистический характер». В наше время пишется принципиально иная - «революционная» теория эволюции...

В СТЭ большое значение приобрела концепция уровней организации жизни на Земле. Все многообразие живых организмов на нашей планете со структурной и функциональной точек зрения было предложено разделить на 4 уровня: молекулярно-генетический, онтогенетический (организменный), популяционно-видовой и биосферный (биогеоценотический). На первом уровне осуществляется самовоспроизведение с изменением, лежащая в основе всего эволюционного процесса; на уровне организма - реализация генетической информации в соответствии с условиями естественного отбора; на популяционно-видовом уровне - исторический процесс изменения организмов; на биосферном уровне - приспособление различных видов друг к другу и также к окружающей среде, - формирование биогеоценологических равновесий (<http://www2.asu.ru/departments/bio/darvin/all.html#top>).

Структурные уровни организации жизни впервые ввел в научное обращение А.В.Новиков (1945, с. 209) как концепцию интегративных уровней организации - «общее описание эволюции материи, проходящей через последовательные и всё более высокие порядки сложности и интеграции. Она рассматривает развитие материи от космических изменений, приводящих к образованию Земли, до социальных изменений в обществе». В биологии - это клетка, орган, организм, популяция, биоценоз. Затем они стали рассматриваться как формы организации живого: организменная, популяционно-видовая, биоценотическая и биосферная [1, с.29-47].

Если принять во внимание видоспецифичность

первых уровней организации по А.В.Новикову (до биоценоза), а также первых трех форм иерархического ряда организации живого по К.М.Завадскому, то все структуры сводимы к двум изначальным формам развития живой материи - видовой форме и экосистемной форме, подчеркну, развития живого [2, с.23-35]. К формам жизни не применимо понятие иерархического ряда - они равнозначны и возникли одновременно, как следует из учения В.И.Вернадского. Последней на Земле возникла форма общественной жизни человека.

В определении нового природного объекта биоценоза К.Мёбиус отмечает связь организмов между собой и со средой обитания. В последней четверти XIX века начала формироваться наука «экология». Термин «экология» был предложен немецким ученым Э.Геккелем в 1866 г. Открытие структуры, объединяющей биоценоз и пронизывающую его абиотику, было делом времени. Однако это время пришло только в 1935 г., когда современный термин «экосистема» впервые был предложен английским экологом и геоботаником А.Тенсли удовлетворившим большую часть экологов.

Понятия биоценоза и экосистемы органично прижились в 1942 г. В.Н.Сукачев - предложил термин и разработал учение о «биогеоценозе», где на конкретном участке происходит взаимодействие всех компонентов живой и мертвой природы. Биогеоценоз часто используется в качестве аналога целостной экосистемы, хотя он несет больше информации в качестве элементарной экогеосистемной единицы биосферы.

Экосистемы обязаны своим возникновением деятельностью живых существ, через посредство работы конечностей, челюстей и кишечника. В полной мере экология (oikos - дом, + logos - учение) как новая наука естествознания разработана только во второй половине XX века в трудах американских (Ю.Одум и его школы) и английских экологов (М.Бигон, Дж.Харпер, К.Таусенд). В учебниках Ю.Одума превалирует экосистемное (аут-, дем- и синэкологические подходы), тогда как у англичан - видовое устройство жизни (виды, популяции, сообщество видов) на Земле.

Биологические организмы сами себе выстроили "дом" на Земле, много раз перестраивали его в биосферу, а люди биосферу превращают в ноосферу, но так, что глаза бы не глядели...

В настоящее время даны сотни определений экосистемы и схем ее организации. Она безразмерна, границы ее целостности чаще всего определяются интуитивно в зависимости от целей исследования или использования - от крупного биогеоценоза или выдела (фации) ландшафта до «нескольких агроценозов на площади полевого севооборота» [3, с.144-157].

Экосистемы состоят из компонентов (комплексов видов) - автотрофов, гетеротрофов, редуцентов, образующих трофические уровни ее функциональной структуры. Благодаря деятельности живых организмов в экосистемах функционирует относительно стабильный биогеохимический круговорот биокосного вещества с тенденцией нарастания его объема. Круговорот вещества в экосистеме, выполняет интегрирующую роль взаимодействия компонентов биоценоза и косной среды. В этом плане все

природные экосистемы, включая пахотные земли, организованы просто и однообразно. Автотрофы в процессе фотосинтеза под действием энергии солнечного света ежесекундно образуют органическое вещество из углекислого газа и воды, которое кормит сами эти виды и все население гетеротрофов экосистемы, распространяясь по пищевой сети на три, максимум четыре трофических уровня (растения, фитофаги, хищники и паразиты, сверхпаразиты). На более высокий уровень трофической пирамиды переходит только примерно десятая часть биомассы (правило 10%).

Саморегуляция экосистемы, как и глобальной экосистемной формы развития живого, просто, надежно и эффективно обеспечивается бесконечным числом самовозникающих и саморегулируемых биоценологических процессов в биогеоценозах, когда мириады мириад особей трофически разнообразных видов перемальвуют органику, запасаемую автотрофами в соответствии с наследственными свойствами, передающимся из поколения в поколение в видовой самовозникающей и саморегулируемой форме развития жизни [4, с. 3-17]. Это биосферный механизм саморегулирования всей земной биоты

Экосистемная форма развития жизни на Земле, протекающая в биогеоценозах (целостных экосистемах), возникла и развивается в соответствии с глобальными термодинамическими законами благодаря всесторонней деятельности живых термодинамических организмов видовой формы развития живого под влиянием свободной энергии Солнца. В этом смысле жизнь предстает перед нами как высшее проявление происходящих в природе процессов самоорганизации (И.Пригожин, <https://www.google.ru/search>).

Все живые организмы относятся к открытым термодинамическим системам. Главное условие их существования - непрерывный обмен веществом и энергией с окружающей средой, откуда чтобы поддерживать свою структуру и функции, живые организмы должны добывать все новые порции энергии (пищи), что и происходит в биоценологических процессах в экосистемах.

Как известно, по первому закону термодинамики на первом трофическом уровне зелеными растениями солнечная энергия в процессе фотосинтеза преобразуется в энергию химических связей органических веществ, вовлекаемых в метаболические процессы. При этом по второму закону термодинамики большая часть захваченной растениями энергии рассеивается в окружающую среду в виде траты на их дыхание. Чистая первичная продукция (прирост фитомассы) составляет только 1% от захваченной энергии. Далее запасенная растениями фитомасса потребляется консументами второго и третьего трофического уровня, частично тратится на дыхание и выделяется с экскрементами, а остальное накапливается в виде вторичной продукции с 10% коэффициентом перехода на вышестоящий трофический уровень. На столе человека оказывались бы крохи от 1% чистой первичной продукции, если бы он вовремя не отбирал ее у других гетеротрофов. Но отбирать надо с умом, не уничтожая оных, иначе придется самим перетирать солому и остатки корней для почвенных микроорганизмов-деструкторов.

Экосистема предоставляет местообитание всем живым существам при минимальной конкуренции (интерференции) среди растительного мира, обеспечивая тем самым максимизацию образования органики на единицу земной поверхности. На территориях экосистем происходит естественный отбор, но на одном этом основании говорить об эволюции экосистем опрометчиво. Формирование нового вида идет неопределенно долгое время, поэтому проследить по скелетам результат эволюции можно, но выделить роль естественного отбора в этом процессе, скажем так, затруднительно.

Экосистемы - открытые системы также для осуществления миграционных потоков и круговоротов особей видов. В них постоянно идут экологические сукцессии видов, чаще всего циклического типа, по мере изменения в них видового состава в результате старения климаксовых экосистем, изменения климата, вторичных сукцессий на пожарищах и т.д. В севооборотной агроэкосистеме функционирует добавочный агрономический круговорот видов вслед за основными кормовыми культурами в процессе их ротации [3, с.156]. Сукцессии начинаются, как правило, со смены растительности.

Видовая и экосистемная формы развития жизни объясняют эволюционное происхождение видов. Не отрываясь от учения Ч.Дарвина можно уточнить, что в видовой форме работают два фактора - изменчивость и наследственность свойств организмов, то есть их свободное размножение, а в экосистемной форме происходит естественная селекция - естественный отбор выносливых и размножающихся мутированных особей. Выделять из них главный фактор бессмысленно - все они работают сообща и непрерывно. Если вырвать фрактал - кусочек эволюционного процесса, то начало можно увидеть в изменчивости, а законченность - в отборе.

Таким образом, эволюция - это теоретическое воплощение видовой формы, а сукцессии - экосистемной формы развития живого на Земле. Развитие двух форм осуществляется во взаимодействии друг с другом и только в методологическом познавательном плане они могут рассматриваться отдельно.

Последнее относится уже к творчеству социально-ноосферного развития жизни на Земле.

Социальная (общественная) форма развития живого свойственна многим видам животных, которые приспособились в экосистемных условиях жить группами особей, как правило, одного вида (тейпами, стаями, муравейниками, общинами и т.п.). В ней также идет эволюция видов, как и экосистемное преобразование природы.

Наиболее развита социальная форма у человека как разумного вида, себя сознающего, преобразующего биосферу в ноосферу. На данном периоде цивилизации эта форма стремительно развивается - подавляющая часть думающего населения планеты только этой формой и занимается. Даже приемы пищи (дань экосистемной форме) и любовные утехи (участие в видовой форме развития) не отвлекают людей надолго от социальной деятельности (бизнеса, творчества, созидания, управления государством). Потому-то социальную форму развития называют формой разумного развития живого на Земле.

Однако слова «разумного развития» уже следует заключить в кавычки, поскольку люди пока не сделали ничего выдающегося для развития природы Земли: не приумножили фауну и флору, не сохранили плодородие почвы... Так что у живой природы большие претензии к социальной форме развития Человека. Всю свою кипучую энергию он эгоистично подчиняет удовлетворению своих нужд, желаний и зачастую преступных намерений.

Человек сам себя социально никогда не ограничит, и религиям это не по силам то же. Образумить человека могли бы наука и образование, но на то и другое у государств не хватает средств, к тому же в XXI веке общество перестало учиться.

Литература

1. Завадский К.М. Основные формы организации живого и их подразделения // *Философские проблемы современной биологии* -1966. - С. 29-47.
2. Зубков А.Ф. Структурная организация агробиогенеза и его место в эволюции живого // *Сельскохозяйственная биология* -1992. - 3. - С.23-35.
3. Зубков А.Ф. Агробиологическая фитосанитарная диагностика -ВИЗР. СПб. -1995. -386 с.
4. Зубков А.Ф. Концепция саморегуляции биоценологических процессов в агроэкосистеме // *Вестник защиты растений* - 2007. - 1. - С. 3-17.
5. Novikoff A.B. The concept of integrative levels and biology // *Science* - 1945. - V.101. - N 2618. - С. 209-215.

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

АНАЛИЗ РАЗЛИЧИЯ ВИДОВ СТОИМОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ

Чернова Алина Сергеевна

студентка ФГБОУ ВПО НИМИ им. А.К. Кортунова ДГАУ, г.Новочеркасск, Россия

ANALYSIS OF SPECIES DIFFERENCES IN THE VALUE OF INDIVIDUAL PROPERTIES

Chernova Alina Sergeevna, student VPO THEM them. A. K. Kortunov, DNAU, Novocherkassk, Russia

АННОТАЦИЯ

Анализ различия видов стоимости объектов недвижимости на примере жилого сектора с применением рыночной и инвентаризационной оценки.

ABSTRACT

Analysis of species differences in the value of real estate objects on the example of the residential sector using market and inventory assessment.

Ключевые слова: массовая оценка и индивидуальная оценка; рыночная и инвентаризационная стоимость.

Keywords: mass assessment and individual assessment; market and assessed value.

В настоящее время недвижимое имущество находится в свободном обороте и является объектом различных сделок, что приводит к потребности в определении его стоимости для установления денежного эквивалента различных видов недвижимости в определенное время. Процесс оценки объектов недвижимости осуществляется по двум направлениям: массовая оценка и индивидуальная оценка (Рисунок 1).

В законодательстве предусмотрено большое количество операций, что обуславливает необходимость знания актуальной стоимости объектов сделок. Поэтому в оценочной практике множество различных видов стоимости недвижимости, которые можно классифицировать по укрупненным признакам: стоимость обмена и стоимость в использовании.

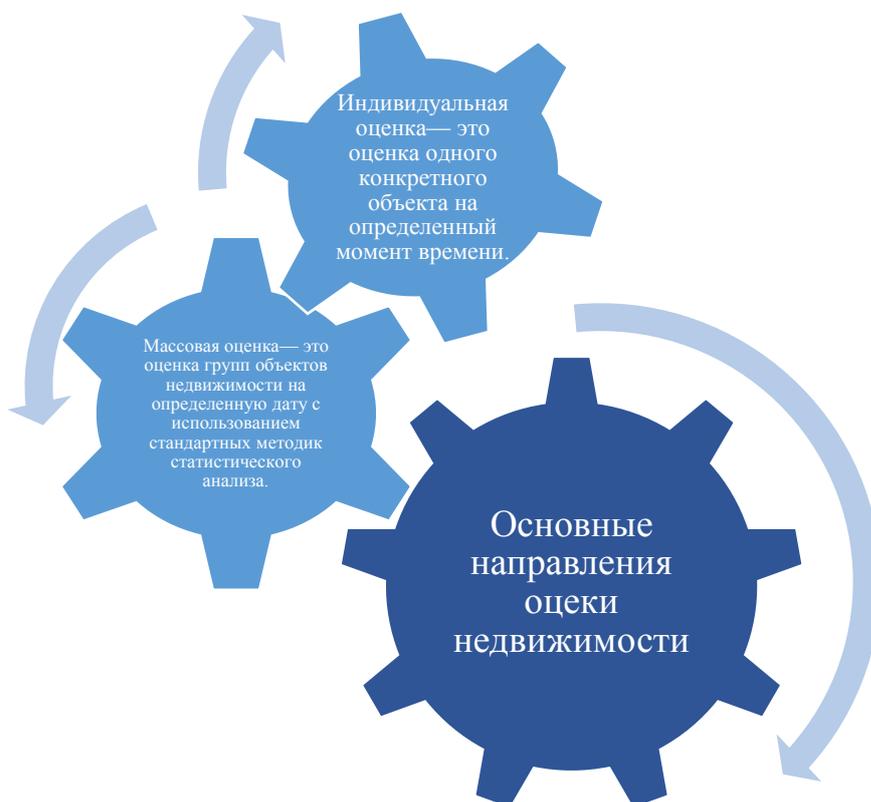


Рисунок 1. Основные направления оценки недвижимости

Стоимость обмена включает в себя: рыночную, арендную, залоговую, страховую, ликвидационную. При определении рыночной стоимости цена объекта недвижимости является наиболее вероятной, по которой данный объект может быть представлен на открытом рынке в условиях конкуренции, когда стороны сделки владеют всей необходимой информацией, а на величине сделки не отражаются форс-мажорные обстоятельства. Стоимость в использовании подразумевает: инвестиционную, стоимость замещения, балансовую, кадастровую, налогооблагаемую, инвентаризационную, восстановительную.

Стоимость в использовании отображает ценность объекта для собственника, который не собирается проводить какие-либо сделки с объектом. Эта стоимость необходима для сравнения с альтернативными вариантами инвестиций, сопоставления с затратными оценками на создание аналогичных объектов и других целей. [2, с.228]

Оценочная деятельность регулируется основными нормативными актами: Федеральный закон № 135-ФЗ «Об оценочной деятельности в Российской Федерации» от 19 июля 1998 года, а так же основывается на Федеральные стандарты оценки (ФСО №1, ФСО №2, ФСО №3), утв.

Приказом Министерства экономического развития и торговли РФ №256 от 20 июля 2007 года. [4]

В настоящее время наиболее распространенными видами стоимости являются рыночная и инвентаризационная стоимость.

Рыночная стоимость объекта недвижимости является понятием более широким и учитывает, кроме технических и физических характеристик объекта, цены, существующие на рынке в текущий момент, социально-экономические и прочие факторы в отличие от инвентаризационной стоимости. В данном случае оценка объекта может проводиться для самых разных целей: оформления залога, подписания договора страхования, получения кредита и других целей.

Рыночная оценка стоимости недвижимости осуществляется тремя подходами. Подход к оценке представляет собой совокупность методов оценки, объединенных общей методологией. Методом оценки является последовательность процедур, позволяющая на основе существенной для данного метода информации определить стоимость объекта оценки в рамках одного из подходов к оценке. (Рисунок 2)



Рисунок 2. Подходы к оценке объектов недвижимости

Основными условия применения сравнительного подхода: объект не должен быть уникальным; информация о сделках должна быть исчерпывающей; факторы, влияющие на стоимость сравниваемых аналогов оцениваемой недвижимости, должны быть сопоставимы. Затрат-

ный подход к оценке недвижимости базируется на предположении, что покупатель не заплатит за готовый объект больше, чем за создание объекта аналогичной стоимости. Основной предпосылкой расчета стоимости доходным подходом является сдача в аренду объекта недвижимости. В основе доходного подхода лежит предпосылка, что

стоимость недвижимости обусловлена способностью оцениваемого объекта генерировать потоки доходов в будущем. [3,с.257]

Инвентаризационная стоимость представляет собой восстановительную стоимость объекта с учетом износа и динамики роста цен на строительную продукцию, работы и услуги. Оценка строений, помещений и сооружений осуществляется по состоянию на 1 января каждого года на основе данных инвентаризации, проводимой в соответствии с действующими нормами технической инвентаризации, и регистрации. Государственная служба оценки недвижимости- бюро технической инвентаризации, существующие еще с советских времен, определяет инвентаризационную стоимость объектов недвижимости. [1,с.26]

В данной статье проведена работа анализ различия рыночной и инвентаризационной стоимости. Для сравнения этих двух видов стоимости мною были выбраны следующие объекты (таблица 1):

1. Краснодарский край, ст. Ленинградская ул. Степная № 18- Объект незавершенного строительства (жилой дом) общей площадью 108,6 кв.м, рыночная стоимость которого составила 1662000 руб., а инвентаризационная стоимость 300326 руб.
2. Краснодарский край, ст. Ленинградская ул. Шорса № 108- жилой дом общей площадью 93,3 кв.м, рыночная стоимость которого составила 1967740 рублей, а инвентаризационная стоимость 278652 рублей.
3. Жилой дом, на земельном участке с хозпостройками, расположенный в ст. Ленинградская Краснодарского края по ул. Советов № 69, 1970 года постройки, общей площадью 79,3 кв.м. рыночная стоимость которого составила 1215944 рублей, а инвентаризационная – 127201 рублей.
4. Жилой дом, расположенный на земельном участке с хозпостройками 2014г. постройки находящийся

по ул. Громкой № 52 в ст. Ленинградская имеет рыночную стоимость 1252000 рублей и инвентаризационную стоимость 995000 рублей.

5. Часть жилого дома, расположенного на земельном участке с хозпостройками находящийся по улице Куцевской № 21 кв.2 в ст. Ленинградская имеет рыночную стоимость 631000 рублей, а инвентаризационная стоимость составляет 68253 рублей.
6. Жилой дом, 1964 года постройки расположенный на земельном участке с хозпостройками имеющим общую площадь 49,2 кв.м. находящийся по улице Энгельса № 93 в ст. Ленинградская имеет рыночную стоимость 1379000 рублей, а инвентаризационную стоимость 192143 рублей.
7. Жилой дом в ст. Ленинградская по пер.Уманскому № 7,1959 года постройки имеет рыночную стоимость 1163000рублей и инвентаризационную стоимость 153840 рублей.
8. Жилой дом, расположенный на земельном участке с хозпостройками имеющим общую площадь 136,5 кв.м.,2004 года, находящийся по переулку Южному № 12 в ст. Ленинградская имеет рыночную стоимость 4039000 руб., а инвентаризационную стоимость 625453 руб.
9. Жилой дом, 1964 года постройки расположенный на земельном участке с хозпостройками имеющим общую площадь 67,2 кв.м. находящийся по улице Набережная № 109 в ст. Ленинградская имеет рыночную стоимость 1190000 рублей, а инвентаризационную стоимость 368256 рублей.
10. Жилой дом, расположенный на земельном участке с хозпостройками имеющим общую площадь 65,5 кв.м. находящийся по улице Запорожская № 28 в ст. Ленинградская имеет рыночную стоимость 1363000 руб., а инвентаризационную стоимость 528000руб.

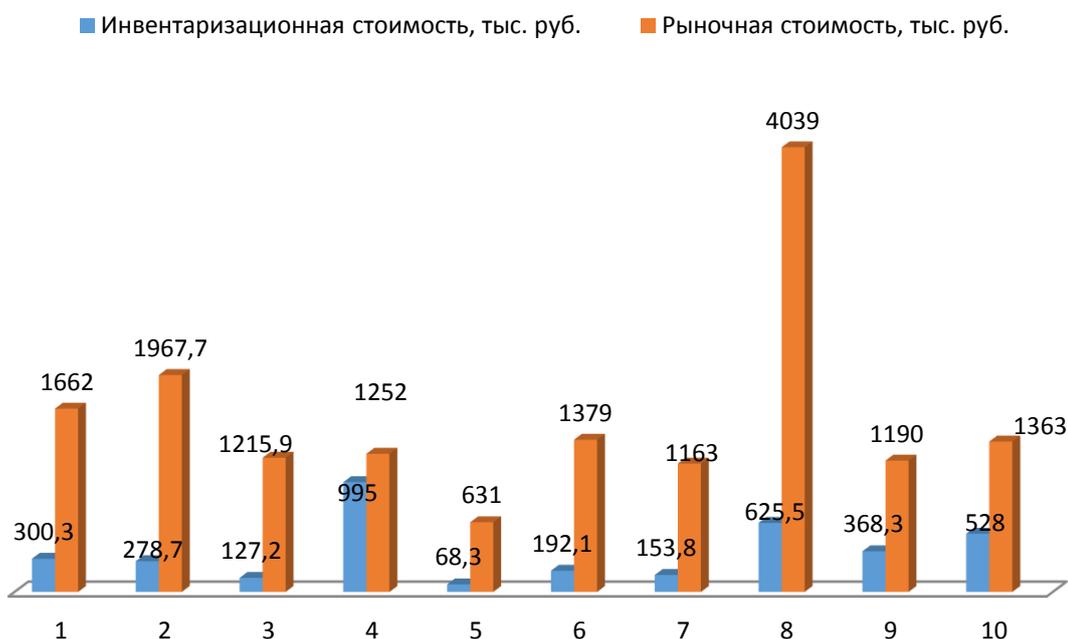


Рисунок 3. Диаграмма сравнения инвентаризационной и рыночной стоимости

Таблица 1

Сводные данные по объектам оценки

№		Объект	Адрес	S, кв.м	Инвентаризационная стоимость	Рыночная стоимость
1		Объект незавершенного строительства (жилой дом)	ул.Степная № 18	108,6	300326	1662000
2		Жилой дом	ул. Шорса № 108	93,3	278652	1967740
3		Жилой дом	ул. Советов № 69	79,3	127201	1215944
4		Жилой дом	ул. Громкой № 52		995000	1252000
5		Часть жилого дома	Ул. Куцевской № 21 кв.2		68253	631000
6		Жилой дом	Ул.Энгельса № 93	49,2	192143	1379000

№		Объект	Адрес	S, кв. м	Инвентаризационная стоимость	Рыночная стоимость
7		Жилой дом	Пер. Уманский № 7	37,3	153840	1163000
8		Жилой дом	Пер. Южному № 12	136,5	625453	4039000
9		Жилой дом	Ул. Набережная № 109	67,2	368256	1190000
10		Жилой дом	Ул. Запорожской № 28	65,5	528000	1363000

По данным анализа (рисунок 3) можно сказать, что инвентаризационная стоимость объекта почти в два раза меньше его рыночной стоимости. Разница между рыночной и инвентаризационной стоимостью достигла максимального размера по объекту №8 (пер. Южный № 12), которая составила 4039000 рублей. Эта стоимость выше инвентаризационной на 85%. Минимальное значение рыночной и инвентаризационной стоимости вышло по объекту № 5 (ул. Кущевская № 21 кв.2). По данным анализа можно сказать, что в ближайшее время требуется обязательная корреляция инвентаризационной стоимости.

На сегодня инвентаризационную стоимость объектов капитального строительства формируют две группы ценообразующих факторов, характеризующих назначение и типизацию объектов недвижимости, определяющие его функциональное использование (жилой дом или жилое помещение, гидротехническое сооружение, нежилое помещение, квартира), а также факторов, характеризующих качество объектов недвижимости (материал стен, год постройки, этаж или этажность, физический износ).

На мой взгляд, чтобы увеличить инвентаризационную оценку стоимости объекта нужно увеличить коэффициенты на климатический район, на группу капитальности строений. Включить в стоимость фактор, характеризую-

щий местоположение объекта недвижимости (удаленность от центра, от основных транспортных магистралей, обеспеченность социальной и инженерной инфраструктурой), а также фактор, если объект находится в густонаселенном месте и пользуется спросом, добавить коэффициент на землю. Эти факторы могут быть включены в виде повышающих коэффициентов. С помощью, которых инвентаризационная стоимость возрастет в разы и приблизится к рыночной стоимости объекта, тем более, если этот объект оснащен новейшей инфраструктурой и имеет современные коммуникации.

Литература

1. Грабовой П.Г. «Экономика и управление недвижимостью» - журнал//П.Г. Грабовой. Москва: «АСВ» 1999.
2. Мещанинова Е.Г. «Государственная регистрация, учет и оценка земель»- учебник // Е.Г. Мещанинова, О.А. Ткачева. Новочеркасск, 2009. – 396 с.
3. Наназашвили И.Х. «Кадастр, экспертиза и оценка объектов недвижимости»-учебник//Литовченко В.А, Наназашвили И.Х. Москва, 2009.-430с.
4. Федеральный закон «Об оценочной деятельности в РФ» от 29.07.1998 N 135-ФЗ режим доступа к изд.: <http://base.consultant.ru>

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОБЪЕМНОЙ СТРУКТУРЫ ПРОВОДИМОСТИ СРЕДЫ ПРИ ПОИСКЕ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК

Епанчинцева Татьяна Борисовна

Аспирант, Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

Сулейманова Комила Алишеровна

Киселев Дмитрий Сергеевич

Сидоров Алексей Викторович

Магистранты, Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

THE RECOVERING OF VOLUMETRIC STRUCTURE OF THE MEDIUM CONDUCTIVITY SEEKING FOR THE KIMBERLITIC PIPES

Epanchintseva Tatyana, PhD student, Novosibirsk state technical university, Novosibirsk

Suleymanova Komila, undergraduate, Novosibirsk state technical university, Novosibirsk

Kiselev Dmitriy, undergraduate, Novosibirsk state technical university, Novosibirsk

Sidorov Alexey, undergraduate, Novosibirsk state technical university, Novosibirsk

АННОТАЦИЯ

Приведены результаты восстановления объемной структуры проводимости среды при поиске кимберлитовых трубок. Использовались алгоритмы 3D-инверсии, основанные на методе Гаусса-Ньютона. При параметризации геоэлектрической модели использовались не только значений удельной электрической проводимости, но и координат геометрических границ восстанавливаемых 3D-объектов.

ABSTRACT

The results of recovering of volumetric structure of the medium seeking for the kimberlitic pipes are outlined. Algorithms of 3D-inversion based on Gauss-Newton method have been used. Not only values of conductivity, but also coordinates of geometric boundaries of recovered 3D-objects have been used for handling the parameterization of the geoelectric model.

Ключевые слова: 3D-инверсия; кимберлитовые трубки; электромагнитное поле.

Keywords: 3D-inversion; kimberlitic pipes; electromagnetic field.

Геоэлектрические параметры среды определяются на основании минимизации функционала [1, с. 97; 2, с. 3; 3, с. 30].

$$\Phi^\alpha(b) = \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K \left(\omega_{lk} \delta \epsilon_{lk}(b^0) + \omega_{lk} \sum_{m=1}^M \frac{\partial(\delta \epsilon_{lk})}{\partial b_m} \Delta b_m \right)^2 + \sum_{m=1}^M \alpha_m (b_m^0 - \bar{b}_m + \Delta b_m)^2,$$

где $\delta \epsilon_{lk}$ – отклонения практических (экспериментальных) данных от теоретических в l -м приемнике в k -й момент времени; b – вектор искомых параметров; Δb_m – компоненты приращений к вектору b^0 параметров, полученных на предыдущей итерации; \bar{b}_m – значения параметров референтной модели, к которой производится сглаживание; ω_{lk} – некоторые веса для практических данных, α_m – параметры регуляризации.

Для исследования возможностей 3D-инверсий при восстановлении объемной структуры проводимости среды при поиске кимберлитовых трубок были использованы синтетические данные, полученные для геоэлектрической модели, которая представляет собой четырехслойную горизонтально-слоистую среду с параметрами $h_1 = 83\text{м}$, $\rho_1 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, $h_2 = 200\text{м}$, $\rho_2 = 500 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, $h_3 =$

160м , $\rho_3 = 38 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, $h_4 = \infty$, $\rho_4 = 500 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ (h_i – толщины слоев, ρ_i – их удельное сопротивление) и два локальных объекта, имитирующих верхние части кимберлитовых трубок. Координаты объектов приведены в таблице 1. Общий вид геоэлектрической модели приведен на рисунке 1. Электромагнитное поле возбуждалось импульсом тока в генераторной петле размером $500 \times 500 \text{ м}^2$. Съемка вертикальной компоненты ЭДС (определяемой как $\int_S \left(-\frac{\partial B_z}{\partial t} \right) dS$, где S – площадь приемной петли) велась по профилям с шагом 25 м вдоль профиля (профили направлены вдоль оси x), расстояние между соседними профилями составляло 50 м. Положения приемников показаны на рисунке 1 точками.

Таблица 1

Характеристики объектов истинной модели

	X_{\min}	X_{\max}	Y_{\min}	Y_{\max}	Z_{\min}	Z_{\max}	$\rho, \text{ Ом} \cdot \text{ м}$
Объект 1	-200	-60	0	150	-200	-100	10
Объект 2	0	240	-470	-220	-200	-100	10

Заметим, что нижняя граница подобного рода объектов на практике не определяется, поэтому в рассматриваемой модели она была задана 200м. Поскольку рассматриваемая задача нацелена на поиск локальных объектов, в качестве метода инверсии была использована процедура, позволяющая осуществлять подбор как коэффициентов проводимости, так и геометрических параметров искомого объектов.

В качестве стартовой была задана модель, приведенная на рисунке 2. Эта модель содержит два объекта с удельным сопротивлением, совпадающим с вмещающей средой. В результате 32-х итераций, позволивших уменьшить функционал невязки в 30 раз, была получена геоэлектрическая модель, приведенная на рисунке 3. В таблице 2 для сопоставления приведены характеристики истинной, полученной в результате 3D-инверсии и стартовой моделей.

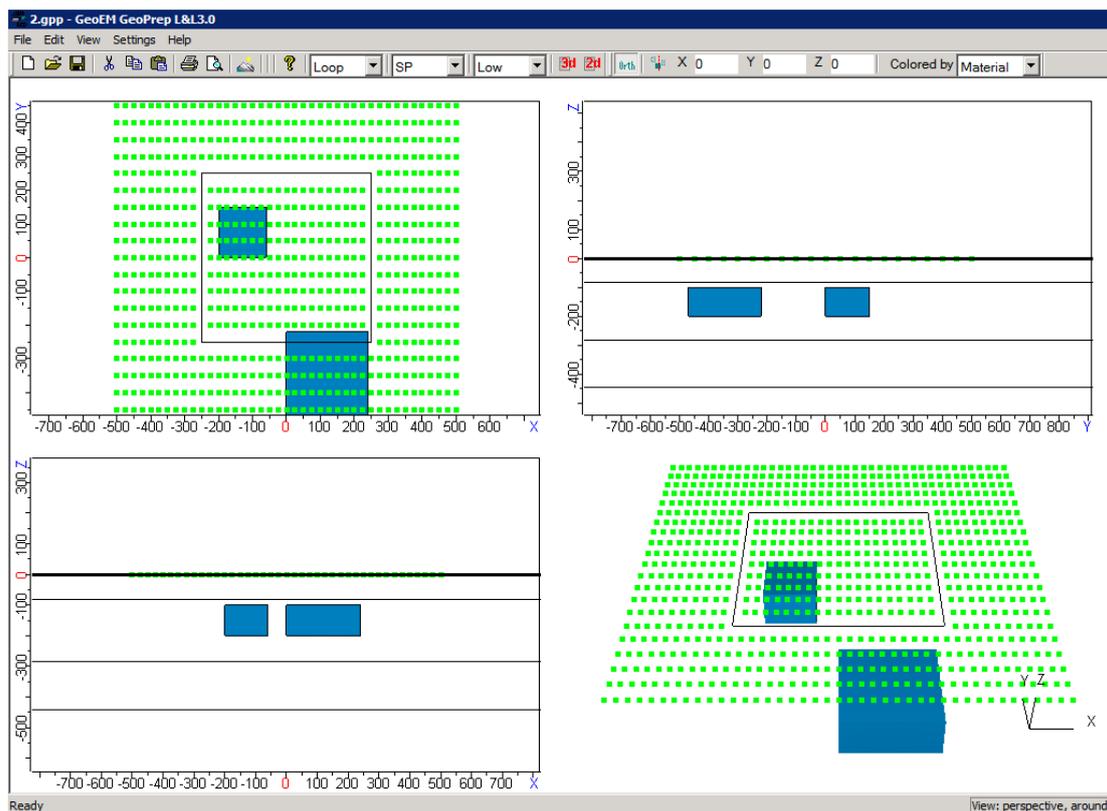


Рисунок 1. Геоэлектрическая модель с 3D-объектами, имитирующими кимберлитовые трубки

Таблица 2

Характеристики объектов истинной, полученной и стартовой моделей

	X _{min}	X _{max}	Y _{min}	Y _{max}	Z _{min}	Z _{max}	ρ, Ом · м
Объект 1 истинный	-200	-60	0	150	-200	-100	10
Объект 2 истинный	0	240	-470	-220	-200	-100	10
Объект 1 полученный	-238.9	-67.7	-11.46	159.7	-178.8	-100.6	10.4
Объект 2 полученный	5	240.3	-406.1	-216	-261	-91.9	15.4
Объект 1 стартовый	-500	-300	200	400	-200	-100	500
Объект 2 стартовый	300	500	-200	0	-200	-100	500

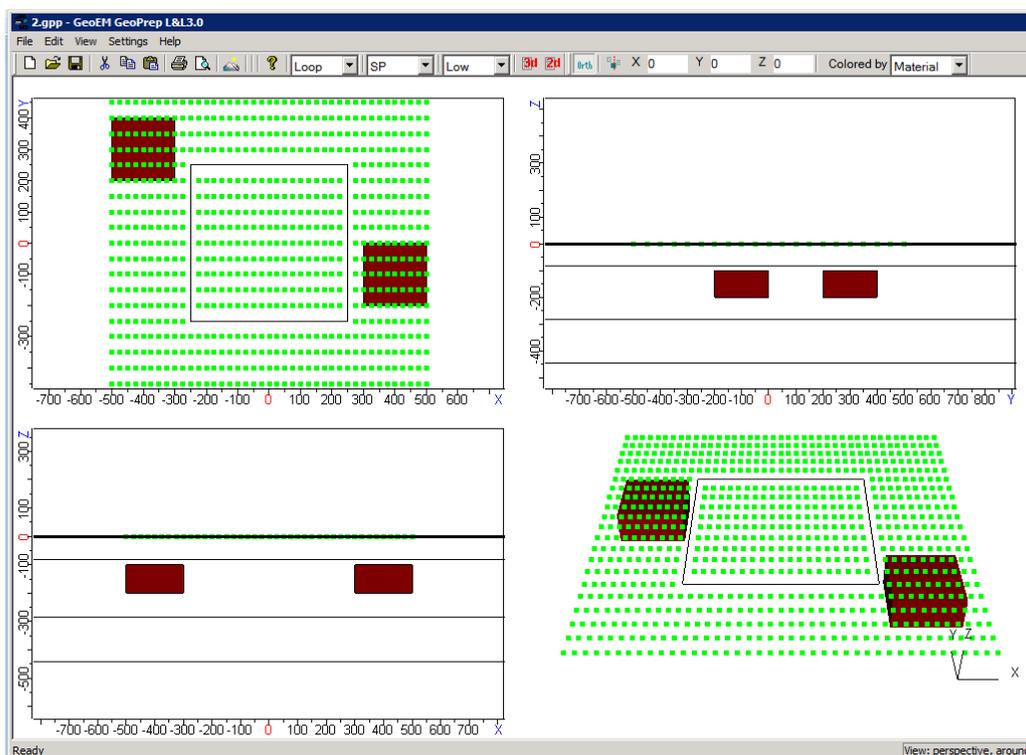


Рисунок 2. Стартовая геоэлектрическая модель

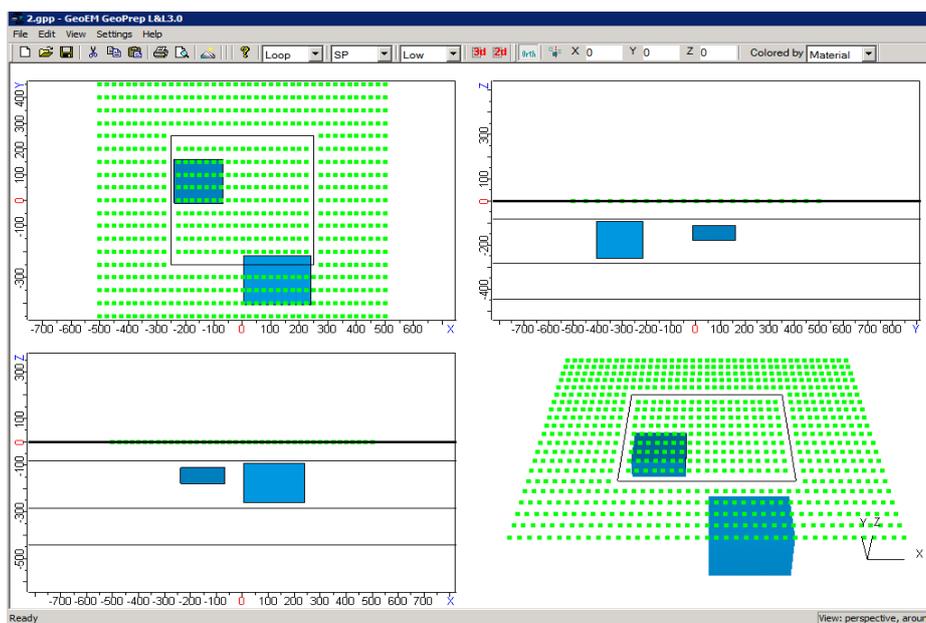


Рисунок 3. Полученная в результате 3D-инверсии геоэлектрическая модель

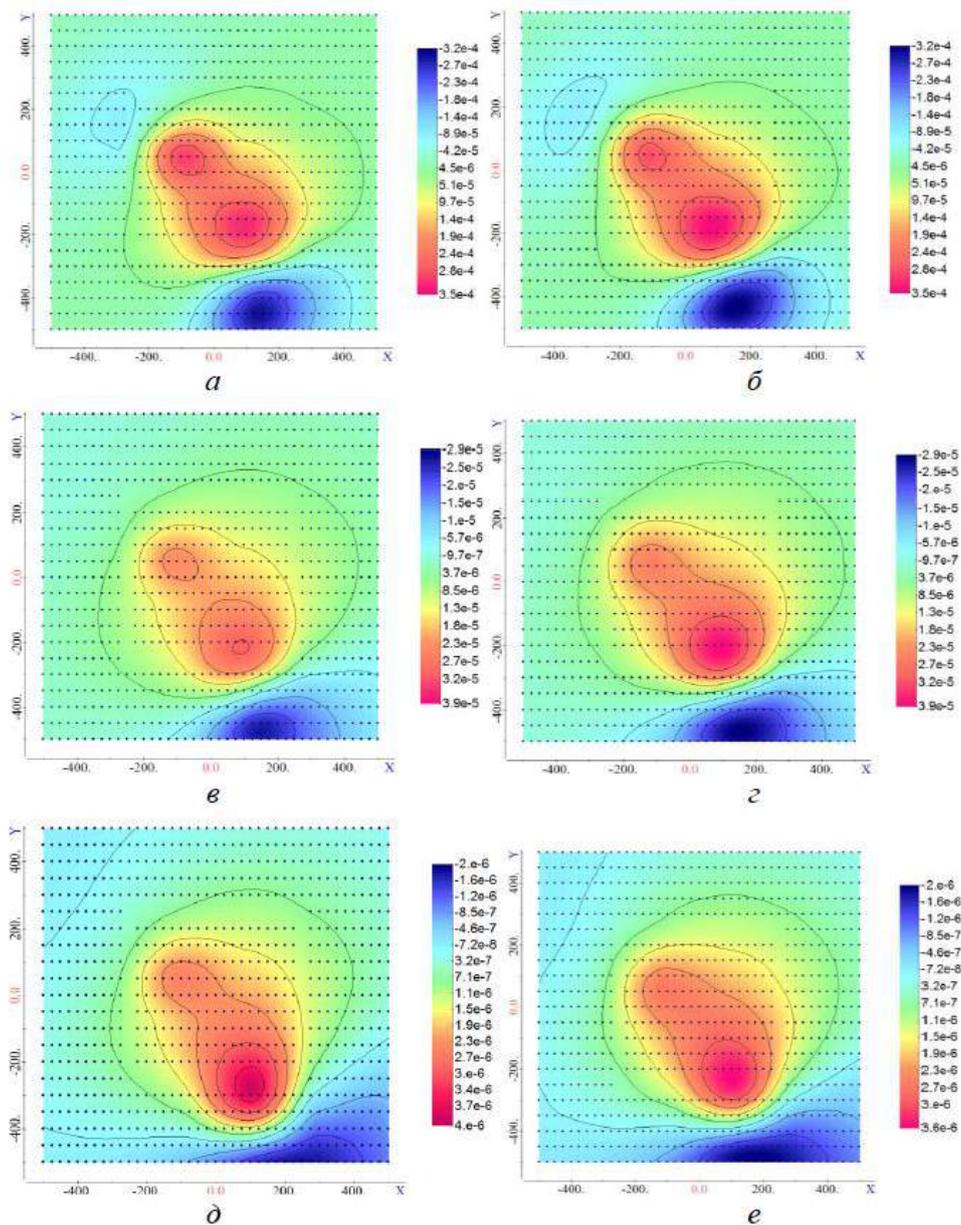


Рисунок 4. Площадное распределение аномальных полей, полученных с помощью 3D-моделирования для истинной (а,в,д) и для подобранной (б,г,е) моделей в следующие моменты времени: 200 мкс (а,б), 500 мкс (в,г), 1000 мкс (д,е)

Из таблицы 2 видно, что характеристики первого объекта найдены с высокой точностью, а второй объект найден укороченным по оси Y с чуть завышенным сопротивлением и, как следствие, более мощным по Z. При этом заметим, что с большей погрешностью найден именно дальний край объекта, выходящий на наиболее удаленные от генератора точки наблюдения.

Этот факт свидетельствует о том, что при увеличении системы наблюдений параметры этого объекта могут быть найдены точнее. При этом в целом нужно заключить, что поставленная задача решена. Даже при очень далеком начальном приближении, местоположение и удельное электрическое сопротивление искомым объектам найдено с достаточно высокой точностью, что позволяет определить места последующего бурения.

На рисунке 4 приведены площадные распределения аномальных полей для истинной модели и для подобранной.

Из рисунка 4 видно, что они достаточно хорошо совпадают, что свидетельствует о хорошем совпадении

сигналов для истинной и восстановленной геоэлектрических моделей.

Литература

1. Персова М.Г., Соловейчик Ю.Г., Вагин Д.В., Токарева М.Г., Чернышев А.В. О подходе к выполнению 3D-инверсий данных зондирований нестационарным электромагнитным полем на основе конечно-элементного моделирования // Научный вестник НГТУ. – 2011. – №2(43). – С. 97-106.
2. Персова М.Г., Соловейчик Ю.Г., Тригубович Г.М. Компьютерное моделирование геоэлектромагнитных полей в трехмерных средах методом конечных элементов // Физика Земли, 2011. – № 2. – С. 3–14.
3. Персова М.Г., Соловейчик Ю.Г., Тригубович Г.М., Токарева М.Г. Методы и алгоритмы восстановления трехмерной структуры проводимости и поляризуемости среды по данным электромагнитных зондирований на основе конечно-элементного 3D-моделирования // Физика Земли. - 2013. – № 3. – С. 30–45.

АПРОБАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГЕОНАВИГАЦИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ОКОЛОСКВАЖИННОГО ПРОСТРАНСТВА В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ

Персова Марина Геннадьевна

*Профессор, доктор технических наук, Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск*

Киселев Дмитрий Сергеевич

Сидоров Алексей Викторович

Магистрант, Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

Кошкина Юлия Игоревна

Аспирант, Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

TESTING OF THE SOFTWARE FOR SOLVING THE PROBLEMS OF THE GEOSTEERING OF THE BOREHOLE ENVIRONMENT WHILE DRILLING

Persova Marina, Professor, Doctor of science (Eng.), Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

Kiselev Dmitry, undergraduate, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

Koshkina Yuliya, PhD student, Novosibirsk state technical university, Novosibirsk

Sidorov Alexey, undergraduate, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

АННОТАЦИЯ

В работе представлены результаты апробации программного обеспечения для решения задач геонавигации в наклонных и горизонтальных скважинах. Было показано, что технология, основанная на зондированиях нестационарным электромагнитным полем, обладает высокой чувствительностью и позволяет "увидеть впереди" изменение структуры продуктивного пласта, что, в свою очередь, позволит обеспечить повышение качества принимаемых решений в процессе бурения нефтегазовых скважин и снижение финансовых затрат при разработке месторождений углеводородного сырья.

ABSTRACT

The results of testing of the software for solving the problems of the geosteering in the deviated and horizontal wells are considered in this paper. It has been shown that the technology based on soundings by nonstationary electromagnetic field, is highly sensitive and allows to "see ahead" changing the structure of the producing formation, which in turn will improve the quality of decisions made while drilling oil and gas wells and a decrease financial cost of the hydrocarbon deposits development.

Ключевые слова: численное моделирование; электромагнитные поля; околоскважинное пространство; геонавигация.

Keywords: numerical modeling; electromagnetic fields; borehole environment; geosteering.

Наиболее актуальными среди задач исследования околоскважинного пространства являются задачи геонавигации – определения направления бурения скважины с учетом морфологии продуктивного пласта.

Эти задачи могут успешно решаться с использованием высокоразрешающих технологий геофизических исследований электромагнитными методами при условии не только наличия высокоточной измерительной аппаратуры, но и наличия высококачественного программного обеспечения для обработки получаемых данных непосредственно в процессе бурения, основанного на трехмерных подходах и обладающего не только высокими

точностными характеристиками, но и достаточно низкими вычислительными затратами [2, с. 10; 3, с. 79].

Рассмотрим результаты апробации разработанного в [1, с. 123] программно-математического аппарата моделирования электромагнитных полей для решения задач геонавигации в процессе бурения.

Рассмотрим геоэлектрическую модель, в которой целевой горизонт, по которому ведется бурение, меняет свою глубину. Эта геоэлектрическая модель и траектория движения прибора представлены на рисунке 1.

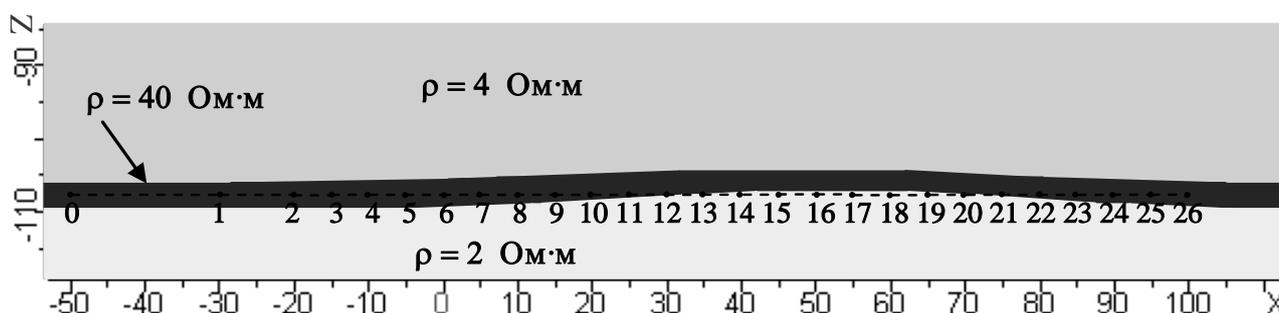


Рисунок 1. Геоэлектрическая модель и траектория движения прибора

Результаты 3D-моделирования будем представлять в виде графиков отклонений (в % в зависимости от времени) сигналов ЭДС в приемниках для различных положений прибора на траектории его движения от сигнала ЭДС в приемниках для "нулевого" положения прибора (т.е. при положении прибора в точке траектории $x = -50$ м). Поле возбуждалось горизонтальной рамкой (т.е. с z-ориентацией).

На рисунке 2 приведены графики, соответствующие первым девяти точкам (т.е. до положения прибора в точке

$x = 15$ м). Из приведенных результатов видно, что отклонения порядка 10% в области поздних времен наблюдаются для x- компоненты при положении прибора в точках с координатами от -20 м до -10 м. Этот факт свидетельствует о том, что уже при этих положениях может быть получена информация об изменении глубины целевого горизонта и принято решение об изменении траектории движения бурильной установки.

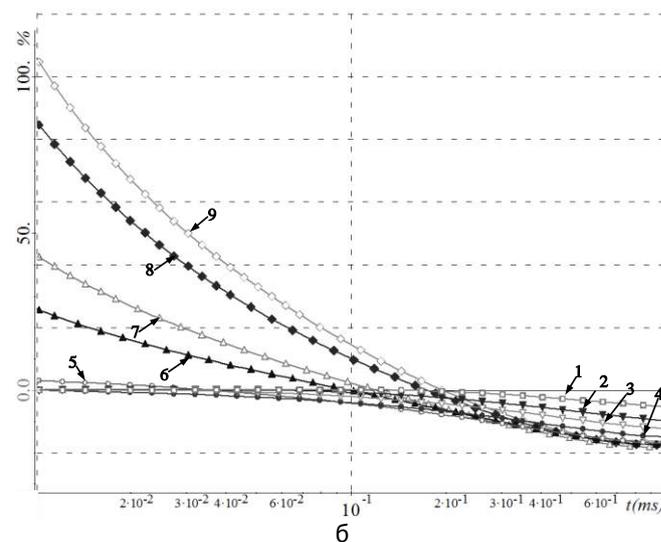
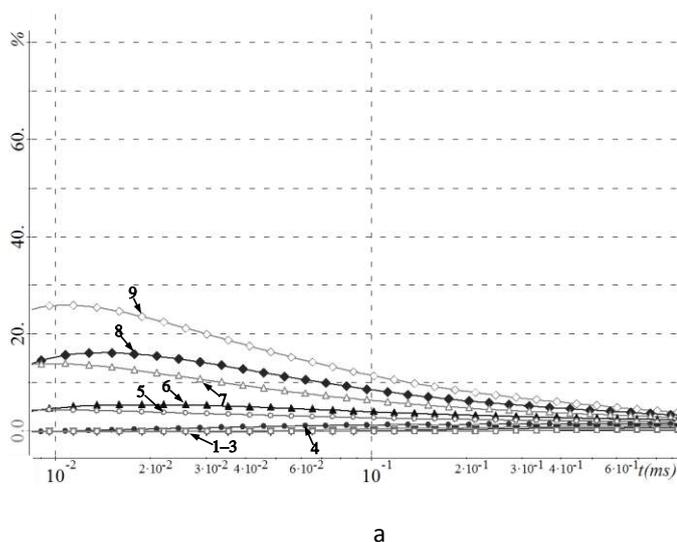


Рисунок 2. Отклонения в ЭДС в точках 1–9 от сигнала в нулевой точке для z-ориентации (а) и x-ориентации (б) приемных катушек при возбуждении поля горизонтальной рамкой

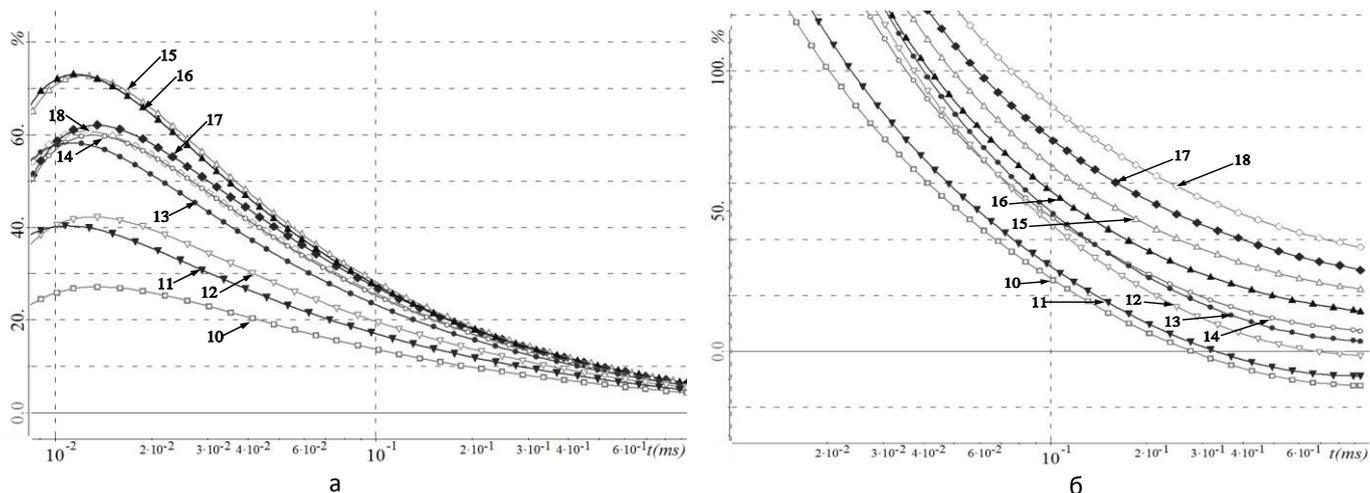


Рисунок 3. Отклонения в ЭДС в точках 10–18 от сигнала в нулевой точке для z-ориентации (а) и x-ориентации (б) приемных катушек при возбуждении поля горизонтальной рамкой

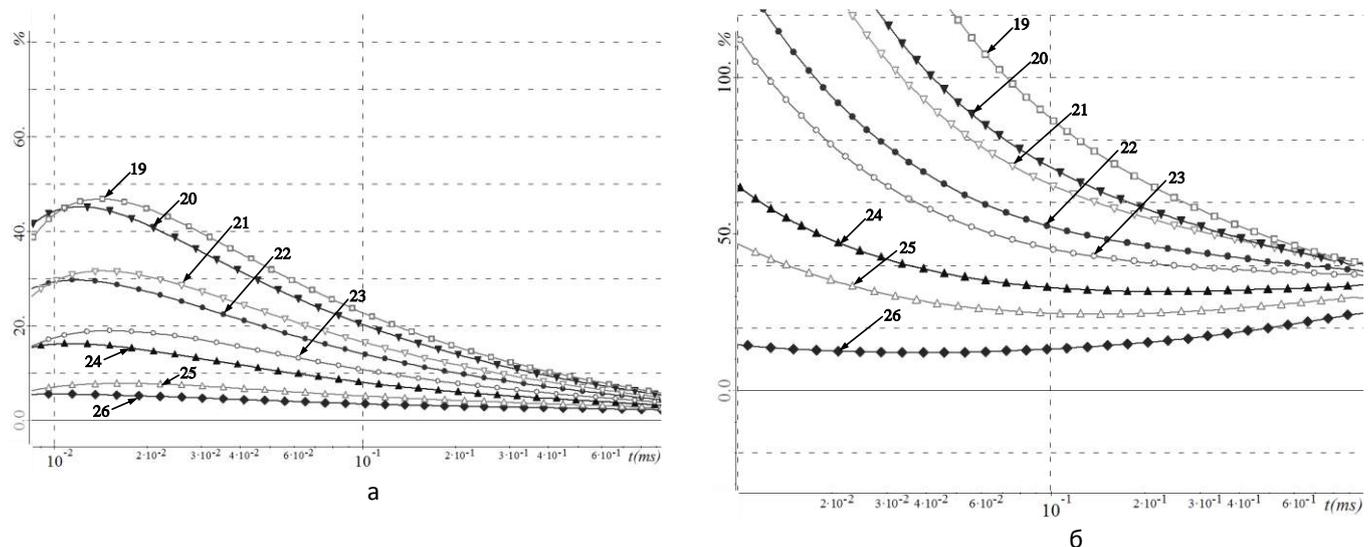


Рисунок 4. Отклонения в ЭДС в точках 19–26 от сигнала в нулевой точке для z-ориентации (а) и x-ориентации (б) приемных катушек при возбуждении поля горизонтальной рамкой

Рассмотрим теперь ситуацию, когда в процессе бурения по полученным данным (как было показано выше, это возможно для рассматриваемой технологии) было принято решение изменить траекторию движения. Соответственно образом измененная траектория приведена

на рисунке 5, а результаты расчетов для этой траектории в точках 12, 14, 16 и 18 в сопоставлении с результатами расчетов для исходной траектории – на рисунках 6-7 (точка 10 приведена только для сопоставления с остальными точками на прямой траектории).

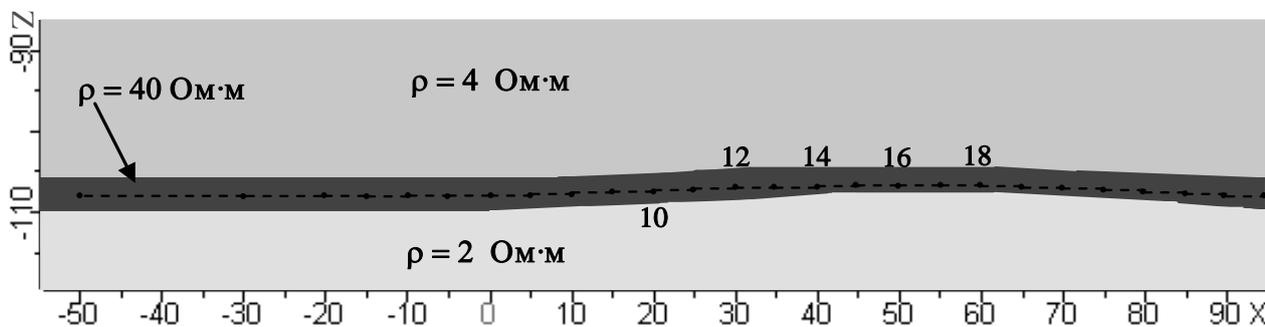


Рисунок 5. Геоэлектрическая модель и измененная траектория движения прибора

Из рисунков 6-7 видно, что уровень аномальных сигналов резко уменьшился, что соответствует тому, что траектория стала проходить по целевому горизонту, но

ближе к его подошве (а не кровле) по сравнению с началом траектории движения прибора.

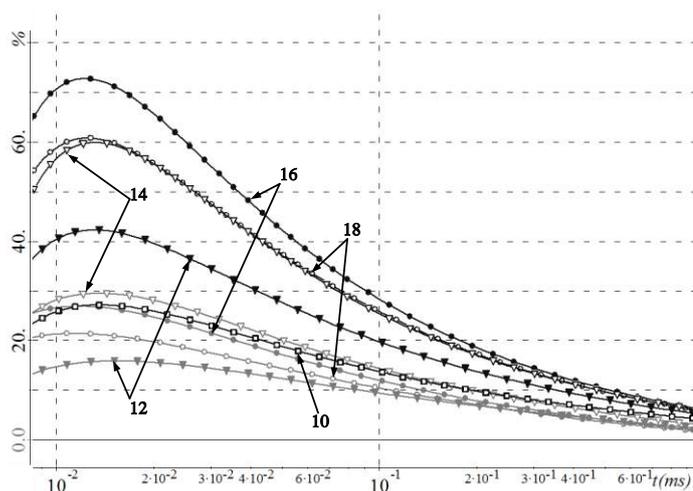


Рисунок 6. Отклонения ЭДС в точках 12, 14, 16, 18 от сигнала в нулевой точке для прямой траектории (черный цвет) и для измененной траектории (серый цвет) для z-ориентации приемных катушек

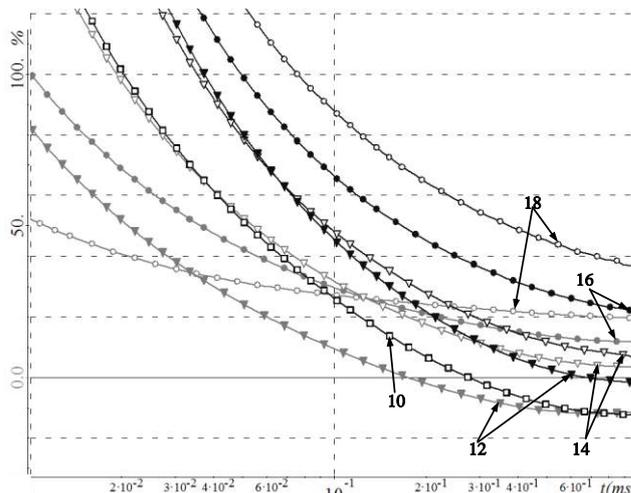


Рисунок 7. Отклонения ЭДС в точках 12, 14, 16, 18 от сигнала в нулевой точке для прямой траектории (черный цвет) и для измененной траектории (серый цвет) для x-ориентации приемных катушек

Литература

1. Методы и алгоритмы конечноэлементного моделирования геоэлектromагнитных полей от произвольно ориентированных катушек / М.Г. Персова, Ю.Г. Соловейчик, Д.В. Вагин, П.А. Домников, Ю.И. Кошкина // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. - 2014. - № 1(22). - С. 123-134.
2. Метод расчета нестационарного электромагнитного поля над изолированной короткозамкнутой

петлей в проводящей среде / М.Г. Персова, Ю.Г. Соловейчик, Г.М. Тригубович, Д.В. Вагин, П.А. Домников // Геофизика. - 2013. - № 4. - С. 10–15.

3. Computer Modeling of Geoelectromagnetic Fields in Three-Dimensional Media by the Finite Element Method/ M.G. Persova, Yu.G. Soloveichik, G.M. Trigubovich. // Izvestiya, Physics of the Solid Earth, 2011, Vol. 47, No. 2, pp. 79–89.

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ПРОЕКТОВ СОЗДАНИЯ И РАЗВИТИЯ КРЕСТЬЯНСКИХ (ФЕРМЕРСКИХ) ХОЗЯЙСТВ НА ТЕРРИТОРИИ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Ракитина Надежда Викторовна

к.с.-х.н., ст. преподаватель, Волгоградского государственного аграрного университета, г. Волгоград

IMPLEMENTATION PLAN FOR ESTABLISHMENT AND DEVELOPMENT OF PEASANT (FARMER) FACILITIES IN THE VOLGOGRAD REGION.

Rakitin Nadezhda, ksn, Art. Teacher, Volgograd State Agricultural University, Volgograd

Ключевые слова: крестьянское (фермерское) хозяйство; целевые программы; государственная поддержка; социально-экономическая эффективность.

Keywords: peasant (farmer) economy; targeted programs; government support; socio-economic efficiency.

На территории Волгоградской области насчитывается примерно 11,8 тысяч крестьянских (фермерских) хозяйств, которые расположены на общей площади 862 тысячи гектаров. Специализация фермерского сектора данной территории за последние годы основывается на производстве зерновых, зернобобовых и масличных культур [5].

Правовые, экономические и социальные основы создания и деятельности крестьянских (фермерских) хозяйств определены Федеральным законом от 11.06.2003 №74-ФЗ «О крестьянском (фермерском) хозяйстве», Федеральным законом от 24.07.2002 № 101 - ФЗ «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения» (ред. от 28.12.2013), Федеральным законом от 29.12.2010 № 435–

ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ в части совершенствования оборота земель сельскохозяйственного назначения», Федеральным законом от 08.08.2001 № 129-ФЗ «О государственной регистрации юридических лиц и индивидуальных предпринимателей», а также другими нормативно-правовыми документами [1,2,4].

Крестьянским (фермерским) хозяйством является объединение граждан, связанных родством или свойством, имеющих в общей собственности имущество и совместно осуществляющих производственную и иную хозяйственную деятельность, основанную на их личном участии [2,3].

Право на создание данного вида хозяйства имеют дееспособные граждане Российской Федерации, иностранные граждане и лица без гражданства.

Гражданин может быть членом только одного крестьянского (фермерского) хозяйства, созданного в качестве юридического лица.

В результате образования членами фермерского хозяйства могут быть:

1. супруги, их родители, дети, братья, сестры, внуки, а также дедушки и бабушки каждого из супругов, но не более чем из трех семей. Дети, внуки, братья и сестры членов фермерского хозяйства могут быть приняты в члены фермерского хозяйства по достижении ими возраста шестнадцати лет;
2. граждане, не состоящие в родстве с главой фермерского хозяйства, при этом максимальное количество таких граждан не может превышать пяти человек.

Крестьянское (фермерское) хозяйство (далее – К(Ф)Х) является созданным с момента его государственной регистрации в порядке, установленном законодательством Российской Федерации.

На поддержку начинающих фермеров в 2013 году в бюджете Волгоградской области было предусмотрено 10 млн. руб. (общий бюджет составил 30 млн. руб), что позволило оказать поддержку примерно восьмидесяти начинающим фермерам. Федеральная программа по предоставлению грантов на создание и развитие К(Ф)Х и единовременной помощи начинающим фермерам на территории Волгоградской области стартовала с 2011 года. Первоначально началась работа по переводу крупных ЛПХ (имеющих более 35 голов), в статус К(Ф)Х. Образованным К(Ф)Х из средств областного бюджета на каждую голову коровы выделялось субсидия в размере 5000руб. В результате данных действий за период 2011-2012 гг. было образовано более 200 новых К(Ф)Х [5].

С 2013 года начали осуществляться ведомственные целевые программы министерства сельского хозяйства Волгоградской области «Поддержка начинающих фермеров на территории Волгоградской области в 2013-2015годах» и «Развитие семейных животноводческих ферм на базе крестьянских (фермерских) хозяйств Волгоградской области в 2013-2015годах» прошли конкурсный отбор в Министерстве сельского хозяйства Российской Федерации. Представленные программы нацелены на стимулирование развития крестьянских (фермерских) хозяйств. На основании чего необходимо решить следующие задачи:

1. Информационная и методическая поддержка начинающих фермеров;
2. Обеспечение условий для создания, расширения

модернизации производственной базы начинающих фермерских хозяйств.

Данные программные мероприятия можно характеризовать, как:

- организация взаимодействия с органами местного самоуправления муниципальных районов и городских округов Волгоградской области по вопросам создания К(Ф)Х и государственной поддержки начинающих фермеров;
- разработка методических рекомендаций о порядке и условиях получения грантов на создание и развитие К(Ф)Х и единовременной помощи на бытовое обустройство начинающих фермеров;
- размещение на официальном сайте Правительства Волгоградской области в сети "Интернет" актуальной информации о порядке и условиях получения грантов;
- предоставление грантов на создание и развитие К(Ф)Х и единовременной помощи на бытовое обустройство начинающих фермеров;
- мониторинг целевого использования государственной поддержки.

За последние годы в связи с целенаправленной государственной поддержкой наблюдалась тенденция по увеличению числа, создаваемых К(Ф)Х, занимающихся сельскохозяйственным производством, из числа граждан, занимающихся ведением ЛПХ.

При этом наблюдается ряд факторов, ограничивающих предпринимательскую активность сельского населения в силу отсталой производственной материально-технической базы и инфраструктуры сельских поселений. А так же существует проблема в виде низкого уровня информированности сельского населения о мерах государственной поддержки. Начинающие К(Ф)Х занимающиеся сельскохозяйственным производством, сталкиваются с проблемой, связанной с недостатком первоначального капитала. Им недоступны кредиты, так как у них недостаточно залогового имущества. Создание нового К(Ф)Х связано также с необходимостью бытового обустройства на новом месте, что требует дополнительных финансовых средств.

Для решения возникших проблем, на территории Волгоградской области филиалом ОАО "Россельхозбанк" реализуется программа кредитного продукта "Стать фермером", согласно которой начинающие фермеры смогут претендовать на получение кредита с пониженной процентной ставкой для развития своего бизнеса под средства гранта.

На рассматриваемой территории создана система обеспечения комплексной поддержки начинающих фермеров, реализуемая в рамках долгосрочных (ведомственных) областных целевых программ (таблица 1).

Таблица 1

Перечень нормативных правовых актов Волгоградской области и мероприятий по комплексной поддержке К(Ф)Х

№ п/п	Наименование	Реквизиты нормативных правовых актов
1	Долгосрочная областная целевая программа "Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013 - 2020 годы"	Постановление Правительства Волгоградской области от 27.11.2012 N 538-п
1.1	Возмещение части затрат крестьянских (фермерских) хозяйств при оформлении в собственность используемых ими земельных участков из земель сельскохозяйственного назначения	Постановление Правительства Волгоградской области от 14.10.2013 N 528-п в ред. приказа министерства сельского хозяйства Волгоградской обл. от 27.12.2013 N 404

№ п/п	Наименование	Реквизиты нормативных правовых актов
1.2	Возмещение части затрат на уплату процентов по краткосрочным и инвестиционным кредитам, полученным в российских кредитных организациях, и займам, полученным в сельскохозяйственных кредитных потребительских кооперативах	Постановление Правительства Волгоградской области от 05.03.2013 N 101-п
2	Долгосрочная областная целевая программа "Социальное развитие села" на 2009-2013 годы	Постановление Администрации Волгоградской области от 10.08.2009 N 285-п
2.1	Мероприятия по улучшению жилищных условий граждан, проживающих в сельской местности, в том числе молодых семей и молодых специалистов	Постановление Администрации Волгоградской области от 25.04.2011 N 183-п
3	Об обороте земель сельскохозяйственного назначения в Волгоградской области	Закон Волгоградской области от 17.07.2003 N 855-ОД
4	Предоставление поручительств и гарантий некоммерческим партнерством «Региональный гарантийный фонд»	Распоряжение Главы Администрации Волгоградской области от 22.11.2007 N 1229-р
5	Ведомственная целевая программа "Обеспечение эпизоотического и ветеринарно-санитарного благополучия территории Волгоградской области на 2013 - 2015 годы	Приказ комитета ветеринарии Волгоградской области от 20.02.2013 N 51

Ожидаемые конечные результаты реализации Программы на территории Волгоградской области, и ее социально-экономическая эффективность определяются следующими показателями: 150 начинающих фермеров

смогут с участием государственной поддержки осуществить проекты развития своих К(Ф)Х и создать не менее 364 постоянных рабочих мест в сельской местности (Таблица 2).

Таблица 1.2

Прогноз целевых показателей на период с 2013 по 2015 года.

Показатели	2013 год	2014 год	2015 год	Всего за 2013 -2015 гг.
Количество КФХ, осуществивших проекты создания и развития своих хозяйств с помощью государственной поддержки, ед.	43	52	55	150
Количество созданных рабочих мест в крестьянских (фермерских) хозяйствах, осуществивших проекты создания и развития своих хозяйств с помощью государственной поддержки, ед.	43	156	165	364
Выручка от реализации продукции КФХ, осуществляющих проекты создания и развития своих хозяйств с помощью государственной поддержки, тыс.	34400	41600	44000	120000

Согласно этой программе 150 начинающих фермера (с 2013 по 2015гг.) смогут с участием государственной поддержки осуществить проекты создания и развития своих К(Ф)Х.

Программа включает пошаговую инструкцию:

1. Составь свой бизнес-план
2. Обратись в банк за консультацией
3. Получи государственный грант
4. Получи кредит. Стань фермером.

На территории Российской Федерации в рамках осуществления экономической функции производится косвенное регулирование, которое, включает в себя нормативно-правовую регламентацию экономических отношений, установление единых правил рынка. В связи с этим государство активно проводит антимонопольную политику, осуществляет меры по поддержке предпринимательства. В настоящее время важное значение придается поддержке отечественного производителя в создании товаров, конкурентоспособных на внутреннем и внешнем рынке.

Крестьянское (фермерское) хозяйство вносит значительный вклад в производство продовольственной продукции страны. Фермерство представляет собой перспективную, наиболее развивающуюся часть многоукладного агропромышленного комплекса, основную движущую силу возрождения аграрной России.

Список литературы

1. О государственной регистрации юридических лиц и индивидуальных предпринимателей. [Электронный ресурс]: [Федеральным законом от 08.08.2001 № 129-ФЗ] //Режим доступа: [Консультант плюс];
2. Об обороте земель сельскохозяйственного назначения. [Электронный ресурс]: [Федеральным законом от 24.07. 2002 (ред. от 28.12.2013) № 101 – ФЗ] //Режим доступа: [Консультант плюс];
3. О крестьянском (фермерском) хозяйстве. [Электронный ресурс]: [Федеральным законом от 11.06.2003 №74-ФЗ] //Режим доступа: [Консультант плюс];
4. О внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ в части совершенствования оборота

- земель сельскохозяйственного назначения. [Электронный ресурс]: [Федеральным законом от 29.12.2010 № 435–ФЗ] //Режим доступа: [Консультант плюс];
5. Официальный портал Губернатора и Администрации Волгоградской области [Электронный ресурс]: // Официальный сайт Волгоградской области. – Режим доступа: <http://www.volganet.ru/>
6. Об актах гражданского состояния. [Электронный ресурс]: [Федеральный закон от 15.11.1997 N 143-ФЗ (ред. от 28.07.2010)]. // Российская газета. - 20.11.1997. - N 224. - Режим доступа: [Консультант плюс]. - Загл. с экрана.

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ В ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Рамазанова Нургуль Есеновна

*PhD, доцент, РГП ПХВ «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева»,
Республика Казахстан, г. Астана*

Сагатбаев Ержан Нариманович

*магистр, старший преподаватель, РГП ПХВ «Евразийский национальный университет
им. Л.Н. Гумилева», Республика Казахстан, г. Астана*

Турсынова Тангал Турсыновна

*к.п.н., доцент, РГП ПХВ «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева»
Республика Казахстан, г. Астана*

OPTIMIZATION OF STRUCTURE OF LAND USE IN WEST KAZAKHSTAN REGION

*Ramazanov Nurgul, PhD, associate Professor, Eurasian national University. L. N. Gumilyev, Republic of Kazakhstan, Astana
Sagatbaev Yerzhan Narimanovich, master, senior lecturer, Eurasian national University. L. N. Gumilyev, Republic of
Kazakhstan, Astana*

*Tursunova Tangal Tursunovna, candidate of pedagogic Sciences, associate Professor, Eurasian national University. L. N.
Gumilyev, Republic of Kazakhstan, Astana*

АННОТАЦИЯ

В статье сделана попытка дифференциации территории Западно-Казахстанской области по степени сбалансированности территориальной структуры на основании экспликации земель, отражающего эколого-экономическое состояние административных районов.

Ключевые слова: землепользование, дифференциация территории, оптимизация структуры.

ABSTRACT

The article is an attempt to differentiate areas of West Kazakhstan region in the degree of balance of the territorial structure based on the layout of the land, reflecting the ecological-economic status of the administrative districts.

Keywords: land use, differentiation-site optimization.

Высокая степень сельскохозяйственной освоенности, длительные и все возрастающие антропогенные нагрузки на территории Западно-Казахстанской области привели к возникновению целого ряда острых геоэкологических проблем, связанных как с ухудшением качества окружающей природной среды, так и с истощением и потерей природно-ресурсного потенциала [1]. Поэтому сохранение оставшихся природных комплексов и их регенерационного потенциала (самовосстановления, самоочищения и т.п.) — задача крайне актуальная и ее решение возможно путем создания сети охраняемых природных территорий [2].

Нами была сделана попытка дифференциации территории Западно-Казахстанской области по степени сбалансированности территориальной структуры на примере 2002 года на основании экспликации земель, отражающего эколого-экономическое состояние административных районов. С целью оценки степени сбалансированности территориальной структуры региона нами использовались два интегральных показателя, описанных С.Н. Волковым [3] и адаптированных к сложившейся системе

учета земель на уровне административного района: коэффициент экологической стабильности территории (Кэс) и коэффициент антропогенной нагрузки на территорию (КАН). В целом, данные коэффициенты отражают зависимость между соотношением сильно и слабо преобразованных угодий; с их помощью проведено ранжирование Западно-Казахстанской области (в пределах Волго-Уральского междуречья) по степени сбалансированности их территориальной структуры (таблица 1).

Для оценки влияния состава угодий на экологическую стабильность территории, устойчивость которой падает при повышении сельскохозяйственной освоенности земель, распашке и интенсивном использовании угодий, проведении мелиоративных и культуртехнических работ, застройке территории, необходимо вычислить коэффициенты экологической стабильности территории и коэффициент антропогенной нагрузки (Кан). В том случае, если полученное значение $K_{эс.ст.} < 0,33$, то территория экологически нестабильна, при $K_{эс.ст.} = 0,34...0,50$ — неустойчиво стабильна, при $K_{эс.ст.} = 0,51...0,66$ переходит в градацию средней стабильности, а при $K_{эс.ст.} > 0,67$ — экологически стабильна.

Таблица 1

Сбалансированность территориальной структуры земельных угодий в Западно-Казахстанской области
(в пределах Волго-Уральского междуречья)

Район	Доля с.-х. угодий в общей площади, %	Доля пашни в площади с.-х. угодий, %	Лесистость территории, %	Доля природных, полуприродных ландшафтов в общей площади, %	Кэк	Кан
Неустойчиво сбалансированная территориальная структура						
г.Уральск	75,9	42,8	9,3	50,8	0,35	3,73
Зеленовский	90,8	37,1	4,07	61,6	0,37	4,14
Экологически средне-сбалансированная территориальная структура						
Казталовский	95,5	0,04	0	96,04	0,55	4,18
Жаныбекский	97,04	1,09	0	96,2	0,58	4,12
Бокейординский	91,2	0,2	1,7	92,7	0,58	4,19
Акжаикский	93,8	0,06	2,8	97,3	0,60	4,27
Жангалинский	93,5	0,1	0,01	93,8	0,60	3,86
Относительно сбалансированная территориальная структура						
Таскалинский	97,6	6,8	0	91,04	0,73	4,28

Используя методику, описанную С.Н. Волковым [3] нами была проведена оценка степени сбалансированности территориальной структуры региона. Расчетные значения составляющие приведены в таблице 1. Анализ таблицы 1 позволяет сделать вывод, что большинство районов характеризуются средне-сбалансированной территориальной структурой. Это связано, прежде всего, с высокой сельскохозяйственной освоенностью и распаханностью территории.

По оценочным данным, целесообразное экологическое равновесие наблюдается, когда процентное соотношение между площадями естественных и преобразованных экосистем составляет 60:40. Суммарный эколого-социально-экономический эффект условно можно считать низким при распаханной площади до 20 %, средним - при 20-29 %, высоким - при 30-39 % и неудовлетворительным, когда доля пашни составляет 40 % и более [4].

Наибольшая нагрузка на агроландшафты отмечается для г. Уральска (0,35) и Зеленовского района (0,37) и довольно высокая в Казталовском, Жаныбекском, Бокейординском, Акжаикском, Жангалинском районах значение К эс в среднем равно 0,58, что также характеризует существенное воздействие хозяйственной деятельности на окружающую среду этого региона. Благоприятная обстановка природных условий в Таскалинском районе оптимально сглаживает процесс опустынивания, поэтому здесь значение К эс составляет 0,73.

Количественные показатели сбалансированности территориальной структуры хорошо отражают ландшафтную структуру области: высокие значения в подзоне степи за счет высокой распаханности и больших нагрузок на пастбища при незначительной доле земель экологического фонда; ниже значения в полупустынной зоне.

Основными функциями лесов Западно-Казахстанской области являются поле-, почво-, водозащитные. Площадь лесов и кустарников невелика (1,5 %), хотя выполняемые ими защитные функции значительно возрастают за счет того, что колки небольшими участками разбросаны на территории области.

Вместе с тем практика интенсивной сельскохозяйственной освоенности территории Западно-Казахстанской области с постоянным расширением посевных площадей, использованием экологически неустойчивых и малопригодных к земледелию почв (супесчаных, солонцовых и т. п.) привела к катастрофическим последствиям. Необходима переориентация хозяйственной деятельности региона на разумное сокращение посевных площадей, восстановление пастбищ, возрождение традиционных форм землепользования и создание природно-заповедного фонда. Все это является составной частью концепции культурного ландшафта, альтернативной существующей организации территории, устройство и обустройство которой предстоит осуществить в самое ближайшее время.

Литература

1. Агроэкология /Под ред. В.А.Черникова, А.И.Черекеса.-М.:Колос,2000.-535 с.
2. Петренко А.З. и др. Зеленая книга Западно-Казахстанской области. Кадастр объектов природного наследия. ЗКГУ. Уральск: Изд-во РИО ЗКГУ,2001.-194с.
3. Волков С.Н. Землеустройство. Том 2: Землеустроительное проектирование. Внутрихозяйственное землеустройство. — М.: Колос, 2001. — 648 с.
4. Суэрбаев Р.Х., Куспанов С.К., Хон В.Н. Экологические проблемы Западно-Казахстанской области. - Уральск: Зап.-Каз. ЦНТИ,2002.-76 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД ПРАВОБЕРЕЖНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ г. МАГНИТОГОРСКА

Валеев Валерий Хакимзянович

*канд. техн. наук, доцент Магнитогорского государственного, технического университета
им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск*

Сомова Юлия Васильевна

*канд. техн. наук, старший преподаватель Магнитогорского государственного, технического
университета им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск*

Сомов Владимир Александрович

*Студент группы АЭПм-14, Магнитогорский государственный, технический университет
им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск*

NALYSIS OF CHEMICAL WASTE WATER MUD COMPOSITION OF THE TREATMENT PLANT IN MAGNITOGORSK RIGHT-BANK DISTRICT

Valeev Valery Hakimzyanovich, Cand.Sc. (Engineering), associate professor of Magnitogorsk State Technical University of G. I. Nosov, Magnitogorsk

Somova Yulia Vasil'evna, Cand.Sc. (Engineering), assistant professor of Magnitogorsk State Technical University of G. I. Nosov, Magnitogorsk

Somov Vladimir Alexandrovich, Student, group АЭПм-14, Magnitogorsk State Technical University of G. I. Nosov, Magnitogorsk

АННОТАЦИЯ

В статье приведены результаты исследования химического состава осадков сточных вод Правобережных очистных сооружений г. Магнитогорска.

Полученные результаты в последующем будут использованы для определения возможности их переработки в сельскохозяйственные удобрения, что позволит снизить их негативное воздействие на окружающую среду.

ABSTRACT

The results of the analysis of chemical waste water mud composition of the treatment plant in Magnitogorsk right-bank district are given in this article. The results received will be used later to determine the possibility of their recycling into agricultural fertilizer that will reduce their negative impact on the environment.

Ключевые слова: сточные воды; очистка сточных вод; тяжелые металлы; осадки сточных вод; сельскохозяйственное удобрение.

Keywords: waste water; waste water treatment; heavy metals; Waste water mud; agricultural fertilizer.

Характеристика Правобережных очистных сооружений г. Магнитогорска

Правобережные очистные сооружения расположены в Орджоникидзевском районе г. Магнитогорска. В районе расположения ОС размещены Магнитогорская птицефабрика и жилые дома поселка Приуральский. На площадке правобережных очистных сооружений расположены административный корпус, производственные помещения, очистные сооружения водоотведения и хлораторная со складом хлора. Размер санитарно-защитной зоны в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.12300-03 составляет 500 м. Площадь землепользования составляет 10 328 356,97 м². Проектная производительность 157 000 м³/сут. В 2013 году было очищено 36 624 690 м³ сточных вод.

Сброс очищенной воды осуществляется в Магнитогорское водохранилище.

На правобережные очистные сооружения поступают сточные воды промышленных предприятий – Хлебзаводы №2 и №3, Хладокомбинат, Молочный завод, Птицевоодческий комплекс, АПК «Профит», ООО «Пиво Магнитка», Центральный рынок, МУП «Горэлектросеть», МУП «Электротранспорт» депо №2, Химчиска «Лебедь», ООО «СМУ-4», ЗЖБИ-500 ОАО «МС», ООО «Дружба», СУПНР ОАО «Газпром», ОАО ТК «Класс», Кондитерская фабрика «Магнитка». Количество загрязнений в поступающей воде от предприятий не должно превышать предельно-допустимые концентрации, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

ПДК сбрасываемых от предприятий веществ на очистные сооружения

Наименование нормируемых компонентов	Допустимые концентрации, мг/дм ³
рН	6,5-8,5
БПК полн.	200
Взвешенные вещества	200
Хлориды	200
Сульфаты	300
Азот аммонийный	25,0
Нитриты	3,3
Нитраты	45,0
Фосфаты	5,0

Наименование нормируемых компонентов	Допустимые концентрации, мг/дм ³
Фенолы	0,020
Нефтепродукты	4,0
Железо общее	4,0
Цинк	0,10
Медь	0,03
Сухой остаток	800,0

Очистные сооружения правого берега представляют собой станцию биологической очистки сточных вод, предназначенную для очистки хозяйственно-бытовых стоков правобережной части города от минеральных, органических и бактериальных загрязнений методом биохимического окисления и состоят из комплекса отдельных сооружений, в которых по ходу движения сточная вода постепенно очищается сначала от крупных, а затем от все более мелких загрязнений, находящихся в нерастворенном и растворенном состояниях. Технологическая схема очистных сооружений представлена на рисунке.

Сооружения работают по традиционной схеме полной биологической очистки без процессов нитриде нитри-

фикации. В состав первой и второй очереди входят решетки, горизонтальные и вертикальные песколовки, радиальные первичные отстойники, аэротенки, вторичные радиальные отстойники, биопруды. Очищенные стоки хлорируются.

Правобережные очистные сооружения г. Магнитогорска находятся в эксплуатации в объеме 2-х очередей с 1985 года (I очередь сдана в эксплуатацию в 1963 году, II очередь в 1983 году). Среднесуточный годовой расход сточных вод примерно равен проектному и составляет 155 тыс. м³/сут., в том числе по первой очереди 64 500 м³/сут., по второй очереди 90 500 м³/сут.

Количество и состав загрязнений в стоках приведен в табл.2.

Таблица 2

Состав сточных вод до и после очистных сооружений

Показатели	Содержание в поступающей сточной воде, мг/л		Содержание в очищенной воде, мг/л (место спуска в водохранилище)	Примечание
	I очередь	II очередь		
Температура, °С	20,7	1,2	12,9	I очередь Среднесуточное количество стоков 60,314 тыс.м ³ /сут. Расход воздуха на аэрацию 477,7 тыс.м ³ /сут. Период аэрации 6,6 час.
Взвешенные вещества	136,0	128,0	10,0	
БПК ₅	107,0	84,0	10,8	
ХПК	156,0	149,0	36,0	
Азот аммонийный	26,9	22,6	2,9	
Фосфаты	13,1	10,4	9,9	II очередь Среднесуточное количество стоков 90,207 тыс.м ³ /сут. Расход воздуха на аэрацию 511,63 тыс.м ³ /сут. Период аэрации 6,6 час
Фенолы	3,5	1,8	0,28	
СПАВ	0,94	0,94	0,05	
Марганец	-	-	0,05	
Медь	-	-	0,005	
Цинк	-	-	0,031	
Железо	3,5	1,8	0,28	
Нефтепродукты	5,2	3,9	0,26	

В результате очистки сточных вод, образуются отходы:

- отходы при механической и биологической очистке сточных вод (песок после очистки сточной воды);
- отходы при механической и биохимической очистке сточных вод (ил с иловых площадок);
- отходы при механической и биохимической очистке сточных вод (отходы с решеток).

В связи с этим актуальной задачей становится изучение химического состава осадков и в последующем определения возможности их переработки в удобрения, что позволит снизить их негативное воздействие на окружающую среду.

Материал и методы исследования

Изучались три вида осадков сточных вод Правобережных очистных сооружений:

- осадок из первичных отстойников первой очереди;
- избыточный активный ил;
- осадок с иловых площадок.

Химический состав осадков определялся в усредненных высушенных пробах, отобранных в июне 2014 г. По стандартным методикам в пробах определялись основные характеристики осадков – валовое содержание нефтепродуктов, биогенных элементов и микроэлементов, а также содержание подвижных форм микроэлементов и анионов.

Результаты и обсуждение

Химический состав осадков по общему содержанию и подвижным формам элементов представлены в таблицах 3 и 4.

Анализ результатов определений состава осадков показывает, что по всем контролируемым токсичным соединениям за исключением нефтепродуктов, осадок Правобережных очистных сооружений может быть использован для переработки в сельскохозяйственное удобрение. По содержанию органики и биогенных элементов осадок сопоставим с навозом КРС.

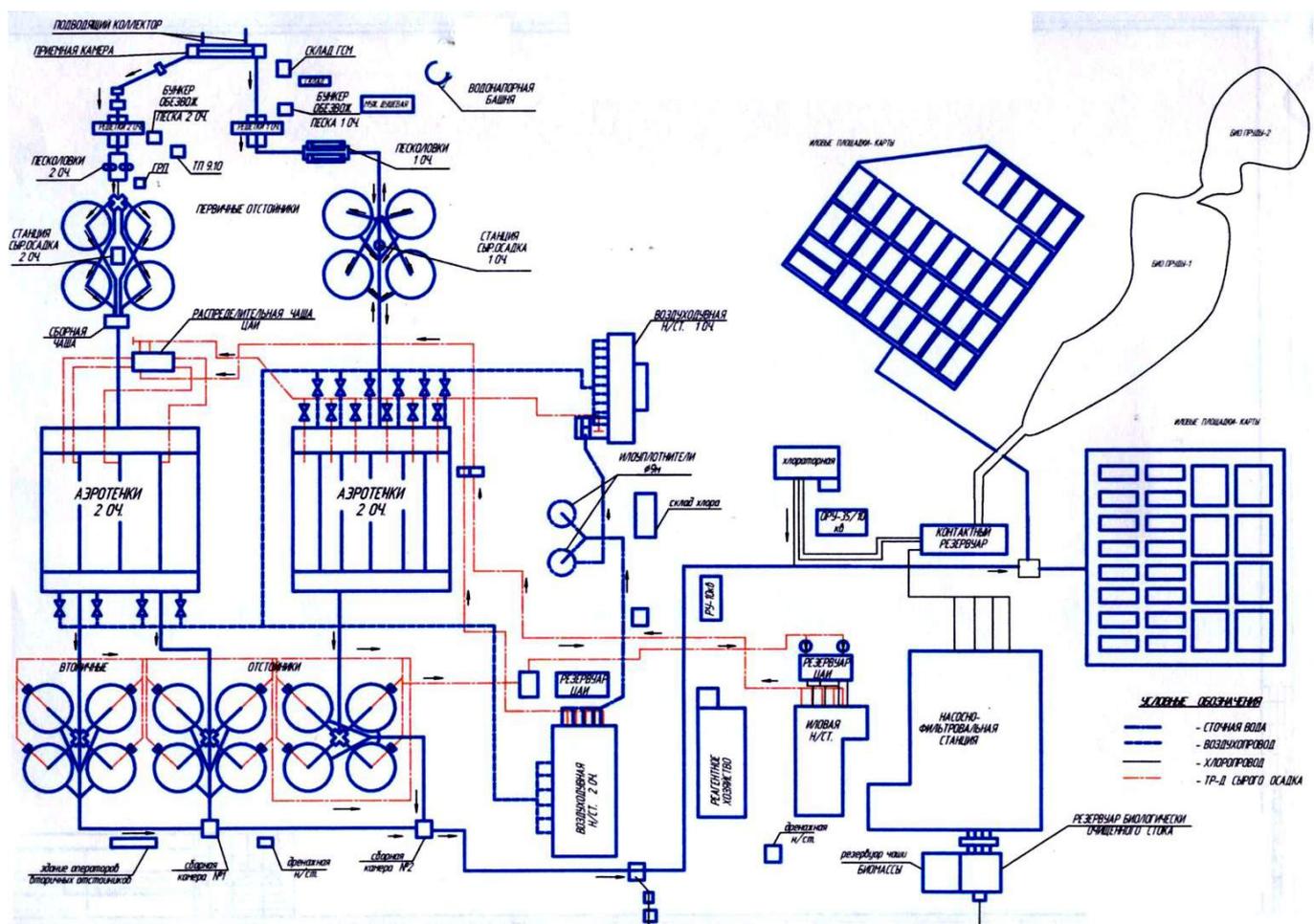


Рисунок. Принципиальная технологическая схема очистных сооружений

Таблица 3

Химический состав осадков сточных вод в мг/кг (на сухое вещество)

Показатель	Норма по СанПиН 2.1.7.573.96	Осадок первичных отстойников	Избыточный активный ил	Осадок с иловых площадок
1. Органическое вещество, %	не менее 20	73,7	74,3	19,03
2. Кислотность, рН	5,5–8,5	6,5	6,9	7,2
3. Углерод органический	–	581500,0	577100,0	126100,0
4. Азот общий	–	24591,7	38399,2	8274,72
5. Фосфор общий	–	14234,0	23800,0	4671,2
6. Калий (K ₂ O)	–	25722,0	40000,0	1429,8
7. Кальций (Ca)	–	34000,0	14400,0	36000,0
8. Магний (Mg)	–	29900,0	3980,0	21600,0
9. Нефтепродукты	–	54,1	70,87	1069,0
10. Свинец (Pb)	1000	0,553	0,491	30,51
11. Мышьяк (As)	20	4,03	3,122	1,441
12. Ртуть (Ag)	15	2,21	3,1	2,33
13. Кадмий (Cd)	30	2,21	3,1	2,0
14. Никель (Ni)	400	398,0	247,0	110,4
15. Хром (Cr+3)	1200	3,124 (общий)	1,158 (общий)	0,309 (общий)
16. Цинк (Zn)	4000	1298,2	1394,1	1144,7
17. Медь (Cu)	1500	101,5	129,7	58,8
18. Кобальт (Co)	–	3,64	3,63	11,12

Таблица 4

Химический состав осадков сточных вод по подвижным формам микроэлементов в мг/кг (на сухое вещество)

Показатель	ПДК тяжелых металлов в почве	Осадок первичных отстойников	Избыточный активный ил	Осадок с иловых площадок
1.	–	1295,0	1550,0	160,0
2.	–	263,0	2832,5	12865,0
3. Mg+2	–	960,0	1260,0	990,0

Показатель	ПДК тяжелых металлов в почве	Осадок первичных отстойников	Избыточный активный ил	Осадок с иловых площадок
4. Cu+2	3,0	13,25	10,85	1,64
5. Ni+2	4,0	<1,95	<2,35	0,475
6. Zn+2	23,0	26,45	21,65	0,349
7. Cr+2 (общий)	6,0	<1,1	<1,4	0,137
8. Cd+2	–	<1,3	<1,4	<0,1
9. Co+2	5,0	<1,3	<1,4	<0,15
10. Pb+2	6,0	<1,3	<1,4	<0,15
11. Ag+2	–	<0,013	<0,014	<0,0015
12. As+2	–	0,26<	0,14	<0,015

Содержание нефтепродуктов в осадке может быть снижено до требуемых нормативов в процессе подготовки осадка к сельскохозяйственному использованию.

2. (утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31 октября 1996 г. N 46). – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997.

Список литературы

1. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.1.7.573-96. "Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения"

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИНГИБИРУЮЩЕГО БУРОВОГО РАСТВОРА НА ОСНОВЕ ХЛОПКОВОГО ГУДРОНА

Жантасов Манап Курманбекович

канд. т. наук, доцент Южно-Казахстанского государственного университета
Республика Казахстан, г.Шымкент

Орынбасаров Арсланбек Калдыкулович,

канд. х. наук, доцент Южно-Казахстанского государственного университета, Республика Казахстан,
г.Шымкент

Лю Цинь Цзе

Сапаров Куаныш

магистранты Южно-Казахстанского государственного университета, Республика Казахстан,
г.Шымкент

DETERMINATION OF RHEOLOGICAL PARAMETERS THE INHIBITING BORING SOLUTION ON THE BASIS COTTON TAR
Zhantasov Manap, Candidate of tech. Sciences, associate professor of South Kazakhstan State University, Republic of Kazakhstan, Shymkent

Orynbasarov Arslanbek, Candidate of Chem. Sciences, associate professor of South Kazakhstan State University, Republic of Kazakhstan, Shymkent,

Liu Qin Jie, undergraduate of South Kazakhstan State University, Republic of Kazakhstan, Shymkent,

Saparov Kuanys, undergraduate of South Kazakhstan State University, Republic of Kazakhstan, Shymkent

АННОТАЦИЯ

Контроль величин реологических показателей на всем протяжении цикла строительства скважины - одна из важнейших задач служб, занимающихся вопросами промывки скважины. Это связано, в частности, с опасностью возникновения больших пусковых гидравлических давлений и, как следствие, гидроразрыва пород при некорректной химической обработке

В данной статье приведены исследования по определению влияния реагента ингибитора на основе хлопкового гудрона в различных процентных соотношениях на реологические свойства бурового раствора.

Анализ проведенных исследований влияния концентрации реагента на основе хлопкового гудрона на реологические показатели бурового раствора (динамическое напряжение сдвига и условная вязкость) показал, что оптимальное содержание реагента 4 % масс., так как при большей концентрации в буровом растворе будут возрастать гидравлические сопротивления в циркуляционной системе, и снижаться механическая скорость бурения. Изменения реологических параметров глинистых растворов от концентрации исследуемого нового реагента имеют практически линейную зависимость. Это позволяет утверждать, что полученные буровые растворы относятся к псевдопластическим жидкостям. Подобные жидкости обеспечивают эффективную очистку ствола скважины от выбуренной породы и минимально возможные потери давления в скважине.

ABSTRACT

Control of sizes of rheological indicators throughout a cycle of construction of a well - one of the most important tasks of the services dealing with issues of washing of a well. It is connected, in particular, with danger of emergence of big starting hydraulic pressure and, as a result, hydraulic fracturing of breeds at incorrect chemical processing.

In this article researches on inhibitor reagent influence definition on the basis of cotton tar are given in various percentage ratios on rheological properties of boring solution.

The analysis of the conducted researches of influence of concentration of reagent on the basis of cotton tar on rheological indicators of boring solution (dynamic tension of shift and conditional viscosity) showed that the optimum content of reagent 4%mass., as at bigger concentration in boring solution hydraulic resistance will increase in circulating system, and to decrease the mechanical speed of drilling. Changes of rheological parameters of clay solutions from concentration of the studied new reagent have almost linear dependence. It allows to claim that the received boring solutions belong to pseudo-plastic liquids. Similar liquids provide effective cleaning of a trunk of a well of drill breed and minimum possible losses of pressure in a well.

Ключевые слова: буровой раствор, реагент, ингибитор, хлопковый гудрон, концентрация, реологические свойства, динамическое напряжение сдвига, пластическая вязкость.

Keywords: boring solution, reagent, inhibitor, cotton tar, concentration, rheological properties, dynamic tension of shift, plastic viscosity.

Сегодня по подтвержденным запасам нефти Казахстан входит в число 15 ведущих стран мира, обладая 3% мирового запаса нефти. Нефтегазоносные районы занимают 62% площади страны, и располагают 172 нефтяными месторождениями, из которых более 80-ти находятся в разработке. Более 90% запасов нефти сосредоточено на 15 крупнейших месторождениях – Тенгиз, Кашаган, Карачаганак, Узень, Жетыбай, Жанажол, Каламкас, Кенкияк, Каражанбас, Кумколь, Северные Бузачи, Алибекмола, Центральная и Восточная Прорва, Кенбай, Королевское. Месторождения находятся на территории шести из четырнадцати областей Казахстана. Это Актюбинская, Атырауская, ЗападноКазахстанская, Карагандинская, Кызылординская и Мангистауская области. При этом примерно 70% запасов углеводородов сконцентрировано на западе Казахстана.

В послании «Казахстанский путь – 2050: Единая цель, единые интересы, единое будущее» Глава государства определил комплекс задач, решение которых позволит республике войти в 30 наиболее развитых стран. Президент обозначил долгосрочные приоритеты развития нефтегазовой отрасли. В частности, это эффективность добычи нефти через инновационные подходы к добыче и переработке углеводородов.

Тяжелые осложнения в процессе бурения, а в некоторых случаях и ликвидация скважин, нарушение режима эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, связанные со значительным ущербом народному хозяйству, могут быть обусловлены низким качеством буровых растворов, отсутствием надежных методов и средств управления ими. Разбурываемые породы, пластовые воды, высокие температуры и давления отрицательно влияют на свойства буровых растворов. Аналогичное влияние оказывают и гидродинамические эффекты при закачивании и продавливании растворов в скважинах. Наибольшее влияние на качество бурового раствора, а также технико-экономические показатели бурения оказывают породы, которые активно взаимодействуют с этими системами. Например, пластичные породы под влиянием фильтрата раствора набухают, теряют устойчивость и, переходя в буровой раствор, существенно ухудшают его качество. Смачивание этим раствором рыхлых пород вызывает их оползание или осыпание в ствол скважины [1].

В связи с постоянно растущими объемами бурения нефтегазовая промышленность испытывает дефицит экологически малоопасных смазочных материалов для буровых растворов. В последние годы смазочные добавки для буровых растворов из разряда вспомогательных веществ специального назначения, как они ранее классифицировались, уверенно переходят в состав основных реагентов.

В первую очередь, это вызвано тем, что для бурения наклонных, сильно искривленных и горизонтальных скважин, где потенциально велики энергозатраты на преодоление силы трения колонны труб о стенки скважины, огромное значение придается смазывающей способности буровых растворов [2].

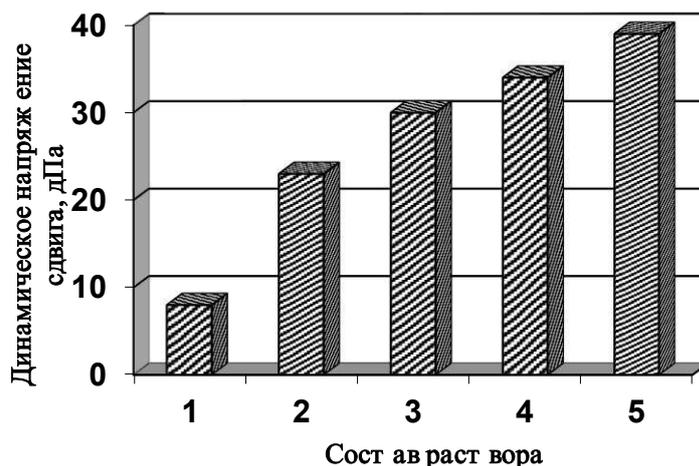
Кроме того, повышенным требованиям экологической безопасности материалов, используемых в бурении, в большей степени соответствуют смазочные добавки на основе природных веществ – растительных масел, животных жиров, жиросодержащих отходов. Для определения перспектив использования процесса гидрофобизации неустойчивых глинистых отложений ингибиторами на основе жирных кислот, в первую очередь необходимо подобрать материал, содержащий эти кислоты и, при этом, дешевой и экологически безопасный.

Одним из перспективных источников жирных и смоляных кислот, подходящий по всем выбранным критериям, является побочный продукт, образующийся при производстве хлопкового масла - хлопковый гудрон. Типичный состав хлопкового гудрона Шымкентского масложирокомбината следующий: 98,29% органических веществ; 1,71% неорганических веществ; 100% эфирорастворимых веществ.

Для оптимального распределения жирных кислот в водной среде бурового раствора требуется их нейтрализация с образованием мыл. С этой целью хлопковый гудрон подвергали омылению 10%-ным спиртовым раствором (раствор щелочи брался из расчета в соответствии с числом омыления смолы). Полученную смесь разделяли на свободные жирные кислоты и глицерин. Таким образом, рекомендуемый нами реагент под названием ОХГ (омыленный хлопковый гудрон) представляет собой жирные кислоты, полученные омылением триглицеридов.

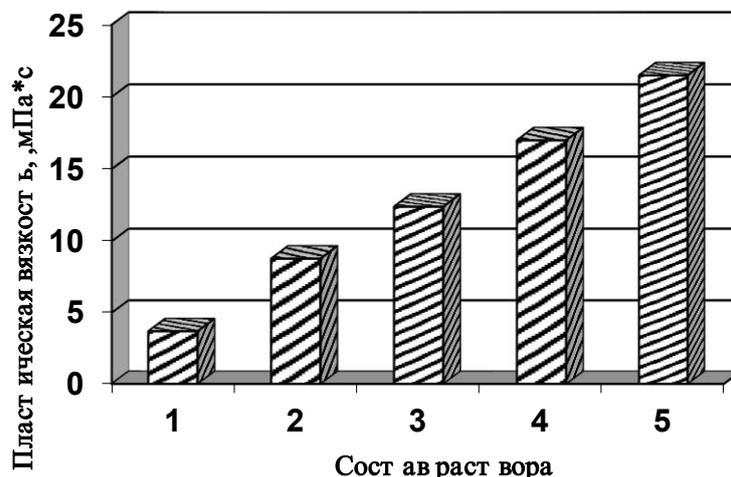
В качестве исходного раствора была взята 3%-ная глинистая суспензия на основе бентонитового глинопопорошка, обработанная 0,3 % КМЦ. Затем раствор обрабатывался приготовленным ранее реагентом ОХГ в различных концентрациях. После обработки глинистые системы тщательно перемешивались в течение 30 минут, выдерживались 24 часа и после повторного перемешивания проводились измерения некоторых реологических показателей.

На рисунках 1 и 2 представлены значения динамического напряжения сдвига и пластической вязкости глинистых буровых растворов на основе хлопкового гудрона, в зависимости от концентрации содержащегося в них реагента.



Обозначения: 1 – нативный раствор (3 % бентонитового глинопорошка + вода + 0,3 % КМЦ);
 2 - нативный раствор + 2% реагента ОХГ; 3 - нативный раствор + 3% реагента ОХГ;
 2 - нативный раствор + 4% реагента ОХГ; 2 - нативный раствор + 5% реагента ОХГ.

Рисунок 1. Зависимость динамического напряжения сдвига бурового раствора от концентрации, входящего в его состав нового реагента ОХГ



Обозначения: 1 - (3 % бентонитового глинопорошка + вода + 0,3 % КМЦ);
 2 - нативный раствор + 2% реагента ОХГ; 3 - нативный раствор + 3% реагента ОХГ;
 2 - нативный раствор + 4% реагента ОХГ; 2 - нативный раствор + 5% реагента ОХГ.

Рисунок 2. Зависимость пластической вязкости бурового раствора от концентрации, входящего в его состав нового реагента ОХГ

Данные представленных выше зависимостей показывают, что изменения динамического напряжения сдвига и условной вязкости глинистых растворов от концентрации исследуемого нового реагента имеют практически линейную зависимость. Это позволяет утверждать, что полученные буровые растворы относятся к псевдопластическим жидкостям. Подобные жидкости обеспечивают эффективную очистку ствола скважины от выбуренной породы и минимально возможные потери давления в скважине [3]. Оптимальное содержание реагента составляет 4 % масс., так как при большей концентрации в буровом растворе будут возрастать гидравлические сопротивления в циркуляционной системе, и снижаться механическая скорость бурения.

Таким образом, нами доказана возможность получения высоко ингибированных глинистых буровых растворов с содержанием хлопкового гудрона, для которых характерны удовлетворительные реологические свойства.

Литература

1. Агабальянц Э.Г. Промысловые жидкости для осложненных условий бурения. - М.: Недра, 2002. – 684 с.
2. Исламов Х.М. Экологическая безопасность применения химических реагентов для обработки буровых растворов // Нефть и газ. - 2010. - № 6. - С. 55-61.
3. Булатов А.И., Габузов Г.Г. Гидромеханика углубления и цементирования скважин. - М.: Недра, 1992. - 368 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ БУРОВОГО РАСТВОРА

Жантасов Манап Курманбекович

канд. т. наук, доцент Южно-Казахстанского гос. университета, Республика Казахстан, г.Шымкент

Орынбасаров Арсланбек Калдыкулович

канд. х. наук, доцент Южно-Казахстанского гос. университета, Республика Казахстан, г.Шымкент

Лю Цинь Цзе

Сапаров Куаныш

магистранты Южно-Казахстанского гос. университета, Республика Казахстан, г.Шымкент

RESEARCH OF PROCESS OF TEMPERATURE IMPACT ON TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF BORING SOLUTION

Zhantassov Manap, Candidate of tech. Sciences, associate professor of South Kazakhstan State University, Republic of Kazakhstan, Shymkent

Orynbasarov Arslanbek, Candidate of Chem. Sciences, associate professor of South Kazakhstan State University, Republic of Kazakhstan, Shymkent

Liu Qin Jie, undergraduate of South Kazakhstan State University, Republic of Kazakhstan, Shymkent

Saparov Kuanysh, undergraduate of South Kazakhstan State University, Republic of Kazakhstan, Shymkent

АННОТАЦИЯ

Для оценки степени влияния температурного фактора на технологические параметры бурового раствора, содержащего новый ингибирующий реагент на основе хлопкового гудрона, была проведена серия опытов с использованием 3%-ной глинистой суспензии. Термостатирование образцов буровых растворов осуществлялось в автоклавах в течение 6 часов при заданной температуре. По полученным данным были построены зависимости изменения технологических параметров исследуемых систем буровых растворов от температурного воздействия. Анализ экспериментов показал, что повышение температуры нагревания до 100 °С ведет к плавному снижению реологических показателей вследствие температурного разжижения. Уменьшение вязкости с ростом температуры остается в пределах допустимых значений, следовательно, сохраняется седиментационная устойчивость системы. При дальнейшем нагревании данные показатели повышаются за счет снижения эффективности стабилизирующего действия реагента на основе хлопкового гудрона, что приводит к усилению коагуляционного взаимодействия между дисперсными частицами бурового раствора. При повышении температуры изменяется пространственное строение компонентов, возможна их частичная деструкция. В целом же, температурное воздействие не оказывает значительного влияния на ингибирующую способность, что определяет устойчивость соединений сложных эфиров хлопкового гудрона.

ABSTRACT

For an assessment of extent of influence of a temperature factor on technological parameters of the boring solution containing the new inhibiting reagent on the basis of cotton tar a series of experiences with use of 3% clay suspension was carried out. Heating of samples of boring solutions was carried out in autoclaves within 6 hours at the set temperature. According to the obtained data dependences of change of technological parameters of the studied systems of boring solutions on temperature influence were constructed. The analysis of experiments showed that temperature increase of heating to 100 °C conducts to smooth decrease in rheological indicators owing to temperature fluidifying. Reduction of viscosity with growth of temperature remains within admissible values, therefore, the settling stability of system remains. At further heating these indicators raise due to decrease in efficiency of the stabilizing effect of reagent on the basis of cotton tar that leads to strengthening of coagulative interaction between disperse particles of boring solution. At temperature increase the spatial structure of components changes, their partial destruction is possible. In general, temperature influence has no considerable impact on the inhibiting ability that defines stability of compounds of esters of cotton tar.

Ключевые слова: глинистая суспензия, буровой раствор, технологические параметры, температура, нагревание, хлопковый гудрон, ингибирующая способность, устойчивость соединений

Keywords: clay suspension, boring solution, technological parameters, temperature, heating, cotton tar, inhibiting ability, stability of connections

На сегодняшний день в Казахстане в среднем по отрасли коэффициент извлечения нефти (КИН) составляет 0,3 процента. В некоторых же странах он равен 0,45, а по ряду месторождений - 0,6. По мнению главы государства необходимо усилить работы по увеличению КИН. Крупные месторождения нашей области разрабатываются на протяжении нескольких десятилетий и сейчас находятся на поздних стадиях разработки. Это означает, что по ним ожидается уменьшение добычи нефти. Поэтому существует необходимость объединения усилий нефтедобы-

вающих компаний и научной среды для совместной работы в данном направлении. Мероприятия по повышению КИН, безусловно, являются капиталоемкими и требуют вложения инвестиций. Но на сегодняшнем этапе они являются необходимыми для сохранения конкурентоспособности и повышения эффективности нефтегазового сектора[1].

Первоочередными задачами в решении проблемы повышения эффективности строительства скважин в слабоцементированных отложениях в настоящий момент и

на ближайшую перспективу являются: применение высокоингибирующего бурового раствора, технологические параметры которого соответствуют конкретным геологическим условиям; разработка составов и рецептур систем ингибирующих буровых растворов на основе дешевых и доступных материалов; создание нетоксичных, экологически безопасных реагентов для ингибирования буровых растворов [2].

Контроль величин реологических показателей на всем протяжении цикла строительства скважины - одна из важнейших задач служб, занимающихся вопросами промывки скважины. Это связано, в частности, с опасностью возникновения больших пусковых гидравлических давлений и, как следствие, гидроразрыва пород при некорректной химической обработке. Геологические условия залегания горных пород и увеличение глубин бурения до четырех и более тысяч метров требуют тщательного подхода к выбору химической обработки с учетом воздействия температурной и полиминеральной агрессии на свойства промывочной жидкости. Это связано как с термокоагуляцией, так и с деструкцией реагентов, входящих в состав промывочной жидкости. Как правило, термостабильность и солеустойчивость буровых растворов соответствует тем же показателям входящих в их состав хими-

ческих реагентов. Но это только в том случае, если система достаточно стабильна, а твердая фаза, в основном глинистая, защищена адсорбционно-сольватным барьером [3].

Для оценки степени влияния температурного фактора на технологические параметры бурового раствора, содержащего новый ингибирующий реагент ОХГ, полученный путем омыления хлопкового гудрона, нами была проведена серия опытов с использованием 3%-ной глинистой суспензии.

Эфиры жирных кислот, входящие в состав реагента ОХГ, обладают стабилизирующей активностью, так как присутствующая в таких эфирах имидная функциональная группа, предположительно образует требуемые электронно-донорно-акцепторные связи (ЭДА) со сложноэфирной группой за счет своей неподеленной электронной пары. Количество медленных связей на одну молекулу этих эфиров зависит от степени их замещения, т.е. количества сложноэфирных групп. Можно предположить, что с увеличением степени замещения эфира, содержащегося в хлопковом гудроне, будет повышаться термостабильность буровых растворов.

На рисунках 1-5 представлены зависимости изменения технологических параметров исследуемых систем буровых растворов от температурного воздействия.

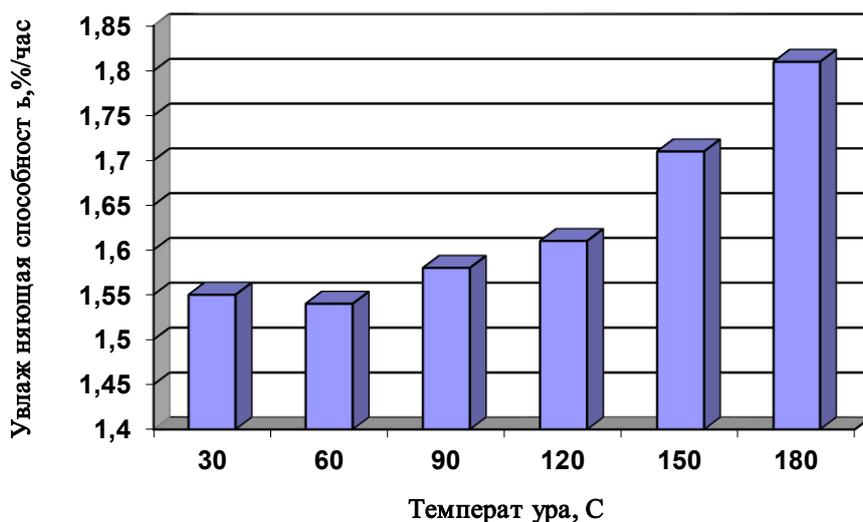


Рисунок 1. Влияние температуры на увлажняющую способность ингибирующего бурового раствора

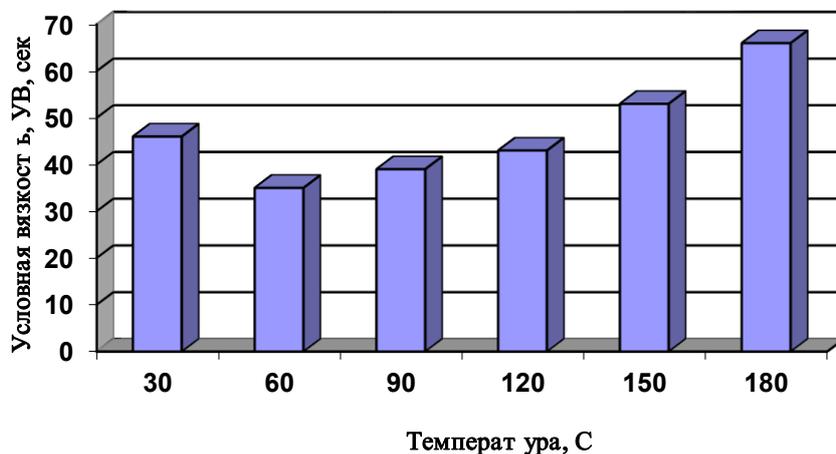


Рисунок 2. Влияние температуры на условную вязкость ингибирующего бурового раствора

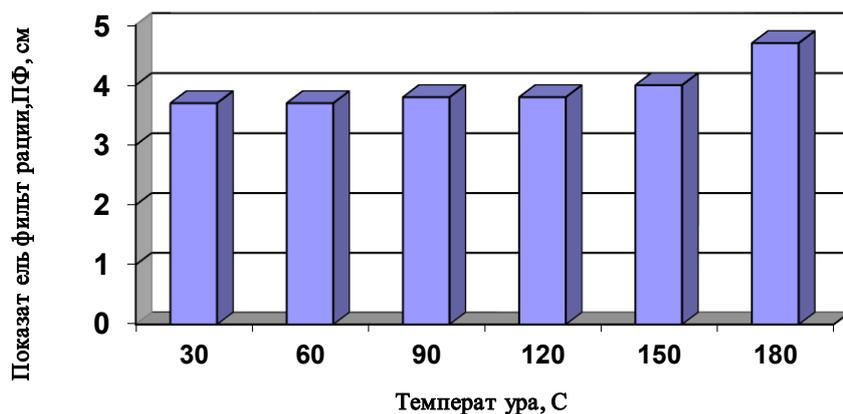


Рисунок 3. Влияние температуры на показатель фильтрации ингибирующего бурового раствора

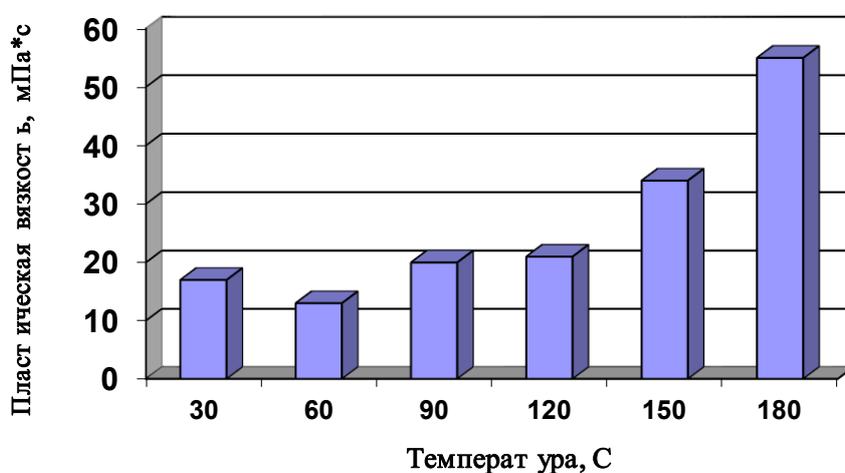


Рисунок 4. Влияние температуры на пластическую вязкость ингибирующего бурового раствора

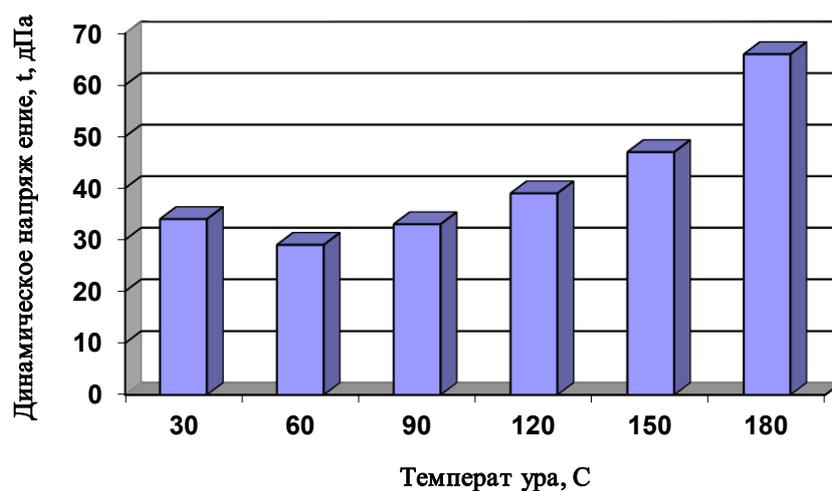


Рисунок 5. Влияние температуры на динамическое напряжение ингибирующего бурового раствора

Данные рисунков показывают, что повышение температуры нагревания до 60-120 °С ведет к плавному снижению реологических показателей вследствие температурного разжижения. Уменьшение вязкости с ростом температуры остается в пределах допустимых значений, следовательно, сохраняется седиментационная устойчивость

системы. При дальнейшем нагревании данные показатели повышаются за счет снижения эффективности стабилизирующего действия реагента на основе хлопкового гудрона, что приводит к усилению коагуляционного взаимодействия между дисперсными частицами бурового

раствора. При повышении температуры изменяется пространственное строение структурообразователя, возможна его частичная деструкция.

Увеличение температуры термического воздействия до 180°C приводит к снижению антифильтрационных свойств. Происходит дальнейшее увеличение пластической вязкости и динамического напряжения сдвига. Это свидетельствует о необходимости корректировки реологических параметров с помощью реагентов-разжижителей.

При охлаждении раствора до комнатной температуры параметры восстанавливаются, т.е. необратимых химических и физических процессов при нагревании раствора не происходит.

Анализируя полученные результаты опытов, можно сделать вывод, что температурное воздействие не

оказывает значительного влияния на ингибирующую способность, что определяет устойчивость соединений сложных эфиров хлопкового гудрона, обуславливающих гидратирующую и диспергирующую способность буровых растворов.

Литература

1. Айдарбаев А.С. Проблемы повышения нефтедобычи // Нефть и газ. – 2014. - №2. – С. 36-40.
2. Bell. J.S. Modern drilling // Oil and Gas. - 2003. - № 24. – P. 52-55.
3. А.И. Булатов, П.П. Макаренко. Теория и практика заканчивания скважин: В 5 т. - М.: ОАО "Издательство "Недра", 1997. - Т.1. – 546 с.

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ И УСТАНОВОК ВЕНТИЛЯЦИИ КАРЬЕРОВ СТАРООСКОЛЬСКО-ГУБКИНСКОГО ГОРНО-ДОБЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА (СГ ГДК) КУРСКОЙ МАГНИТНОЙ АНОМАЛИИ (КМА)

Жирнов Д. А.

аспирант, Белгородский Национальный Исследовательский Университет (НИУ «БелГУ») г. Белгород

Крамчанинов Н. Н.

кандидат географ. наук, доцент, Белгородский Национальный Исследовательский Университет (НИУ «БелГУ») г. Белгород

RATIONALE FOR THE USE OF SOLAR ENERGY SYSTEM DESIGN AND INSTALLATION OF VENTILATION PITS STAROOSKOLSKAYA GUBKINSKOYE-MINING COMPLEX (SG GDK) KURSK MAGNETIC ANOMALY (KMA)

Zhirnov D.A., graduate, Belgorod National Research University (NIU "BSU") Belgorod

Kramchaninov N.N., PhD geographer. Sciences, Associate Professor, Belgorod National Research University (NIU "BSU") Belgorod

АННОТАЦИЯ

Выполнен расчет параметров инсоляции и определена возможность использования в качестве возобновляемого источника энергии - солнечной энергии на территории Белгородской области. Произведена оценка эффективности использования средств вентиляции карьеров на основе солнечной энергии в регионе Курской магнитной аномалии (КМА). Определена перспектива использования солнечной энергии при проектировании систем и установок вентиляции карьеров СГ ГДК КМА.

ABSTRACT

The calculation of the parameters of insolation and defined as the use of renewable energy sources - solar energy in the Belgorod region. An assessment of the effectiveness of the use of funds ventilation pits based on solar energy in the region of the Kursk Magnetic Anomaly (KMA). Determine the prospects of solar energy system design and installation of ventilation pits SG GDK KMA.

Ключевые слова: инсоляция, вентиляция карьеров, возобновляемые источники энергии, солнечная энергия, атмосфера, оптическая система, перераспределение солнечного потока.

Keywords: insolation, ventilation pits, renewable energy, solar energy, the atmosphere, the optical system, the redistribution of solar flux.

Социально-экономические условия постиндустриального периода развития общества и демографический взрыв привели к тому, что мировое потребление энергии резко возросло и продолжает расти. Существующие острые экологические проблемы невозможно решить без дополнительных энергоресурсов. Экологические проблемы со стороны Старооскольско-Губкинского горнодобывающего комплекса, так же сложно решить в условиях

энергодефицита. Известны прогнозы «МРСК ЦЕНТРА» о необходимости увеличения числа электростанций на территории Белгородской области втрое, что в свою очередь приведет к большим финансовым затратам и увеличению стоимости кВт/час.

За последние 10 лет рост потребления электроэнергии привел к необходимости использования дополнительных энергоресурсов, недостаток компенсируется

за счет привлечения электроэнергии из Курской и Воронежской областей. В этих условиях развитие энергетики в долгосрочной перспективе немыслимо без освоения возобновляемых источников энергии (ВИЭ). В области сделаны первые шаги в освоении ВИЭ, построены первые ветровые энергоблоки, но из-за особенностей региона их производительность не обладает высоким потенциалом.

В ряде развитых стран мира возобновляемые источники энергии уже заняли заметное положение в структуре энергетического баланса. Так в Германии существует программа расширения использования ВИЭ с 10% существующих показателей использования до 20% в ближайшей перспективе. ВИЭ эксплуатируются в незначительном, далеко не соответствующем своему потенциальному богатству масштабе. Например, ресурсы геотермальной энергии так велики, что переход человечества на их потребление повлек бы уменьшение температуры земных недр на 0,5 °С через 41 млн. лет. Однако по состоянию на 2012 г. в мире вся генерирующая электроэнергию мощность ГеоТЭС составила 2 - 8,25 ГВт при объеме выработки этой энергии 0,3% от мирового. Прочие возобновляемые источники энергии покрывали в мировом масштабе незначительные доли. Однако стоит отметить, что в использовании ВИЭ превалирует гелиоэнергия [1].

Для решения экологической проблемы Старооскольско-Губкинского горнодобывающего комплекса, возникающая и продолжающая расти в связи с непрерывным ростом объемов добычи железной руды, увеличению масштабов энергопотребления, а также размеров карьеров, особенно их глубины, что в свою очередь приводит к изоляции микроклимата карьера от атмосферы, требуется комплексный подход и разработка инновационной концепции с использованием ВИЭ.

На данный момент состояние микроклимата карьеров СГ ГДК КМА не соответствует общепринятым нормам ПДК на содержание вредных веществ в воздухе. В бли-

жайшей перспективе рассматривается возможность установки систем вентиляции с подключением к сети энергоснабжения карьера. Данный вид установок будет не рентабелен ввиду нехватки электроэнергии на обслуживание самого карьера, что приведет к росту себестоимости добычи руды.

Проветривание глубоких карьеров добычи минеральных полезных ископаемых (МПИ) является высокоактуальной задачей однозначного решения, которой не существует. Современные высокоэффективные технические средства при эксплуатации, которых возникают дополнительные энергозатраты, увеличивают себестоимость добычи МПИ. Наше исследование направлено на поиск инновационного решения выше обозначенной задачи. С этой целью необходимо рассмотреть возможность применения ВИЭ в качестве альтернативного источника энергии для создания систем проветривания карьеров. С учетом климатического фактора и особенностей природной среды Белгородского региона в целом и СГ ГДК в частности, произведен выбор в пользу использования солнечной энергии в качестве альтернативной и вспомогательной для привода систем проветривания карьеров и создания на основе нашей концепции оборудования и устройств.

Среди всех видов нетрадиционных возобновляемых источников энергии наиболее крупным потенциалом обладает солнечная энергия, тепловой поток которой на верхней границе с атмосферой достигает $5,7 \times 10^{24}$, а на поверхности Земли - $1,5 \times 10^{24}$ Дж в год. Это колоссальная энергия, соответственно, в 20.5 тысяч раз превышающая энергию, которую могут дать все виды не возобновляемых топливно-энергетических ресурсов мира [2]. Согласно климатическим данным на территории Белгородской области наиболее применимыми являются возобновляемые источники энергии, основанные на использовании солнечной энергии табл.1.

Таблица 1

Сводная таблица климатических данных по Белгородской области

Tmax, C0	Tmin, C0	Ветра, м/с	Количество осадков, мм/год	N, количество световых дней
27	19	4-5	213	264

В результате произведенных наблюдений было определено, что наибольшей интенсивностью излучения солнца, на территории Белгородской области, обладает

от начала марта до первых чисел декабря, что говорит о целесообразности рассмотрения солнечной энергии в качестве ВИЭ график 1.

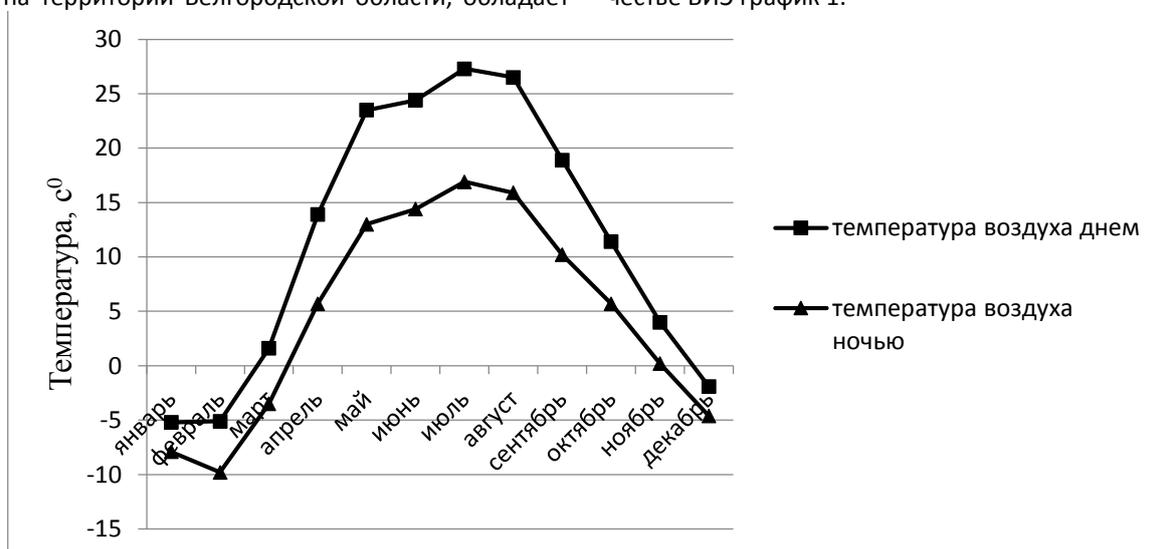


График 1 Среднемесячные показатели температуры по Белгородской области за период 2003-2013 год

Освоение солнечной энергии для производства электроэнергии и тепла в настоящее время осуществляется по следующим направлениям:

- разработка и строительство систем солнечного горячего водоснабжения, отопления и кондиционирования воздуха;
- разработка и создание фотоэлектрических установок для энергоснабжения автономных потребителей;
- создание и ввод в эксплуатацию солнечных электростанций с паротурбинным циклом.

Исследование позволит получить данные для обработки возможного использования в качестве ВИЭ солнечной энергии. Использование солнечной энергии имеет свои ограничения так как данный вид энергии подходит лишь для областей со среднегодовым показателем инсоляции не менее 0.6 МВт/м2.

Проведем расчеты показателей прихода солнечной радиации на территорию Белгородской области.

Рассчитаем значение лучистой энергии, поступающей от Солнца к Земле. Для начала рассчитаем показатель полной лучистой солнечной энергии приходящей за пределы атмосферы в год [3].

При этом следует рассмотреть солнце в качестве «абсолютно черного тела». Абсолютно чёрное тело — физическая идеализация, тело, поглощающее всё падающее на него электромагнитное излучение во всех диапазонах и ничего не отражающее. Несмотря на название, абсолютно чёрное тело само может испускать электромагнитное излучение любой частоты и визуально иметь цвет. Спектр излучения абсолютно чёрного тела определяется только его температурой [4].

Важность абсолютно чёрного тела в вопросе о спектре теплового излучения любых (серых и цветных) тел вообще, кроме того, что оно представляет собой наиболее нетривиальный случай, состоит ещё и в том, что вопрос о спектре равновесного теплового излучения тел любого цвета и коэффициента отражения сводится методами классической термодинамики к вопросу об излучении абсолютно чёрного тела (и исторически это было уже сделано к концу XIX века, когда проблема излучения абсолютно чёрного тела вышла на первый план).

Общая мощность светового потока, приходящая за пределы атмосферы Земли (W) равна:

$$W=Nxt, \text{где} \tag{1}$$

N- мощность светового потока 1.7×10^{17} Вт;
t- 264×24×3600 промежуток времени в течении года

$$W= 1.7 \times 10^{17} \times 264 \times 24 \times 3600 = 3.8 \times 10^{24} \text{ Дж} = 1.05 \times 10^{18} \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Среднее годовое количество солнечной радиации, поступающей на поверхность Белгородской области. Рассчитывается как отношение лучистой энергии, без отражения проходящей через атмосферу земли, к определенной территории с умножением на переводной коэффициент для Белгородской области равный 0.47.

$$W_{уд} = \frac{0.47 W}{A_3}, \text{ где} \tag{2}$$

W- Показатель полной лучистой солнечной энергии приходящей за пределы атмосферы в год;
A3- площадь территории на которую приходит солнечная радиация (площадь Белгородской области 27 100 км²).

$$W_{уд} = \frac{0.47 W}{A_3} = \frac{0.47 \times 1.05 \times 10^{18}}{2.7 \times 10^{14}} = 1.08 \times 10^3 \times 0.6 = 1.08 \times 10^3 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2 = 1080 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$$

С помощью полученных данных можно определить показатель неотраженной энергии (Ek)

$$E_k = R \times E, \text{ где} \tag{3}$$

E – среднемесячное дневное количество суммарного солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность, МДж/(м2×день);

Отношение среднемесячного дневного количества солнечной радиации, поступающего на наклонную и горизонтальную поверхности.

Данный вид расчета проводится для наклонной поверхности с южной ориентацией, так как южный склон обладает наибольшим показателем солнечной активности.

$$E = \left(1 - \frac{E_d}{E}\right) R_n + \frac{1 + \cos B}{2} \times \frac{E_d}{E} + p \frac{1 + \cos B}{2} \text{ где,} \tag{4}$$

Ed – среднемесячное дневное количество диффузной (рассеянной) солнечной энергии, поступающей на горизонтальную поверхность, МДж/(м2×день);

Rn – коэффициент пересчета прямого излучения с горизонтальной на наклонную поверхность;

B – угол наклона КСЭ к горизонту, град;

p – коэффициент отражения для подстилающей поверхности Земли; обычно летом p = 0,2, зимой при наличии снежного покрова p = 0,7 [5].

Первый, второй и третий члены этого уравнения представляют собой соответственно прямое излучение, диффузное излучение небосвода и излучение, отраженного от земли на поверхность коллектора.

Данные расчета сведены в таблицу 2.



График 2 Поступление солнечной энергии на территорию Белгородской области по состоянию на 2013 год

Таблица 2

Поступление солнечной энергии на территорию Белгородской области

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Дневное поступление неотраженной энергии E_k Втч/м ²	7,56	10,1	12,3	17,37	21,6	25,2	24,3	21,73	17,4	11,6	7,1	5,8
Дневное поступление рассеянной E_p , Втч/м ²	3,91	5,36	6,3	7,78	6,91	7,78	7,56	6,48	5,6	4,86	3,3	3,1
Дневная сумма солнечной радиации на наклонную поверхность с южной ориентацией, Втч/м ²	20.6	53.0	108	127.6	166	163	167.7	145	104.6	60.7	34.8	22

Как видно из таблицы 2 для Белгородской области возможно использование солнечной энергии в качестве ВИЭ, так как рассчитанные параметры превышают минимальные допустимые показатели.

Солнечная активность на Белгородской области имеет периодический характер так наибольшая плотность потока солнечного излучения приходится на середину июля и составляет всего около 1.8 кВт/м² (график 2), что показывает необходимость размещения на территории карьера системы концентраторов.

Преимуществом использования концентраторов состоит в том, что они позволяют значительно улучшить удельные энергомассовые и стоимостные показатели систем преобразования энергии, снизить расход дефицитных материалов при их создании, увеличить ресурс работы, облегчить восстановление в процессе эксплуатации. Эти обстоятельства в совокупности и определяют перспективность и целесообразность применения систем концентрации солнечного излучения.

В общем случае система концентрации может быть определена как специальная оптическая система, предназначенная для улавливания и перераспределения потока солнечного излучения с целью повышения его плотности до уровня, необходимого для дальнейшего эффективного использования.

Технически концентрацию можно осуществлять с помощью различных оптических элементов — зеркал, линз, световодов. Свойства систем концентрации солнечного излучения описываются геометрическими и оптическими характеристиками их отражающих поверхностей, а также массогабаритными, стоимостными и другими показателями.

Полученные данные показывают, что размещение установок ВИЭ на основе использования солнечной энергии в Белгородской области является возможным. Показатель минимального прихода солнечной радиации на поверхность территории выше минимального значения нормы для использования. Так же в резуль-

тате проведенных расчетов были подтверждены данные инсоляции для Белгородской области в год составляет (1.08 Мвт).

Верификация результатов расчетов соответствует данным «МРСК ЦЕНТРА» Белгород. Все это позволяет утверждать, что создание систем установок для вентиляции карьеров СГ ГДК КМА с применением солнечной энергии в качестве ВИЭ позволит решить задачи по:

- созданию безопасных условий для производственной деятельности;
- созданию систем и установок для вентиляции карьеров без привлечения дополнительных затрат энергии;
- снизить себестоимость добываемых железистых кварцитов за счет увеличения производительности труда при их добычи.

Список литературы

1. Стребков Д.С. О развитии солнечной энергетики в России// Теплоэнергетика. 1994. № 2. С 53 - 60
2. Закон о новом регулировании законодательства о возобновляемых источниках энергии в системе энергоснабжения Германии: гос. закон от 21 июля 2004г. №67 // - Ст. 1. – стр. 2.
3. Денк С.О. Энергетические источники и ресурсы близкого будущего- Пермь: Издательский дом «Пресстайм», 2007. 234- 262- 324 с.
4. Денк С.О. Возобновляемые источники энергии. На берегу энергетического океана / С.О. Денк. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. 185-217 – 288 с.
5. Расчёты баллистические. Искусственные спутники земли. Методика расчета индексов солнечной активности; Гост. 25645.302 —83 Введ. 01.01.77 до 01.07.03.- М., 1983.-2-3 стр..
6. Алоян А.Е., Бакланов А.А., Битколов Н.З. Нормализация атмосферы глубоких карьеров. Л., Наука,12- 85 296 с., 1986.

КУЛЬТУРОЛОГИЯ

КУЛЬТУРОЛОГИЧЕСКОЕ ОСМЫСЛЕНИЕ БЫТА И КУЛЬТУРЫ КРЕСТЬЯН ПО КНИГЕ А. Н. РАДИЩЕВА «ПУТЕШЕСТВИЕ ИЗ ПЕТЕРБУРГА В МОСКВУ»

Лопатина Наталия Леонидовна

Кандидат культурологии, Кемеровская государственная медицинская академия, г. Кемерово

THE CULTUROLOGICAL INTERPRETATION OF THE LIFE AND CULTURE OF THE PEASANTS ON THE BOOK "JOURNEY FROM ST. PETERSBURG TO MOSCOW" BY A. N. RADISHCHEV

Lopatina Nataliya, PhD in cultural studies, Kemerovo State Medical Academy, Kemerovo

АННОТАЦИЯ

Автор интерпретирует некоторые сюжеты произведения в нетрадиционном для советского читателя аспекте. Используя свидетельства исследователей и этнографов, доказывает, что взгляд Радищева А.Н. на крестьян как нищий и забитый народ связан с его аристократическими социокультурными установками и непониманием народной культуры. В статье делается вывод, что российские крестьяне – трудолюбивый, гордый и чистоплотный народ.

ABSTRACT

The author interprets a number of stories of the work in the aspect, non-traditional for a Soviet reader. Using testimonies of researchers and ethnographers, the author proves that A.N. Radishev considered peasants as beggar and scored people because of his aristocratic socio-cultural attitudes and lack of understanding of folk culture. The article concludes that Russian peasants are hardworking, proud and loving purity.

Ключевые слова: крестьяне, гигиена, культура, гордость, трудолюбие, традиции, община.

Keywords: peasants, hygiene, culture, pride, hard work, tradition, community.

Два века книга А.Н.Радищева «Путешествие из Петербурга в Москву» служила мифологическим основанием для снисходительно-уничижительного восприятия богатейшей русской крестьянской культуры. Мало кто полностью прочитал этот труд Радищева. Но школьники заучивали разделы книг о несчастной доле крестьян. Например, «Звери алчные, пиявцы ненасытные, что мы крестьянину оставляем? То, чего отнять не можем, – воздух» [7, с. 189]. Складывался отрицательный образ крестьянской жизни: нищета, бесправие, жестокая эксплуатация, необходимость в спасителях-революционерах.

Записи Радищева не являются этнографическими. Есть только два-три сюжета «с натуры». Остальное – воспоминания о встречах, пересказы услышанного, комментарии, сентенции по поводу чиновников, помещиков, размышления и др. Не сомневаясь в писательских качествах Радищева, можно, нетрадиционно взглянуть на произведение и увидеть непривычные для читателя культурологические характеристики крепостного крестьянства.

Аристократ А.Н. Радищев описывает крестьянскую избу и одеяния крестьян: «... Стены до половины, как и потолок покрытые сажеею. ...Окна, «в коих натянутый пузырь», «деревянная чашка и кружки», «стол, топором срубленный», «корыто кормить свиней или телят», «горящая свеча как будто в тумане», «посконная рубаха, обувь, данная природою», дети «почти наги» [7, с. 189]. Его описание тяжелого положения крестьян в 1790 г. совпадает с картинами беспросветной крестьянской доли, изображенной некоторыми русскими классиками литературы XIX в. Поэтому постулаты о тотальной нищете и абсолютно

безрадостной жизни крепостных утверждалось в сознании в качестве единственной характеристики российской деревни. Такое восприятие крестьянской жизни полностью совпало с марксистской парадигмой о пауперизации в классовых обществах.

От его описания закопченных потолка и стен в крестьянских избах содрогаешься. Но следует помнить, что топились печи «по-черному» не из-за бедности или невежества крестьян. Это была профилактика заболеваний. В совокупности с банями, видимо, стало препятствием для пандемий. Эпидемии ограничивались, как правило, одним-двумя регионами. Одна из таких эпидемий была на памяти самого Радищева в 1771 г., завезенная во время Русско-турецкой войны и локализованная усилиями графа Г.Г.Орлова в одной Москве.

А спасались москвичи от той чумы, между прочим, разъезжаясь по «грязным» деревням (наряду, конечно, с другими мерами, в том числе санитарно-просветительского характера). Пандемия чумы (1346-1348 гг.), названная «черной смертью», унесла треть жителей Европы [9, с. 412]. Но Русь она «почему-то» не затронула. Если в России педикулез всегда считался крайней степенью неряшливости, вошедший в самые презрительные характеристики («вшивая девка», «вшивое дело», «вшивая интеллигенция»), то западные аристократы бахвалялись вошеловками из золота с драгоценными камнями, куда сползались вши с месяцами немытого тела.

Личная культура автора повлияла на восприятие крестьян: «...Если кто не кудряв и не напудрен, того я ни во что не чту. Если и ты деревенщина и волос не пудришь,

то не осуди, буде я на тебя не взгляну и пройду мимо» [7, с. 72]. Отсюда его непонимание особенностей крестьянского быта.

Этнограф XIX в. С.В. Максимов отмечал строгое соблюдение крестьянами чистоты помещений. Он писал: «...Почти к каждому великому празднику предшествовала уборка жилого помещения и овна. И даже мытье скотины» [4, с. 66]. «За стол гости прямо не сядут, а сначала непременно вымоют руки... да исполнят прадедовский обычай: русский человек еще не разу не садился за стол и за еду с грязными руками (разве в виде особого исключения). Редко и выходят из-за стола, опять-таки не сплеснувши руки водой из глиняного с рыльцем рукомойника...» [5, с. 572].

Если крестьянский быт не привлек взор Радищева, то крестьянские женщины вызвали в нём восторг: «Их было около 30... Все были в праздничной одежде, шеи голые, ноги босые, рубахи белые, взоры веселые, здоровье на щеках начертанное... Красота юности в полном блеске, в устах улыбка или смех сердечный; от него виден становится ряд зубов, белее чистейшей слоновой кости. Зубы, которые щеголих с ума свели бы». Радищев советует светским дамам научиться у деревенских красавиц как ухаживать за зубами. «Дыхание будет чище дам из города» [7, с. 118-121]. Не понятно как в грязных и убогих домах живут такие здоровые красивые люди.

Радищев описывает случай, когда крестьяне забили до смерти барина с сыновьями за домогательство крестьянки. За этим фактом надо видеть народную культуру особого отношения к чести женщины, идущую из глубины веков, а не классовую ненависть. Ещё по «Русской Правде» (XI в.) покушение хозяина на честь холопки делало её свободной.

Замечания Радищева о русской терпимости стали хрестоматийными. Он писал: «...Я приметил из многочисленных примеров, что русский народ очень терпелив и терпит до самой крайности; но когда конец положит своему терпению, то ничего не может их удержать» [7, с. 86-89]. Причин толерантности, видимо, несколько. Во-первых, русские крестьяне были воспитаны в православной вере, которая приучает к смирению. «Божья воля», «божий промысел», «божий суд» – краеугольные постулаты православной культуры, которые делали неуместным проявление людского гнева. «Мужик не знает «законов», он уважает только какой-то божий закон», – заметил этнограф XIX в. А. Н. Энгельгардт [10, с. 109]. «Бог покарает», – считали православные. Во-вторых, в лице общины русские крестьяне имели мощнейшую социальную защиту и стойкую уверенность в завтрашнем дне. Устойчивость русской общины была определена классиком исторической науки В.О. Ключевским в качестве одной из основных особенностей российской истории. Дорожа членством в общине, крестьянин не осмеливался нарушать общепризнанные нормы поведения. Община фактически не нуждалась в государстве как институте общественного регулирования. Жили по обычаям, а не по государственным законам. Авторитет старших по возрасту был непререкаем. Воспитание детей в общине, можно сказать, носило общественный характер [3, с. 128-137]. Уверенность русского человека в предначертанность Богом своего благополучия и защиту общины выразилась в поговорке: «Родись на Руси человек – и краюшка хлеба готова».

Имея такую мощнейшую защиту духовную (православие) и материальную (община), даже крепостной помещичий крестьянин (не говоря уж об удельном или казенном), чувствовал свою значимость. Внешние знаки почтения к барину крестьянин оказывал не столько в связи со своим положением, сколько – с социокультурными установками. Барин воспринимался сродни отцу («батюшка барин»). Слова «барин приедет, барин рассудит» имела, таким образом, культурологическое основание.

Природная гордость, а не раболепие крестьян перед баринством видится в рассказе Радищева о крестьянской девушке Аннушке. Она очень достойно и независимо вела себя с Радищевым по пути домой. На настойчивые его расспросы, она поведала, что не может выйти замуж за любимого потому, что его семья просит 100 руб. – огромнейшую для крестьян сумму (корова стоила до 4 руб.). Радищев предложил принять от него эти деньги. И был невероятно удивлён отказом оскорбившихся матери, жениха и Аннушки (его почти выгнали из дома). Аннушка заявила, «что он ее хочет опозорить». На поцелуй в щеку девушка «сказала, что кабы был жив батюшка, то не посмотрел бы, что он барин и нагрел бы ему шею» [7, с. 118-121]. Следует помнить, что отец Аннушки был крепостным, который бы постоял за честь дочери.

Гордость и уверенность в себе, в свои силы видны в словах крестьянина-пахаря, работавшего «с великим тщанием». Крестьянин говорил Радищеву: «Труд, Бог милостлив, с голоду умирать не велит, когда есть силы и семья... не ленись наш брат, то с голоду не умрет» [7, с. 82]. В этих словах крестьянина заключено признание труда как главной культурной ценности на Руси.

В сознании русского человека понятие достатка, сытости всегда было связано с трудом. Отсюда и система жизненных ценностей крестьян, в которой труд занимает первое место, а богатство – второе. О трудолюбии как главной добродетели крестьянина свидетельствуют многочисленные пословицы: «Бог труды любит», «Одна забота – не стала бы работа», «Без дела жить – только небо коптить», «Скучен день до вечера, коли делать нечего» и многие другие [6, с. 8]. «Без труда нет добра», «Труд человека кормит, а лень портит», «Зажиточно жить – надо труд любить» и др. [8, с. 8]. Как отмечал исследователь русских сказок А. Афанасьев, трудолюбие, добросовестность – это отличительные черты положительных героев русских сказок [1, с. 9].

Российские историки XVIII-XIX вв. Н.М. Карамзин, Н.И. Костомаров, В.О. Ключевский, Д.И. Иловайский, С.М. Соловьев и др. не подтверждают мифа о лени русского мужика, его раболепии, перманентной нищете. Русский человек, отмечал Д.И. Иловайский, представлял замечательный образец «характера деятельного, расчетливого, домовитого, способного к неуклонному преследованию своей цели, к жестокому или мягкому образу действия». Он писал, что ни один народ в Европе, кроме великоросса, не способен к такому напряженному труду на короткое время [2, с. 227].

Откуда же произошёл миф о забитости русского мужика, крайней бедности, его низкой работоспособности, пьянстве и других пороках? На этот вопрос, видимо, отве-

тил А.Н.Энгельгардт: «Послушать, что говорят разные газетные корреспонденты, так, кажется, и хозяйничать невозможно. Мужик и пьяница, и вор, и мошенник, условий не исполняет, долгов не отдает, с работ уходит, взяв задаток, ленив, дурно работает, портит хозяйский инструмент и пр. и пр. Ничего этого нет; по крайней мере, вот уже три года, как я хозяйничаю, а ничего подобного не видал. Я, конечно, не стану доказывать, что мужик представляет идеал честности, но не нахожу, что бы он был хуже нас, образованных людей» [10, с. 150].

Таким образом, культурологическое интерпретирование сюжетов книги А.Н.Радищева о крестьянах, позволяет увидеть русский народ в нетрадиционном для советской историографии свете. Это был красивый, трудолюбивый, гордый и чистоплотный народ.

Литература

1. Афанасьев А. Предисловие ко второму изданию русских народных сказок// Народные русские сказки. В 3 тт. – Т.1. – М., 1985.
2. Иловайский Д.И. История России. – СПб., 1880.
3. Ключевский В.О. Курс русской истории. Соч. 9 тт. – Т.9. – М., 1990.
4. Максимов С.В. Крестная сила. Нечистая сила. Неведомая сила.– Кемерово, 1991.
5. Максимов С.В. Куль хлеба. – Л., 1987.
6. Платонов О. Русский труд. – М., 1991.
7. Радищев А.Н. Путешествие из Петербурга в Москву. – М., 1962.
8. Русские народные сказители. – М., 1989.
9. Сорокина Т.С. История медицины. – М., 2004.
10. Энгельгардт А.Н. Из деревни. 12 писем 1872-1887. – М., 1987.

ФОРМИРОВАНИЕ ЦЕННОСТНЫХ ОРИЕНТАЦИЙ В ПРОЦЕССЕ МЕЖКУЛЬТУРНОЙ КОММУНИКАЦИИ

Питерова Анна Юрьевна

Тетерина Евгения Александровна

кандидаты исторических наук, доценты, Пензенский государственный университет, г. Пенза

THE FORMATION OF VALUE ORIENTATIONS IN THE PROCESS OF INTERCULTURAL COMMUNICATION

Piterova Anna, candidate of historical sciences, associate professor of Penza State University, Penza,

Teterina Evgenia, candidate of historical sciences, associate professor of Penza State University, Penza

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена анализу проблем межкультурного взаимодействия, являющихся одними из важнейших аспектов изучения культуры в целом. Рассмотрены причины и последствия возникновения локальных социокультурных групп, называемых микрокультурами, в структуре национальной культуры. Приводится детальная характеристика ценностных ориентаций каждой социокультурной группы, в частности, отношения к окружающей природе, пространству и времени, способа общения, личной свободы индивида, а также природы самого человека.

ABSTRACT

The article analyzes the problems of intercultural interaction, which is one of the most important aspects of the study of culture in General. The authors examine the causes and consequences of the local socio-cultural groups, called microculture, in the structure of national culture. The article provides a detailed characterization of the value orientations of each socio-cultural group, in particular, the attitude towards the natural environment, space and time, method of communication, personal freedom of the individual and the nature of man himself.

Ключевые слова: межкультурная коммуникация; структура национальной культуры; локальные культуры; субкультуры; ценностные ориентации.

Keywords: intercultural communication; the structure of the national culture; local culture; subculture; values.

В настоящее время все более актуальными становятся проблемы, связанные с различными аспектами культуры, в частности, межкультурного взаимодействия. Социально-экономические и политические процессы последних лет и связанные с ними глобальные изменения привели к масштабной человеческой миграции со всеми вытекающими последствиями (смешению, столкновению представителей различных культур, что, в конечном итоге, провоцирует конфликт культур).

При этом совершенствование коммуникационных технологий, научно-технический прогресс в целом, а также действия цивилизованной части человечества, в частности, открывают все новые возможности, виды и

формы общения, главным условием эффективности которых является взаимопонимание, диалог культур, терпимость и уважение к культуре партнеров по коммуникации [4, с. 17].

Если говорить о структуре любой национальной культуры, то можно в большинстве случаев констатировать ее разнородность. Действительно, в ее составе присутствуют локальные этнические культуры и многочисленные общественные группы, которые обладают своими культурными особенностями. Подобные социокультурные группы называются микрокультурами, или субкультурами. Каждая субкультура (например, молодежная), в одно и то же время имеет и сходство, и различие со своей материнской культурой, это позволяет их представителям

схожее восприятие окружающей действительности [1]. Микрокультуры могут возникать под воздействием этнических, религиозных, географических, экономических факторов, а также социально-демографических характеристик и психологических особенностей ее носителей и т.д. Различное сочетание и роль указанных факторов обуславливает формирование в каждой социокультурной группе своих ценностных ориентаций, которые могут выражаться в своеобразном отношении к окружающей природе, пространству и времени, способу общения, личной свободе индивида, а также природе самого человека.

Целесообразно рассмотреть перечисленные виды отношений подробнее.

Восприятие человеком природы может проявляться в трех аспектах: природа контролируется человеком; природа находится в гармонии с человеком; природа ограничивает человека.

В зависимости от того, какой вариант отношения человека к природе доминирует, действия и поступки людей находятся в диапазоне от свободного волеизъявления до фатализма. Так, в индустриальных странах присутствует первый вариант, когда человек является (или считает себя) хозяином природы. В данном случае поведение человека основано на убеждении, что ему все подчинено, все его интересы могут быть удовлетворены, если приложить к этому достаточно усилий. Во втором варианте, при наличии гармоничных отношений с природой, различия между жизнью человека и природой не видны, все действия осуществляются в соответствии с законами окружающей среды. Такое поведение присуще японской и китайской культурам [3, с. 273]. В варианте подчинения человека природе превалируют идеи фатализма. Представители данных культур воспринимают любые события как неизбежные. Они стараются не строить долгосрочные планы, но, тем не менее, если уже разработанные планы нарушаются, то это принимается как что-то неизбежное, не поддающееся какому-либо контролю. Подобное отношение к природе можно наблюдать у представителей культуры американских индейцев, а также в культурах с натуральным ведением хозяйства.

По отношению человека к пространству также можно судить о его принадлежности / чужеродности к той или иной культуре. Дело в том, что для комфортного существования любому человеку необходимо его личное пространство, т.е. определенный объем пространства вокруг него. Личное пространство играет важную роль в обеспечении спокойствия и чувства безопасности человека, поэтому вторжение в него нередко рассматривается как посягательство на внутренний мир человека. При этом необходимо помнить, что размеры личного пространства различны в зависимости от принадлежности человека к определенной культуре, от рода его деятельности, а также от степени близости с партнером по общению.

В процессе общения с представителями своей культуры люди интуитивно придерживаются ощущения личного пространства, и это, обычно, не создает коммуникативных проблем. Но при взаимодействии с представителями других культур дистанция общения меняется, а также может ошибочно восприниматься партнерами, что вызывает определенные проблемы для коммуникации. Дело в том, что большинство людей воспринимает пространство не только визуально, но и всеми другими органами чувств. В рамках родной культуры человек с детства

усваивает значение пространственных сигналов и может их безошибочно узнавать. Однако при общении с представителями других культур человек не в состоянии точно трактовать незнакомые пространственные сигналы, что может быть причиной непонимания или конфликта.

По критерию отношения к пространству все культуры можно разделить на те, в которых главенствующая роль принадлежит общественному пространству, и те, где предпочтение отдается личному пространству.

Культурам первого типа присуще небольшое расстояние между людьми в процессе общения; частые прикосновения друг к другу; совместное проживание в одной комнате; отсутствие каких-либо заградительных конструкций на рабочих местах и т.д. Представители таких культур в порядке вещей могут осмотреть личные вещи других людей, прочитать любые открытые тексты в чужих помещениях, прийти в гости без предупреждения.

В культурах с доминирующим положением личного пространства дистанция общения увеличена (не менее вытянутой руки), прикосновения допустимы преимущественно между близкими людьми или носят сугубо ритуальный характер. Как правило, у каждого члена семьи есть своя отдельная комната, на работе все сотрудники размещаются в отдельных офисах. Прочтение какого-либо текста или документа, предназначенного для другого лица, считается грубым, неприличным поступком; о визитах договариваются заранее, так как появление без предупреждения воспринимается как вторжение в личное пространство [2, с. 277].

Именно поэтому в разных культурах видна абсолютно разная реакция людей на одни и те же пространственные сигналы. В тех странах, где люди привыкли к относительно небольшому личному пространству, массовые скопления на улицах, давка в транспорте и т.п. воспринимается как совершенно нормальное явление. К ним относятся такие страны, как Италия, Испания, Франция, Россия, страны Ближнего Востока и др. В других культурах (например, в странах северной Европы, Германии, США) люди, наоборот, стремятся избежать близких расстояний или прикосновений.

Фактор пространства в процессе коммуникации может также служить для демонстрации отношений господства – подчинения. Но в каждой культуре существуют разные сигналы, выражающие иерархию властных отношений. Например, в Германии и США верхние этажи офисов обычно предназначены для руководящих сотрудников компании или отдела. При этом угловые офисы, с наиболее широким обзором, занимают, как правило, главными менеджерами или руководством фирм. В России и во Франции руководящие сотрудники, наоборот, стараются избегать верхних этажей, предпочитая размещать офисы на средних этажах здания. Это объясняется тем, что власть и контроль в этих странах обычно исходят из центра.

Помимо пространственного фактора, влияющего на межкультурную коммуникацию, необходимо учитывать также и язык времени, имеющий характерные особенности в разных типах культур. Так, если в западной культуре время измеряется четко и опоздание в ней расценивается как неуважение или провинность, то в арабских странах, Латинской Америке и в некоторых странах Азии опоздание не вызовет культурного дискомфорта. Прежде чем перейти к сути дела, там принято какое-то

время уделить беседе на отвлеченные темы, что, в принципе, является неприемлемым для европейцев.

Критерий отношения ко времени дает возможность выявить культурную направленность человеческой жизни, которая может быть ориентирована на прошлое, настоящее и будущее. В каждой культуре возможно существование всех трех ориентаций, но с обязательным преобладанием какой-то одной из них. Так, представители культур с доминирующей ориентацией на прошлое большое внимание уделяют традициям, тесным родственным и семейным связям. В данном типе культуры время воспринимается как неисчерпаемый ресурс, который не может закончиться. Это позволяет планировать одновременное выполнение нескольких действий, изменять планы и сроки работ, заниматься делами по мере возможности, часто медленно. Вследствие этого, характерными признаками таких культур являются привычки опаздывать и изменять сроки выполнения заданий без извинений и указания причин, попытки решить несколько проблем одновременно, уход от обязательств или четко оговоренных временных периодов.

Ориентация на настоящее проявляется в тех культурах, где люди не проявляют интерес к прошлому, при этом будущее для них видится неясным и непредсказуемым. В данных культурах время четко фиксируется, поскольку оно необратимо, и, соответственно, очень ценно. Также высоко ценится пунктуальность, оперативность действий, соответствие планов и результатов. Такова, например, культура США, которая ориентирована на настоящее и не-далекое будущее [3, с. 275].

Время является показателем темпа и ритма жизнедеятельности человека, принадлежащего к той или иной культуре. Таким образом, по характеру использования и распределения времени выделяют два вида культур, противоположных друг другу:

- 1) монохронные культуры, где в один и тот же отрезок времени возможен только один вид деятельности, поэтому одно событие (действие) идет вслед за другим, как звенья одной цепи;
- 2) полихронные культуры, где в один и тот же отрезок времени возможно одновременное осуществление не одного, а сразу нескольких видов деятельности.

Как правило, взаимодействие между людьми, которые принадлежат к различным временным системам, сопровождается стрессом. Человеку довольно трудно избежать негативных эмоций в том случае, если необходимо подстраиваться под другую временную систему. Поэтому всегда стоит помнить, что на нельзя реагировать поступки людей из «чужой» системы времени точно так же, как на аналогичные поступки людей из своей временной системы. Так, многие вещи (например, опоздание или «внезапный» перенос встречи) имеют иное, а иногда и диаметрально противоположное значение.

Стоит также отметить, что характер и результаты коммуникационного процесса определяются, помимо всего остального, и степенью информированности его участников. Коммуникативный фактор, определяющий отношение индивида к общению в рамках «своей» или «чужой» среды, является основанием для выделения низкоконтекстуальных и высококонтекстуальных культур.

В культурах с «низким» контекстом полноценное общение предполагает наличие дополнительной, причем

подробной и детальной информации. Это обусловлено практически полным отсутствием в таких культурах неформальных сетей коммуникации и, как следствие, недостаточной информированностью людей. Характерной особенностью данного типа культур является пренебрежение контекстом, другими словами, вся смысловая нагрузка должна быть выражена вербально. Большое значение имеет формальная коммуникация, предпочтения и желания собеседников замаскированы и не выражаются открыто, также не приветствуется эмоциональность.

В культурах с «высоким» контекстом наблюдается высокая плотность неформальных информационных сетей, что влечет за собой хорошую информированность участников коммуникационного процесса. Для того, чтобы иметь полное представление о происходящих явлениях, людям достаточно получить лишь незначительное количество дополнительных сведений. При этом в таких культурах большую роль играют факторы, сопровождающие процесс общения (место, время, статус и т.п.), традиции, невербальные элементы коммуникации, внимание к формальностям, эмоциональность, импульсивность и частое восприятие деловых отношений как личных [3, с. 278]. Кроме того, здесь отдается предпочтение личному общению, а не письменному, так как личный контакт предоставляет больше возможностей извлечения смысла из контекста общения.

По критерию отношения к личной свободе культуры разделяются на индивидуалистские и коллективистские. Для культур первого типа характерен акцент на личном «Я», личность является основной единицей и ценностью общества; в рамках норм данной культуры человек независим от других и ответственен за все свои действия и поступки. Большинство решений принимается индивидуально, высоко ценятся личная инициатива, личные достижения, стремление во всем полагаться только на себя. Конкуренция с другими индивидами, желание обратить на себя внимание также воспринимаются положительно.

В коллективистских культурах базовым является понятие «Мы», таким образом, достижения каждого индивида растворяются в совместной, групповой деятельности. Цели и потребности группы доминируют над личными интересами, личность практически полностью оказывается зависимой от коллектива. Наиболее ценными считаются такие человеческие качества, как сотрудничество, совместная деятельность, скромность, поэтому желание подчеркнуть собственные достоинства и достижения является неприличным.

Следующим фактором, определяющим характер межкультурной коммуникации, является отношение к природе человека. Он основан на особенностях человеческого характера, отношении человека к общепринятым нормам и другим людям. Так, в некоторых культурах считается, что человек греховен изначально, поэтому там четко определены понятия хорошего и плохого, добра и зла. Данным понятиям придается большое значение, поскольку именно на них основаны базовые культурные ценности общества.

Противоположным типом культур являются те, в которых человек изначально оценивается положительно, соответственно, понятия хорошего и плохого считаются относительными, зависящими от конкретных обстоятельств. Представители таких культур считают, что законам и нормам поведения не всегда стоит следовать в полной

мере, а их нарушение или несоблюдение может принести даже положительные результаты.

Стоит отметить, что указанные типы культур и ценности могут сочетаться, комбинироваться друг с другом. Например, монохронная ориентация во времени чаще всего сочетается с линейностью аргументации, склонностью к личной свободе, с низкой контекстуальностью в общении. Полихронная временная ориентация, в свою очередь, чаще присуща коллективистским и высококонтекстуальным культурам, с холистическим стилем аргументации, а также культурам с фаталистическим отношением к жизни [3, с. 281].

Тем не менее, перечисленные факторы, определяющие межкультурную коммуникацию, лишь поверхностно способны показать все культурное разнообразие. В реально существующих культурах сочетание данных факторов является более сложным и противоречивым, образует многочисленные комбинации и оказывает значительное влияние на восприятие, мышление и поведение

всех носителей данной культуры. Именно поэтому результатом синтеза отмеченных факторов является уникальная культура каждого народа, которая представляет собой самостоятельную систему, отличающуюся от других этническими, религиозными, нравственными и другими признаками.

Литература

1. Гришаева Л.И., Цурикова Л.В. Введение в теорию межкультурной коммуникации: Учебное пособие. – М.: Академия, 2006. – 336 с.
2. Грушевицкая Т.Г., Попков В.Д., Садохин А.П. Основы межкультурной коммуникации: Учебник для вузов / под ред. А.П.Садохина. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 352 с.
3. Садохин А.П., Грушевицкая Т.Г. Культурология. Теория культуры: Учеб. пособие для вузов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – 365 с.
4. Тер-Минасова С.Г. Язык и межкультурная коммуникация. Учеб. пособие. – М.: Слово, 2000. – 624 с.

ЛИЧНОСТНЫЙ КУЛЬТУРОГЕНЕЗ ДЕТЕЙ С АУТИЗМОМ

Шутова Ольга Владимировна

аспирант, кафедры философии и культурологи, Ульяновского государственного педагогического университета им. И.Н.Ульянова, г. Ульяновск

LICHNOSTNO KULTUROGENEZA WITH AUTISM

Shutova Olga, graduate, Department of Philosophy and Cultural Studies, Ulyanovsk State Pedagogical, University.

I.N.Ulyanova, Ulyanovsk

АННОТАЦИЯ

Автор знакомит с особенностями формирования личностного культурогенеза у детей с аутизмом. А также рассматриваются новые цели и задачи, стоящие перед педагогами в работе с аутичными детьми.

ABSTRACT

The author introduces the features of the formation of personal cultural genesis in children with autism. And also deals with new goals and challenges facing teachers in working with autistic children.

Ключевые слова: социально-нравственные проблемы, личностный культурогенез, аутизм, аутичные дети, образовательная среда, методы работы;

Keywords: social and moral problems, personal cultural genesis, autism, autistic children, educational environment, methods of work.

Детство как особая культурная реальность и пространство развития человека, именно в этот период происходит начальная стадия формирования личности. Личностный культурогенез ребенка – это появление индивидуальности, то есть процесс формирования внутренней личности культуры ребенка. В период детства (с рождения и до восемнадцати лет) происходит основной этап социализации человека, в этот период формируется базис личности.

Появление малыша в семье – это очень важное событие. Начинают происходить большие изменения, все хотят проявить заботу и уделить внимание. Некоторые родители, приглядываясь к своему ребенку, начинают замечать и понимать, что малыш очень сильно плачет по малейшему поводу, успокаиваясь на некоторое время, это состояние настораживает родителей. Они чаще всего обращаются в поликлинику, не найдя патологии, останавливаются на том, что ребенок раздражительный, нервный,

беспокойный. Могут предположить, что у него болит животик. Начинают давать успокоительные препараты. Иногда это помогает на некоторое время, но чаще всего такой подход не эффективен. Ребенок продолжает плакать и быть беспокойным. Так продолжается месяц, а иногда более года. О причинах этого состояния никто не догадался. Потом только выясняется, что у родителей особенный малыш – аутичный.

Определить нарушение артикуляционного аппарата и особенности поведения у ребенка может невропатолог или логопед. Однако заподозрить, что у малыша 3 – 4 лет есть аутичные черты могут, и сами родители по некоторым достаточно выраженным признакам. Во-первых, с таким ребенком нелегко найти контакт; во-вторых, в случаях раннего детского аутизма признанные эффективными приемы обучения часто оказываются неподходящими. «Внешне ребенок выделяется своей погруженно-

стью в оральные аутоstimуляции: он все облизывает, запихивает кулачки в рот и довольно грубо пытается затолкать пальцы как можно глубже в ротовую полость; часто малыш жестоко кусает близких людей, не делая различий между ними и неодушевленными предметами. У него нарушены и другие виды произвольных движений, поэтому его чрезвычайно трудно обучить каким-либо бытовым навыкам. Раннее речевое развитие у такого ребенка обычно имеет ряд особенностей: если вслед за лепетом все-таки появляются первые слова, то они никак не связаны с ближайшим окружением (например, лампочка, чепуха), даже звучащее слово мама не является реакцией на приближение матери к малышу» [1, с.5].

Основная работа по воспитанию и формированию личностного культурогенеза аутичного ребенка ложится на близких. Невозможно помочь такому ребенку, если позиция его самых близких людей пассивно настроена. Для таких деток очень важно правильно организованное пространство, родители должны продумать все до мелочей, так как аутичные дети воспринимают мир иначе. Например, могут слышать голос людей очень громко, им может казаться, что их ругают, а не разговаривают с ними. Как тогда общаться с такими малышами? С аутичным ребенком нужно общаться на тон тише, чем вы говорите с другими детьми. Это позволит успокоиться ребенку и не бояться, он научится доверять и слушать, что ему говорят. А так же малыш может напугаться обычного прикосновение руки, которое спровоцирует его на раздражение. Чтобы этого не допустить, родители могут помогать малышу познавать мир, показывать, что он не опасен, а интересен, но только очень осторожно.

В настоящее время создаются специализированные центры, программы реабилитации, которые позволяют детям с аутизмом развивать личностный культурогенез. Чтобы сформировать внутреннюю культуру в ребенке требуется особый подход построения коррекционных занятий с ним, особенно в самом начале работы.

Поэтому методы работы с аутичными детьми, которые используются очень разнообразны. Например, развивать взаимодействие с ребенком в рамках его интересов; поиск предметов, которые способны привлечь внимание малыша; обучение контролю поведения и реализации своих интересов.

Специалисты так же могут посоветовать родителям, развивать личностный культурогенез ребенка знакомя его с одной и той же книгой несколько дней подряд. Это позволит убрать страх, она станет ему знакомой, и он проявит интерес к информации. Родители должны быть готовы к тому, что такие детки очень способны и талантливы, нужно заметить в них этот талант. Аутичные дети очень быстро запоминают полученную информацию, и если им что-то очень интересно, они могут днями напролет это изучать и углублять свои знания. Очень многие известные ученые, художники страдали таким заболеванием. Например, Альберт Эйнштейн, Исаак Ньютон, Леонардо Да Винчи.

От родителей и близких ребенка потребуется много мужества и выдержки, посмотреть в глаза реальности и принять правду такой, какая она есть. Очень часты случаи, когда близкие не хотят признавать, что малыш аутичен. Они начинают водить ребенка на консультации к разным специалистам в надежде, что диагноз будет опро-

вергнут. Это защитная реакция, попытка спрятаться от жестокой правды. Стесняясь проблем своего ребенка, испытывая по этому поводу комплекс неполноценности и боль разочарования, родители аутичного ребенка не до конца откровенны даже с профессионалами, часто стараются скрыть все нюансы неадекватного поведения своего ребенка или же интерпретируют их в выгодном для него свете. Тем самым, они оттягивают процесс формирования личностного культурогенеза ребенка. «Аутичный ребенок, подросток, взрослый всегда будет испытывать трудности в межличностном общении и социальной адаптации, у него будет отсутствовать или трудно формироваться чувство эмпатии и синхронности в эмоциональных переживаниях с людьми (особенно со сверстниками)» [2, с.7].

Часты случаи, когда близкие мешают разным специалистам наладить взаимодействие и сформировать у ребенка внутренний мир. Если им не нравится то, что говорит об их ребенке специалист, или результаты занятий оказываются не такими, как они ожидали, они бросаются на поиски другого педагога, обманывая тем самым самих себя и создавая недопустимые, и вредные для развития ребенка условия. Иногда родителям кажется, что педагог требует от ребенка многого, им становится жалко своего малыша, они начинают искать нового специалиста. Это большая ошибка родителей, так как только постоянные занятия и умственные нагрузки способны помочь их малышу в формировании личностного культурогенеза. Правильно сформированные и последовательные занятия – это залог будущего ребенка.

Родителям аутичного ребенка важно научиться не сравнивать своего малыша с остальными детьми. Нужно адекватно оценивать реальный уровень его развития, его особенности и ориентироваться на динамику достижений самого ребенка, а не на возрастные нормы.

Не стоит стремиться сделать ребенка внешне адекватным. Если родители хотят достичь именно этого, значит, они думают прежде всего о своем собственном спокойствии, а проблемы ребенка при этом усугубляются, не проявляясь внешне, загоняются глубоко внутрь. Помните о том, что странное и неуправляемое поведение ребенка все же лучше полной отрешенности, ведь таким способом он уже пытается активно взаимодействовать с миром и познавать его.

В дошкольном возрасте у детей появляются необычные интересы. Например, увлечение дорожными знаками, печатными рекламами, водопроводными кранами, номерами телефонов, всевозможными условными обозначениями, словами на иностранных языках. При этом дети много фантазируют. А так же у детей появляются неадекватные страхи. Например, некоторые ребята боятся гулять по улице, ездить в транспорте, оставаться одни в квартире.

Аутичные дети зачастую боятся всего нового. Именно поэтому любая перестановка в доме, смена одежды, новая форма работы, могут спровоцировать истерику ребенка. Наличие специфических страхов может быть объяснено тем, что аутичные дети воспринимают предметы не целостно, а на основе отдельных признаков.

В младшем школьном возрасте у детей появляется или усиливается стремление к творческой деятельности, отмечается привязанность к некоторым значимым взрос-

лым, но вместе с тем дети с диагнозом аутизм по-прежнему погружены в свои фантазии, проблемы. На уроках они чаще пассивны и невнимательны. Многие из них не могут учиться в массовой школе и переходят на домашнее обучение.

На начальных этапах проведения коррекции должны преобладать индивидуальные формы работы, в дальнейшем ребенка включают в состав небольших групп, численностью по 2-3 человека. При этом желательно, чтобы на занятиях присутствовали родители аутичного ребенка, которые смогли бы продолжить обучение ребенка в домашних условиях. На всех этапах работы, особенно на начальной стадии, необходимым условием является установление доверительных отношений с ребенком.

Для того чтобы работа с ребенком оказалась более эффективной, желательно начинать ее с тренинга по развитию психических процессов, в особенности ощущений и целостного восприятия. Особое внимание при этом следует уделять развитию мышечного, тактильного, зрительно-тактильного восприятия, используя при этом большое количество игр и приемов работы по этому направлению. Если у ребенка низкая мотивация к занятиям, то на первых порах взрослый может использовать следующий прием: брать руку ребенка и направлять ее, например, обводить пальчиком ребенка геометрические фигуры, контуры объемных и нарисованных предметов, при этом четко и многократно повторяя их названия. Так же ребенку можно предлагать раскрашивать картинки пластилином, размазывая пластилин пальчиком.

Аутичные дети с удовольствием занимаются такими видами деятельности, как плоскостное моделирование, коллекционирование, складывание мозаик и конструирование, и опытный педагог должен учитывать эти особенности при построении индивидуальных планов обучения.

Поскольку аутизм – медицинский диагноз, коррекционная работа с ребенком должна проводиться комплексно группой специалистов: врачом, психологом, педагогами. Причем, главная задача – не вылечить детей (поскольку это невозможно), а помочь им в формировании личностного культурогенеза.

«Как известно, синдром раннего детского аутизма оформляется окончательно к 2,5 - 3 годам. В этом возрасте психическое развитие аутичного ребенка имеет уже выраженные черты искаженности (В.В.Лебединский 1985), нарушения носят все проникающий характер и проявляются в особенностях моторного, речевого, интеллектуального развития» [3, с. 9].

Благодаря современным методам в воспитании детей с аутизмом, появляется возможность формирования личностного культурогенеза. Дети перестают быть замкнутыми, становятся активными участниками разных программ. У них появляется уверенность и желание жить. Ребята перестают бояться неудач, так как знают, что им могут помочь родители и педагоги, а также новые друзья. Дети получают умения работать в команде, учатся помогать друг другу.

Литература

1. Развитие речи у аутичных детей: учебно-методическое пособие/под ред. Л. Г. Нуриева. – М.: Тервинф, 2003. –160 с.
2. Иванов Е.С. Детский аутизм: диагностика и коррекция: учебное пособие для студентов высших и средних педагогических, психологических и медицинских учебных заведений / Е. С. Иванов, Л. Н. Демьянчук, Р. В. Демьянчук. – СПб: Дидактика Плюс, 2004. – 80 с.
3. Баенская Е.Р. Психологическая помощь при ранних нарушениях эмоционального развития: учебно-методические рекомендации для студентов и врачей /Е.Р.Баенская, М.М.Либлинг. – М: Полиграф сервис, 2001. –156 стр.

ОБЫЧАИ И ОБРЯДЫ, СВЯЗАННЫЕ С РОЖДЕНИЕМ РЕБЕНКА

Тетерина Евгения Александровна

Питерова Анна Юрьевна

кандидаты исторических наук, доценты, Пензенский государственный университет, г. Пенза

THE CUSTOMS AND RITUALS ASSOCIATED WITH THE BIRTH OF THE CHILD

Teterina Evgenia, candidate of historical sciences, associate professor of Penza State University, Penza

Piterova Anna, candidate of historical sciences, associate professor of Penza State University, Penza

АННОТАЦИЯ

В данной статье рассматриваются основные обычаи татарского народа, связанные с рождением ребенка. Рассматриваются обязательные родинные этапы, имеющие как ритуальное, так и практическое значение.

Большое значение в татарской народности имела церемония именнаяречения, авторы статьи также уделяют внимание этому аспекту.

ABSTRACT

This article discusses the basic traditions of the Tatar people associated with the birth of the child. Considers mandatory birthing stages, with both ritual and practical importance.

Of great importance in the Tatar nation had a naming ceremony, the authors also pay attention to this aspect.

Ключевые слова: обряд; обычай; роженица; повитуха; именнаяречение; народные заговоры.

Keywords: ritual; custom; woman in labor; the midwife of naming; people's plots.

Рождение ребенка у всех народов и во все времена – событие со своим определенным порядком проведения и обычаями. В татарской семье большое значение уделяли обряду, связанному с рождением ребёнка.

В прошлые времена, когда еще не было ни родильных домов, ни акушеров, роды проходили дома или там, где заставляла работа роженицу, будь то в поле или в лесу. Поэтому дату рождения ребенка определяли полевыми работами, например: «Этот сын родился во время сенокоса у стога сена, этот, когда заготавливали в лесу корм для овец, а этот во время уборки ржи и т. д.»

В доме роженице отводилась чистая половина избы. Роды принимали опытные бабки – повитухи (бәбәй әбие). По народным обычаям, когда начинались схватки, роженице давали мёд, который способствовал скорым родам.

Повитуха обрезала пуповину, смазывала ротик новорожденного медом, маслом, чтобы вырос добрым, ласковым, удачливым «Бәхетле бул, тәүфикле бул» (Будь счастливым, будь благонравным).

После рождения ребенка родственникам с радостной вестью посылали ребятишек (сөвенче). По случаю праздника их одаривали деньгами, яйцами. В обязательном порядке после родов топили баню (бәбәй мунчасы). В нежаркой бане бабка – повитуха помогала мыться роженице и испугать ребенка, приговаривая: «Сау бул, таза бул, тәмле – татлы телле бул» (Будь сильным, здоровым, будь приветливым).

К роженице было особое уважение и бережное отношение. По народным обычаям считалось, что если её навестить тебе прощаются все грехи. Осталась даже такая поговорка: «Бала анасы - дәнъя бәясе» (Мать ребенка – богатство мира).

В первые дни после родов женщину навещали родственницы, соседки, они приносили гостинцы, угощения для матери. В татарской семье верили: чем больше угощений, тем больше будет молока у матери. При встрече с роженицей ее целовали в лоб, в губы целовать запрещалось. Ведь микробы могли попасть, в слабый после родов, организм, а затем передаться ребенку.

В татарской деревне существовало поверье: если долго держать ребенка без имени шайтан мог подменить его и ребенок мог заболеть, поэтому в скором времени после родов проводили обряд имянаречения. Имя первенцу обычно давала свекровь.

Церемония имянаречения имела особую важность и проходила следующим образом. В дом, где родился ребенок, приглашали муллу, а также гостей. Младенца на подушке подносили к мулле, который читал молитвы из Корана, и три раза произносил имя ребенка, наклонившись к уху. Имя ребенка по народным поверьям влияло на его жизнь и судьбу, поэтому имя выбирали тщательно, обычно преобладали имена из религиозных, канонических сказаний. Обряд имянаречения завершался угощением гостей.

После угощения начинался следующий этап - бәбәй чәе или бәбәй мае основным атрибутом которого была подача на стол масла и меда. После этого приглашенные гости дарили подарки. Хозяйка или свекровь, если это первенец, также одаривала гостей небольшими подарками. По татарским обычаям первенца отправляли в дом

своей матери на месяц, окрепнуть (терелергә). В доме матери по случаю рождения и имянаречения ребенка также проходило застолье женщин (бәбәй чәе).

Когда малышу исполнялось несколько недель, ему стригли пучок волос через золотое кольцо. Этот пучок в течение всей жизни хранили в священной для мусульман книге Коран.

К мальчикам применялся обряд обрезания (сәннәт), которым занимались профессионалы (сәннәтче бабай).

Если ранее этот обряд совершал один человек из села, сейчас этот обряд производится в больнице врачами - хирургами. С пожеланиями быстрее заживания приходили родственники, приносили подарки и клали под подушку ребенку (сәннәт котлау).

С рождением ребенка в татарской семье также связано много магических действий.

Если до этого в семье были мертворожденные, то в следующий раз роженицы меняли место родов, проходя через мост (азраилне адаштыралар).

Если ребенок чего – то испугался, то совершали обряд растворения олова – «курку кыялар». Над головой ребенка держали ковшик с водой и туда лили олово, какую форму обретала застывшая масса – животного или человека, того и испугался ребенок. Делали это, приговаривая: «Ни коясың? – курку коям», повторяли три раза. (Что выливаешь? Испуг выливаю, т.е. отгоняю). Затем, чтобы этот испуг сбить с пути, эту воду выливали на развилке семи дорог.

Особые татарские ритуалы были от сглаза. Ребенка старались не показывать недобрым людям. К шапочке прикалывали яркую брошь – санчак. Лоб ребенка мазали сажей, а к руке ребенка привязывали яркую ленту, чтоб отвлечь дурной глаз.

Многие болезни татары лечили народными заговорами.

Если ребенок долго кашлял, ему давали – күкташ (медный купорос).

При краснухе оборачивали ребенка в красную материю и клали в темное место.

Если на теле появлялись болячки, ребенка сажали на деревянную лопату для выпекания хлеба, засовывали в теплую печь, приговаривая: «Ни кывырасың? – Ныжы кывырам», повторяли три раза. (Что жарить? – Болячки).

Следующий обряд способствовал выведению щетины с тела ребенка. Тело ребенка смазывали медом с мукой, затем парили несколько дней в бане.

При глазной болезни, «Ячмень» выводили кулаком. Поднося кулак к больному глазу, приговаривали: «Ай катя, көн катя, син дә катя!» (луна уходит, день уходит, ты тоже уходи!).

Если ребенок долго не ходил, но уже стоял на ногах то его ноги окутывали соломой и отправляли навстречу идущему стаду.

Магическую силу придавали песням, такмакам, прибауткам. В татарской семье многие события, происходящие с ребенком, сопровождались песнями, прибаутками, присказками. Убаюкивая, пели колыбельные песни, выражая любовь и надежду. Колыбельные песни были со смыслом.

Современные обряды, связанные с рождением ребенка, характеризуется отмиранием некоторых обычаев и еще более пышным проявлением других. Так как сейчас

рожают в больницах, где могут оказать квалифицированную помощь, отпала необходимость в совершении магических действий.

Рождение ребенка сейчас – это торжественное, желанное событие, поэтому застолье (бэбэй чэе) проводят с более большим количеством гостей, и подарками ребенку. Во время праздника также совершается такой важный обряд как имянаречения муллой.

Литература

1. Баязитова Ф.С. Татар халкының бэйрэм һәм көнкүреш йолалары (Праздничные и бытовые обряды татарского народа. На татар. яз.). – Казань: Тат. кн. изд-во., 1995. – 156 с.

2. Баязитова Ф. С. Духовное наследие татар – мишарей. Семейно-бытовая, обрядовая терминология и фольклор. – Саранск: «Татарская газета», 2003. – 288 с.
3. Гильдеев Н.А. Татары Пензенского края. – М.: Издательский дом «Пеликан», 2008. – 200 с.
4. Исаков Д.М. Этнография татарского народа. – Казань: Магариф, 2004. – 287 с.
5. Хвощев А. Очерки по истории Пензенского края. – Пенза, 1922. – 150 с.

ИСКУССТВО ХУДОЖЕСТВЕННОГО ЧТЕНИЯ ВЧЕРА И СЕГОДНЯ

Юсупова Елена Александровна

старший преподаватель, Пензенский государственный университет, г. Пенза

THE ART OF DECLAMATION YESTERDAY AND TODAY

Yusupova Elena Aleksandrovna, head teacher, Penza State University, Penza

АННОТАЦИЯ

В статье говорится о становлении, развитии и современном состоянии искусства художественного чтения, даётся определение данного явления, обуславливается актуальность обращения к этому жанру в современной ситуации. Рассказывается о целесообразности обращения к этому жанру в современной ситуации.

ABSTRACT

The article talks about the formation, development and current state of the art of recitation, given the definition of this phenomenon. The article describes the usefulness of this genre in the current situation.

Ключевые слова: искусство художественного чтения; чтец; литературный театр; аудиокнига.

Keywords: art of recitation; reader; literary theater; audiobook.

Под художественным чтением понимается жанр театрального искусства, выраженный в публичном исполнении произведений литературы (стихов, прозы, публицистики, а также писем и дневников). Искусство художественного чтения уходит корнями в Античность. Древняя Греция славилась устными выступлениями поэтов-импровизаторов. А Древний Рим, в котором искусство ораторов было в почёте, подарил миру термин «декламация» (от латинского *declamatio* - упражнение в красноречии). Позже, в период расцвета классицизма (17–18 вв.) этот термин стал обозначать актёрское искусство в целом: речь, жестикуляцию, мимику. Позже, в эпоху Французской революции, художественное исполнение «Марсельезы» в 1848 г. прославило актрису Рашель. Её последовательницей стала актриса Агар. В жанре художественного чтения выступали ведущие актёры Западной Европы — братья Коклен, В. Дежазе (Франция), И. Кайнц (Германия), Г. Ирвинг (Англия) и др.

У истоков русского выразительного исполнения художественных текстов лежит искусство сказочников и скоморохов. В самостоятельный жанр чтение литературных произведений перед аудиторией начало складываться в 1840-х. Первым профессиональным исполнителем и основоположником искусства художественного чтения в России стал выдающийся артист Малого театра М.С. Щепкин, который с 1843 г. устраивал вечера литературных чтений произведений Н.В. Гоголя, А.С. Пушкина,

Т.Г. Шевченко. Вслед за М.С. Щепкиным в жанре художественного чтения выступили импровизатор-рассказчик И.Ф. Горбунов, актриса М.Н. Ермолова, В.Н. Андреев-Бурлак - автор инсценировок-композиций по произведениям Ф. М. Достоевского, Н.В. Гоголя и др. Необходимость в складывании нового жанра возникла в то время и у самих писателей, многие из которых сами были великолепными декламаторами. Публично признательность молодому жанру выразил один из них - Н.В. Гоголь в своём письме «Чтения русских поэтов перед публикою»: «Я рад, что наконец начались у нас публичные чтения произведений наших писателей. /.../ Я думал всегда, что публичное чтение у нас необходимо. /.../ Искусные чтецы должны создаться у нас: среди нас мало речистых говорюнов, способных щеголять в палатах и парламентах, но много есть людей, способных всякому сочувствовать. /.../ К образованию чтецов способствует также и язык наш, который как бы создан для искусного чтения, заключая в себе все оттенки звуков и самые смелые переходы от возвышенного до простого в одной и той же речи. Я даже думаю, что публичные чтения со временем заместят у нас спектакли. /.../ Прочсть, как следует, произведение лирическое — вовсе не безделица, для этого нужно долго его изучать. Нужно разделить искренно с поэтом высокое ощущение, наполнявшее его душу; нужно душой и сердцем почувствовать всякое слово его — и тогда уже выступать на публичное его чтение. Чтение это будет

вовсе не крикливое, не в жару и горячке. Напротив, оно может быть даже очень спокойное, но в голосе чтеца послышится неведомая сила, свидетель истинно-растроганного внутреннего состояния. Сила эта сообщится всем и произведет чудо: потрясутся и те, которые не потрясались никогда от звуков поэзии» [1, с. 16].

Вторая половина XIX века явилась периодом подготовки к формированию жанра художественного чтения. Причём не последнюю роль в его складывании сыграла деятельность школьных учителей словесности. Читая вслух произведения литературной классики на уроках, они прививали ученикам интерес не только к литературе, но и к самому чтецкому искусству. Свидетельства этому можно найти в произведениях художественной литературы того времени. Например, А.И. Куприн в повести «На переломе» («Кадеты») описывает учителя кадетского корпуса Михаила Ивановича Труханова: «У него была рыжая борода, синие очки и сиплый голос. Однако с этим сиплым голосом он замечательно художественно читал вслух Гоголя, Тургенева, Лермонтова и Пушкина. /.../ Какой удивительной красоты, какой глубины чувства достигал он своим простуженным голосом» [4, с. 100]. Подобные эпизоды встречаются в произведениях Н.И. Тургенева, А.П. Чехова, К.Г. Паустовского и других авторов. Известна также личность учителя петербургской Ларинской гимназии В. Острогорского, который «не только постоянно читал ученикам отрывки из Пушкина, Белинского, Некрасова, Толстого, связывая эти чтения с литературным анализом произведения, но даже разработал целую методику «выразительного чтения». /.../ Учитель не ограничивался собственной деятельностью в этом направлении и устраивал для учеников концерты с участием Давыдова, Горбунова, Далматова и других актёров» [5, с. 110].

После выхода на сцену профессиональных чтецов в начале XX века жанр художественного чтения получил признание. Первым из целой плеяды великолепных чтецов был Александр Яковлевич Закушняк, который в 1910 году в Одессе дал цикл из 30 концертов «Вечера интимного чтения», где читал рассказы А.П. Чехова, Мопассана, Марка Твена, Шолом Алейхема, В.Г. Короленко, он же организовал в 1924 г. знаменитые «вечера рассказа». В 1937 г. ознаменовался проведением первого Всесоюзного конкурса профессиональных чтецов. В это же время Владимиром Николаевичем Яхонтовым был создан чтецкий Театр одного актёра. Страна узнаёт имена мастеров художественного чтения – В.Аксёнова, Д.Орлова, Д.Журавлёва, И.Шварца, Э.Каминки и др. С литературными программами на сцену выходят и театральные актёры: В. Качалов, А. Остужев, И. Ильинский, А. Коонен, А. Кторов, Н. Мордвинов, В. Марецкая. Усилиями этих людей закладываются теоретические основы молодого жанра.

Интересно, что долгие годы в московском Заочном народном университете искусств (который существует по сей день) на театральном факультете функционировало отделение художественного чтения. А во Всесоюзном театральном обществе была секция артистов-чтецов, при которой много лет работала методическая комиссия, помогающая педагогам и самодеятельным коллективам в работе над художественным словом.

В течение 25 лет (1965 по 1990 год) выпускался ежегодник «Искусство звучащего слова», в котором раскрывались принципы искусства чтеца, приёмы работы над текстом и т.п. В этот период регулярно проводились

многоступенчатые конкурсы чтецов начиная с городского, заканчивая всесоюзным уровнем. В этот же период фирма «Мелодия» наладила выпуск пластинок с записями чтецкого искусства, образцы которого составляли богатейший фонд Всесоюзной студии звукозаписи. На всю страну зазвучали голоса В.Яхонтова и Я.Смоленского, А.Покровского и А.Слободского, Р.Плятта и С.Балашова.

В каждой школе к середине 1970-х имелась фонотека с записями мастеров художественного чтения.

Стоит заметить, что в советский период формируется многогранное явление литературного театра, истоком которому послужило искусство художественного чтения.

Начиная с 1990-х годов художественного чтения подвергается сложным изменениям. Виной тому процесс коммерциализации культуры. Вместо записей классических образцов чтецкого искусства, стали появляться низкопробные новоделы, к работе над которыми привлекались актёры или дикторы, ранее никогда не работавшие в жанре звучащего слова. Ни одна подобная запись не стала событием в мире искусства. Подобные записи были призваны озвучить литературное произведение для тех людей, которые ленятся читать, никаких художественных задач не ставилось. Это сместило границы жанров и обесценило художественное чтение.

Говоря о сегодняшнем дне, можно заметить, что сейчас в сборном концерте крайне редко можно встретить чтеца, причём в этой роли обычно выступает артист театра, либо ведущий концерта. Учебные заведения не готовят специалистов в этой области. Зато во многих городах России функционируют литературные театры, причём радует то, что наряду с организованными в советский период, появляются и молодые коллективы. Часто эти коллективы существуют при музеях, библиотеках и филармониях, поскольку потребность в посреднике между человеком и книгой особенно явственно проявляется в этих учреждениях. Часто к жанру литературного спектакля стали обращаться профессиональные драматические театры. Например, «в Репертуаре Пензенского драматического театра им. Луначарского на сегодняшний день три литературных спектакля: «Василий Тёркин» (по поэме А.Т. Твардовского), «Герой нашего времени» и «Наш Лермонтов» (по творчеству М.Ю. Лермонтова). Литературные вечера проводят многие ведущие российские артисты: С. Безруков, К. Хабенский, С. Крючкова» [6, с.111]. Продолжается выпуск низкокачественных аудиокниг, не имеющих отношения к искусству слова, но вместе с ними можно встретить на полках переизданные классические образцы и записи спектаклей.

На наш взгляд, популяризация и дальнейшее развитие искусства художественного чтения помогут преодолеть кризис чтения, наметившийся в России в последние годы.

Список литературы

1. Гоголь Н.В. Выбранные места из переписки с друзьями. М.: Сов. Россия, 1990. 432 с.
2. Журавлев Д.Н. Об искусстве чтеца. // Искусство звучащего слова. Вып. 26. М.: Советская Россия, 1982. с. 5-15.
3. Закушняк А.Я. Вечера рассказа. М.: Искусство, 1984. 344 с.
4. Куприн А.И. На переломе (Кадеты). М.: АСТ, Люкс, 2004. 192 с.
5. Тиме Е.И. Дороги искусства. М.; Л.: ВТО, 1962. 306 с.
6. Юсупова Е.А. Искусство художественного чтения в контексте современности // Человек. Культура. Общество. – Пенза, 2014. с. 109-112.

АРХИТЕКТУРА

ПРОЕКТ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДСКОГО ПАРКА

Абдуллаева Элина Вагифовна

кандидат с.-х. наук, доцент, Дагестанский Государственный Аграрный Университет, г.Махачкала

LANDSCAPING PROJECTS PART OF THE TERRITORY OF THE CITY PARK

Abdullaeva Elina, Candidate of Science, assistant professor of Dagestan State Agricultural University, Makhachkala

АННОТАЦИЯ

В данной статье предлагается проект озеленения части городского парка, состоящий из элементов малых архитектурных форм и декоративной растительности, представляющий собой форму зеленого растительного листка, с символическим названием – «Капля росы на листе». Предлагаемый проект является важным дополнительным элементом благоустройства парков, мест отдыха, санаториев, пансионатов и многих других крупных объектов, имеющих оздоровительное значение.

ABSTRACT

In this paper we propose landscaping project of the city park, consisting of elements of small architectural forms and decorative vegetation, which is a form of green plant leaf with a symbolic name - "A drop of dew on a leaf." The proposed project is an important additional element beautification of parks, recreation areas, resorts, hotels and many other large objects that have curative value.

*Ключевые слова: реконструкция; озеленение; малые архитектурные формы; перспектива; газон; ярусность.
Key words: reconstruction; landscaping; small architectural forms; perspective; lawn; layering.*

Введение

Возросшие требования населения к комфортности проживания, предполагают изменения стандартов качества озеленения с ведением в практику озеленения новых видов растений, современных технологий, создание водных пространств в городе, парковых зон, детских и спортивных площадок. [1,2,3]. В современных условиях весьма ощутимой является проблема сохранения и оздоровления среды окружающей человека в городе. Важную роль в решении этой проблемы играет реконструкция и озеленение. [3,4,5]. Человек осознанно и постоянно оценивает качество среды, в которой проживает.

Задача озеленения заключается в создании средстами природы определенного пространственного объема, используя живой строительный материал. [1,2,5,6].

Научная значимость работы заключается в разработке принципов архитектурно-ландшафтной реконструкции парковой зоны, как элемента экологической и эстетической характеристики городского ландшафта. Принцип озеленения - ни пятнышка пустой заброшенной и открытой поверхности земли без растений, как можно больше использовать цветущих многолетников, деревьев, традиционных и культивируемых видов хвойных и лиственных пород.

Целью исследований данной работы является формирование архитектурно - ландшафтного объекта парковой зоны, обеспечивающих функциональный, экологический и эстетический комфорт пребывания людей.

Объектом наших исследований является: фрагмент городской парковой части, состоящий из элементов малых архитектурных форм и декоративной растительности. Предлагаемый нами проект может являться важным дополнительным элементом благоустройства парков, мест

отдыха, санаториев, пансионатов и многих других крупных объектов, имеющих оздоровительное значение.

Наш проект представляет собой парковую зону в форме зеленого растительного листка, с символическим названием – «Капля росы на листе». Листья часто символизируют множественность человеческих жизней и их краткость. Появившиеся молодые листья, указывают о пробуждении природы, они являются украшением деревьев, кустарников.

В нашем проекте вода — это капля росы. Символизирует свежесть, чистоту, жизнь. Капля росы представлена в качестве малой архитектурной формы – фонтана.

Площадь территории составляет около 1 га., представлена в регулярном стиле, в центре которого «капля росы» - фонтан, а жилкование листа это тропинки и дорожки.

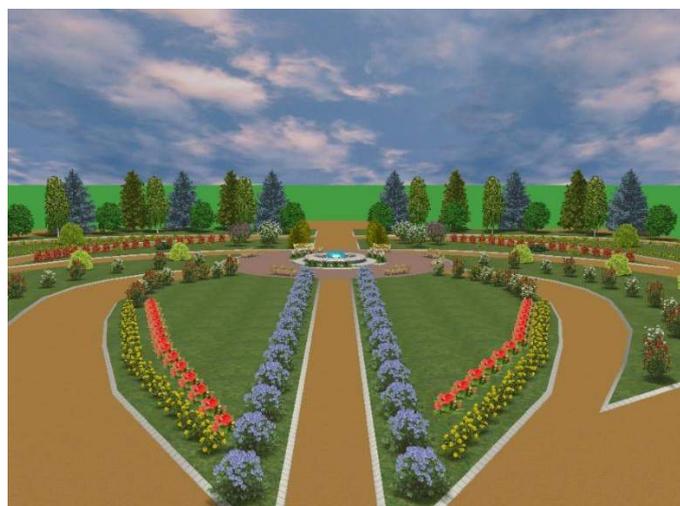
Так как парк имеет форму листа, значит должен преобладать зеленый цвет. Нами запроектированы большое количество зеленых газонов, имеющих вид полумесяца, разбитые между собой светло коричневыми жилками-тропинками, мощением, выполненным из дорожной плитки.

Фонтан, находящийся в центре парковой части имеет диаметр 15 м. и окружен с трех сторон декоративными многолетниками – хостой. Вокруг него выложена декоративная плитка в виде переплетения или чешуи. По периметру фонтана, за декоративной плиткой установлены скамейки.

Еще одной идеей создания парковой зоны является растительная ярусность, от ковровых цветов до хвойных деревьев. Перед посетителями этой территории открываются необъятные просторы и перспектива картины. С лю-

бой точки можно любоваться красотой живописных газонов и яркостью цветов. Горизонтальные газоны увеличивают перспективу простора территории. Чтобы газоны не

были скучными и однообразными, мы предлагаем высадить на них летние цветы, розы, гортензии, бересклеты и шаровидные туи, которые придают небольшую объемность и яркость.



По мере продвижения к фонтану ярусность увеличивается. Здесь можно высадить сирени, живую изгородь из туи. Для ярких небольших очагов посадить амаранты, астильбу, барбарис. Планируется также на территории парка высадить насаждения, приемлемые для данных условий местопроизрастания.

И закрывают перспективу картины лесополосы из кленов, березы, туи колониальной и ели колючей. Насаждения, которые будут находиться на территории, создадут тень и прохладу.

В подборе кустарниковых форм, мы придерживались критерия только красивоцветущие и наиболее деко-

ративные экземпляры, такие как: сирень, спирея, гибискус сирийский, розы гибридные, форзиция, бересклет, самшит, можжевельник.

При составлении сметы, мы учитывали стоимость посадочного материала, т.е. ассортимент растительности, который составил около 1млн.руб.

Также надо учитывать стоимость плодородного грунта, строительство фонтана, укладка дорожек плиткой, работы по посадке деревьев и кустарников, посеву газона и посадке цветов. В среднем, стоимость такого проекта составит около 2,5 - 3 млн.руб

Данный проект, думаем, что удовлетворит эстетические потребности населения и будет являться элементом прекрасного отдыха для нашего населения.

Таблица 1

Ассортимент растительности

№	Наименование растений	Количество, шт	Высота, м	Стоимость, руб.	Цена, руб
1	Ель колючая	22	2,5-3,0	7.000	154.000
2	Туя колониальная	6	2,0-2,5	4.500	27.000
3	Туя шаровидная	8	0,5	400	3.200
4	Можжевельник казацкий стелющ.	2	0,5	800	1.600
5	Туя для изгороди	300	0,5	200	15.000

№	Наименование растений	Количество, шт	Высота, м	Стоимость, руб.	Цена, руб
6	Сирень	4	1,5-2,0	1.000	4.000
7	Береза	4	1,5	1.000	4.000
8	Клен шаровидный	6	1,2	5.000	30.000
9	Гортензия	180	0,5	200	36.000
10	Розы	54	0,5	300	16.200
11	Бересклет зеленый	700	0,3-0,5	200	140.000
12	Бересклет желтый	1400	0,3-0,5	250	350.000
13	Хоста	85	0,3	250	21.250
14	Бархатцы	400	0,5	20	8.000
15	Бегония	2400	0,2-0,3	50	120.000
16	Амарант	300	0,5	10	3.000
ВСЕГО					933.250

Газон - $3150 \text{ м}^2 \times 2 = 6300 \text{ м}^2 \times 0.05 = 315 \text{ кг} \times 1830 \text{ р/кг} = 58.300 \text{ руб}$

Выводы и рекомендации. Для улучшения экологической обстановки территории озеленяемого и благоустраиваемого объекта мы рекомендуем: применять древесно-кустарниковые породы из местной флоры, использовать больше вечнозеленые насаждения (хвойные), создать цветники, розарии.

Данный проект «Капля росы на листе» думаем, удовлетворит эстетические потребности населения нашего города.

Список литературы

1. Абдуллаева Э.В., Гаджиева А.М., Алирова Ш.Т., Хашдахилова Ш.М. Реконструкция и благоустрой-

ство территории санатория Каякент республики Дагестан/ Проблемы развития АПК региона. Махачкала, ФГБОУ ВПО Даг ГАУ. 2013 №4 (16)

2. Бабаев В.И., Абдуллаева Э.В., Алиева Д.А. Цветочно-декоративное оформление и озеленение. - Махачкала. ИПЦ ДГУ, 2004.
3. Гостев В.Ф. «Проектирование садов и парков» М.: Стройиздат, 1991.
4. Романова А. Ю. Ландшафтная архитектура городского парка. Красноярск: Спб ГТУ, 2003г.
5. Теодоронский В.С., Степанов Б.В. «Ландшафтная архитектура и садово-парковое строительство», Москва, изд-во МГУЛ, 2006г.

АРХИТЕКТУРНОЕ ПРОСТРАНСТВО: НОВЫЙ ВЗГЛЯД

Лапшина Елена Геннадьевна

кандидат архитектуры, профессор, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г.Пенза

ARCHITECTURAL SPACE: ORIGINAL CONCEPTION

Lapshina Elena, Candidate of Architecture, professor of Penza State University of Architecture and Construction, Penza

АННОТАЦИЯ

Цель данной работы - исследование структуры движения как основного принципа организации архитектурного пространства. Рассматривается геометрический, физиологический и феноменологический аспект движения человека в окружающем мире. Определены основы новейшей концепции архитектурного пространства.

ABSTRACT

This article gives some analyze of architectural space in theory of architecture. It is analyzing of human action structure and its geometry, physiology, phenomenology aspects. Result of this analyze is following: human action is base principle for architectural space structure.

Ключевые слова: архитектура, пространство, структура, движение.

Keywords: architecture, space, structure, action, move.

Пространство как объект профессиональной деятельности архитектора, заявленный в этом качестве в начале 20 века Н. Ладовским, требует на данном этапе развития архитектуры более глубокого прояснения. Недостаточно выделения по отношению к пространственной форме в архитектуре оппозиции масса-пространство, где пространство понимается как промежуток, пауза, пустота между массой материальных объектов – зданий, сооружений и их оболочками, или внутри названных объектов.

Выявление сущностных свойств пространства в современной теории архитектуры связано с определением понятия архитектурное пространство, основанного на определении пространства, поставленного в один ряд с такими базовыми категориями, как материя, энергия, информация.

Обращаясь к выявлению природы пространства, нами принимается его определение из классической философии [3,с.13-14]. При этом акцентируется состояние природы в ее естественном выражении: природа в покое

определяется как место, природа в ее отсутствии – как пустота, природа в движении – как пространство. Таким образом, пространство связывается с движением и характеризуется своим базовым свойством – динамикой или изменяемостью некоторой пространственной системы.

Выделяются два способа образования или получения пространственной формы в архитектуре: выемка – надстройка. Они связаны с выполнением двух видов движения соответственно – высекать, вынимать, углублять и вздымать, лепить, мять. Первый вид движения определяет такие пространственные искусства как графика, ваение (высекание из камня), зодчество. Второй вид движения – живопись, скульптуру (пластическую), зодчество. В архитектуре (зодчестве) выявленные способы формообразования задают соответствующие архетипы: нора-гора. Первый архетип нора осуществляется как пещера, землянка, бункер и т.п., второй гора – как курган, зиккурат, пирамида, крыша и т.п.

Принятый здесь подход позволяет рассматривать движение как основной принцип организации архитектурного пространства, а само архитектурное пространство – как некое поле напряжения, создающее потенцию движения человека в окружающем мире.

Рассмотрим три аспекта движения: геометрический, физиологический, феноменологический.

Геометрический аспект. Рассмотрим два типа движения – простое и составное. В геометрии выделяют простые движения двух видов: вращение и перемещение. В онтологическом смысле их можно связать с двумя способами получения формы: ткать и лепить. В результате вращения получается сосуд, в результате перемещения – ткань. В архитектуре выделенные способы получения формы и соответствующие им виды движения задают два вида пространственной формы: вместилище и канал. Вместилище как место накопления ресурса (или сохранения его от энтропии) осуществляется как комната или помещение в здании (сооружении), как площадь, двор – в поселении. С ним связан и архетип дом. Пространственный канал или путь обеспечивает перемещение от одного места к другому и осуществляется как коридор или лестница в здании (сооружении), как улица, набережная и т.п. – в поселениях или между ними.

Из составных движений выделяются два, служащие комбинацией простых движений: винтовое и спиральное. В архитектуре им соответствуют архетипы башня и лабиринт, осуществляемые как винтовая лестница, чаще всего заключенная в оболочку, и поселение, разрастающееся вокруг некоторого главного места – центра.

Выделенные виды движения, в конечном итоге, определяют виды пространственной композиции в архитектуре: фронтальная, объемная, глубинная. Фронтальная и глубинная композиция характеризуется поступательным движением (или перемещением): в первом случае – к некоторой преграде или границе массы (стене или фасаду здания), во втором случае – вглубь массы (тоннель, галерея). Глубинная композиция при этом предполагает преодоление толщи некоторой массы – опоры под ногами (земли) через шахту, колодец или преграды (стены) через портал. Объемная композиция характеризуется движением вращения вокруг массы здания или сооружения. Отметим, что все виды композиции в таком случае связаны с пространством, поскольку выявляются движением. Этот подход отличается от традиционного подхода

в теории архитектуры, который объемную композицию связывает с массой, а с пространством – лишь глубинную, называя ее глубинно-пространственной.

Прежде, чем перейти к анализу физиологического аспекта движения, отметим следующее. При рассмотрении проблем, связанных с современным пониманием пространства в архитектуре, необходимо учитывать его динамическую составляющую. Напряжение между точками текущего местопребывания человека как потребителя и местами расположения необходимых для потребителя ресурсов создает потенцию движения человека в его окружении. Эта потенция и позволила нам сформулировать определение архитектурного пространства как поля напряжения, создающего и реализующего потенцию движения человека в окружающем мире. Нами выявлено, что динамическая форма существования человека в своем окружении определяет основной принцип организации архитектурного пространства, связанный с выполнением человеком движений – телесного, материального уровня и идеального плана.

Принимается следующая гипотеза: пространственную форму в архитектуре определяет движение человека в своем окружении. Можно выделить следующие уровни движения – биомеханический, психофизиологический, интеллектуальный и социокультурный. При этом первые два уровня рассматриваются как материальный аспект пространственного формообразования, а последние – как идеальный. Материальная составляющая архитектурного пространства традиционно анализируется как морфология архитектурной формы. В данном случае рассматривается морфология архитектурного пространства с учетом движения человека – его физиологии активности и феноменологии восприятия, то есть – движение на телесном уровне. Выделенный уровень включает исследование как индивидуальных возможностей человека, так и технических дополнений, усиливающих его природные данные: и в смысле пространственного восприятия, и в отношении освоения, выстраивания пространственной системы в рамках архитектуры.

Феноменологический аспект. Выявление динамики архитектурного пространства связано с анализом движения человека в своем окружении: природном или искусственно созданном, в частности – на современном этапе, в рамках техноквилизации. Передвижения и манипуляции, которые имеет возможность осуществлять человек, оснащенный современными устройствами, коренным образом отличаются от его естественных, природных двигательных возможностей. В архитектуре это выражается переносом акцента с мегалитических сооружений, создаваемых по образу и подобию человека прямоходящего, к нелинейной, лендформной архитектуре, к динамической, изменяющейся архитектурной форме, отражающей симбиоз человека и техники, выражающей высокую скорость как передвижения человека в окружении, так и изменения окружения, а также самого человека. В связи с возникновением и развитием постиндустриального, информационного общества и соответствующего мировосприятия архитектурного пространства нашим современником динамические изменения в архитектуре приводят к самоорганизации, модификации и изменяемости, гибкости ее пространственных форм.

Как показано в физиологии активности, разработанной А.Берштейном [1], существует поуровневая организация движений человека, опирающаяся на структуру двигательных актов и динамику мышечных сил. Можно предположить, что на этом основании выстраивается структура пространства, активно осваиваемого человеком. Каждому из пяти основных уровней мозговой деятельности, управляющей движением тела, соответствует определенная группа движений: два низших уровня задают мышечный тонус (позу) и движения-штампы (ритм), они управляют произвольными движениями и дают лишь сведения о собственном теле. Наиболее важны следующие два уровня, которые на основе получения сведений об окружающей среде управляют произвольными движениями и формируют пространственное поле. Третий уровень - это локомоторные (перемещение) и не локомоторные (спортивные) движения, манипулирование (жесты) и перемещение вещей, баллистические движения, прицеливание, копирование. Четвертый уровень определяет процесс труда, что отличает человека от остальных животных и позволяет рассматривать его движения как осмысленные действия с использованием орудий труда и его предметом. Пятый уровень определяет смысловую коррекцию, то есть выделение цели и мотивацию действий.

Можно установить соответствие структуры двигательного акта и структуры архитектурного пространства, выделяя определенные пространственные типы. Так локомоциям бег, прыжок соответствует пространственный архетип мост: многопролетный или однопролетный. Локомоция ходьба порождает определенные ритмические пространственные единицы архитектурной формы, например - колоннада. Аналогичное соответствие существует в ордерной архитектуре, когда колонна соответствует позе стоящего прямо человека, так же как форме

арочного портала соответствует поза «ноги на ширине плеч».

Основной формой мышечной силы является импульс – сосредоточение мышечных усилий в один короткий момент. На его основе построены все движения человеческого тела, в том числе – сложные профессиональные. Так, в качестве аналога сложной пространственной формы «Памятника III Интернационала» В.Татлина может рассматриваться движение удара или рубка [3, с.142].

Феноменологический аспект. Чтобы выявить истоки основных пространственных архетипов и их архитектурные воплощения, необходим переход на другой уровень – феноменологии восприятия. Психология К.Г.Юнга [4] позволяет обратиться к основным архетипам коллективного бессознательного: старик, тень, мать, перерождение. В архитектуре им в соответствие поставлены пространственные архетипы: храм, башня, лабиринт, портал. Первые три архетипа в психологии персонифицированы и образуют оппозиции старик-тень, старик-мать, тогда как последний связан с движением - трансформацией, метаморфозой. Архетип храм связан с движением вверх и вглубь, башня - вверх и во вне, лабиринт – вглубь, что соответствует сокровенности и тайне рождения, но может быть связано и с блужданием, распылением или энтропией. Портал служит точкой перехода (входа-выхода), пересечения некоторой пространственной границы. В новейшей архитектуре прослеживается еще один пространственный архетип, который назван нами экспансия. Ему соответствует движение во вне, распространение, рост. Он служит оппозицией архетипу лабиринт и может стать пространственным выражением, метафорой инсайта или ментального озарения (вспышки), проблеска истины (рис.1).

ЭКСПАНСИЯ - новый пространственный архетип в архитектуре



Рис.1. Экспансия - новый пространственный архетип в архитектуре

Пространственный архетип дом является родственным по отношению к архетипу лабиринт. В структуре дома, жилища могут быть выделены подтипы следующего уровня: очаг и почивальня. Они соответствуют дневной фазе с активной деятельностью, большей частью - произвольными движениями, и ночной - пассивной, на уровне произвольных движений. Анализ выделенных типов в ходе их эволюции показал, что в рамках техноквилизации значительное количество движений и действий становится невостребованным и передается совершенствующимся техническим приборам, что приводит к изменению структуры архитектурного пространства - от дома-норы к дому-складке, от лабиринта-поселения к городу. Причем лабиринт разнообразных улиц средневекового города существенно отличен от лабиринта однообразных новостроек современных жилых районов.

Историческую динамику пространственных архетипов можно проследить, если рассматривать архитектуру в целом как экспансию человека в пространство посредством движения. Архитектурная форма вырастает на границе, при встрече человека и мира, его окружающего. На телесном уровне человек встречается с другими телесными сущностями - с материей, что выражается в архитектурной форме ее массой. На идеальном уровне, разум человек обменивается информацией с другими мыслящими образованиями, что выражает определенные смыслы архитектурной формы. На уровне движения человек взаимодействует с другими источниками энергии, что в результате выливается в архитектурное пространство. Это дает основание увидеть и понять архитектуру как игру сил или как сочетание силовых полей. Взаимодействие массы и пространства создает архитектурную форму - такой закон был выявлен в рамках традиционной, классической теории архитектуры. В данной работе архитектурное пространство рассматривается с точки зрения системы силовых полей и описывается как поле действия и поле видения. По выражению Дж.Гибсона [2], глаза глядят в пространство, которое надо преодолеть, поэтому поле действия человека, как правило, связано с полем видения. Анализ архитектурного пространства как поля видения и поля действия невозможен без рассмотрения границ этого пространства.

Классификация границ архитектурного пространства, предложенная И.Лежавой, базируется на выявлении степени проницаемости этих границ: механически и визуально. Нам представляется, что следует рассмотреть

также границу как перепад уровней. В этом случае выделяются следующие границы: природная возвышенность, ступень, формирующая лестницы, берег или подпорная стенка набережной. Для границы в одном уровне выделены три вида: и механическая, и визуальная граница - это, например, стена; механическая граница - это витраж, остекление проемов, решетка ограждения; визуальная граница - это зеленые кулисы, лабиринт улиц средневекового города. Рассматривается так же символическая граница, которая эволюционирует со временем: от световой границы вокруг природного огня или установленного фонаря до бордюра, разграничивающего полосы движения автомобильного транспорта и пешеходной дорожки, или условной таблички у портала «только для членов клуба», и далее - до движущейся границы световой волны вспышки звезды или фейерверка, которая может служить метафорой движения мысли, инсайта или озарения (см. рис.1).

В результате проведенного анализа сделаны следующие выводы. Современная архитектура не позволяет рассматривать архитектурное пространство как инертную пустоту, промежуток в массе, теле здания или поселения. Архитектурное пространство есть поле напряжения, которое выявляет силовые линии, направления и базируется на структуре двигательного акта человека. Таким образом, архитектурное пространство характеризуется динамикой, то есть изменчивостью и связано с движением на всех уровнях - от материального: механического, физиологического и психологического, - до идеального: в виде абстрактно-логических размышлений и образно-символических представлений, которые должны быть проанализированы отдельно.

Литература

1. Бернштейн Н.А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. - М.: Медицина, 1966.
2. Гибсон Дж. Экологический подход к зрительному восприятию: Пер. с англ./ Общ. ред. и вступ. Ст. А.Д.Логвиненко. - М.: Прогресс, 1988.
3. Лапшина Е.Г. Динамические свойства архитектурного пространства: монография. - Пенза: ПГУАС, 2014.
4. Юнг К.Г. Алхимия снов. Четыре архетипа. - СПб.: Timothy, 1997.