

**Ежемесячный
научный журнал
№54 / 2020
1 часть**

Редакционный совет

Ответственный редактор – д.ю.н. Чукмаев А.И.
Секретарь конференции – к.ф.н. Варкумова Е.Е.
Редакционная коллегия
Сорновская Н.А.
Кажемаев А.В.
Каверин В.В.
Каримов П.Б.
Свистун А.А.
Селиктарова К.Н.
Артафонов В.Б.
Самиров А.И.
Семипалов С.А.
Новицкая О.С.

Ответственный редактор

Чукмаев Александр Иванович

Доктор юридических наук, профессор кафедры уголовного права.

(Астана, Казахстан)

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Адрес редакции: 620144, г. Екатеринбург, улица Народной Воли, 2, оф. 44

Адрес электронной почты: info@national-science.ru

Адрес веб-сайта: <http://national-science.ru/>

Учредитель и издатель Общество с ограниченной ответственностью

"Евразийское Научное Содружество"

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии 620144, г. Екатеринбург,
улица Народной Воли, 2, оф. 44

Редакционный совет

Ответственный редактор – д.ю.н. Чукмаев А.И.
Секретарь конференции – к.ф.н. Варкумова Е.Е.
Редакционная коллегия
Сорновская Н.А.
Кажемаев А.В.
Каверин В.В.
Каримов П.Б.
Свистун А.А.
Селиктарова К.Н.
Артафонов В.Б.
Самиров А.И.
Семипалов С.А.
Новицкая О.С.

Художник: Венерская Виктория Александровна

Верстка: Коржев Арсений Петрович

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Международные индексы:



СОДЕРЖАНИЕ

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

<i>Кисиль С.И., Залетова Т.С.</i> СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПОДХОДЫ К МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ «ИНСУЛИН-ГЛЮКОЗА»	4
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

<i>Джамакеева А.Д.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИЙ В РАЗРАБОТКЕ РЕЦЕПТУР НОВЫХ ВИДОВ МЯСОРАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ.....	8
<i>Исмаилов А.Б., Омаров Ш.К., Омариев Ш.Ш., Курбанова З.А., Айламматова Д.А.</i> ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРЫ УРОЖАЯ И КАЧЕСТВА ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ	11

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Гавриленко Т.В., Иванова О.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ НАДЁЖНОСТИ ОСНОВАНИЯ НАСЫПИ В СЕВЕРНОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ	15
<i>Гамидов Н.Н.</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ НЕКОТОРЫХ АСПЕКТОВ ИСПАРЕНИЯ КОНДЕНСАТА «СУХИМ» УГЛЕВОДОРОДНЫМ ГАЗОМ В БОМБЕ РVT	17
<i>Орлов С.А.</i> СПОСОБ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ СЛЕЖЕНИЯ КАЖДОГО КОНЦЕНТРАТОРА (ГЕЛИОСТАТА) ЗА СОЛНЦЕМ БОЛЬШОЙ СОЛНЕЧНОЙ ПЕЧИ	23
<i>Taranin A.G.</i> ENVIRONMENT CO & CO ₂ EMISSIONS PROPOSED REDUCING MEASURES	26
<i>Taranin A.G.</i> USAGE FEATURES OF THE ELECTRONIC INDICATORS FOR SHIP'S AND SHORE POWER SUPPLY FOUR- STROKE INTERNAL COMBUSTION ENGINES (DIESEL ENGINES)	32
<i>Taranin A.G.</i> USAGE FEATURES OF THE ELECTRONIC INDICATORS FOR SHIP'S AND SHORE POWER SUPPLY TWO- STROKE INTERNAL COMBUSTION ENGINES (DIESEL ENGINES)	39

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Тятюшкин А.И.</i> МНОГОМЕТОДНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ФУНКЦИЙ И ПАРАМЕТРОВ	48
<i>Шестакова О.В.</i> ДИСПЕРСИОННЫЕ УРАВНЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ИОНО-МАГНИТОСФЕРЫ, ПОМЕЩЕННОЙ В ПОСТОЯННОЕ МАГНИТНОЕ И СВЧ-ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ	53

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПОДХОДЫ К МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ «ИНСУЛИН-ГЛЮКОЗА»

Кисиль София Ивановна

аспирант

биологический факультет, кафедра биофизики,

Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова,

Москва

Залетова Татьяна Сергеевна

научный сотрудник,

отделение персонализированной терапии и диетологии,

Федеральный исследовательский центр питания и биотехнологии,

Москва

EXISTING APPROACHES TO THE MATHEMATICAL MODEL "INSULIN-GLUCOSE"

Kisil Sofia Ivanovna

graduate student

faculty of Biology, Department of Biophysics,

Moscow State University M.V. Lomonosov, Moscow

Zaletova Tatiana Zaletova

researcher,

Department of Personalized Therapy and Dietetics,

Federal research centre of nutrition, biotechnology and food safety,

Moscow

DOI: [10.31618/nas.2413-5291.2020.1.54.192](https://doi.org/10.31618/nas.2413-5291.2020.1.54.192)

Аннотация

Описаны алгоритмы прогнозирования глюкозы в крови, основанные на применении математических моделей, которые могут быть применены в системах непрерывного мониторинга уровня сахара в крови.

Abstract

Algorithms for predicting blood glucose based on the use of mathematical models that can be used in continuous monitoring systems for blood sugar are described.

Ключевые слова: инсулин; глюкоза; модель.

Keywords: insulin; glucose; model.

Ввиду высокой социальной значимости сахарного диабета и благодаря обманчивой простоте математических систем из двух переменных, система инсулин–глюкоза на протяжении 50 лет остается одной из наиболее детально исследованных и многократно смоделированных биологических систем.

Практическая значимость исследований состоит в том, что алгоритмы прогнозирования глюкозы в крови, основанные на применении математических моделей, могут быть применены в системах непрерывного мониторинга уровня сахара в крови. Для больных диабетом Iго типа это позволило бы сделать расчет компенсаторных доз

инсулина более точным, а для больных диабетом второго типа – выбрать оптимальную схему ведения пациента.

Модели на основе обыкновенных дифференциальных уравнений

а) Модель Бергмана (R.N.Bergman).

Первые попытки моделирования взаимной зависимости концентраций инсулина и глюкозы опирались исключительно на глюкозотолератный тест (ГТТ) [1, 2, 3]. Модель существовала в нескольких вариантах; примером может служить следующий набор дифференциальных уравнений, представленный в работе De Gaetano [4]:

$$\begin{cases} \frac{dG(t)}{dt} = -[b_1 + X(t)]G(t) + b_1G_0 \\ \frac{dX(t)}{dt} = -b_2X(t) + b_3[I(t) - I_0] \\ \frac{dI(t)}{dt} = b_4[G(t) - b_5]^+ t - b_6[I(t) - I_0] \end{cases} \quad (1)$$

где $G(t) = b_0$, $X(0) = 0$, $I(0) = b_7 + I_0$.

Принятые обозначения: $t \geq 0$ - время; $G(t)$ - концентрация глюкозы в крови;

$I(t)$ - концентрация инсулина в крови; $X(t)$ - индекс инсулинорезистентности; G_0 - базовый уровень глюкозы в крови; I_0 - базовый уровень

инсулина в крови; $b_0 - b_7$ – известные константы;

$$(f)^+ = \begin{cases} 0, & f \leq 0 \\ f, & f > 0 \end{cases}$$

Но такая модель недостаточно точна математически. В статье De Gaetano [4, стр. 143-144] приводится пример неустойчивости стационарного состояния при определенных значениях фитированных констант.

$$\begin{aligned} \frac{dG(t)}{dt} &= G_{in} - f_2(G(t)) - f_3(G(t))f_4(I_i(t)) + f_5(x_3(t)), \\ \frac{dI_p(t)}{dt} &= f_1(G(t)) - E \left(\frac{I_p(t)}{V_p} - \frac{I_i(t)}{V_i} \right) - \frac{I_p(t)}{t_p}, \\ \frac{dI_i(t)}{dt} &= E \left(\frac{I_p(t)}{V_p} - \frac{I_i(t)}{V_i} \right) - \frac{I_i(t)}{t_i}, \\ \frac{dx_1(t)}{dt} &= \frac{3}{t_d} (I_p(t) - x_1(t)), \\ \frac{dx_2(t)}{dt} &= \frac{3}{t_d} (x_1(t) - x_2(t)), \\ \frac{dx_3(t)}{dt} &= \frac{3}{t_d} (x_2(t) - x_3(t)), \end{aligned}$$

В системе ОДУ (2) приняты следующие обозначения: $G(t)$ – количество глюкозы в крови; $I_p(t), I_i(t)$ – количество инсулина в крови и межклеточном пространстве соответственно; $V_p(t), V_i(t)$ скорости диффузии инсулина в плазме и межклеточном пространстве соответственно; E – параметр, определяющий скорости диффузии; t_p, t_i – временные константы, характеризующие понижение концентрации инсулина в крови и межклеточном пространстве соответственно; $x_1(t), x_2(t), x_3(t)$ – дополнительные переменные, определяющие временные задержки распространения инсулина; f_1 – функция, моделирующая выработку инсулина поджелудочной железой; f_2, f_3, f_4 – функции, моделирующие поглощение глюкозы различными частями тела (f_2 – нервными клетками и клетками мозга, f_3, f_4 – клетками мышц и жировыми клетками); f_5 – функция, моделирующая

б) Модель Стариса (J.Sturis).

Модель основана на двух отрицательных обратных связях: поглощение глюкозы тканями под воздействием инсулина и секреция инсулина в ответ на поступление глюкозы. Модель [5] описывается системой ОДУ 6-го порядка:

расщепление глюкозы и вывод продуктов расщепления в печень; t_d – время расщепления глюкозы.

Здесь и далее величина G_{in} представляет собой начальное значение уровня глюкозы в крови.

Аналогично с предыдущим случаем, недостатком такой модели является неустойчивость решения при определенных условиях. Для решения проблемы с неустойчивостью Эндельборгом было предложено уточнение: система с запаздыванием по времени.

Модели на основе ОДУ с запаздывающим аргументом

а) Модель Энгельборга (K.Engelborghs) основана на модели Стариса и существует в двух вариантах.

Первый вариант модели Энгельборга [6, стр. 363] описывает динамику инсулина, учитывая только временные задержки между выработкой инсулина и расщеплением глюкозы:

$$\begin{cases} \frac{dG(t)}{dt} = G_{in} - f_2(G(t)) - f_3(G(t))f_4(I(t)) + f_5(I(t - \tau_2)), \\ \frac{dI(t)}{dt} = f_1(G(t)) - \frac{I(t)}{t_1}. \end{cases} \quad (3)$$

Здесь τ_2 – временная задержка между выработкой инсулина и расщеплением глюкозы, t_1 – величина, обратная скорости уменьшения количества инсулина в крови. В отличие от

предыдущей модели такая модель имеет устойчивые решения для случаев, разобранных в [7], что делает данную модель значительно более привлекательной для применения.

Во втором варианте модели Энгельборга предпринята попытка моделировать динамику распространения инсулина при его инъекционном введении [6, стр. 364]. Но при этом делается допущение о том, что функция, моделирующая

инъекцию инсулина, совпадает с функцией распространения естественного инсулина f_1 . Модель имеет вид

$$\begin{cases} \frac{dG(t)}{dt} = G_{in} - f_2(G(t)) - f_3(G(t))f_4(I(t)) + f_5(I(t - \tau_2)), \\ \frac{dI(t)}{dt} = \alpha f_1(G(t)) - \frac{I(t)}{t_1} + (1 - \alpha)f_1(G(t - \tau_1)). \end{cases} \quad (4)$$

где α - весовой коэффициент, определяющий степень влияния естественного и искусственного инсулина, τ_1 - временная задержка выработки естественного инсулина.

б) Модель Беннета и Гоурли (D.L.Bennet, S.A. Gourley)

Модель существует в двух вариантах.

Модель №1 Беннета и Гоурли для описания динамики глюкозы и инсулина использует систему ОДУ с запаздывающим аргументом [8].

$$\begin{cases} \frac{dI_p(t)}{dt} = f_1(G(t)) - E \left(\frac{I_p(t)}{V_p} - \frac{I_i(t)}{V_i} \right) - \frac{I_p(t)}{t_p}, \\ \frac{dI_i(t)}{dt} = E \left(\frac{I_p(t)}{V_p} - \frac{I_i(t)}{V_i} \right) - \frac{I_i(t)}{t_i}, \\ \frac{dG(t)}{dt} = G_{in} - f_2(G(t)) - qG(t)f_4(I_i(t)) + f_5(I_p(t - \tau)), \end{cases} \quad (5)$$

Здесь $\tau \geq 0$ - временная задержка выработки инсулина, величина $q > 0$ - определяет скорость расщепления глюкозы инсулином в крови.

Модель №2 Беннета и Гоурли [9] представляет собой упрощенную модель (5). Модель также

учитывает временную задержку в выработке инсулина по отношению ко времени поступления глюкозы в кровь и имеет вид

$$\begin{cases} \frac{dG(t)}{dt} = G_{in} - f_2(G(t)) - f_3(G(t))f_4(I(t)) + f_5(I(t - \tau_2)), \\ \frac{dI(t)}{dt} = f_1(G(t - \tau_1)) - d_i I(t), \end{cases} \quad (6)$$

где $I(0) = I_0 > 0$, $G(0) = G_0 > 0$, $I(t) \equiv I_0$ для любых t из промежутка $[-\tau_2, 0]$, $G(t) \equiv G_0$ для любых t из промежутка $[-\tau_1, 0]$; $\tau_1 \geq 0$ - время между повышением уровня концентрации глюкозы и транспортировкой инсулина в межклеточное пространство; $\tau_2 \geq 0$ - время между транспортировкой инсулина в межклеточное пространство и изменением производства глюкозы в печени; величина $q > 0$ - определяет скорость расщепления глюкозы инсулином в крови;

d_i - скорость уменьшения количества инсулина в крови.

Параметры и функции данных систем уравнений подробно описаны в работе.

Модели на основе интегро-дифференциальных уравнений

Модель де Гаetano и Арино (A.DeGaetano, O.Argino) разработана [4] на основе модели Бергмана (1). Выполнив формальный математический анализ этой модели, авторы предложили ее улучшенный вариант, названной ими динамической моделью (dynamic model):

$$\begin{cases} \frac{dG(t)}{dt} = -b_1G(t) - b_4I(t)G(t) + b_7 \\ \frac{dI(t)}{dt} = -b_2I(t) + \frac{b_6}{b_5} \int_{t-b_5}^t G(s)ds \end{cases} \quad (7)$$

Здесь $G(t) = G_b$, $t \in [-b_5, 0]$, $G(0) = G_b + b_0$, $I(0) = I_b + b_0b_3$; значение параметра b_5 определяется базальным уровнем глюкозы G_b , I_b – базальный уровень инсулина.

Модели на основе дифференциальных уравнений в частных производных

В работе [10] рассмотрена модель динамики инсулина и глюкозы на основе дифференциальных

уравнений в частных производных, полученная при допущении, что вводимый раствор инсулина распространяется в подкожной ткани только в виде гексамерных и димерных молекул, причем проникать в капилляры могут только димерные молекулы. Модель представляет собой систему двух дифференциальных уравнений в частных производных

$$\begin{cases} \frac{\partial h}{\partial t} = P(Qd^3 - h) + D\nabla^2 h, \\ \frac{\partial d}{\partial t} = -P(Qd^3 - h) + D\nabla^2 d - Bd, \end{cases} \quad (8)$$

где h и d – концентрация димерного и гексамерного инсулина, соответственно, P – постоянная скорости, Q – химическая постоянная равновесия, D – диффузионная постоянная, B – постоянная скорости поглощения инсулина.

Список литературы

[1] R.N. Bergman, Y.Z. Ider, C.R. Bowden, C. Cobelli. Quantitative estimation of insulin sensitivity //American Journal of Physiology-Endocrinology And Metabolism. – 1979. – Т. 236. – №. 6. – С. E667.

[2] R.N. Bergman. Pathogenesis and prediction of diabetes mellitus: Lessons from integrative physiology, in: Irving L. Schwartz Lecture, Mount Sinai J. Medicine 60 (2002) 280–290.

[3] G. Toffolo, R.N. Bergman, D.T. Finegood, C.R. Bowden, C. Cobelli. Quantitative estimation of beta cell sensitivity to glucose in the intact organism: A minimal model of insulin kinetics in the dog. Diabetes 29 (12) (1980) 979–990.

[4] De Gaetano, O. Arino. Mathematical modelling of the intravenous glucose tolerance test. J. Math. Biol. 40 (2000) 136–168.

[5] I.M. Tolic, E. Mosekilde, J. Sturis. Modeling the insulin-glucose feedback system: The significance of pulsatile insulin secretion. J. Theor. Biol. 207 (2000) 361–375.

[6] K. Engelborghs, V. Lemaire, J. Bélair, D. Roose. Numerical bifurcation analysis of delay differential equations arising from physiological modeling, J. Math. Biol. 42 (2001) 361–385.

[7] M.Egi, E.Stachowski, C. J. French, Graeme Hart. Variability of Blood Glucose Concentration and Short-term Mortality in Critically Ill Patients. Anesthesiology 8 2006, Vol.105, 244-252.

[8] D.L. Bennett, S.A. Gourley. Asymptotic properties of a delay differential equation model for the interaction of glucose with plasma and interstitial insulin, Appl. Math. Comput. 151 (2004) 189–207.

[9] Jiaxu Li, Yang Kuang, Clinton C. Mason. Modeling the glucose–insulin regulatory system and ultradian insulin secretory oscillations with two explicit time delays. Journal of Theoretical Biology 242 (2006) 722–735

[10] P. Wach, Z. Trajanoski, P. Kotanko, F. Skrabal. Numerical approximation of mathematical model for absorption of subcutaneously injected insulin, Med. Biol. Engrg. Comput. 33 (1) (1995) 18–23.

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИЙ В РАЗРАБОТКЕ РЕЦЕПТУР НОВЫХ ВИДОВ МЯСОРАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ

Джамакеева Анара Джекишеновна
кандидат технических наук, доцент
Кыргызский Государственный Технический Университет
им. И. Раззакова
г. Бишкек

APPLICATION OF INNOVATIONS IN THE DEVELOPMENT OF RECIPES OF NEW KINDS OF MEAT-VEGETABLE SEMI-FINISHED PRODUCTS

Dzhamakeeva Anara
Candidate of technical sciences, associate professor
Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov,
с. Bishkek
DOI: [10.31618/nas.2413-5291.2020.1.54.191](https://doi.org/10.31618/nas.2413-5291.2020.1.54.191)

Аннотация

Работа посвящена изучению возможности использования функциональных растительных ингредиентов в технологии мясных полуфабрикатов и исследованию их влияния на функционально-технологические свойства мясных фаршей и пищевую ценность готовых продуктов. Моделирование и оптимизация рецептов мясорастительных полуфабрикатов проводились с использованием программы Smart Lab. Исследованы качественные показатели готовых продуктов, подтверждающих целесообразность внесения растительного сырья в рецепты полуфабрикатов. Предлагаемые технологии мясорастительных полуфабрикатов прошли апробацию на мясоперерабатывающем предприятии «Баркад».

Abstract

The work is devoted to the study of the possibility of using functional vegetable ingredients in the technology of meat semi-finished products and the study of their influence on the functional and technological properties of chopped meat, and nutritional value of finished products. The modeling and optimization of the meat-vegetable semi-finished products recipes was carried out using the Smart Lab program. The quality indicators of finished products, confirming the feasibility of introducing vegetable raw materials into the recipes of semi-finished product, were investigated. The proposed technologies of the meat-vegetable semi-finished products has been tested at the meat-processing enterprise «Barkad».

Ключевые слова: мясной фарш; растительные добавки; оптимизация рецептов; мясорастительные полуфабрикаты; качественные показатели; пищевая ценность.

Keywords: minced meat; vegetable supplements; optimization of the recipes; meat-vegetable semi-finished products; qualitative indicators; nutritional value.

В настоящее время наблюдается значительный рост производства полуфабрикатов среди других продуктов питания. Всё большее распространение получают комбинированные полуфабрикаты, в рецептуру которых входят, наряду с мясными ингредиентами, разнообразные функциональные растительные компоненты, позволяющие получать полуфабрикаты с широким спектром действия и функциональной направленностью. Это приводит к необходимости постоянного расширения ассортимента выпускаемой продукции путём коррекции существующих рецептурных композиций и разработки новых рецептов [1, с.3].

Разработка рецептур новых видов мясных полуфабрикатов требует от технологов мясоперерабатывающих предприятий затрат не только времени, но и финансовых вложений. Оперативно реагировать на изменение потребительских предпочтений можно, используя математическое и имитационное моделирование, которое становится для технолога одним из необходимых инструментов в решении задач

оптимизации комплекса свойств пищевого продукта по установленным критериям и ограничениям на каждом этапе его разработки [1, с.5].

Целью настоящей работы является разработка технологии новых видов мясорастительных полуфабрикатов на основе моделирования и оптимизации рецептов с применением программы Smart Lab, а также исследование влияния вводимых растительных ингредиентов на функционально-технологические свойства мясных фаршей и пищевую ценность готовых продуктов.

Для изучения качественных характеристик новых видов мясорастительных полуфабрикатов были использованы стандартные методики, спектрофотометрический метод, программа Smart Lab, метод аналитического расчета химического состава и базовых показателей биологической ценности мясных продуктов Липатова Н.Н. и Рогова И.А. [1, 2, 3].

Исходя из поставленных в работе задач, на первом этапе были разработаны модельные

рецептуры мясорастительных полуфабрикатов - в тестовой оболочке (далее пельменей) и рубленых полуфабрикатов (далее котлет).

В качестве контрольного образца для мясорастительных полуфабрикатов в тестовой оболочке была использована рецептура национальных уйгурских пельменей, где в качестве начинки использовался только измельченный клевер.

Клевер луговой – это растение, которое растет во всех регионах Кыргызской Республики, неприхотливое, не требующее специальных условий для его культивирования и пользуется большой популярностью при приготовлении национальных блюд.

Задачей наших исследований в это случае было подобрать оптимальное соотношение мясной и растительной частей мясорастительного фарша. В качестве мясного компонента использовали фарш из говядины жилованной 2 сорта. Дополнительно в состав исследуемых образцов мясорастительных фаршей пельменей вводилось подсолнечное масло с целью дополнительного обогащения готового продукта полиненасыщенными жирными кислотами.

Модельные рецептуры мясорастительных котлет разработаны на основе имеющейся рецептуры котлет говяжьих (контрольный образец). В качестве растительных добавок использовали свеклу, шпинат, морковь и пекинскую капусту. Выбор всех растительных добавок основывался на результатах проведенного анализа их химического состава и пищевой ценности.

Для моделирования и оптимизации рецептов использовали программу Smart Lab. При оптимизации рецептов пищевых продуктов данная программа использует симплекс-метод, позволяющий найти оптимальные решения, которые имеют следующие базовые составляющие: математическую модель, алгоритм решения этой задачи и исходные данные. Для расчёта математической модели рецептов мясорастительных полуфабрикатов использовали целевую функцию, ограничения по содержанию нутриентов и граничные условия по некоторым переменным [4].

Оптимизационная задача выбора наиболее оптимальных рецептов программой SmartLab решалась по следующим показателям: калорийность, пищевая и биологическая ценность готовых изделий.

По результатам проведенной оптимизации были установлены лучшие образцы для мясорастительных пельменей: образцы 1 и 2 с массовой долей клевера в мясорастительном фарше 25 % и 65 %, соответственно.

При проведении оптимизации рецептов

мясорастительных котлет количество растительных ингредиентов, вводимых в состав мясного фарша, варьировалось до 40 % с шагом 5 %. Из опытных образцов мясорастительных котлет оптимальным образцом был опытный образец с массовой долей растительных ингредиентов в составе фарша: свеклы - 6 %, капусты пекинской – 5 %, моркови – 5 %, шпината – 16 %.

Предлагаемые технологии мясорастительных полуфабрикатов были апробированы на ведущем предприятии мясной отрасли Кыргызской Республики – ОсОО «Баркад». На предприятии были изготовлены опытные партии мясорастительных полуфабрикатов: пельменей по рецептурам контрольного образца и образцов 1 и 2; котлет - по рецептурам контрольного и опытного образцов.

Предлагаемые технологии мясорастительных полуфабрикатов получили положительную оценку со стороны технологов предприятия, что было отражено в Актах апробации готовых продуктов.

Органолептическая оценка мясорастительных пельменей и котлет, выработанных на ОсОО «Баркад», проводилась по 5-балльной шкале. Результаты дегустационной оценки и визуального осмотра показали, что по совокупности органолептических показателей пельменей контрольный образец и опытный образец 1 с массовой долей клевера 25 % получили самые высокие баллы. На основе результатов органолептической оценки было принято решение проводить дальнейшие исследования качественных характеристик с контрольным образцом и опытным образцом 1.

По совокупности органолептических показателей мясорастительных котлет наибольший балл получил опытный образец (4,9 балла) по сравнению с контролем (4,7 балла). Полученные экспериментальные данные согласуются с результатами оптимизации, выполненной программой SmartLab. Для сохранения пищевой ценности растительных ингредиентов, вводимых в рецептуры мясорастительных полуфабрикатов, был выбран паровой способ тепловой обработки.

На следующем этапе эксперимента были выполнены исследования функционально-технологических свойств (ФТС) исследуемых образцов мясорастительных фаршей - эмульгирующей способности (ЭС) и стойкости эмульсии (СЭ), водосвязывающей способности (ВСС), пластичности, так как от степени выраженности этих свойств зависит механизм структурирования ингредиентов рецептуры и превращение их в единую пищевую систему – готовый продукт. Результаты исследования ФТС исследуемых образцов мясорастительных фаршей представлены в таблице 1.

Таблица 1

Образец	Показатели			
	ВСС, %	Пластичность, см ² /г	ЭС, %	СЭ, %
Мясорастительные пельмени				
Контрольный образец	40,2	33	75,6	30,3
Опытный образец 1	45	35	95,1	50,2
Мясорастительные котлеты				
Контрольный образец	45,2	15,6	78,7	29,2
Опытный образец	48,0	22,7	94,9	49,0

Эмульгирующая способность и стойкость эмульсии играют важную роль в оценке функционально-технологических свойств фарша. Они характеризуют стабильность образуемой эмульсии в процессе приготовления фарша, которая влияет на уровень водосвязывающей способности и пластичности мясорастительного фарша, что подтверждается полученными результатами (таблица 1).

Значительное увеличение ЭС и СЭ наблюдалось в исследуемых образцах мясорастительных фаршей пельменей: у опытного образца 1 на 19,5 и 19,9 %, соответственно, по сравнению с контролем, что указывает на то, что введение в состав эмульсии мышечных белков, обладающих высокими функциональными свойствами, благоприятно сказывается на формировании стойкой мясорастительной эмульсии (таблица 1).

У мясорастительных котлет была отмечена аналогичная картина: увеличение ЭС и СЭ у опытного образца на 16,2 и 19,8 %, соответственно, по сравнению с контролем. Полученные данные свидетельствуют о положительном влиянии вводимых растительных ингредиентов на структуру фарша. Увеличение ЭС и СЭ, в свою очередь, привело к увеличению ВСС и пластичности: для пельменей - у опытного образца 1 на 4,8 % и 2 см²/г, соответственно, по сравнению с контролем; для котлет - в опытном образце – на 2,8 % и 7,1 г/см², соответственно, по сравнению с контролем (таблица 1).

Учитывая, что в состав мясорастительных фаршей входит значительное количество растительных ингредиентов (пельмени – 25%, котлеты - 32 %), содержащих достаточное количество пищевых волокон и полезных микронутриентов, способствующих повышению пищевой ценности готовых изделий и придающих им функциональную направленность, были проведены исследования по определению массовой доли пищевых волокон и кальция в контрольных и опытных образцах.

Результаты исследования этих показателей в образцах пельменей показали снижение массовой доли клетчатки в опытном образце 1 почти вдвое, однако сочетание оставшейся части клетчатки с функциональными свойствами других ингредиентов не приведет, по нашему мнению, к снижению функциональных свойств готовых изделий. Анализ данных по определению массовой

доли кальция свидетельствует, что внесение мясного компонента в рецептуру фарша привело к незначительному повышению массовой доли кальция по сравнению с контролем.

При исследовании мясорастительных котлет наблюдалось увеличение массовой доли пищевых волокон и кальция в опытном образце на 0,5 % и 18,74 мг, соответственно, по сравнению с контролем.

С целью изучения влияния растительных ингредиентов на стойкость мясорастительных полуфабрикатов при хранении были проведены исследования содержания летучих жирных кислот (ЛЖК) в замороженных мясорастительных полуфабрикатах, хранившихся при температуре (-18±2°С) и относительной влажности воздуха (75±5 %) в течение 30 суток с периодичностью проведения анализов 7 суток.

Анализ полученных данных показал, что введение растительных добавок в рецептуры мясорастительных полуфабрикатов не снижает их устойчивости к хранению. Продолжительность их хранения с момента окончания технологического процесса составила не более 30 суток при указанных выше параметрах.

Далее был произведен расчет пищевой ценности и базовых показателей биологической ценности исследуемых образцов мясорастительных полуфабрикатов с использованием программы Smart Lab на основе расчетно-аналитического метода Липатова Н.Н. и Рогова И.А. [1, с.13-14].

Анализ полученных расчетных данных по пельменям показал, что опытный образец 1 отличается высокой биологической ценностью, что непосредственно связано с введением в состав фарша говядины жилованной, отличающейся достаточно высоким содержанием полноценных белков. Использование мясного ингредиента в составе фарша привело к повышению энергетической ценности опытного образца на 180 ккал, к значительному увеличению показателя биологической ценности (БЦ) на 46,3 % и коэффициента утилитарности (U); снижению КРАС – на 64,9 % у опытного образца 1 по сравнению с контролем. Подобный вывод подкрепляется расчетными данными по аминокислотному составу исследуемых образцов пельменей, подтверждающих отсутствие лимитирующих аминокислот в опытном образце 1, в то время как в контроле отсутствуют 3 незаменимые аминокислоты.

Расчетные данные по пищевой ценности мясорастительных котлет свидетельствуют о незначительном уменьшении в опытном образце массовой доли белка на 2,5 %, жира – 6,5 %, углеводов – 3,8 %. Уменьшение массовой доли жира привело к снижению калорийности готового продукта. Снижение массовой доли белка не привело к резкому снижению пищевой ценности: качественные показатели белкового компонента были выше у опытного образца по сравнению с контролем. Показатель биологической ценности (БЦ) у опытного образца увеличился на 12 %. Коэффициенты сопоставимой избыточности G и КРАС у опытного образца были значительно ниже, чем у контроля.

Полученные экспериментальные и расчетные данные свидетельствуют о перспективности применения оптимизации при моделировании рецептур, а комбинирование мясного и растительного сырья в составе фарша улучшает его

функционально-технологические свойства и позволяет получить готовый продукт с высокой пищевой и биологической ценностью.

Список литературы

Автоматизированное проектирование сложных многокомпонентных продуктов питания: учебное пособие/Муратова Е.И., Толстых С.Г., Дворецкий С.И., Зюзина О.В., Леонов Д.В. – Тамбов: ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 80 с.

Антипова Л.В., Глотова И.А., Рогов И.А. Методы исследования мяса и мясных продуктов. – М: Колос, 2001. - 376 с.

Анетте Лебеда. UV/VIS спектроскопия – понимание и применение в целях гарантии качества продуктов питания// Материалы регионального семинара, проведенного в рамках Программы GIZ «Профессиональное образование в Центральной Азии». - Бишкек, 2013. - 49 с.

<https://docs.djangoproject.com/en/2.2/>

УДК 631.527/53.048

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРЫ УРОЖАЯ И КАЧЕСТВА ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Исмаилов Алимбек Бегларович,

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

*ГАОУ ВО «Дагестанский государственный университет народного хозяйства»,
г. Махачкала, Россия*

Омаров Шамиль Курбанмагомедович,

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

*ГАОУ ВО «Дагестанский государственный университет народного хозяйства»,
г. Махачкала, Россия*

Омариев Шамиль Шамхалович,

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

*ГАОУ ВО «Дагестанский государственный университет народного хозяйства»,
г. Махачкала, Россия*

Курбанова Зухра Адамовна,

кандидат технических наук, доцент

*ГАОУ ВО «Дагестанский государственный университет народного хозяйства»,
г. Махачкала, Россия*

Айламматова Дагмара Айламматовна,

зам заведующего кафедрой, преподаватель

*ГАОУ ВО «Дагестанский государственный университет народного хозяйства»,
г. Махачкала, Россия*

INFLUENCE OF MINERAL FERTILIZERS ON THE FORMATION OF CROP STRUCTURE AND QUALITY OF WINTER WHEAT GRAIN

A.B. Ismailov,

candidate of agricultural sciences, associate professor

*Dagestan State University of National Economy,
Makhachkala, Russia*

Sh. K. Omarov,

candidate of agricultural sciences,

*associate professor Dagestan State University of National Economy,
Makhachkala, Russia*

Sh.Sh. Omeriev,

candidate of agricultural sciences,

*associate professor Dagestan State University of National Economy,
Makhachkala, Russia*

Z. A. Kurbanova,

*candidate of agricultural sciences,
associate professor Dagestan State University of National Economy,
Makhachkala, Russia
D. A. Aylammatova,
Deputy Head,
Lecturer Dagestan State University of National Economy,
Makhachkala, Russia*

Аннотация

В статье представлены результаты исследований по изучению особенностей роста и развития озимой пшеницы в зависимости от разных норм минеральных удобрений, определена сравнительная урожайность сортов озимой пшеницы для орошаемой равнинной зоны Дагестана, выявлено, что, при систематическом применении минеральных удобрений на продуктивность и качество зерна озимой пшеницы, на лугово-каштановых почвах равнинной зоны Дагестана, качество продукции по содержанию нитратного азота не ухудшается. В вариантах с максимальными дозами применения удобрений качество продукции соответствовало всем экологическим требованиям.

Исследования позволяют более объективно предложить производству соотношение изучаемых доз минеральных удобрений для данной зоны, выявить наиболее и экономически выгодные приемы технологии, обеспечивающие высокие урожаи зерна озимой пшеницы.

Abstract

The article presents the results of research on the peculiarities of growth and development of winter wheat depending on different norms of mineral fertilizers, the comparative yield of winter wheat varieties for the irrigated plain zone of Dagestan is determined, it is revealed that, with the systematic use of mineral fertilizers on the productivity and quality of winter wheat grain, on meadow-chestnut soils of the plain zone of Dagestan, the quality of products in terms of nitrate nitrogen does not deteriorate. In the variants with the highest doses of fertilizer application, the quality of the products comply with all environmental requirements.

Research allows us to more objectively offer the production of the ratio of the studied doses of mineral fertilizers for this zone, to identify the most cost-effective methods of technology that provide high yields of winter wheat grain.

Ключевые слова: Озимая пшеница, минеральные удобрения, сорт, расчетные дозы, урожайность, качество зерна, содержание белка, сырая клейковина, нитраты.

Keywords: winter wheat, fertilizers, variety, calculated dose, yield, grain quality, protein, wet gluten, nitrates

Введение. Значение озимой пшеницы в формировании зернового фонда страны высокая, она ежегодно дает высокие и устойчивые урожаи. Продуктивность культуры зависит от хорошего питания растений. В период кущения воздействие минеральным питанием оказывает значительное влияние на процесс дифференциации конуса нарастания и количество образующихся колосков на колосе. Под влиянием усиленного азотного питания темп дифференциации задерживается, но колосков образуется больше, чем при усиленном фосфорном питании. Внесение в период налива – подкормок азотом способствует повышению содержания белка в зерне, питание фосфором накопление крахмала, а увеличение калийного питания усиливает передвижение пластических веществ из листьев к колосу, особенно углеводов, обеспечивающих накопление крахмала в зерне [4].

При внесении высоких доз минеральных веществ необходимо учесть их отрицательное воздействие (накопление нитратов) на обмен веществ растений, что в результате сказывается на качественных показателях зерна пшеницы. Оптимизация норм минеральных удобрений предопределяет рациональный выбор доз питательных веществ, которые позволяют получить высокий урожай, и в то же время исключить риск загрязнения почвы, зерна токсичными веществами [2,4].

Цель исследований – определить действие минеральных удобрений на параметры структуры урожая и качественные показатели зерна озимой пшеницы.

Для достижения цели выполнялись следующие задачи: изучить особенности развития сортов озимой пшеницы; анализировать динамику содержания белка, сырой клейковины в зерне; определить влияние доз минеральных удобрений на накопление нитратов в зерне озимой пшеницы.

Материал, методика и условия проведения исследований. Исследования проводились в 2018-2019 гг. на коллекционном участке кафедры растениеводства и кормопроизводства ФГБОУ ВО Дагестанский ГАУ. Почва -лугово-каштановая, тяжелосуглинистая. Содержание гумуса в пахотном слое - 2,21%, P₂O₅- 1,5 мг /100 г почвы, K₂O- 28,2 мг/100 г почвы. Плотность пахотного слоя – 1,30 г/см³, НВ – 30,5 %. Размер опытных делянок – 25 м², повторность 4-х кратная. Методика общепринятая [1,5].

В исследованиях были использованы сорта озимой пшеницы Сила и Гром селекции ФГБНУ Краснодарского научно-исследовательского института сельского хозяйства им. П.П. Лукьяненко [1]. В опытах изучались варианты: без удобрений-В₁; N₅₀P₅₀-В₂; N₆₀P₅₀ - В₃; N₁₀₅P₅₀- В₄; N₁₅₀P₅₀-В₅; N₁₉₀P₅₀-В₆.

Результаты исследований. При совместном действии азота и фосфора можно достигнуть

значительного роста колосков в колосе, причем замедление в развитии, получающегося за счет действия азота, компенсируется ускорением в развитии, которое вызывается фосфором. Таким образом регулируя дозы, время и способы внесения азотистых и фосфатных удобрений, можно получить наиболее благоприятное соотношение между продуктивностью и ростовыми процессами культуры [3].

По данным наших исследований внесение расчетных доз минеральных питательных веществ на лугово-каштановых почвах способствовало увеличению продуктивности озимой пшеницы. На варианте с внесением $N_{50}P_{50}$ получена прибавка урожая на 28% по отношению к контролю. На варианте опыта $N_{60}P_{50}$, прибавка составила 52%. Наивысшие показатели по прибавке к урожайности озимой пшеницы получена на варианте с внесением минеральных удобрений в норме $N_{105}P_{50}$ и составила 92-99 %.

Результаты опытов показали, что последующее повышение доз минеральных удобрений не обеспечивает существенной прибавки, а иной раз снижает показатели продуктивности по сравнению с контрольным вариантом. В результате это приводит к неоправданно производственным затратам. Это также связана с тем, что высокие нормы удобрений приводят к образованию большой биомассы озимой пшеницы, что в свою очередь приводит к загущению посевов и нарушению корреляции между возможностями корневой системы и количеством вегетативной массы. Так, на варианте $N_{190}P_{50}$ наблюдается не существенное снижение урожайности и ухудшение качественных показателей зерна.

Применение высоких ненормированных доз минеральных удобрений, оказывает негативное

влияние на земли сельского хозяйства. Причиной неблагоприятного воздействия является нарушение принципов применения удобрений, которое приводит к уменьшению урожайности и качества зерна озимой пшеницы. Рациональное использование средств и мер защиты земель от неблагоприятных последствий внесения пестицидов и минеральных удобрений, позволит обеспечить чистоту окружающей среды, сохранение почвенного потенциала, а также защитить здоровье населения от негативных воздействий токсичных веществ.

В исследованиях нами также изучено действие минеральных удобрений на качественные показатели различных сортов озимой пшеницы. В среднем на варианте без применения удобрений содержание белка по сортам составило 13,90-14,10 %. Максимальное количество белка было получено на варианте $N_{105}P_{50}$ - 17,50 у сорта Гром и 17,80% у сорта Сила.

В соответствии со стандартами, качественные показатели зерна, отвечающем требованиям группе сильной и ценной пшеницы, должен быть не менее: натурная масса 785 г, стекловидность -70 %, белка - 14%, сырой клейковины - 32,0%.

По данным наших опытов, качественные показатели зерна озимой пшеницы по вариантам опыта существенно выше по отношению к контролю. Так, содержание клейковины на контрольном варианте в среднем составило 23,9-24,1 %, при внесении удобрений изменялось в пределах 25,0 % у сорта Гром и 30,1% у сорта Сила. Максимальное количество клейковины было выявлено на варианте $N_{105}P_{50}$ у сорта Сила -30,7%. Такие полученные значения у изучаемых сортов говорят о том, что их можно отнести к группе сильная и ценная пшеница (рис.1).

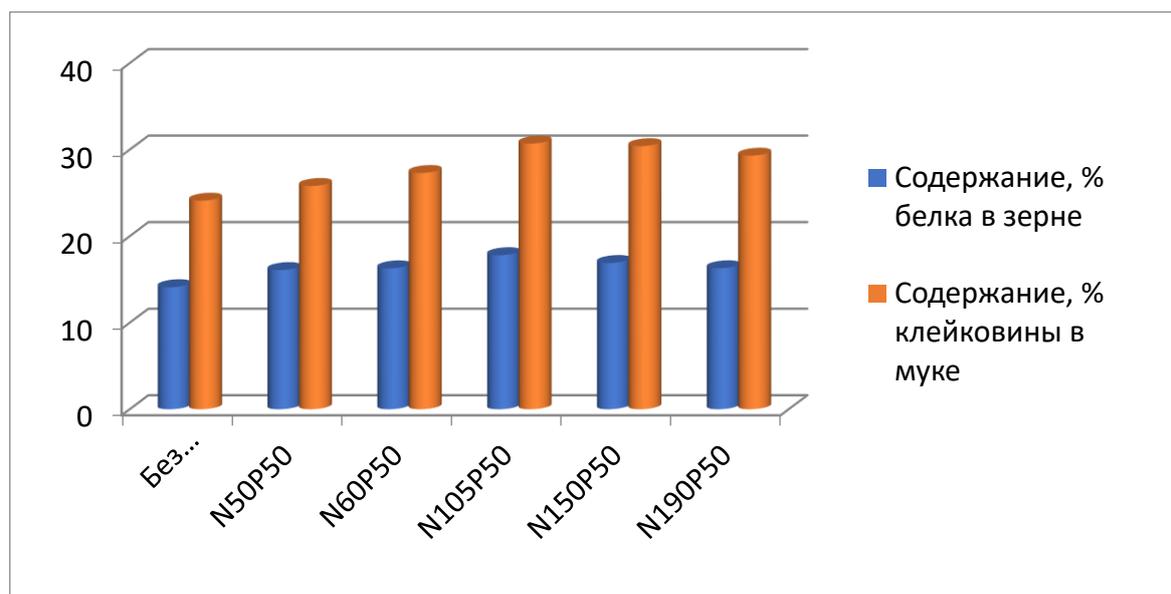


Рисунок 1. Показатели качества зерна озимой пшеницы сорта Сила при разных уровнях минерального питания.

Для экологической оценки зерна озимой пшеницы изучали действия доз минеральных

удобрений на формирование нитратного азота в зерне. Содержание нитратов строго

регламентируется предельно допустимой концентрацией.

Нами было установлено, что содержание нитратов в зерне озимой пшеницы изучаемых сортов находится в зависимости от вносимых доз минеральных удобрений и колебалась в пределах

от 118 до 148 мг/кг. Так, если на контрольном варианте содержание нитратов составило 118,5 мг/кг, то на удобренных вариантах оно изменялось в пределах от 121,7 до 148,3 мг/кг (рис.2). Максимальное содержание нитратов было на варианте N₁₉₀P₅₀- 148,3 мг/кг.

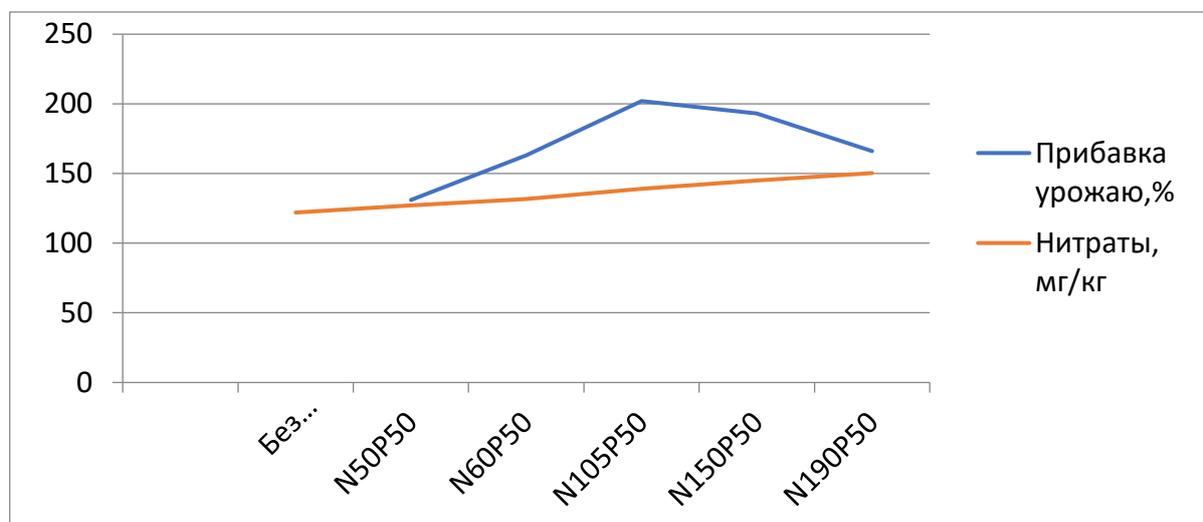


Рисунок. 2. Динамика прибавки урожая (%) и содержания нитратов в зерне озимой пшеницы сорта Сила в зависимости от расчетных норм минеральных удобрений.

При этом содержание нитратов в зерне изучаемых сортов не превышало допустимых значений. Хотя прослеживается достоверная зависимость содержания NO_3 в зерне пшеницы от уровня обеспеченности почвы нитратным азотом и подвижным фосфором.

Выводы. Содержание NO_3 в зерне пшеницы зависит от обеспеченности почвы азотом, подвижным фосфором и сбалансированностью минерального питания почвы. Поэтому оптимизация минерального питания озимой пшеницы приводит к регулированию процессов накопления нитратного азота в зерне.

Наиболее продуктивным и экономически выгодным является вариант с внесением в почву N₁₀₅P₅₀, при котором обеспечивается получение 10063 руб. с 1 га чистого дохода по сорту Гром и 19513 руб. по сорту Сила. На этом же варианте обеспечивается и максимальная энергетическая эффективность, при затратах дополнительной энергии 5,8 ГДж/га получена продукция, содержащая 12,61 ГДж/га.

Список литературы

1. Исмаилов А.Б., Мансуров Н.М. Продуктивность сортов озимой пшеницы различной селекции в условиях равнинной зоны

Республики Дагестан// Проблемы развития АПК региона.- Махачкала, 2014. –№2 (18).-С. 19-22.

2. Исмаилов А.Б., Мукайлов М.Д., Юсуфов Н.А., Мансуров Н.М. Эффективность возделывания озимой пшеницы в зависимости от применения удобрений // Проблемы развития АПК региона. - Махачкала, -2015. -№1(21)С. 11-14.

3. Исмаилов А.Б., Гимбатов А.Ш., Муслимов М.Г., Омарова Е.К. Алимурзаева Г.А. Влияние уровня минерального питания на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в равнинной зоне Дагестана//Проблемы развития АПК региона.- Махачкала, 2015. -№4(24)С. 17-20.

4. Исмаилов А.Б., Гимбатов А.Ш., Мансуров Н.М. Оптимизация минерального питания озимой пшеницы в равнинной зоне Дагестана / в сборнике материалов Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию чл.-корр. РАСХН, Заслуженного деятеля РСФСР и РД, профессора М.М. Джамбулатова: Инновационное развитие аграрной науки и образования. - Махачкала, 2016. С. 434-438.

5. Исмаилов А.Б., Гимбатов А.Ш., Алимурзаева Г.А., Омарова Е.К. Качественные показатели зерна озимой пшеницы в зависимости от минеральных удобрений и плодородия почвы // Вестник АПК Ставрополя. – 2017. - №1 (25) С. 13-133.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ ОСНОВАНИЯ НАСЫПИ В СЕВЕРНОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

Гавриленко Татьяна Валентиновна
канд. техн. наук, доцент
Сибирский федеральный университет
г. Красноярск
Иванова Ольга Анатольевна
магистрант
Сибирский федеральный университет
г. Красноярск

APPLICATION OF A PROBABLE APPROACH TO EVALUATION RELIABILITY OF EMBANKMENT BASE IN NORTH CLIMATE ZONE

Gavrilenko Tatyana
Candidate of Science, associate professor
Siberian Federal University,
Krasnoyarsk
Ivanova Olga
Undergraduate
of Siberian Federal University,
Krasnoyarsk
DOI: [10.31618/nas.2413-5291.2020.1.54.190](https://doi.org/10.31618/nas.2413-5291.2020.1.54.190)

Аннотация

Обосновывается необходимость применения вероятностного подхода к оценке устойчивости насыпи в зоне распространения многолетнемёрзлых грунтов. Сформулированы критерии отказа земляного полотна, проектируемого по второму принципу. Предложены пути вычисления количественной оценки безотказной работы сооружения.

Abstract

The necessity of applying a probabilistic approach to the assessment of the stability of the embankment in the zone of permafrost. The criteria for failure of the roadbed, designed according to the second principle, are formulated. Proposed ways to calculate the quantitative assessment of the failure-free operation of the structure.

Ключевые слова: основание насыпи, устойчивость откосов, второй принцип проектирования, многолетнемёрзлые грунты, критерии отказа, вероятность безотказной работы

Keywords: embankment base, stability of slopes, second principle of design, permafrost soils, failure criterion, reliability function

Возведение земляного полотна автомобильных дорог в зоне распространения многолетнемёрзлых грунтов приводит к изменению мерзлотно-грунтовых условий в основании насыпи. В результате оттаивания мёрзлых грунтов может происходить неравномерная осадка земляного полотна, вызывающая нарушение устойчивости земляного полотна и деформацию дорожной одежды [4,7,9]. Данные события приводят к отказу автомобильной дороги – потере способности сооружения выполнять требуемую функцию, т. е. невозможности обеспечить безопасное движение автомобильного транспорта с заданной расчётной скоростью.

Известно, что в зоне распространения многолетнемёрзлых грунтов применяют три принципа проектирования земляного полотна [9]. Первый принцип предусматривает сохранение основания насыпи в мёрзлом состоянии в течение всего периода эксплуатации дороги. Второй допускает частичное оттаивание грунта под

подошвой насыпи. А при использовании третьего принципа предусматривается возведение насыпи после предварительного оттаивания многолетнемёрзлых грунтов и их осушения в пределах дорожной полосы. В зависимости от применяемого принципа проектирования земляного полотна могут быть сформулированы различные критерии отказа сооружения. В соответствии с [5] критерий отказа – это заранее оговорённые признаки нарушения работоспособного состояния, по которым принимают решение о факте наступления отказа.

При проектировании земляного полотна по второму принципу его общую устойчивость оценивают по трём критериям [9]. Первый критерий заключается в оценке разности величин осадки основания насыпи по двум створам. В этом случае отказом сооружения будет считаться событие, когда

$$h_{\text{доп}} < |\Delta S_{\text{осн}}|, \quad (1)$$

где $\Delta S_{\text{осн}}$ – разность осадок основания насыпи в вертикальных сечениях, проведённых по бровке земляного полотна и в средней части откоса; $h_{\text{доп}}$ – предельно допустимое значение разности осадок, равное 10 см.

Второй критерий накладывает ограничения на величину суммарной осадки сооружения. Отказом сооружения считается событие, при котором

$$S_{\text{доп}} < S, \quad (2)$$

где S – суммарная осадка насыпи и основания; $S_{\text{доп}}$ – допускаемая величина осадки, зависящая от типа дорожной одежды, условий её устройства, толщины нестабильных слоёв насыпи, а также принципа проектирования земляного полотна. Значения $S_{\text{доп}}$ приведены в [9].

Третий критерий заключается в оценке формы ореола оттаивания. Для обеспечения устойчивости насыпи необходимо, чтобы форма ореола оттаивания был выпуклой вверх, при этом граница между мёрзлой и талой зонами имела бы пологое очертание [9]. Тогда отказом будет считаться вогнутая (выпуклостью вниз) форма ореола оттаивания. В этом случае также можно математически сформулировать критерий отказа. Для этого обозначим участок, на котором возникает ореол оттаивания, отрезком $[a; b]$. Пусть $f(x)$ – функция, аппроксимирующая границу между талым и мёрзлым грунтом, аргумент которой принадлежит этому отрезку, т. е. $a \leq x \leq b$. Такой функцией может быть парабола. Тогда условие выпуклости вниз функции имеет вид:

$$f\left(\frac{x_1+x_2}{2}\right) \leq \frac{f(x_1)+f(x_2)}{2}, \quad (3)$$

где x_1 и x_2 любые две точки из интервала $[a; b]$. Геометрически это означает, что середина любой хорды графика функции $f(x)$ лежит либо над графиком, либо на нём [8].

Если аппроксимирующая функция дважды дифференцируема на интервале, то для того чтобы она была выпуклой вниз, необходимо и достаточно, чтобы в пределах интервала $[a; b]$ её вторая производная была неотрицательной, т. е.

$$f''(x) \geq 0. \quad (4)$$

Отказ сооружения в результате нарушения его общей устойчивости представляет собой событие-следствие, имеющее место, если происходит хотя бы одно из трёх исходных событий, т. е. трёх видов отказов, описываемых критериями (1), (2) и (4).

При исследовании устойчивости земляного полотна, возведённого в зоне распространения многолетнемёрзлых грунтов, оперируют факторами, которые по своей природе являются случайными. Прежде всего, это климатические, грунтовые и гидрологические условия, определяющие характеристики грунтов (влажность, плотность, модули упругости, сопротивление сдвигу). Неопределённость в

назначении расчётных характеристик также связана с движением талой воды в грунтах, неизбежными погрешностями лабораторных исследований грунтов, схематизацией явлений при расчётах. И, наконец, источником неопределённостей могут быть сами критерии отказов.

Таким образом, при оценке устойчивости насыпи наиболее логичным представляется использование вероятностного подхода. Вероятность отказа сооружения по первому критерию определится, как вероятность выполнения условия (1), т. е. $P_1 = P(h_{\text{доп}} < |\Delta S_{\text{осн}}|)$. Вероятность отказа, вызванного превышением суммарной осадки допустимого значения, $P_2 = P(S_{\text{доп}} < S)$. Вероятность отказа, оцениваемого по третьему критерию, может быть вычислена, как вероятность выполнения условия (4), т. е. $P_3 = P(f''(x) \geq 0)$.

Данные события не являются стохастически независимыми, поэтому вероятность отказа сооружения может быть вычислена по формуле

$$P = P \sum_{j=1}^3 P_j \sum_{k=1}^3 (P_{ik} \sum_{j=1}^k P_{jk} P_j)_{i,\max}, \quad (5)$$

где $P_{j,\max}$ – максимальное значение из P_1, P_2 и P_3 ; P_{ik}, P_{jk} – условные вероятности возникновения i -го и j -го событий при условии реализации k -го сочетания j -х событий ($j \neq i$) [2].

В качестве меры надёжности насыпи можно принять вероятность безотказной работы, вычисляемую по формуле

$$H = 1 - P. \quad (6)$$

При получении вероятностей отказов используют различные методики. Если факторы, влияющие на отказ сооружения, являются стохастически определяемыми, то вероятности находят по законам распределения, оценки которых получают по статистическим данным многолетних наблюдений или серии экспериментов.

Параметры распределения факторов нестохастической природы, представляющих собой функции статистически определяемых аргументов, устанавливают на основе рандомизации уравнений связи. При рандомизации уравнений связи могут использоваться различные приёмы, наибольшее распространение среди которых получили метод статистических испытаний (Монте-Карло) и метод статистической линеаризации [1-3]. Для вероятностной оценки неопределённого показателя используют теорию нечётких множеств или методы экспертных оценок [6, 10].

Таким образом, в результате исследований:

- сформулировано понятие отказа автомобильной дороги как потери способности сооружения выполнять свою функцию – обеспечивать безопасное движение

автомобильного транспорта с заданной расчётной скоростью;

- назначены критерии отказа насыпи, проектируемой в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов по второму принципу;
- предложена мера надёжности сооружения, как вероятность безотказной работы насыпи;
- приведена формула для вычисления вероятности отказа насыпи, учитывающая три критерия.

Литература:

1. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надёжности в расчетах сооружений. – М.: Стройиздат, 1971 – 256 с.
2. Векслер А.Б. Надёжность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятие решений /А.Б. Векслер, Д.А. Ивашинцов, Д.В. Стефанишин. – СПб.: Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2002. – 592 с.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М. Наука, 1991. – 384 с.
4. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд /под ред. И.А. Золотаря, Н.А.

Пузакова, В.М. Сиденко. – М.: Транспорт, 1971 – 416 с.

5. ГОСТ Р 27.002-2015 Надёжность в технике (ССНТ). Термины и определения. – М., Госстандарт. – 24 с.

6. Джарратано Д. Экспертные системы: принципы разработки и программирование/ Д. Джарратано, Г. Райли; пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2007. – 1152 с.

7. Земляное полотно автомобильных дорог в северных условиях / под ред. А.А. Малышева. – М.: Транспорт, 1974. – 186 с.

8. Математическая Энциклопедия /под ред. И.М. Виноградова. – М.: Советская Энциклопедия, 1977. Т.1. – 1152 с.

9. ОДМ 218.2.094-2018. Методические рекомендации по проектированию земляного полотна автомобильных дорог общего пользования из местных талых и мерзлых переувлажненных глинистых и торфяных грунтов в зонах распространения многолетнемерзлых грунтов /Федеральное дорожное агентство (Росавтодор). – М., 2018. – 49 с.

10. Пегат А. Нечёткое моделирование и управление /А. Пегат; пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 798 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ НЕКОТОРЫХ АСПЕКТОВ ИСПАРИЕНИЯ КОНДЕНСАТА «СУХИМ» УГЛЕВОДОРОДНЫМ ГАЗОМ В БОМБЕ PVT

Гамидов Натиг Нейман

*Кандидат технических наук, доцент,
НИПИ "Нефтегаз", SOCAR,
Азербайджанской Республики*

EXPERIMENTAL INVESTIGATION INTO SOME OF THE ASPECTS OF CONDENSATE EVAPORATION WITH A "DRY" HYDROCARBON GAS IN THE PVT BOMB

Hamidov Natig Neyman

*PhD of technical sciences, associated professor,
"OilGasScientificResearchProject"
Institute of State Oil Company of Azerbaijan Republic (SOCAR)
DOI: [10.31618/nas.2413-5291.2020.1.54.193](https://doi.org/10.31618/nas.2413-5291.2020.1.54.193)*

Аннотация

В данной статье изучаются показатели процесса воздействия на призабойную зону газоконденсатной скважины «сухим» газом в разных термобарических условиях. Эксперименты проводились в бомбе pVT, в целях устранения влияния других факторов в полученных результатах. Исследования изучают изменения физико-химических и термодинамических свойств флюидов, а также зависимость величины испарившегося конденсата от температуры, плотности конденсата и количества контактов. Полученные данные представляют основу для решения некоторых вопросов при повышении продуктивности добывающих скважин.

Abstract

The paper investigates the indicators of the down hole zone stimulation process on gas-condensate well by applying "dry" natural gas in different thermo-baric conditions. The designed experimental investigation has been carried out in pVT bomb for eliminating different unnecessary factors may impact on obtained results. Investigation considered the dependences of the physicochemical and thermodynamic properties of fluids, as well as the rate of evaporated condensate on temperature, condensate density, and the number of contacts. The data obtained provide valuable directions for optimizing well productivity.

Ключевые слова: углеводородная система, газоконденсатное месторождение, испарение конденсата, призабойная зона, конденсатосодержание, начало конденсации.

Keywords: hydrocarbon system, gas-condensate field, condensate evaporation, bottom-hole zone, condensate-gas ratio, dew point.

Введение

Известно, что конденсатоотдача в газоконденсатных залежах, эксплуатирующихся в режиме истощения, не превышает 30-40% от начальных запасов [3, 5-8]. Например, коэффициент конденсатоотдачи по залежи VII горизонта глубокозалегающего газоконденсатного месторождения Булла-дениз Азербайджана не превышает 30%. В связи с этим, значительное количество конденсата остается в пласте неизвлеченным [2, 4].

В целях извлечения осевшего конденсата применяются различные методы, в том числе и метод воздействия на призабойную зону скважины газами, состоящими из «сухого» углеводородного или широкой фракции легких углеводородов, таких как пропан-бутан [2, 6, 9-12]. В целях снижения потребности в углеводородном газе, в некоторых случаях в него добавляют определенное количество азота или углекислого газа [1,5].

В лабораторных условиях нами проведены многочисленные эксперименты [1, 2, 9] по изучению испаряемости выпавшего конденсата газами различного состава, в том числе «сухого» углеводородного, физической основой которой является испарение выпавшего конденсата в присутствии газов, в которых жидкие углеводороды хорошо растворяются. При этом было установлено, что, несмотря на неоднократное

воздействие на конденсат газами различного состава, извлечь его полностью не представляется возможным. Указанная тенденция объяснялась тем, что по мере испарения легких фракций конденсата его плотность возрастает, а это требует закачки большого количества газа при более высоких давлениях [1, 2]. По вышеуказанным причинам проблема по-прежнему актуальна и находится в центре внимания исследователей.

В данной работе изучаются показатели процесса воздействия на призабойную зону газоконденсатной скважины «сухим» газом на разных термобарических условиях с учетом плотности конденсата, температуры и количества контактов. Эксперименты проводились в бомбе рVT, так как опыты с участием пористой среды являются весьма трудоемкими. Кроме того, здесь процесс изучается качественно, без каких-либо привязок полученных результатов к конкретным условиям разработки.

Экспериментальная установка и методика проведения экспериментов

Решение этой задачи, безусловно, возможно и с использованием существующих математических моделей, но как было отмечено выше, сложный характер фазовых превращений при разработке газоконденсатной залежи не позволяет отразить эти процессы точными математическими зависимостями [4-6].



Рисунок 1. Экспериментальная установка

С другой стороны, как показано в предыдущих работах, влияние пористой среды на показатели процесса испарения конденсата «сухим» углеводородным газом существенное [3]. Но проведение этих трудоемких экспериментов не всегда удается, и в связи с этим, ниже приведены результаты экспериментальных исследований по испарению конденсата различными газами в бомбе рVT (рис.1) на основе данной методологии [2].

В экспериментах давление в системе доводилось до величины, близкой к давлению, ожидаемому к концу разработки месторождения "Булла-дениз" (Азербайджан). Для конкретных

условий экспериментов оно было принято 12,0 МПа. При этом данный предел давления 12,0 МПа выбран на основе расчетов условий фонтанирования газоконденсатной скважины при устьевом давлении 1,5-2,0 МПа. Опыты по приведенной выше последовательности проводились вначале для значения температуры 60 °С.

Как было отмечено выше, при дифференциальном снижении давления от $P_{н.к.}$ (давление начала конденсации) до 12,0 МПа изучались составы газов и свойства жидкости в каждом шаге. А также проводили

хроматографические анализы (опыты проводились на хроматографе ЛХМ-8) составов газов сепарации и дегазации.

Анализ результатов экспериментальных исследований. Влияние различных параметров на испарение конденсата

Хроматографические анализы составов газов сепарации и дегазации показали, что содержание метана (C₁), этана (C₂) и пропана (C₃) как в составе газа дегазации, так и газа сепарации существенно не изменяется по мере снижения давления. Основные изменения происходят с более тяжелыми углеводородами, начиная с бутанов (C₄), и наблюдается рост их содержания как в составе газа

сепарации, так и газа дегазации по мере снижения давления.

Наблюдается некоторое изменение в свойствах конденсата в процессе дифференциального снижения давления (табл.1). Здесь речь идет о жидких углеводородах, улавливаемых в сепараторе в процессе снижения давления. В табл.1 показано изменение плотности, молекулярной массы (M_к) конденсата и конденсатосодержания (C) при снижении давления от давления начала конденсации (P_{н.к.}) до 12,0 МПа, и, как ожидалось, эти показатели конденсата имеют тенденцию снижения в зависимости от давления.

Таблица 1

Изменение физических свойств конденсатов в процессе дифференциальной конденсации

N/N	Интервал снижения давления, МПа	ρ _к , кг/м ³	M _к	C, (г/м ³)
T = 60°C				
1	29,4-24,0	746,9	107	132.0
2	24,0-18,6	740,4	101	100.7
3	18,6-12,0	734,1	98	41.7
4	12,0-12,0	727,5	95	21.0
T = 80°C				
1	25,8 - 22,8	741,7	102	182
2	22,8 - 19,8	738,4	100	147
3	19,8 - 16,2	734,2	98	110
4	16,2 - 12,0	729,2	96	104
5	12,0 - 12,0	725,4	94	44
T = 100°C				
1	22,8 - 19,2	742,5	104	175.5
2	19,2 - 15,6	737,6	99	127.3
3	15,6 - 12,0	732,4	97	94.6
4	12,0 - 12,0	727,7	95	56.3
T=120°C				
1	20,8-16,4	743,0	104	190
2	16,4-12,0	738,6	100.5	163.5
3	12,0-12,0	732,0	96.5	100.8

Результаты опытов хорошо согласуются с общепринятой практикой разработки газоконденсатных месторождений на режиме истощения, при котором плотность конденсата и конденсатосодержание по мере падения давления снижаются.

Перед началом экспериментов по исследованию испаряемости конденсатов при воздействии на них "сухим" углеводородным газом изучались свойства оставшейся в бомбе системы после завершения цикла ее истощения. Отметим, что в подобной постановке эксперименты нами проводились впервые.

Эксперименты по изучению испаряемости конденсата, оставшегося в бомбе pVT после достижения давления 12,0 МПа, проводились при контактировании системы с "сухим" углеводородным газом, с составом и свойством: C₁-91.15; C₂-6.78; CO₂-0.14; C₃-1.1; iC₄-0.26; nC₄-0.32; iC₅-0.12; nC₅-0.09; ΣC₆-0.04; C₅₊-7.7г/м³; γ-

0,7347г/м³. Как видно, в составе газа содержание метана достигает более 91%, а содержание более тяжелых - небольшое. Природный газ имеет в своем составе около 0,14 % углекислого газа.

Таким образом, «сухой» газ контактировал с пластовой системой и находился определенное время с ним в равновесии, после чего "добытый" из бомбы pVT жирный газ пропусклся через сепаратор, где он разделялся на сухой газ и конденсат, определялись состав сухого газа, молекулярная масса и плотность конденсата, рассчитывалось конденсатосодержание жирного добытого газа.

Представляет интерес исследование кратности контакта "сухого" газа с конденсатом при дальнейшей добыче жирного газа, т.е. при моделировании процесса испарения конденсата. В опытах количество циклов определялось исходя из содержания улавливаемого в сепараторе конденсата в каждом цикле, т.к. его количество

должно быть достаточно для проведения стандартных физико-химических исследований свойств жидкой фазы. А также получены результаты анализа составов газов сепарации и дегазации при многократном испарении конденсата в условиях воздействия "сухим" газом. Оказалось, что при $t=60^{\circ}\text{C}$ содержание C_2 как в составе газа сепарации, так и газа дегазации растет, а, начиная с пропана, содержание остальных, включая C_{5+} , снижается.

Изучались физико-химические свойства оставшегося в бомбе «остатка» жидкости после завершения процесса испарения и, как показали наблюдения, ее свойства существенно отличаются от начальных. Таким образом, в результате неоднократного испарения жидкого в пластовых условиях конденсата «сухим» углеводородным газом можно добыть 19% оставшегося в бомбе pVT ретроградного конденсата при температуре 60°C . Выше были представлены некоторые результаты исследований испаряемости конденсата при

контакте с "сухим" углеводородным газом при температуре 60°C . В связи с тем, что данная величина температуры существенно ниже пластовой месторождения Булла-дениз, из которого взята проба системы (пластовая температура около 105°C), опыты по приведенной выше последовательности повторялись и для значений температур 80, 100, 120°C , и изучалось их влияние на данный процесс.

Проведение исследований при температурах, отличающихся от пластовой, было вызвано необходимостью качественного описания процесса изменения физико-химических и термодинамических свойств флюидов, а также величины испарившегося конденсата (q_k) в зависимости от температуры. Таким образом, моделировался процесс испарения конденсата в присутствии "сухого" углеводородного газа при неоднократном их контакте в условиях изменяющейся температуры.

На рис.2 показаны контактные изотермы конденсации при температурах 60, 80, 100 и 120°C .

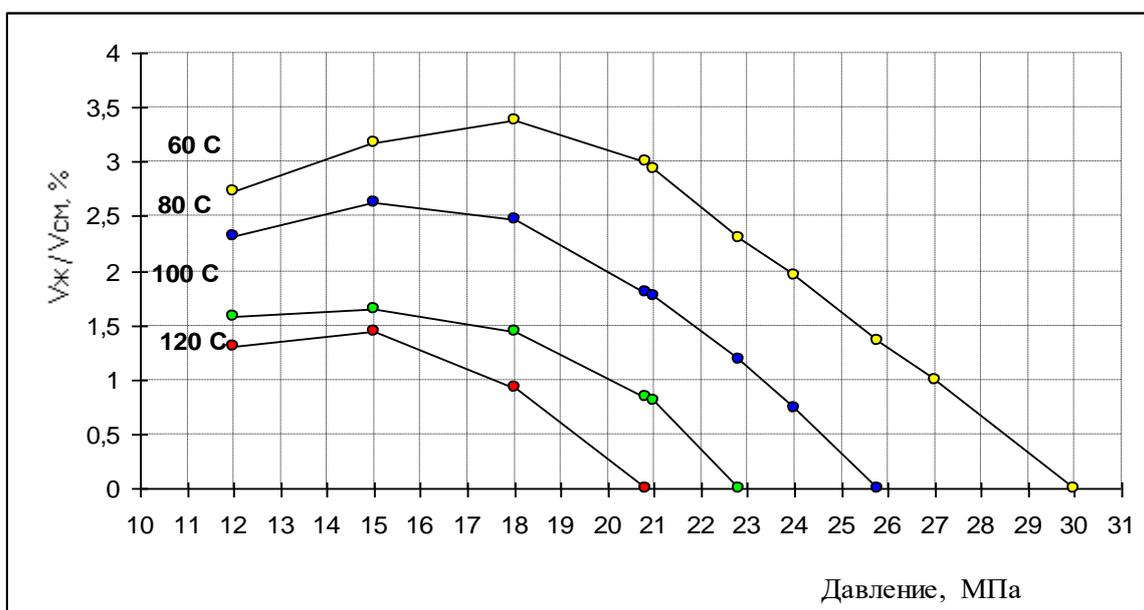


Рисунок 2. Контактные изотермы при различных температурах

Как видно из рис.2, с ростом температуры давление начала конденсации ($P_{н.к.}$) снижается. При этом отмечается близкий к прямолинейному темп снижения $P_{н.к.}$ в зависимости от температуры. Здесь представляет интерес количественная оценка этих изменений, для чего полученные на рис.2 данные обрабатывались в виде зависимости $V_{ж}/V_{см} = f(P_{н.к.})$.

Как видно из результатов зависимости $P_{н.к.}$ от температуры, максимальный темп снижения

давления около 4,2 МПа отмечен в интервале температур 60-80 $^{\circ}\text{C}$, а при дальнейшем росте температуры от 80 до 120 $^{\circ}\text{C}$ значение $P_{н.к.}$ снижается незначительно (около 1,0 МПа/ $^{\circ}\text{C}$). При дифференциальном снижении давления от $P_{н.к.}$ до 12,0 МПа изучались составы газов и свойства жидкости в каждом шаге. В связи с тем, что законы изменения свойств флюидов от давления были почти идентичными.

Таблица 2

Сведения о составе системы после завершения процесса истощения

Компоненты (г/м ³)	Температура, °С.			
	60	80	100	120
C ₂	136,8	111,5	107,2	96,3
C ₃	87,5	61,4	56,8	44,5
ΣC ₄	81,6	63,0	57,6	42,3
C ₅₊	2672,7	2395,7	2352,1	1725,6

Как было отмечено выше, исследовались свойства и состав газоконденсатной системы, оставшейся в бомбе рVT после завершения цикла дифференциальной конденсации в зависимости от температуры. Результаты этих опытов приведены в табл.2, и, как видно из данной таблицы, с ростом температуры содержание C₂ - C₅₊ в остатке снижается.

Таким образом, составы систем, указанные в табл.2, приняты нами как начальные при

воздействии на оставшийся в пласте жидкий конденсат "сухим" углеводородным газом в целях увеличения количества испарившегося конденсата при различных температурах. Как показали исследования, почти во всех рассмотренных температурах наблюдается рост плотности "добываемого" конденсата (ρ) по мере повышения количества циклов контактов, что сопровождается снижением конденсатосодержания (C).

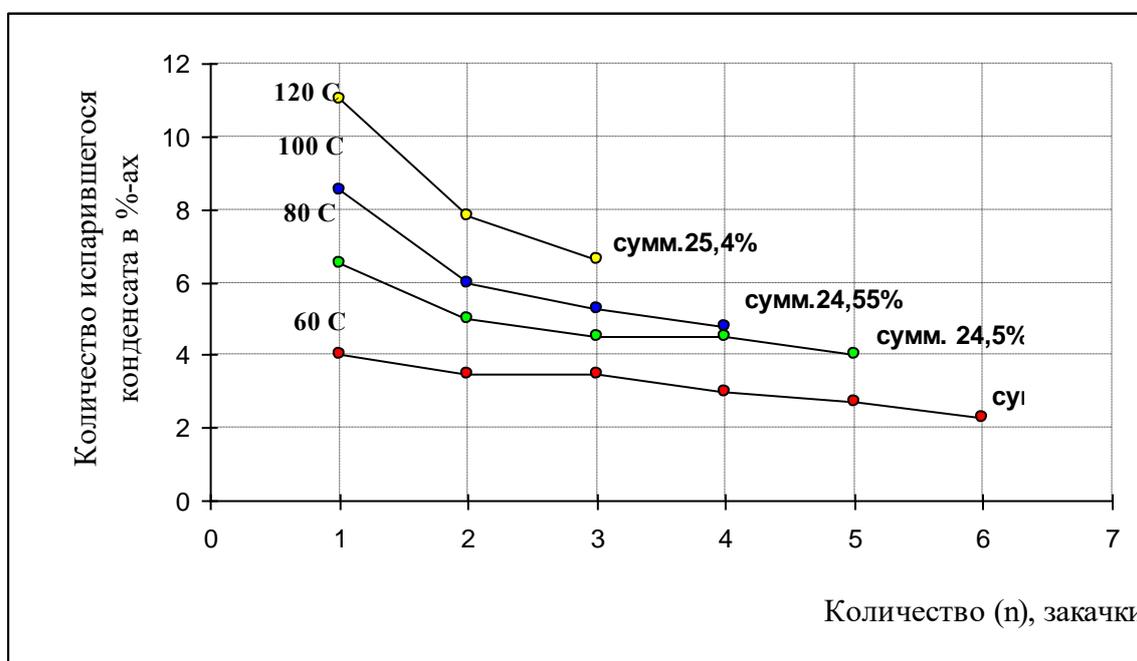


Рисунок 3. Зависимость количества испарившегося конденсата от количества контакто

В зависимости от температуры количество циклов контактов изменяется прямолинейно, где показано, что двукратный рост температуры приводит к двукратному снижению количества циклов контактов "сухого" газа с жидким конденсатом. На рис.3 показано изменение количества испарившегося конденсата в зависимости от количества циклов контактов при различных температурах.

Напомним, что здесь речь идет только о дополнительном количестве конденсата за счет воздействия на оставшуюся его часть "сухим" газом при постоянном давлении 12 МПа и температурах 60, 80, 100, 120°С. Как видно из рис.3,

влияние температуры на величину количества испарившегося конденсата (q_к) системы существенное. Так, если значение q_к при температуре 60°С равно 19%, то при температуре 120°С значение (q_к) повышается до 25,4%.

Исследовались свойства и состав оставшейся в бомбе жидкости после завершения процесса воздействия на нее "сухим" газом (табл.3). Как видно из таблицы, с ростом температуры плотность оставшейся жидкости в бомбе возрастает, что показывает на более глубокое изменение состава конденсата в зависимости от температуры. И как следствие, сказанное приводит к росту количества испарившегося конденсата с ростом температуры.

Таблица 3

Изменение свойств "остатка" конденсата в зависимости от температуры

Свойства "остатка"	Температура, °С.			
	60	80	100	120
Плотность, кг/м ³	783,5	789,3	790,9	793,2
Молекулярная масса	107.5	143	146	149

Исследовалось влияние плотности конденсата на его испаряемость в присутствии "сухих" углеводородных газов. В связи с трудоемкостью экспериментов, они проводились только при температуре 100°С без добавки в систему азота или углекислого газа. В связи с тем, что в условиях месторождения "Булла-дениз" плотность конденсата, добываемого из скважин VII горизонта, изменяется в небольших пределах, нами при изменении плотности конденсата использован более тяжелый конденсат из скв.56 VIII горизонта.

Для получения необходимой величины плотности конденсата его добавляли в конденсат из скв. 46. Здесь вопрос о различии в физико-химических свойствах конденсатов скважин VII и VIII горизонтов нами во внимание не принимался, так как цель экспериментов заключалась в качественном изучении влияния плотности конденсатов на процесс испаряемости в присутствии «сухих» углеводородных газов. Результаты исследований показаны в виде зависимости количества испарившегося конденсата от количества контактов и плотности конденсата (рис.4) .

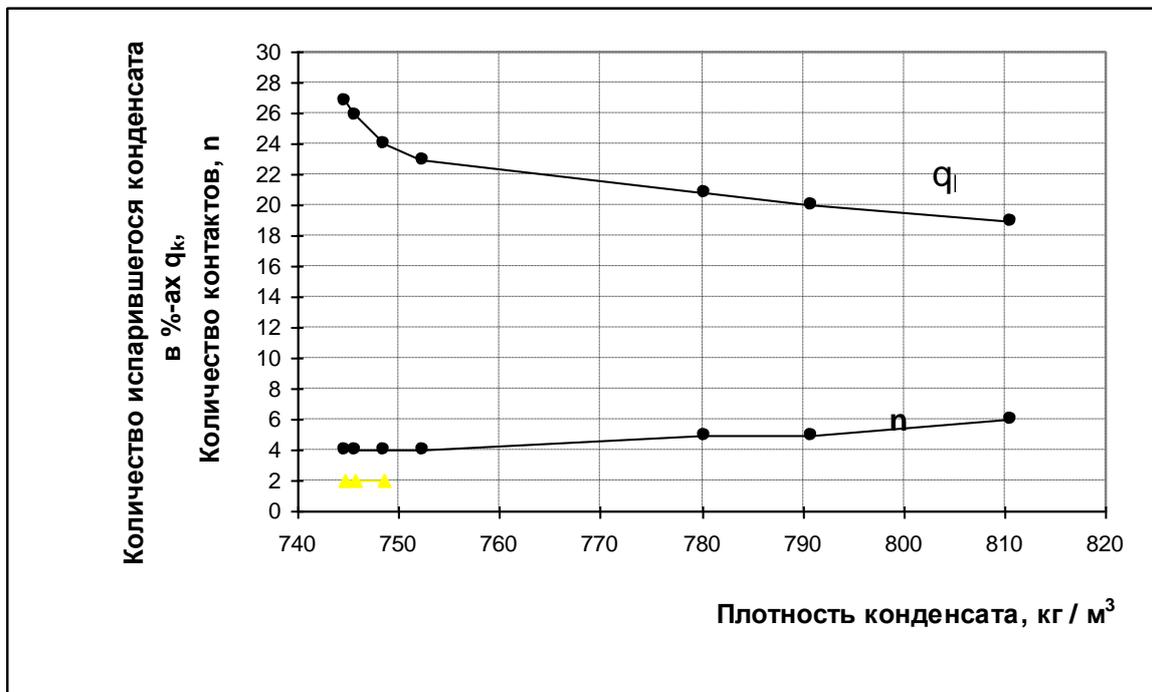


Рисунок 4. Изменение количества испарившегося конденсата (q_k) и количества контактов (n) в зависимости от плотности конденсата

Как видно из рис.4, зависимость количества испарившегося конденсата (q_k) от плотности конденсата (ρ_k) в большом диапазоне плотности конденсата близка к линейной, а в интервале плотностей 740–755 кг/м³ кривая имеет изгиб. Можно обрабатывать эти данные в виде зависимости $q_k = f(\rho_k)$, но математическая связь не является универсальной, так как можно ожидать нарушение линейного участка данной кривой в области плотности конденсата, превышающей 810 кг/м³, из-за его плохой испаряемости. Как видно из рис.4, количество необходимых контактов для завершения процесса испарения зависит от плотности конденсатов почти прямолинейно.

Заключение

Экспериментально исследован процесс испарения ретроградного конденсата путем воздействия на него «сухим» углеводородным газом с учетом влияния термодинамического условия - температуры, давления, количества контактов и плотности конденсата.

Показано, что с ростом температуры давление начала конденсации снижается, и это оказывает существенное влияние на испарение конденсата «сухим» углеводородным газом.

Выяснено, что зависимость количества циклов контактов воздействия на конденсат «сухим» углеводородным газом от температуры изменяется

обратно пропорционально. Другими словами, двукратный рост температуры приводит к двукратному снижению необходимого количества циклов контактов “сухого” газа с жидким конденсатом.

Определена зависимость количества испарившегося конденсата от плотности конденсата, и показано, что при большой плотности ($755-810 \text{ кг/м}^3$) она близка к линейной, а при малой плотности ($740-755 \text{ кг/м}^3$) кривая имеет параболический характер.

Список литературы

1. Абасов М.Т., Аббасов З.Я., Абасов Ш.Д., Гамидов Н.Н. Влияние неуглеводородных компонентов на давление начала конденсации природных систем // «Газовая промышленность», 2000. №1, с.17-18.
2. Абасов М.Т., Аббасов З.Я. Гамидов Н.Н. Экспериментальное исследование испаряемости конденсата «сухим» углеводородным газом, содержащим азот // Изв.АН Азерб.,серия Науки о Земле, №2, Баку, 1999, с.102-110.
3. Абасов М.Т., Аббасов З.Я., Джалалов Г.И., Фейзуллаев Х.А., Фаталиев В.М., Гамидов Н.Н., Изабакиров М. Влияние пористой среды на испаряемость конденсата при воздействии сухим углеводородным газом // Доклады РАН. 2005. том 405, №3, с.368-370.
4. Абасов М.Т., Аббасов З.Я., Фаталиев В.М., Гамидов Н.Н., Мамедова Г.Г. и др. О фазовых превращениях при разработке газоконденсатных залежей // РАН, 2009, № 6, 427 том, с. 802-805.
5. Гриценко А.И., Ремизов В.В. Руководство по восстановлению продуктивности газоконденсатных скважин. ВНИИГаз, М., 1995, 65 с
6. Изюмченко Д.В., Лапшин В.И., Николаев В.М. и др. Конденсатотдача при разработке нефтегазоконденсатных залежей на истощение // Газовая промышленность, М., №1, 2010, с. 24-27.
7. Краснова Е.И. Исследование влияния геолого-физических особенностей залежей на конденсатотдачу в процессе разработки месторождений углеводородного сырья. Дис. ...канд. тех. наук. Тюмень, 2014, 121 с.
8. Мирзаджанзаде А.Х., Кузнецов О.Л., Басниев К.С., Алиев З.С. Основы технологии добычи газа. Москва: ОАО Недр, 2003, 880 с.
9. Fataliyev V.M., Hamidov N.N. Effective “Vaporizer” for Recovering Retrograde Hydrocarbon Condensate from a Gas-Condensate Reservoir // International Journal of Petrochemical Science & Engineering, 2017, vol.2, iss.6, p.p.1-7.
10. Meng X., Sheng J. Experimental and numerical study of huff-n-puff gas injection to re-vaporize liquid dropout in shale gas condensate reservoirs // Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2016, v. 35, part A, p.p. 444-454.
11. Sharma Sh., Sheng J. Comparison of huff-n-puff gas injection and solvent injection in large-scale shale gas condensate reservoirs // Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2018, v. 52, p.p. 434-453.
12. Sheng J., Mody F., Griffith P., Barnes W. Potential to increase condensate oil production by huff-n-puff gas injection in a shale condensate reservoir // Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2016, v. 28, p.p. 46-51.

СПОСОБ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ СЛЕЖЕНИЯ КАЖДОГО КОНЦЕНТРАТОРА (ГЕЛИОСТАТА) ЗА СОЛНЦЕМ БОЛЬШОЙ СОЛНЕЧНОЙ ПЕЧИ

Орлов Сергей Александрович

Доктор философии и физико-математических наук

Старший научный сотрудник

Физико-технический институт

академии наук республики Узбекистан

город Ташкент

METHOD FOR EVALUATING THE ACCURACY OF TRACKING EACH HUB (HELIOSTAT) FOR THE SUN OF A LARGE SUNGEN FURNACE

Orlov Sergey Aleksandrovich

Doctor of Philosophy(PhD)

Physical and mathematical science

Senior Researcher

Institute of Physics and Technology

Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

Tashkent city

DOI: [10.31618/nas.2413-5291.2020.1.54.184](https://doi.org/10.31618/nas.2413-5291.2020.1.54.184)

Аннотация

Рассмотрен способ оценки величины дефукосировки каждого концентратора (гелиостата) при работе Большой солнечной печи, путем измерения диапазона отклонения отраженного пятна на параболическом зеркале концентратора. Приведена формула расчета дефукосировки концентратора (гелиостата) по вертикали и горизонтали.

Abstract

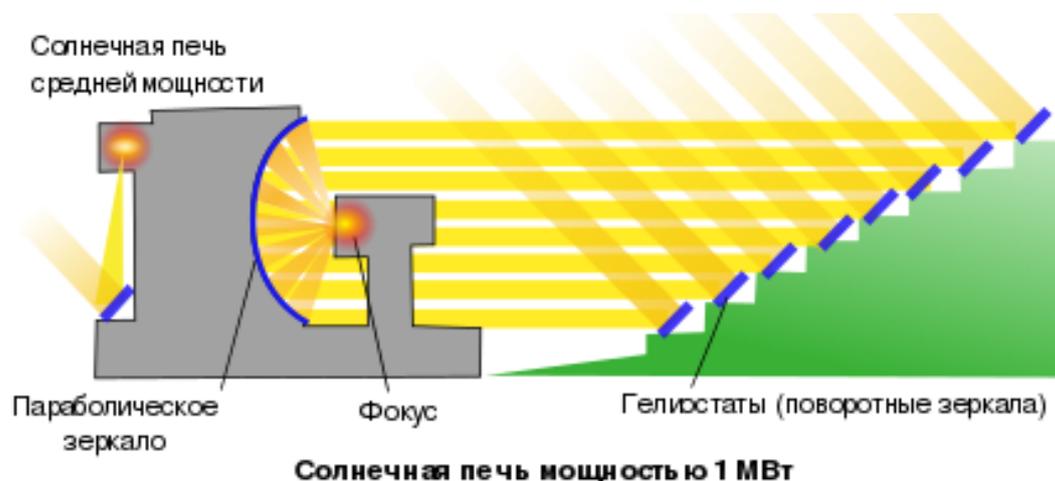
A method for estimating the defocusing value of each concentrator (heliostat) during operation of the Large Solar Furnace by measuring the range of deviation of the reflected spot on the parabolic mirror of the concentrator is considered. The formula for calculating the defocusing of a concentrator (heliostat) vertically and horizontally is given.

Ключевые слова: Концентратор; гелиостат; солнечная печь; дефокусировка

Keywords: Concentrator; heliostat; solar furnace; defocus

Для понимания сути вопроса рассмотрим конкретный пример- Большую солнечную печь, расположенную в Узбекистане вблизи города Ташкента. Данный солнечный комплекс является одним из крупных научно-исследовательских центров в мире по изучению способов получения новых материалов, а также влияние на свойства

полученных материалов при очень высоких температурах. Большая солнечная печь огромное техническое сооружение, состоящее из концентратора высотой 54 метра и шириной 47 метров, и гелиостатного поля, расположенного на противоположном склоне горы включающего в себя 62 гелиостата. [1].



В основу принципа работы заложена идея, при которой солнечные лучи, падающие на зеркала гелиостатов, расположенных на 8 полках противоположного склона, направляются на концентратор - большое вогнутое зеркало и отражаясь от его поверхности концентрируются в фокусе технологической башне. При оптическом слежении для правильного позиционирования гелиостата, перед каждым гелиостатом находится оптический датчик, который неподвижен, и его вектор всегда направлен в выделенную ему участок концентратора. При программном слежении, направление движения гелиостатом осуществляется путем определения углов поворотных механизмов используя программу определяющая углы азимута и высоты Солнца до 2050 года с точностью до нескольких угловых минут [2]. И индивидуальные характеристики каждого гелиостата - люфты поворотных механизмов, неверикальность азимутальной оси

вращения гелиостата и негоризонтальность зенитальной оси вращения гелиостата.

Как известно, при работе солнечной печи вследствие видимого движения Солнца, все концентраторы (гелиостаты) должны отслеживать это движение и точность слежения каждого концентратора (гелиостата) определяет эффективность солнечной установки. При этом, наряду с точностными характеристиками главного концентратора параболического зеркала, точность слежения является важным фактором, влияющих на концентрацию солнечного излучения - изменение облученности в фокусе и средней концентрации на приемнике. Индивидуальная точность слежения гелиостата характеризуется углом отклонения осевых солнечных лучей от оптической оси концентратора или от заданного направления - угол дефокусировки (α -по вертикали и β -по горизонтали). Дефокусировка приводит к смещению концентрированного пятна на приемнике.

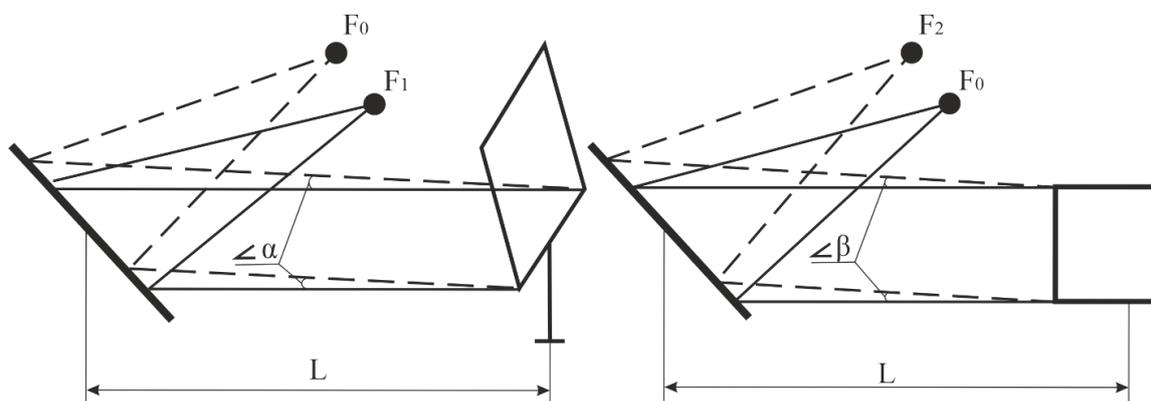


Рис.2 Углы горизонтальной и вертикальной дефокусировки гелиостата.

Учитывая индивидуальные характеристики каждого из 62 гелиостатов, а именно люфты поворотных механизмов, неперпендикулярность азимутальной оси вращения и негоризонтальность зенитальной оси эти данные вводятся в программное управление каждого гелиостата. В последующем требуется убедиться на сколько данные корректировки введены верно и на сколько угол дефокусировки гелиостата находится в заданных параметрах 4 угл.мин [3] и не влияет на общие характеристики солнечной печи.

Угол дефокусировки каждого гелиостата предлагается проверить следующим образом. В принципах работы солнечной печи заложено что отраженный поток солнечного потока попадает на строго обозначенное место на концентраторе, что гарантирует концентрацию этого потока в фокусе технологической башни. И независимо от траектории видимого движения солнца данное пятно на параболическом зеркале концентратора не должно смещаться, а если и смещается, то в тех пределах, которые не выходят за рамки допустимых углов дефокусировки.

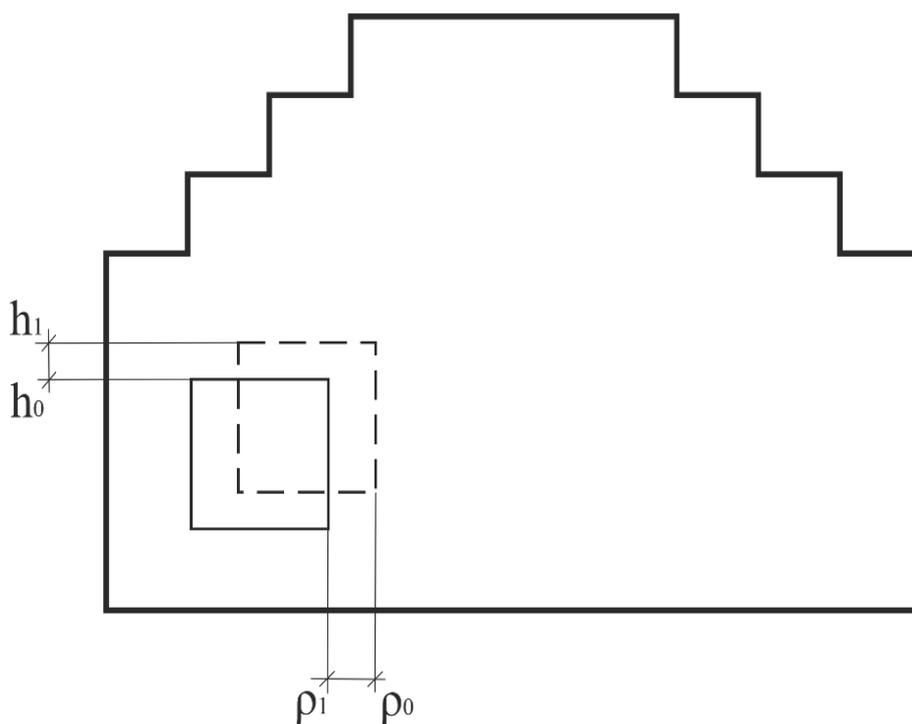


Рис.3 Отклонение отраженного пятна гелиостата на концентраторе.

Склавив в шахматном порядке гелиостаты, к основанию концентратора, исключается отражение солнечного потока на концентраторе от этих гелиостатов. Вторая же часть гелиостатов начинает работать в штатном режиме слежения за видимым движением солнца и тем самым на зеркале концентратора отражается пятно от гелиостата, с помощью камеры фиксируется это отражение. В течение солнечного дня возможно зафиксировать и оцифровать величину отклонения солнечного

пятна, тем самым рассчитываем углы дефокусировки каждого конкретного гелиостата по формуле;

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{\Delta h}{L}\right),$$

где α - угол дефокусировки гелиостата по вертикали, Δh - величина отклонения отраженного

пятна по вертикали которое зафиксировала камера, L - расстояние от гелиостата до концентратора,

$$\beta = \arcsin\left(\frac{\Delta s}{L}\right),$$

β - угол дефокусировки гелиостата по горизонтали, Δs -величина отклонения отраженного пятна по горизонтали, L-расстояние от гелиостата до концентратора.

С помощью данного метода производится оценка углов дефокусировки работы каждого гелиостата в течении всего дня, а именно в течении всего видимого движения солнца. Данный метод позволяет провести полную оценку работы гелиостата не зависимо от его способа управления

–будь то программный, оптический или комбинированный.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гелиокомплекс «Солнце» (рус.) // журнал. Архитектура СССР — М., 1988. — Март (№ 2). — С. 37-43.
- [2] Michalsky J. J. The Astronomical Almanac's Algorithm For Approximate Solar Position (1950-2050). Solar Energy. 1988. V 40
- [3] A.A. Abdurachmanov, S.A.Orlov, S.A. Bahramov, A.V. Burbo, Sh.I. Klychev, Kh.K. Fazilov. On Sun Tracking Accuracy of Concentrators /APPLIED SOLAR ENERGY USA , 2010. Vol 46, №46-P.316-318. [05.00.00;№4]

ENVIRONMENT CO & CO₂ EMISSIONS PROPOSED REDUCING MEASURES

Taranin Aleksandr G.

Ex.technical superintendent for trouble shooting of worldwide trading and repairing company PT. Goltens (New York, USA, branch office – Jakarta, Indonesia), Chief engineer of worldwide shipping company nternational Tanker Management (Dubai, UAE), PhD, docent of F.F.Ushakov State Maritime University «Ship Power Plant Operation» department (F.F.Ushakov State Maritime University, Novorossiysk, Russia).

Tel: +7 962 861 2522

DOI: [10.31618/nas.2413-5291.2020.1.54.185](https://doi.org/10.31618/nas.2413-5291.2020.1.54.185)

Annotation

The Diesel Engines (ICE) exhaust gas atmosphere noxious emissions reducing measures were introduced by the different editions and engine manufacturer publications already 25 years ago. Many of that have used up to present depend of its installation, usage and maintenance costs. For the mentioned above 25 years of emissions decreasing ways practical using on the vessels has identified it further usage consistency and profitability (efficiency). The atmosphere SO_x noxious emissions proposed decreasing way is directly connected with using fuel oil, i.e. at the fuel oil sulphur content decreasing the SO_x emission has decreasing too, that is task not for ship owners, but for petroleum-refining manufactures and bunkering companies. CO and CO₂ emissions decreasing is a corner task, as a fuel oil quality and lower calorific value are identified by the carbon & hydrogen content. Thus the fuel oil carbon and hydrogen content decreasing will bring to the decreasing of a quality and lower calorific value. Therefore all of this 25 years for the vessels diesel engines (ICE) exhaust gases CO & CO₂ emissions decreasing the energy efficiency task is stated. Our proposed way can allow to resolve the CO & CO₂ emissions decreasing task for the engines operation parts of loads and nominal loads.

Keywords: ICE (Diesel Engines) exhaust gas noxious emissions, carbon oxides, fuel oil Lower Calorific Value, emissions decreasing way, engine heat balance.

Introduction

The main reason of fuel oil incomplete combustion and exhaust gases toxicity increase, even at significant excess air ratio is bad mixture formation.

The fuel oil mixture failure is typical for the engine transient operating modes, specifically for ME running-in mode. Trial test data is showing that with engine load increasing a main constituent harmful substances concentration are listed above decreasing in exhaust gases. It is proved that with engine load increasing a carbon oxide concentration decreasing, afterwards it gets the stable condition before a certain limit value of mean effective pressure, but at overloading is slightly increases again. The nitrogen oxides concentration is continue to decreasing at mean effective pressure greater values.

Thereby, the exhaust gases minor toxicity is typical for full load mode. The engine operation

experience shows that big amount of harmful substances escapes at engine starting, specially when it is not sufficiently warmed-up. But it is impossible go without starting, reverse and operation with low load. Thereby, environment contamination is inescapably during the operation with these modes, but it is possible to reduce the operation duration with these modes.

1. ATMOSPHERE SO_x EMISSIONS REDUCING MEASURES

Using the ULSMGO – Ultra Low Sulphure Marine Gasoil with sulphure content:

- < 0.5% for worldwide application.
- < 0,1% for application in SECA areas (Sulphure Special Emission Control Areas).

Using dual-fuel engines, therefore it is required:

- Purchasing or designing and production a modern dual-fuel engines.

- Development and designing the gas fuel storage, transfer and supply to Diesel Engines systems.
- Development and designing the gas fuel storage, transfer and bunkering coast and float facilities.

2. ATMOSPHERE CO & CO₂ EMISSIONS REDUCING MEASURES

Using the engines with the highest efficiency.

- As far as possible with increased fuel injection timing.
- Using the engines with loads are closed to NCR = 85%MCR.
- The engine turbocharging modification for scavenging air excess supply at the engine operation under parts of load (forcing by scavenging air).
- Using the manufacturer original spare parts, influencing to the engine cylinders combustion process.
- To monitor on regular bases for the engine adjustment, which to be comply to manufacturer adjustment.

3. USING THE ENGINES WITH THE HIGHEST EFFICIENCY.

The given way can be proposed as idea, which can be proved only by the Diesel Engine preliminary heat calculation and its engine TC heat balance calculation, as well as touches one of listed above items such as – The engine turbocharging modification for scavenging air excess supply at the engine operation under parts of load (forcing by scavenging air).

1) Heightening the Diesel Engines efficiency by variation the values are influencing to the engine power:

$$N_{IND} = k \cdot P_{IND} \cdot n \cdot i \text{ (IP)}$$

where: $k = 1,745 \cdot D^2 \cdot S \cdot m$ – cylinder constant (-);

D – cylinder diameter (mtr);

S – piston stroke (mtr);

m – engine stroke factor (4–stroke $m = 2$, 2–stroke $m = 1$);

P_{IND} – mean – indicated pressure (kg/cm²);

n – engine speed (rpm);

i – number of cylinders (-).

$$\Rightarrow N_{IND} = k \cdot P_{IND} \cdot n \cdot i = 1,745 \cdot D^2 \cdot S \cdot P_{IND} \cdot m \cdot n \cdot i \text{ (IP)}$$

a) Heightening the power by the cylinder diameter increasing – D . The way have used around 50 years, that is bring to the largest diameter is 90cm for the engines MAN–B&W & SULZER and as a result to the engine weight increasing. Further cylinder diameter increasing has been not profitable.

b) Heightening the power by the piston stroke increasing – S . The way have used around 40 years, that is bring into generation the long stroke and super long stroke engines models such as LMC & SMC type of the MAN–B&W & SULZER manufacturer, and to the engine weight increasing too. Further piston stroke increasing has been not profitable.

c) Heightening the power by the engine speed increasing – n . The way is not logical for SSE & MSE (Slow speed engines & Medium speed engines).

d) Heightening the power by the cylinders number increasing – i . The way have used till the particular time, and bring to the engine weight increasing too. Further cylinders number increasing has been not profitable.

e) All above listed ways are possible to relate to energy efficiency increasing, as well as to increasing the engine indicated power, because of at constant mean–indicated pressure (a fuel oil constant consumption) it has increased an indicated power. Heightening the power by the mean–indicated pressure P_{IND} increasing can not relate to the energy efficiency increasing due to reason as follow. The mean–indicated pressure P_{IND} increasing can be achieved by the indicator diagram area increasing via building–up a maximum combustion pressure or via injection length and cylinder’s fuel oil combustion duration prolongation (via fuel oil cycle dosage and consumption raising). And that and other ways are not unlimited: by the maximum combustion pressure – due

to cylinder head and cylinder liner strength limitations, by the fuel oil injection length – due to exhaust gas temperatures increasing, i.e. due to exhaust gases heat loss, if not changing the valve timing and therefore the engine efficiency can remains as invariated.

f) Will approach to the engine energy efficiency and efficiency factor increasing from another side – will try to reduce the fuel oil injection length and cylinder’s fuel oil combustion process duration (to reduce the fuel oil cycle dosage and consumption) at constant mean–indicated pressure. Have achieved some positive results in this question solution, we will reached at the same time a reducing the emissions CO₂, CO и NO_x to the atmosphere due to fuel oil consumption reducing for the same power achievement. This way already 20 years ago has got its development via engine forcing by scavenging air pressure, have build–up it from 1.8 bar to 2.9÷3 bar. It is clear, as much air as possible take part in the fuel oil combustion, as more perfect the fuel oil combustion, then less the exhaust gases heat losses, then more a heat is go for effective power, more the combustion velocity, and therefore less the combustion duration (less exhaust gas temperature). Continue our proposal about scavenging air charge ratio build–up and the results follows from it in example of preliminary theoretical conclusions without Diesel Engines heat calculation and presented engine TC heat balance calculation.

2) Idea of scavenging air ratio increasing.

To examine the scavenging air ratio increasing idea in example of engine HYUNDAI MAN–B&W 6S50MC (MCR 11640 BHP & MS 127 RPM). The presented ME indicator diagram and indication main variables summary table are taken during the operation have introduced on the figure 1.

a) Engine speed: 116,3 rpm = 91,58% MS (maximum speed);

b) Engine indicated power: 10103 IP = 7431 IKW = 86,8% MCR;

c) Cylinders compression pressures:

$P_{COM}^1 = 105,42$ bar; $P_{COM}^2 = 104,39$ bar; $P_{COM}^3 = 102,65$ bar;

$P_{COM}^4 = 103,29$ bar; $P_{COM}^5 = 102,94$ bar; $P_{COM}^6 = 103$ bar; $P_{COM}^{AV} = 103,62$ bar;

d) Cylinders maximum combustion pressures:

$P_{MAX}^1 = 124,27$ bar; $P_{MAX}^2 = 121,91$ bar; $P_{MAX}^3 = 120,21$ bar;

$P_{MAX}^4 = 120,81$ bar; $P_{MAX}^5 = 122,99$ bar; $P_{MAX}^6 = 118,2$ bar; $P_{MAX}^{AV} = 121,4$ bar;

e) Scavenging air pressure: $P_{SC} = 2,01$ bar;

f) Fuel ignition timing: $\varphi_{INJ} = 2^{\circ}$ after TDC;

g) Shall visualize the engine forcing by a charge air and then variables changing on the given operating mode: therefore a cylinders compression pressures average value has reached a maximum combustion pressures average value $P_{COM}^{REC} = P_{MAX}^{AV} = 121,4$ bar (figure 2(b)):

– a required scavenging air pressure for estimated compression pressure achievement $P_{COM}^{REC} = 121,4$ bar:

$$\varepsilon^{n_1} = \frac{P_{COM}^{AV} + P_{AMB}}{P_{SC} + P_{AMB}} = \frac{103,62 + 1,017}{2,01 + 1,017} = 34,567889 \text{ (-) - absolute pressures ratio}$$

$$P_{SC}^{REC} = \frac{P_{COM}^{REC} + P_{AMB}}{\varepsilon^{n_1}} - P_{AMB} = \frac{121,4 + 1,017}{34,567889} - 1,017 = 2,52 \text{ (бар) - recommended scavenging air pressure for the ME forcing}$$

i.e. for compression pressure achievement from existing $P_{COM}^{AV} = 103,62$ bar up to recommended $P_{COM}^{REC} = 121,4$ bar, it is necessary to raise the scavenging air pressure at presented mode from $P_{SC} = 2,01$ bar up to $P_{SC}^{REC} = 2,5$ bar.

h) Will change the fuel oil injection timing, in order that ignition timing was not 2° after TDC, but significantly late on the expansion line for achievement the maximum combustion pressure with the same value as compression pressure $P_{MAX}^{REC} = P_{COM}^{REC} = 121,4$ bar (figure 2(b));

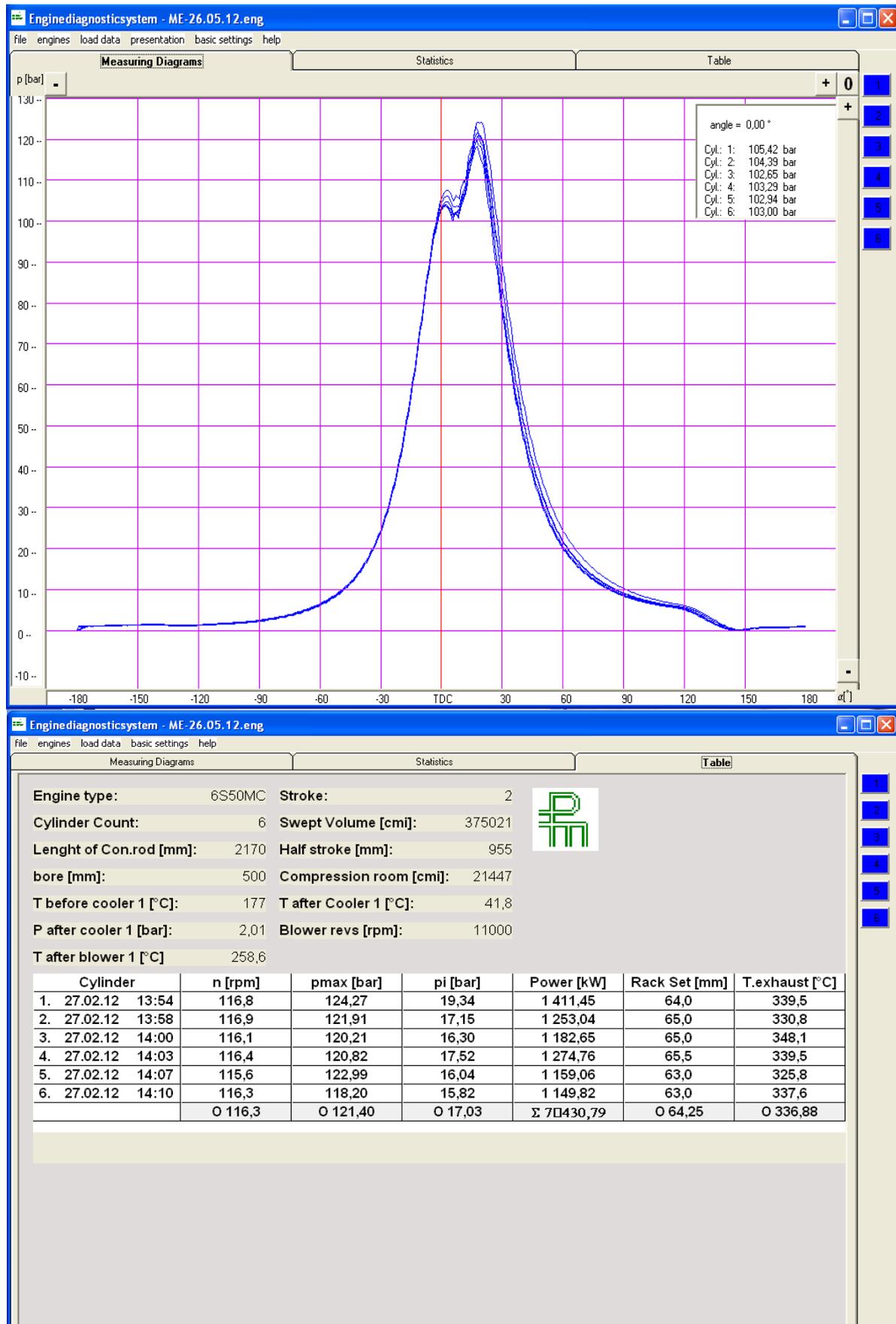
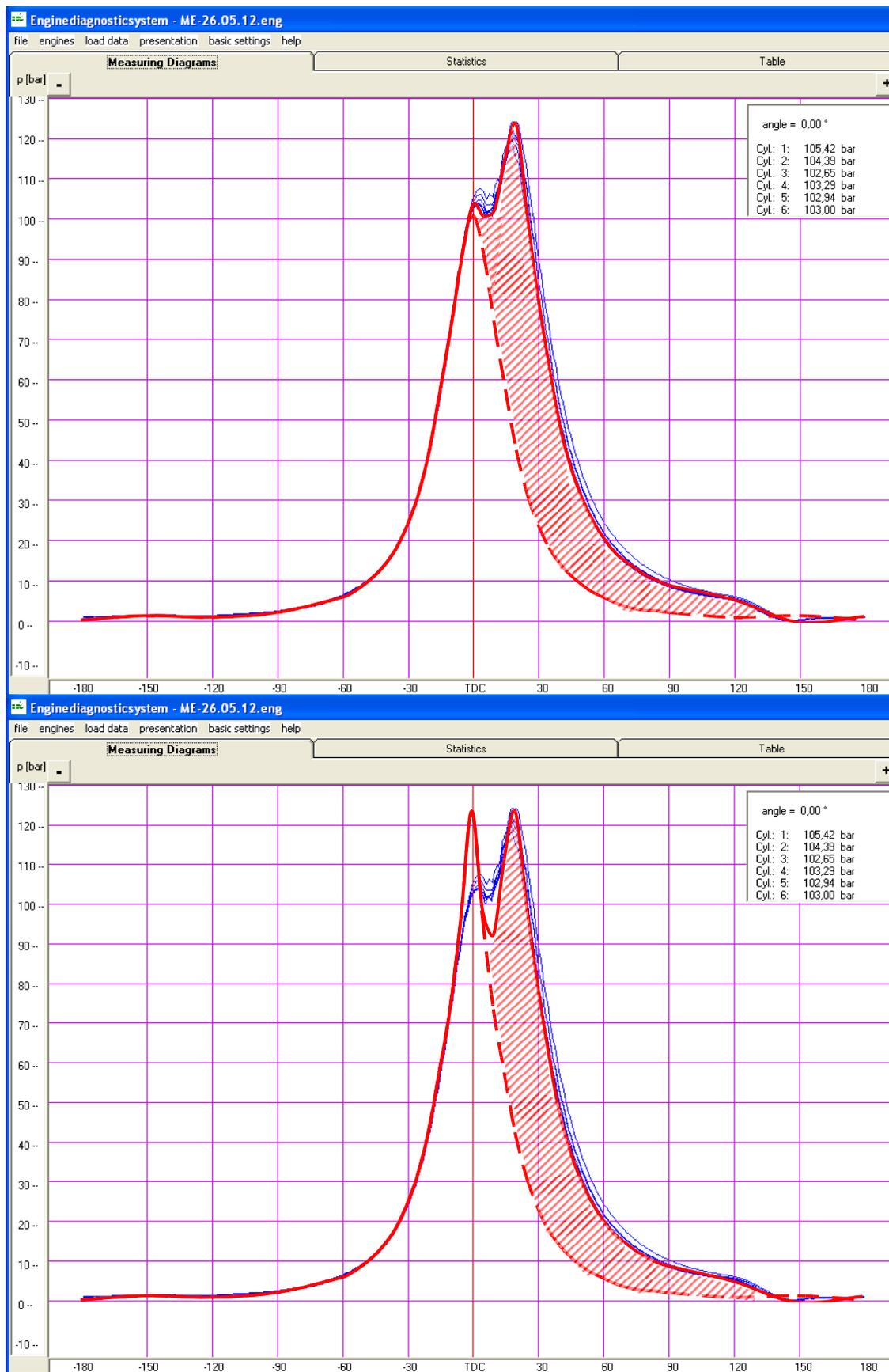


Figure 1 – actual indicator diagram and indication data



i) At the engine forcing by a scavenging air in that aspect that we proposes, it is possible to expect the effects as follows:

– indicated diagram area is specified the mean–indicated pressure depends on combustion gases quantity is consist of supplied fuel oil quantity and scavenging air quantity is involving in fuel oil mixture

formation and mixture combustion per cycle:

$$G_{CG} = G_{FO} + G_{SCA};$$

– we can assume, that for the engine is operating by the external propeller line (at locked Fuel Rack), at increasing the involving in fuel oil mixture formation and mixture combustion scavenging air quantity and constant combustion gases quantity (constant indicator diagram area and mean–indicated pressure), a fuel oil consumption will reduced;

– from the above saying we will beg to make conclusion, that at the scavenging air quantity rise and

$$N_{IND} = LCV_{FO} \cdot G_{FO} - Q_{EXH} - Q_{CW} - Q_{LO} = \text{const}$$

where: LCV_{FO} – lower calorific value;

G_{FO} – fuel oil consumption (flow);

Q_{EXH} – exhaust gases heat (energy) losses;

Q_{CW} – cooling water heat (energy) losses;

Q_{LO} – lubricating oil heat (energy) losses.

Conclusion: At the exhaust gas temperature reduction, and thereafter an exhaust gases energy (heat) losses too Q_{EXH} , for keeping the condition $N_{IND} = \text{const}$, to reduce the fuel oil consumption G_{FO} it is required.

j) At the engine forcing by a scavenging air, in that aspect that we proposes, it is possible to expect, that the engine cylinder’s air admission factor before closing the scavenging air ports will rised. In that case also can propose the latest opening of exhaust valve, ipso facto have increased the piston stroke efficiency, and the earliest closing of exhaust valve, ipso facto have increased compression ratio, have constructively changed exhaust valve driving cam profile.

3) Initial actions for stated idea approval:

a) Diesel Engines preliminary theoretical heat calculation and presented engine TC heat balance calculation;

b) Without any additional expenses to test the engine operation with already known manufacturer shop trial test results (to prove the stated idea) during its forcing by scavenging air on the repetitive test bed, have created for selected load the proposed scavenging air constant pressure in scavenging air receiver by any external source, for example from starting air bottles via reducing valve;

c) After expected positive result to calculate an estimated scavenging air constant pressures, has created by the same external source in the scavenging air receiver and estimated VIT racks for parts of load sequence and to carry out the trial tests for selected sequence;

d) In all likelihood VIT system to be operated by inverse proportionality dependence of the load, i.e. VIT index decreasing at the load increasing, in contrast to classical dependence – VIT index increasing at the load increasing from 0 up to 75%, and its further decreasing at the loads more then 75%.

e) To test the engine operation with already known manufacturer shop trial test results (to prove the stated idea) during its forcing by scavenging air on the repetitive test bed, have created by any external source (for example from starting air bottles via reducing valve) the proposed scavenging air constant pressure in scavenging air receiver equal to scavenging air pressure

fuel oil quantity reduction are involving in mixture formation and mixture combustion and at constant combustion gases quantity (constant indicator diagram area and mean–indicated pressure), a combustion efficiency increases, exhaust gas temperature comes down, and that and other has bring to reduction of CO_2 , CO & NO_x emissions to atmosphere. A prove of the above saying is indicated power equation at the engine constant load condition:

at MCR (100% of load) and keep it pressure at all parts of loads. In that case at any part of load scavenging air pressure, thereafter cylinders compression pressures and maximum combustion pressures will be constant, but the engine load will be changed by changing the fuel oil injection end, thereafter by changing the fuel injection length (due to constant fuel injection timing), by changing the fuel oil cycle dosage and consumption. Assumed that the VIT system will be not required for this particular case. How to operate the engine at this particular expected measure:

– to develop the highest capacity TC for achievement the proposed scavenging air constant pressure in scavenging air receiver equal to scavenging air pressure at MCR (100% of load), i.e. to 2.75 bar for this particular engine (for our presented engine 6S50MC) and to install it on engine;

– to fabricate the engine TC air inlet filter easy moved flap and keep it closed for all parts of load till NCR (85% of MCR);

– to change the fuel oil injection timing from 12.5° before TDC to 12.5° after TDC (for our presented engine 6S50MC);

– to set the VIT system rack to «0» in constant bases;

– to create by any external source (for example from starting air bottles via reducing valve) the proposed scavenging air constant pressure in scavenging air receiver equal to scavenging air pressure at MCR (100% of load), i.e. to 2.75 bar (for our presented engine 6S50MC);

– to start, reverse, maneuver and run–up the engine till the NCR (85% of MCR) with closed TC air inlet filter flap (for avoid the TC heavy surging) and created scavenging air constant pressure is 2.75 bar in scavenging air manifold;

– at the engine reaching a NCR (85% of MCR) to reduce the created scavenging air pressure in scavenging air manifold down to value is less then pressure at NCR (from manufacturer shop trial test results) by reducing valve (for avoid the TC heavy surging) and to open the TC air inlet filter flap;

– at the last to close the reducing valve totally.

Conclusions:

Have submitted to your attention CO and CO_2 emissions reducing measure is required theoretically calculated and experimental confirmations. Last can be carry out at availability of Diesel Engine laboratory –

mini ER or by association with Diesel Engines manufacturer.

References

1. V.I. Korolev, A.G. Taranin, Training of engineers on watch with usage of the engine room simulator «DIESELSIM DPS–100». Parts 1 & 2, Novorossiysk, Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, 2010.
2. V.I. Korolev, A.G. Taranin, Unattended machine service of a ship's power plant with simulator «DIESELSIM DPS–100». Parts 1 & 2, Novorossiysk,

Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, 2010.

3. A.G. Taranin, The ship's equipment operational instructions elements with usage of the ER simulator «DIESELSIM DPS–100», Novorossiysk, Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, 2020.

4. A.G. Taranin, The ship's equipment operational instructions elements with usage of the ER simulator «NEPTUNE MC90–IV», Novorossiysk, Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, 2020.

USAGE FEATURES OF THE ELECTRONIC INDICATORS FOR SHIP'S AND SHORE POWER SUPPLY FOUR–STROKE INTERNAL COMBUSTION ENGINES (DIESEL ENGINES)

Taranin Aleksandr G.

*Ex.technical superintendent for trouble shooting of worldwide trading and repairing company PT. Goltens (New York, USA, branch office – Jakarta, Indonesia), Chief engineer of worldwide shipping company nternational Tanker Management (Dubai, UAE), PhD, docent of F.F.Ushakov State Maritime University «Ship Power Plant Operation» department (F.F.Ushakov State Maritime University, Novorossiysk, Russia).
Tel: +7 962 861 2522
DOI: [10.31618/nas.2413-5291.2020.1.54.186](https://doi.org/10.31618/nas.2413-5291.2020.1.54.186)*

Annotation

The present publication illuminate the tasks as follows: Electronic indicator proper usage at four–stroke internal combustion engines (diesel engines) indication; Indication results & diagram proper transfer to PC; indicator diagram top dead center TDC correction and engine performance data output values such as P_{MI} –mean indicated pressure, P_{ME} –mean effective pressure, N_{IND} –indicated power and N_{EFF} –effective power proper calculations for each cylinder and engine total.

Keywords: Engine indication, performance data, electronic indicator, mean–indicated & mean–effective pressure, indicated & effective power.

Introduction

Currently on the worldwide fleet motor–vessels and shore diesel power plants for internal combustion engines–diesel engines indication and performance data measurement readings carrying–out the micro–processing gauging and systems, such as Doctor–Engine, Diesel–Doctor and Electronic indicators (different kind of brands and manufacturers) are used in most of cases. However, actually they are not carrying–out the functions of the engines technical condition (cylinder tightness, fuel injection equipment condition and turbocharger system condition) diagnostic and analysis, overload/download analysis and load distribution between the cylinders analysis, but they are electronic gauges for compression pressures P_{COM} , maximum combustion pressures P_{MAX} measurement by open indicator diagrams (Fig.1) and closed indicator diagrams (Fig.2) for each cylinder and for engine speed measurement at each cylinder indication. All others values are required for the engine technical condition diagnostic and analysis has determined by calculation from indicator diagrams or entered manually to the electronic equipment tables.

Examine the engine indication results from Electronic indicator type HLV–2005 MK (Praezisionsmesstechnik Beawert GMBH, Germany):

1) The values are calculated from the indicator diagrams:

- Cylinders indicator diagrams area A_D (mm²);
- Cylinders mean–indicated pressure P_{MI}^{CYL} (bar) (Fif.3);
- Cylinders mean–effective pressure P_{ME}^{CYL} (bar);
- Cylinders indicated power N_{IND}^{CYL} (IKW) (Fif.3);
- Cylinders effective power N_{EFF}^{CYL} (EKW);
- Engine average mean–indicated pressure P_{MI}^{ENG} (bar) (Fig.3);
- Engine average mean–effective pressure P_{ME}^{ENG} (bar);
- Engine indicated power N_{IND}^{ENG} (IKW) (Fif.3);
- Engine effective power N_{EFF}^{ENG} (EKW);
- Engine mechanical efficiency η_{MEC} (%).

2) The values are entered manually to the electronic equipment tables (Fig.3):

- Scavenging air temperature after turbocharger or before scavenging air cooler T_{SC}^{BC} (°C);
- Scavenging air temperature after scavenging air cooler T_{SC}^{AC} (°C);
- Scavenging air pressure after scavenging air cooler P_{SC}^{AC} (bar);

- Exhaust gas temperature after turbocharger T_{EXH}^{ATC} (°C);
- Turbocharger speed n_{TC} (rpm);
- Cylinders exhaust gas temperatures T_{EXH}^{CYL} (°C);
- Cylinders fuel rack position FRP (fuel pump index FPI) (mm);

Note: However, the mentioned above values are not enough for the engine technical condition full diagnostic and analysis (cylinder tightness, fuel injection equipment condition and turbocharger system condition).

In completion of indication data entering to the PC without TDC correction the engine average mean-indicated pressure & indicated power calculation can give tolerance up to $\pm 10\%$, while the same values calculation from indicator diagrams are taken by mechanical indicator with usage of computerized technology gives tolerance up to $\pm 0.5\%$ only.

The engine average mean-indicated pressure and indicated power calculation tolerance up to $\pm 10\%$ is not satisfactory for the engine technical condition (cylinder tightness, fuel injection equipment condition and turbocharger system condition) diagnostic and analysis, overload/download analysis and load distribution between the cylinders analysis.

Thereby we suggest the engine (4-stroke engine) indicated power accurate calculation procedure,

afterwards it is possible a TDC accurate correction for each cylinder, and then a cylinders mean-indicated pressure P_{MI}^{CYL} , cylinders indicated power N_{IND}^{CYL} & engine average mean-indicated pressure P_{MI}^{ENG} same accurate calculation within tolerance $\pm 0.5\%$.

Work object

The high accuracy obtaining in the indicator diagram treatment and as results high accuracy in the cylinder power calculation, determination of load distribution between cylinders and cylinders/engine condition diagnostic & analysis without engine dismantling.

Ways of investigation

Investigations has carried out on the vessel's and shore engines (with effective power from **300 EKW** up to **6600 EKW**) with different kind of micro-processing gauging and systems (Doctor-Engine, Diesel-Doctor and Electronic indicator) & with mechanical indicators.

Investigation results and discussion about

1. The indicator diagrams TDC correction and each cylinder/total engine output data calculation after the 4-stroke Generator Engine MAN-B&W type 6L23/30 indication by Electronic indicator type HLV-2005 MK.

1) The Generator Engine performance data some measurement readings are taken at each cylinder indication and its average values calculation (table 1):

Table 1

CYLINDER No.		1	2	3	4	5	6		
FW TEMPERATURE	C	72	73	73	73	74	74,5	AVERAG	73,3
TEMPERATURE	C	IN	70,5						
EG TEMPERATURE	C	320	353	342	350	380	337	AVERAG	347
FUEL PUMP INDEX	mm	20,5	21,5	19,5	19	20	20	AVERAG	20,1
COSINUS PHY	(-)	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	AVERAG	0,664
FREQUENCY	Hz	60	60,1	60	60	60	59,8	AVERAG	59,98
CURRENT	A	1040	1030	1030	1030	1025	1025	AVERAG	1030
VOLTAGE	V	440	443	442	440	438	438	AVERAG	440,17
ACTIVE POWER	kW	528	512	522	524	524	517	AVERAG	521,2

2) The generator calculated active load by the average values of voltage V, amperage A and power

factor $\cos\phi$ measurement readings at each cylinder indication from the table 1:

$$P = \frac{\sqrt{m} \cdot V \cdot A \cdot \cos\phi}{1000} = \frac{\sqrt{3} \cdot 440.17 \cdot 1030 \cdot 0.664}{1000} = 521.17 \text{ KW}$$

where: $m = 3$ – NOs of phases.

3) The generator active load by the kilowattmeter measurement readings at each cylinder indication from the table 1:

$$P = 521.17 \text{ KW}$$

4) The generator calculated reactive load by the average values of active load P and power factor $\cos\phi$ measurement readings at each cylinder indication:

$$Q = P \cdot \text{tg}(\arccos(\cos\phi)) = 521.17 \cdot \text{tg}(\arccos(0.664)) = 587.39 \text{ KVAr}$$

5) The generator calculated total load by the average values of voltage V, amperage A and measurement readings at each cylinder indication:

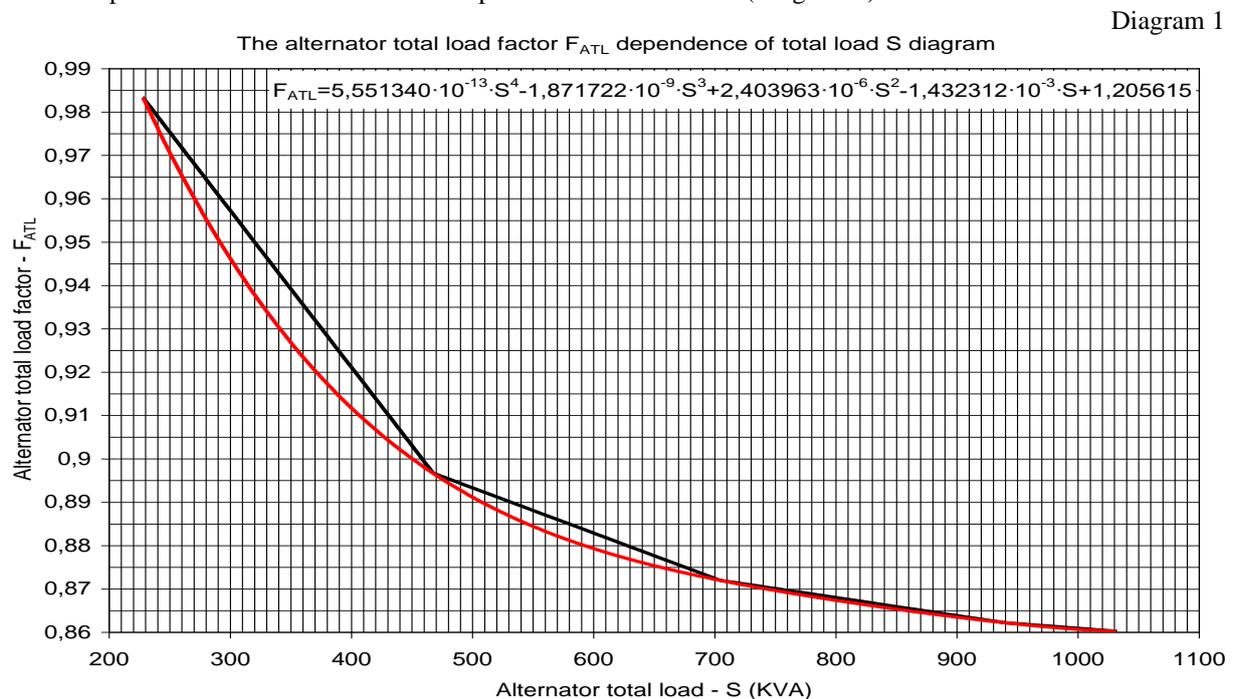
$$S = \frac{\sqrt{m} \cdot V \cdot A}{1000} = \frac{\sqrt{3} \cdot 440.17 \cdot 1030}{1000} = 785.26 \text{ KVA}$$

$$\text{or } S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{521.17^2 + 587.39^2} = 785.26 \text{ KVA}$$

6) The Generator Engine measurement readings data are taken from the shop trial test results (table 2):

Alternator frequency	F	Hz	by observation	60	60	60	60	60
Alternator current	I	A	by observation	1323,26	1204,1	903,72	599,8	292,52
Alternator voltage	U	V	by observation	450	450	450	450	450
Alternator active load	P	KW	by observation	825,1	750,8	563,5	374	182,4
Alternator reactive load	Q	KVAr	$Q = P \cdot \text{tg}\varphi$	618,825	563,1	422,625	280,50	136,8
Alternator total load	S	KVA	$S = m^{0.5} \cdot U \cdot I / 10^3$	1031,38	938,503	704,38	467,50	228,0
Alternator total load	S	KVA	$S = (P^2 + Q^2)^{0.5}$	1031,38	938,5	704,375	467,50	228,0
Alternator power factor	$\cos\varphi$	-	by observation	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Engine indicated power	N_{IND}	IKW	by indication results	887,2	809,2	614,2	419,2	224,2
Alternator total load factor	F_{ATL}	IKW	$F_{\text{ATL}} = N_{\text{IND}} / S$	0,86021	0,86223	0,87198	0,89668	0,98333

7) Draw the diagram of alternator total load results table and found its dependence function by the factor dependence of total load from shop trial test trend line (Diagram 1):



8) The alternator calculated total load factor by the function is founded from the diagram 1:

$$\begin{aligned}
 F_{\text{ATL}} &= 5.551340 \cdot 10^{-13} \cdot S^4 - 1.871722 \cdot 10^{-9} \cdot S^3 + 2.403963 \cdot 10^{-6} \cdot S^2 - 1.432312 \cdot 10^{-3} \cdot S + \\
 &+ 1.205615 = 5.551340 \cdot 10^{-13} \cdot 785.26^4 - 1.871722 \cdot 10^{-9} \cdot 785.26^3 + \\
 &+ 2.403963 \cdot 10^{-6} \cdot 785.26^2 - 1.432312 \cdot 10^{-3} \cdot 785.26 + 1.205615 = 0.868
 \end{aligned}$$

9) The engine calculated indicated power by the engine & alternator performance data results:

$$N_{\text{IND}} = S \cdot F_{\text{ATL}} = 785.26 \cdot 0.868 = 681.6 \text{ IKW}$$

10) Enter the engine indication and performance data to the PC (Fig.1, Fig.2, Fig3):

Conclusion: As we have seen from the Fig.1 and Fig.2 the engine all cylinders indicator diagrams compression lines are in different position (arrow 1), that is what can not be for the same designed cylinders. They are should be in one line, that is can be adjusted by cylinders TDC correction individually (arrow 2). As

we have seen from the Fig.3 the engine indicated power is 719.02 IKW instead of calculated in item 9 – 681.6 IKW, that is become 5.5% tolerance, which is not acceptable for the engine technical condition diagnostic and analyses. We have to correct the engine cylinders TDC totally.

11) The engine cylinders TDC angles (Fig.1) in decrease of crank angle CA:

Cylinder 1 TDC = 0 ° CA; Cylinder 2 TDC = 1 ° CA;
 CA; Cylinder 3 TDC = 1 ° CA;

Cylinder 4 TDC = 0 ° CA; Cylinder 5 TDC = 0 ° CA;
 CA; Cylinder 6 TDC = 2 ° CA;

12) Correct the engine cylinders TDC first of all individually for making the diagrams compression lines in one line (arrow 1), then totally for making the engine indicated power same as calculated in item 9 (arrow 2), (Fig.4, Fig.5, Fig6):

Cylinder 1 TDC = 2 ° CA; Cylinder 2 TDC = 2 ° CA;
 CA; Cylinder 3 TDC = 1 ° CA;

Cylinder 4 TDC = 1 ° CA; Cylinder 5 TDC = 2 ° CA;
 CA; Cylinder 6 TDC = 2 ° CA;

Conclusion: As we have seen from the Fig.4 and Fig.5 the engine all cylinders indicator diagrams compression lines are in one line (arrow 1) after TDC correction (arrow 2), that is what to be for the same designed cylinders. As we have seen from the Fig.6 the

engine indicated power is 674.06 IKW and almost the same with calculated in item 9 – 681.6 IKW, that is become – 1.1% tolerance, which is perfect for the engine technical condition diagnostic and analyses.

13) The Generator Engine mechanical loss pressure from shop trial test results:

$$n_{ENG} = 720 \text{ rpm} \rightarrow P_{MEC} = 0.68 \text{ bar}$$

14) The Generator Engine mean-effective pressure calculation:

$$P_{ME} = P_{MI} - P_{MEC} = 15.69 - 0.68 = 15.01 \text{ bar}$$

where: $P_{MI} = 15.69 \text{ bar}$ – from the engine performance data results table (Fig.6);

$P_{MEC} = 0.68 \text{ bar}$ – from item 13).

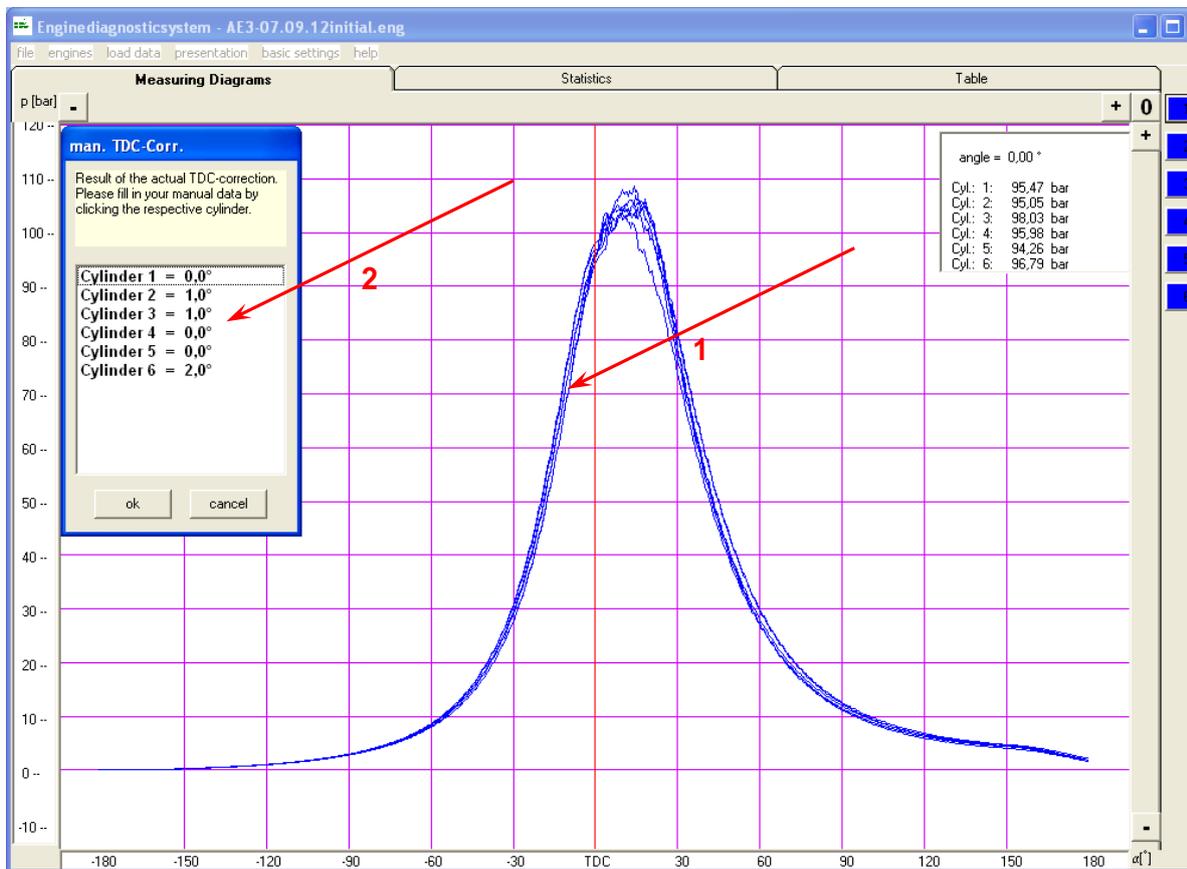


Figure 1. Cylinder open indicator diagrams before TDC correction

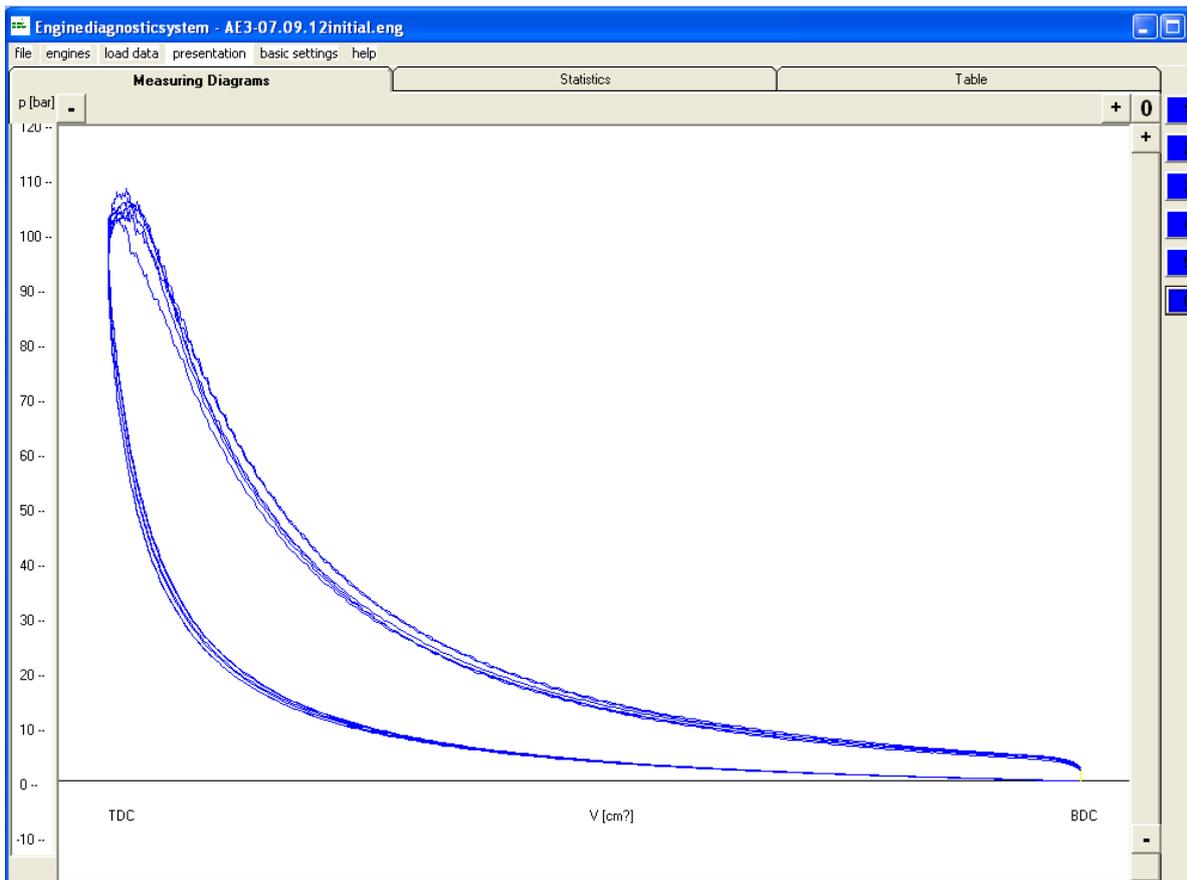


Figure 2. Cylinder closed indicator diagrams before TDC correction

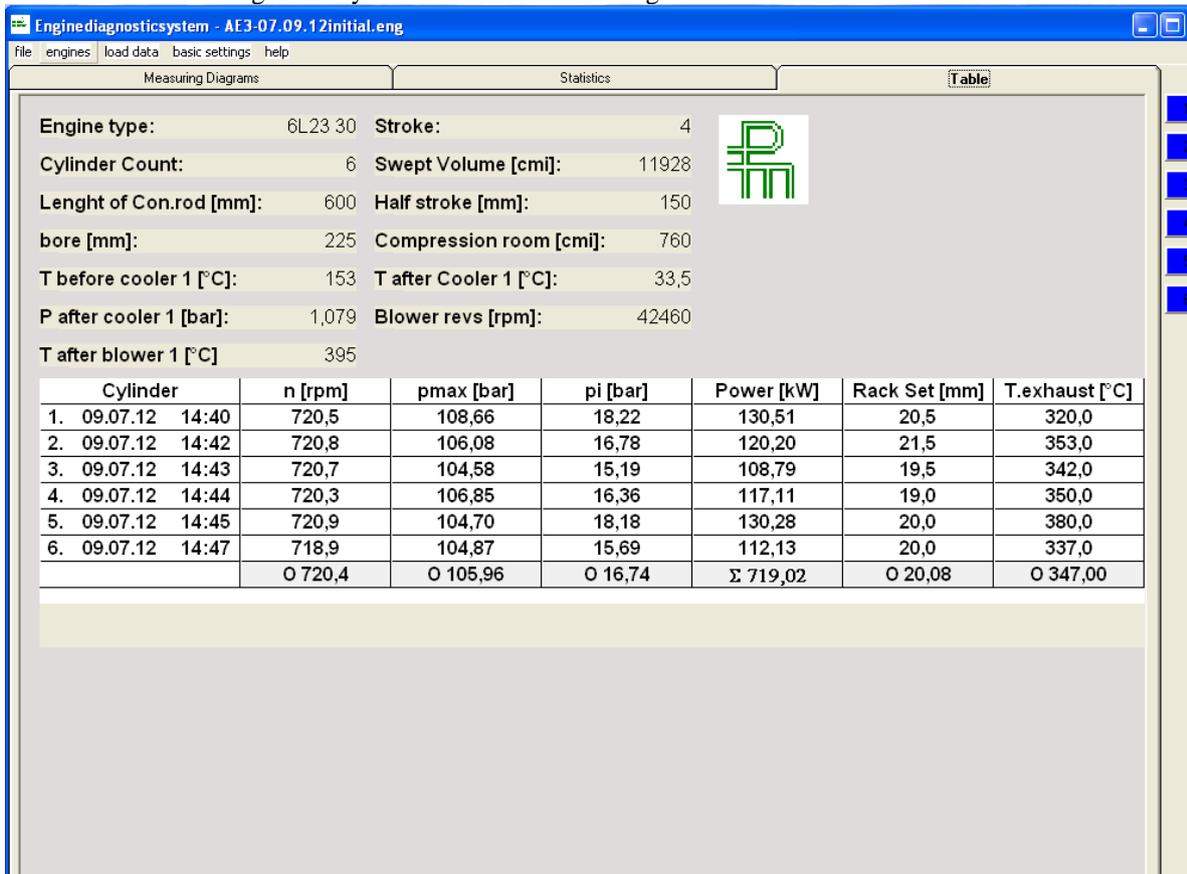


Figure 3. Cylinders indication & performance data results table before TDC correction

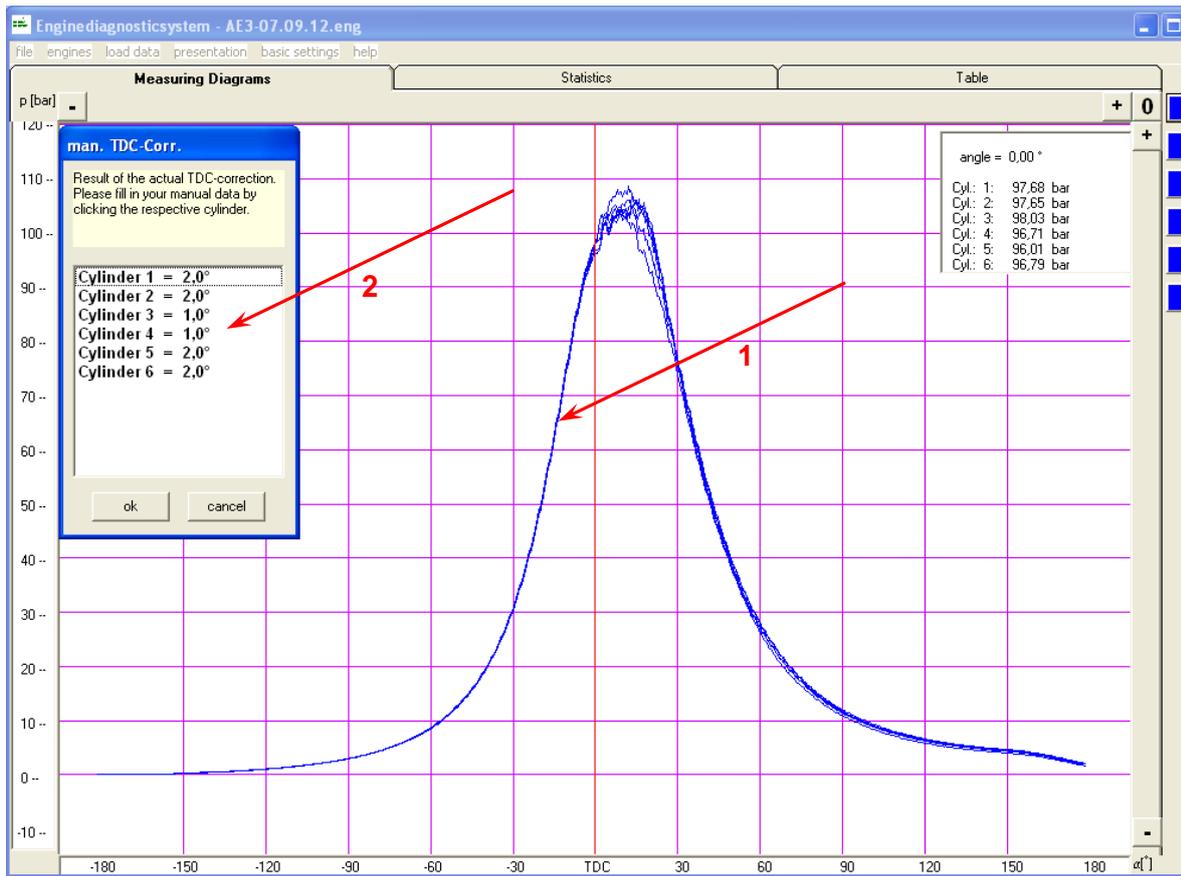


Figure 4. Cylinder open indicator diagrams after TDC correction

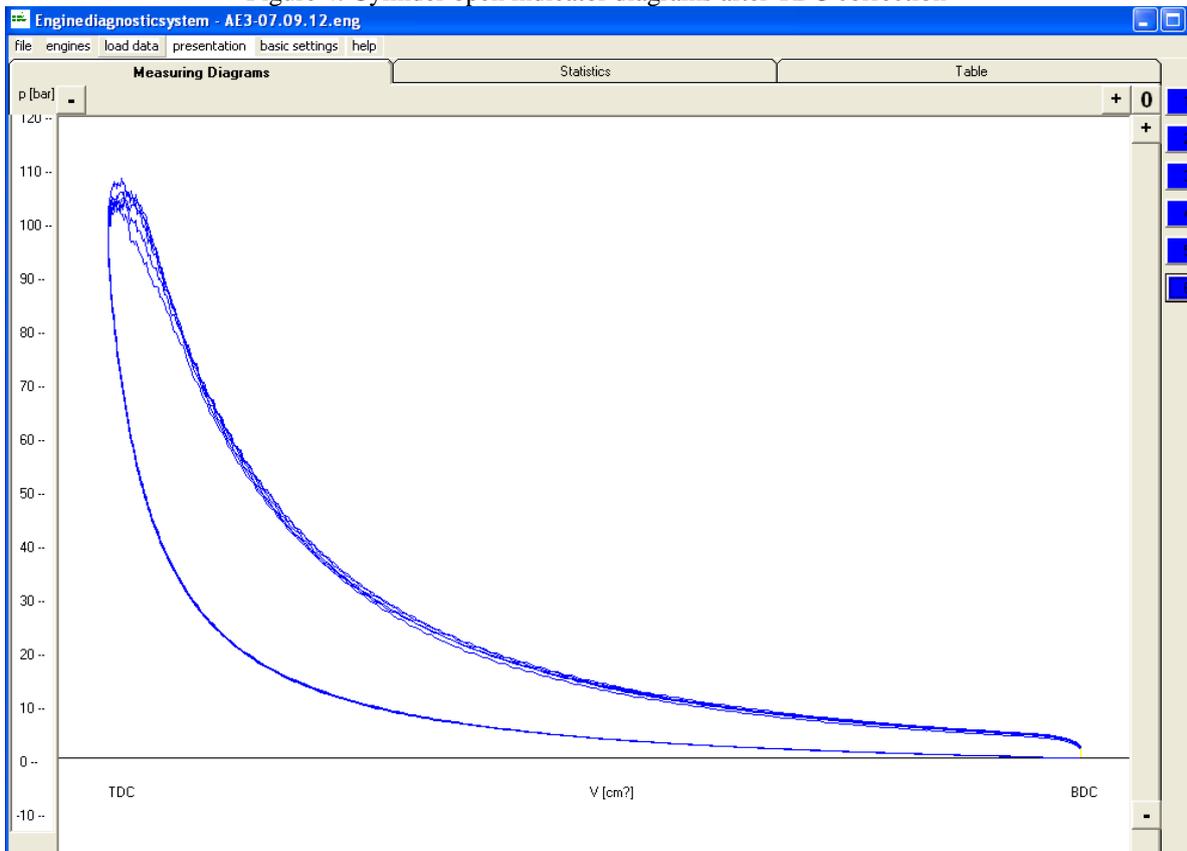


Figure 5. Cylinder closed indicator diagrams after TDC correction

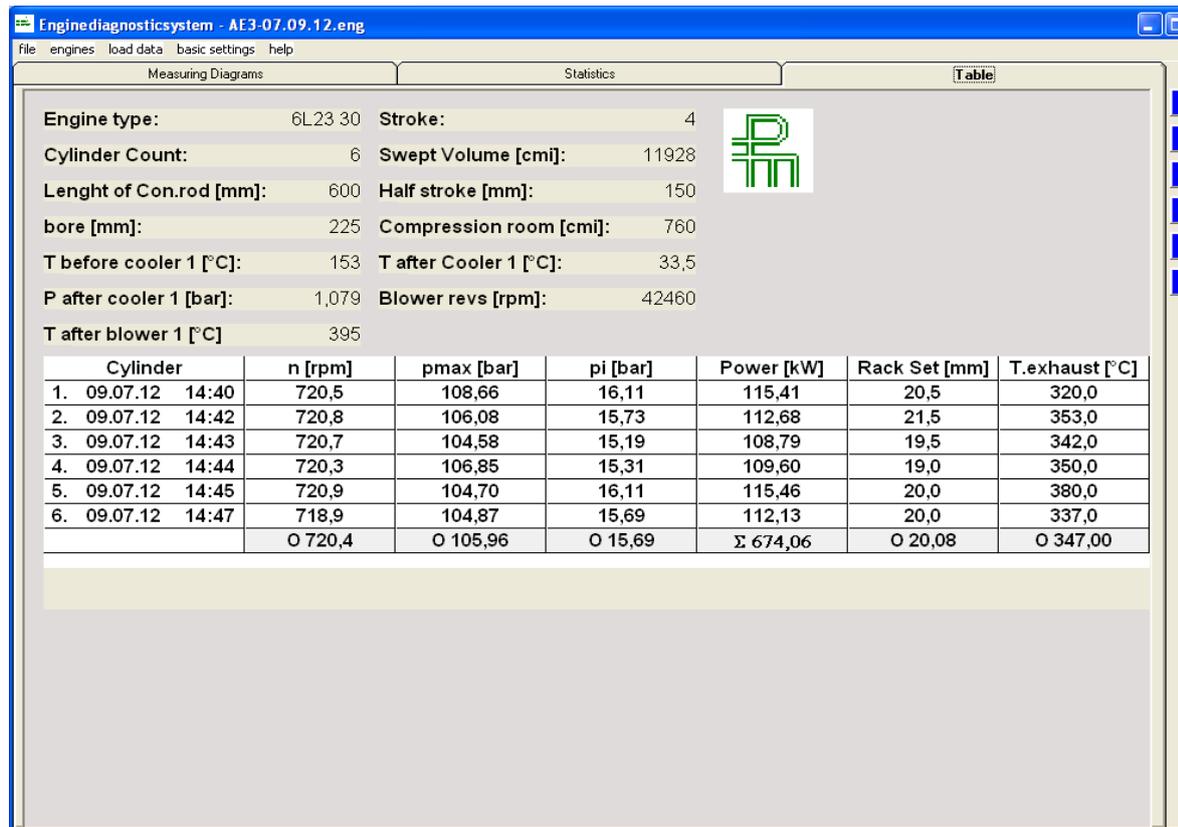


Figure 6. Cylinders indication & performance data results table after TDC correction

15) The Generator Engine effective power calculation:

$$N_{\text{EFF}} = k \cdot P_{\text{ME}} \cdot n \cdot i = 0.0099357 \cdot 15.01 \cdot 719.8 \cdot 6 = 644.1 \text{ EKW}$$

where: $k = 1.3084 \cdot D^2 \cdot S \cdot m = 1.3084 \cdot 0.225^2 \cdot 0.3 \cdot 0.5 = 0.0099357$ – cylinder constant;
 $D = 0.225$ mtr – cylinder diameter;
 $S = 0.3$ mtr – piston stroke;
 $m = 1$ – stroke factor (for 4–strike engine $m = 0.5$; for 2–stroke engine $m = 1$).

Conclusion

As we have seen from mentioned above information for Diesel Generators indicator diagrams TDC correction the generator unit (alternator) electric performance data measurement readings to be taken, recorded & output data are effected to the TDC correction to be calculated.

References

V.I. Korolev, A.G. Taranin, Training of engineers on watch with usage of the engine room simulator

«DIESELSIM DPS–100». Parts 1 & 2, Novorossiysk, Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, 2010.

V.I. Korolev, A.G. Taranin, Unattended machine service of a ship's power plant with simulator «DIESELSIM DPS–100». Parts 1 & 2, Novorossiysk, Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, 2010.

A.G. Taranin, The ship's equipment operational instructions elements with usage of the ER simulator «DIESELSIM DPS–100», Novorossiysk, Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, 2020.

A.G. Taranin, The ship's equipment operational instructions elements with usage of the ER simulator «NEPTUNE MC90–IV», Novorossiysk, Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, 2020.

USAGE FEATURES OF THE ELECTRONIC INDICATORS FOR SHIP'S AND SHORE POWER SUPPLY TWO-STROKE INTERNAL COMBUSTION ENGINES (DIESEL ENGINES)

Taranin Aleksandr G.

*Ex.technical superintendent for trouble shooting of worldwide trading and repairing company PT. Goltens (New York, USA, branch office – Jakarta, Indonesia), Chief engineer of worldwide shipping company nternational Tanker Management (Dubai, UAE), PhD, docent of F.F.Ushakov State Maritime University «Ship Power Plant Operation» department (F.F.Ushakov State Maritime University, Novorossiysk, Russia).
Tel: +7 962 861 2522*

DOI: [10.31618/nas.2413-5291.2020.1.54.187](https://doi.org/10.31618/nas.2413-5291.2020.1.54.187)

Annotation

The present publication illuminate the tasks as follows: Electronic indicator proper usage at four-stroke internal combustion engines (diesel engines) indication; Indication results & diagram proper transfer to PC; indicator diagram top dead center TDC correction and engine performance data output values such as P_{MI} —mean indicated pressure, P_{ME} —mean effective pressure, N_{IND} —indicated power and N_{EFF} —effective power proper calculations for each cylinder and engine total.

Keywords: Engine indication, performance data, electronic indicator, mean-indicated & mean-effective pressure, indicated & effective power.

Introduction

Currently on the worldwide fleet motor-vessels and shore diesel power plants for internal combustion engines—diesel engines indication and performance data measurement readings carrying-out the micro-processing gauging and systems, such as Doctor-Engine, Diesel-Doctor and Electronic indicators (different kind of brands and manufacturers) are used in most of cases. However, actually they are not carrying-out the functions of the engines technical condition (cylinder tightness, fuel injection equipment condition and turbocharger system condition) diagnostic and analysis, overload/download analysis and load distribution between the cylinders analysis, but they are electronic gauges for compression pressures P_{COM} , maximum combustion pressures P_{MAX} measurement by open indicator diagrams (Fig.1) and closed indicator diagrams for each cylinder and for engine speed measurement at each cylinder indication. All others values are required for the engine technical condition diagnostic and analysis has determined by calculation from indicator diagrams or entered manually to the electronic equipment tables.

Examine the engine indication results from Electronic indicator type HLV-2005 MK (Praezisionsmesstechnik Beawert GMBH, Germany):

3) The values are calculated from the indicator diagrams:

- Cylinders indicator diagrams area A_D (mm²);
- Cylinders mean-indicated pressure P_{MI}^{CYL} (bar) (Fif.2);
- Cylinders mean-effective pressure P_{ME}^{CYL} (bar);
- Cylinders indicated power N_{IND}^{CYL} (IKW) (Fif.2);
- Cylinders effective power N_{EFF}^{CYL} (EKW);
- Engine average mean-indicated pressure P_{MI}^{ENG} (bar) (Fig.2);
- Engine average mean-effective pressure P_{ME}^{ENG} (bar);

- Engine indicated power N_{IND}^{ENG} (IKW) (Fif.2);
- Engine effective power N_{EFF}^{ENG} (EKW);
- Engine mechanical efficiency η_{MEC} (%).
- 4) The values are entered manually to the electronic equipment tables (Fig.2):
- Scavenging air temperature after turbocharger or before scavenging air cooler T_{SC}^{BC} (°C);
- Scavenging air temperature after scavenging air cooler T_{SC}^{AC} (°C);
- Scavenging air pressure after scavenging air cooler P_{SC}^{AC} (bar);
- Exhaust gas temperature after turbocharger T_{EXH}^{ATC} (°C);
- Turbocharger speed n_{TC} (rpm);
- Cylinders exhaust gas temperatures T_{EXH}^{CYL} (°C);
- Cylinders fuel rack position FRP (fuel pump index FPI) (mm);

Note: However, the mentioned above values are not enough for the engine technical condition full diagnostic and analysis (cylinder tightness, fuel injection equipment condition and turbocharger system condition).

In completion of indication data entering to the PC without TDC correction the engine average mean-indicated pressure & indicated power calculation can give tolerance up to $\pm 10\%$, while the same values calculation from indicator diagrams are taken by mechanical indicator with usage of computerized technology gives tolerance up to $\pm 0.5\%$ only.

The engine average mean-indicated pressure and indicated power calculation tolerance up to $\pm 10\%$ is not satisfactory for the engine technical condition (cylinder tightness, fuel injection equipment condition and turbocharger system condition) diagnostic and analysis, overload/download analysis and load distribution between the cylinders analysis.

Thereby we suggest the engine (2-stroke engine) indicated power accurate calculation procedure,

afterwards it is possible a TDC accurate correction for each cylinder, and then a cylinders mean-indicated pressure P_{MI}^{CYL} , cylinders indicated power N_{IND}^{CYL} & engine average mean-indicated pressure P_{MI}^{ENG} same accurate calculation within tolerance $\pm 0.5\%$.

Work object

The high accuracy obtaining in the indicator diagram treatment and as results high accuracy in the cylinder power calculation, determination of load distribution between cylinders and cylinders/engine condition diagnostic & analysis without engine dismantling.

Ways of investigation

Investigations has carried out on the vessel's (with effective power from **736 EKW** up to **11900 EKW**) with different kind of micro-processing gauging and systems (Doctor-Engine, Diesel-Doctor and Electronic indicator) & with mechanical indicators.

Investigation results and discussion about

1. The indicator diagrams TDC correction and each cylinder/total engine output data calculation after the 2-stroke Diesel Propulsion Engine MAN-B&W type 6S50MC-Mk indication by Electronic indicator type HLV-2005 MK.

1) The Diesel Propulsion Engine performance data some measurement readings are taken during the indication (table 1):

Table 1

Engine indication start	T_{HS}	hrs	by observation	13
Engine indication start	T_{MS}	min	by observation	45
Engine indication stop	T_{HE}	hrs	by observation	14
Engine indication stop	T_{ME}	min	by observation	42
Engine indication period	T_{IND}	min	$T_{IND} = (T_{HE} - T_{HS}) \cdot 60 + T_{ME} - T_{MS}$	57
Eng.revolution counter at start	R_{CS}	revoluton	by observation	20344122
Eng.revolution counter at stop	R_{CE}	revoluton	by observation	20344788
Engine speed	n_{ENG}	rpm	$n_{ENG} = (R_{CE} - R_{CS}) \cdot 10 / T_{IND}$	116,80
Engine FO flowmeter at start	Q_{FOS}	ltrs	by observation	1711963
Engine FO flowmeter at stop	Q_{FOE}	ltrs	by observation	1713290
Engine FO consumption	Q_{FO}	ltrs / hr	$Q_{FO} = (Q_{FOE} - Q_{FOS}) \cdot 60 / T_{IND}$	1396,762
FO temperature inlet flowmete	T_{FO}	$^{\circ}C$	by observation	130,3
FO specific gravity @ 15 $^{\circ}C$	ρ_{FO}^{15}	kg / ltr	from FO bunker specification sertificate	0,9672
FO expansion factor	k_{FO}	kg/ltr. $^{\circ}C$	$k_{FO} = 0,00183224 - 0,00131724 \cdot \rho_{FO}^{15}$	0,00056
FO specific gravity at flowmete	ρ_{FO}^T	kg / ltr	$\rho_{FO}^T = \rho_{FO}^{15} - k_{FO} \cdot (T_{FO} - 15)$	0,9028
FO sulfur content	S	%	from FO bunker specification sertificate	1,86
FO lower calorific value LCV	LCV	kcal / kg	$LCV = 12900 - 7095 \cdot S / 100 - 3162 \cdot \rho_{FO}^{15}$	9710
Engine FO consumption	G_{FO}	kg / hr	$G_{FO} = Q_{FO} \cdot \rho_{FO}^T$	1261,051
Engine average fuel rack posit.	FRP	mm	by observation	64,3
Turbocharger speed	N_{TC}	rpm	by observation	11000
Scavenging air pressure	P_{SC}	kg / cm ²	by observation	2,08
Air temperature air filter inlet	T_{INL}	$^{\circ}C$	by observation	38,4
Scav.air temp.air cooler inlet	T_{SC}^{BC}	$^{\circ}C$	by observation	177
Scav.air temp.air cooler outlet	T_{SC}^{AC}	$^{\circ}C$	by observation	41,8
Scav.air temp.in scav.air manif	T_{SC}	$^{\circ}C$	by observation	42,5
Exhaust gas temp.turbine inlet	T_{EXH}^{BTC}	$^{\circ}C$	by observation	393
Exhaust gas temp.turbine outle	T_{EXH}^{ATC}	$^{\circ}C$	by observation	263
FW temp.scav.air cooler inlet	T_{FW}^{BC}	$^{\circ}C$	by observation	30,5
FW temp.scav.air cooler outlet	T_{FW}^{BC}	$^{\circ}C$	by observation	44
Air cooler termoeficiency	η_T	$^{\circ}C$	$\eta_T = (T_{SC}^{BC} - T_{SC}^{AC}) \cdot 100 / (T_{SC}^{BC} - T_{FW}^{BC})$	92,29
Atmospheric pressure	P_{ATM}	kg / cm ²	by observation	1,037

2) The Diesel Propulsion Engine ambient (reference) conditions and FO data from shop trial test results (table 2):

Table 2

Engine Room temperature	T_{ER}	$^{\circ}C$	from shop trial test results	23,9
Atmospheric pressure	P_{ATM}^{ST}	kg/cm^2	from shop trial test results	1,035
SW temp.scav.air cooler inlet	T_{SW}^{BC}	$^{\circ}C$	from shop trial test results	18,1
FO temperature inlet flowmeter	T_{FO}^{ST}	$^{\circ}C$	from shop trial test results	34,3
FO specific gravity @ 15 $^{\circ}C$	ρ_{ST}^{15}	kg/ltr	from shop trial test results	0,9136
FO expansion factor	k_{FO}^{ST}	$kg/ltr \cdot ^{\circ}C$	$k_{FO}^{ST} = 0,00183224 - 0,00131724 \cdot \rho_{ST}^{15}$	0,000629
FO specific gravity at flowmeter	ρ_{ST}^T	kg/ltr	$\rho_{ST}^T = \rho_{ST}^{15} - k_{FO}^{ST} \cdot (T_{FO}^{ST} - 15)$	0,9015
FO sulfur content	S_{ST}	%	from shop trial test results	0,26
FO lower calorific value LCV	LCV_{ST}	$kcal/kg$	$LCV_{ST} = 12900 - 7095 \cdot S_{ST} / 100 - 3162 \cdot \rho_{ST}^{15}$	9993

3) The Diesel Propulsion Engine FO consumption G_{FO} correction to the shop trial test reference conditions:

$$G_{DO} = \frac{G_{FO} \cdot LCV}{LCV_{ST}} = \frac{1261.051 \cdot 9710}{9993} = 1225.3 \text{ kg/hr}$$

4) Draw the diagram of the engine indicated power dependence of FO consumption from shop trial test results table and found its dependence function by the trend line (Diagram 1):

5) The engine calculated indicated power by the function is founded from the diagram 1:

$$N_{IND}^1 = - 8.379938 \cdot 10^{-7} \cdot G_{DO}^3 + 1.881655 \cdot 10^{-3} \cdot G_{DO}^2 + 6.772031 \cdot G_{DO} + 355.0778 = - 8.379938 \cdot 10^{-7} \cdot 1225.3^3 + 1.881655 \cdot 10^{-3} \cdot 1225.3^2 + 6.772031 \cdot 1225.3 + 355.0778 = 9937 \text{ IHP}$$

6) The Diesel Propulsion Engine turbocharger speed N_{TC} correction to the shop trial test reference conditions:

$$N_{TC}^{ST} = N_{TC} \cdot \sqrt{\frac{(273 + T_{INL})}{(273 + T_{ER})}} = 11000 \cdot \sqrt{\frac{(273 + 38.4)}{(273 + 23.9)}} = 11266 \text{ rpm}$$

7) Draw the diagram of the engine indicated power dependence of turbocharger speed from shop trial test results table and found its dependence function by the trend line (in the same way as Diagram 1):

8) The engine calculated indicated power by the function is founded from the diagram by item 7):

$$N_{IND}^2 = - 1.41411647 \cdot 10^{-12} \cdot N_{TC}^{ST\ 4} + 5.25309184 \cdot 10^{-8} \cdot N_{TC}^{ST\ 3} - 6.2157409 \cdot 10^{-4} \cdot N_{TC}^{ST\ 2} + 3.79006967 \cdot N_{TC}^{ST} - 5945.706 = - 1.41411647 \cdot 10^{-12} \cdot 11266^4 + 5.25309184 \cdot 10^{-8} \cdot 11266^3 - 6.2157409 \cdot 10^{-4} \cdot 11266^2 + 3.79006967 \cdot 11266 - 5945.706 = 10195 \text{ IHP}$$

The Diesel Propulsion Engine multiply $FRP \cdot n_{ENG}$ correction to the shop trial test reference conditions:

$$FRP_{ST} \cdot n_{ENG} = \frac{FRP \cdot n_{ENG} \cdot LCV \cdot \rho_{FO}^T}{LCV_{ST} \cdot \rho_{ST}^T} = \frac{64.3 \cdot 116.8 \cdot 9710 \cdot 0.9028}{9993 \cdot 0.9015} = 7303 \text{ mm} \cdot \text{rpm}$$

9) Draw the diagram of the engine indicated power dependence of multiply $FRP_{ST} \cdot n_{ENG}$ from shop trial test results table and found its dependence function by the trend line (in the same way as Diagram 1):

10) The engine calculated indicated power by the function is founded from the diagram by item 10):

$$\begin{aligned}
 N_{\text{IND}}^3 &= 2.48249632 \cdot 10^{-12} \cdot (\text{FRP}_{\text{ST}} \cdot n_{\text{ENG}})^4 - 6.76738036 \cdot 10^{-8} \cdot (\text{FRP}_{\text{ST}} \cdot n_{\text{ENG}})^3 + \\
 &+ 6.18921346 \cdot 10^{-4} \cdot (\text{FRP}_{\text{ST}} \cdot n_{\text{ENG}})^2 - 0.769905624 \cdot (\text{FRP}_{\text{ST}} \cdot n_{\text{ENG}}) + 2042.11999 = \\
 &= 2.48249632 \cdot 10^{-12} \cdot 7303^4 - 6.76738036 \cdot 10^{-8} \cdot 7303^3 + 6.18921346 \cdot 10^{-4} \cdot 7303^2 - \\
 &- 0.769905624 \cdot 7303 + 2042.11999 = 10132 \text{ IHP}
 \end{aligned}$$

11) The Diesel Propulsion Engine scavenging air pressure correction to the shop trial test reference conditions:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{SC}}^{\text{ST}} &= P_{\text{SC}} + 0.002856 \cdot (T_{\text{INL}} - T_{\text{ER}}) \cdot (P_{\text{ATM}} + P_{\text{SC}}) - 0.00222 \cdot (T_{\text{FW}}^{\text{BC}} - T_{\text{SW}}^{\text{BC}}) \cdot (P_{\text{ATM}} + P_{\text{SC}}) = \\
 &= 2.08 + 0.002856 \cdot (38.4 - 23.9) \cdot (1.037 + 2.08) - 0.00222 \cdot (30.5 - 18.1) \cdot (1.037 + 2.08) = \\
 &= 2.123 \text{ kg / cm}^2
 \end{aligned}$$

12) Draw the diagram of the engine indicated power dependence of scavenging air pressure from shop trial test results table and found its dependence

function by the trend line (in the same way as Diagram 1):

13) The engine calculated indicated power by the function is founded from the diagram by item 13):

$$\begin{aligned}
 N_{\text{IND}}^4 &= 44.4567458 \cdot P_{\text{SC}}^{\text{ST}^3} - 527.060152 \cdot P_{\text{SC}}^{\text{ST}^2} + 5032.75628 \cdot P_{\text{SC}}^{\text{ST}} + 1441.75234 = \\
 &= 44.4567458 \cdot 2.123^3 - 527.060152 \cdot 2.123^2 + 5032.75628 \cdot 2.123 + 1441.75234 = \\
 &= 10177 \text{ IHP}
 \end{aligned}$$

14) The engine average indicated power is calculated by the indirect values:

$$\begin{aligned}
 N_{\text{IND}} &= \frac{N_{\text{IND}}^1 + N_{\text{IND}}^2 + N_{\text{IND}}^3 + N_{\text{IND}}^4}{4} = \frac{9937 + 10195 + 10132 + 10177}{4} = 10110 \text{ IHP} = \\
 &= 7436 \text{ IKW}
 \end{aligned}$$

15) Enter the engine indication and performance data to the PC (Fig.1, Fig.2):

Conclusion: As we have seen from the Fig.1 the engine all cylinders indicator diagrams compression lines are in different position (arrow 1), that is what can not be for the same designed cylinders. They are should be in one line, that is can be adjusted by cylinders TDC correction individually (arrow 2). As we have seen from the Fig.2 the engine indicated power is 6464 IKW instead of calculated in item 15 – 7436 IKW, that is become 13.1% tolerance, which is not acceptable for the engine technical condition diagnostic and analyses. We have to correct the engine cylinders TDC totally.

16) The engine cylinders TDC angles (Fig.1) in degrees of crank angle CA:

Cylinder 1 TDC = - 1.5 ° CA; Cylinder 2 TDC = - 1.5 ° CA; Cylinder 3 TDC = - 2.5 ° CA;

Cylinder 4 TDC = - 2 ° CA; Cylinder 5 TDC = - 2.5 ° CA; Cylinder 6 TDC = - 4 ° CA;

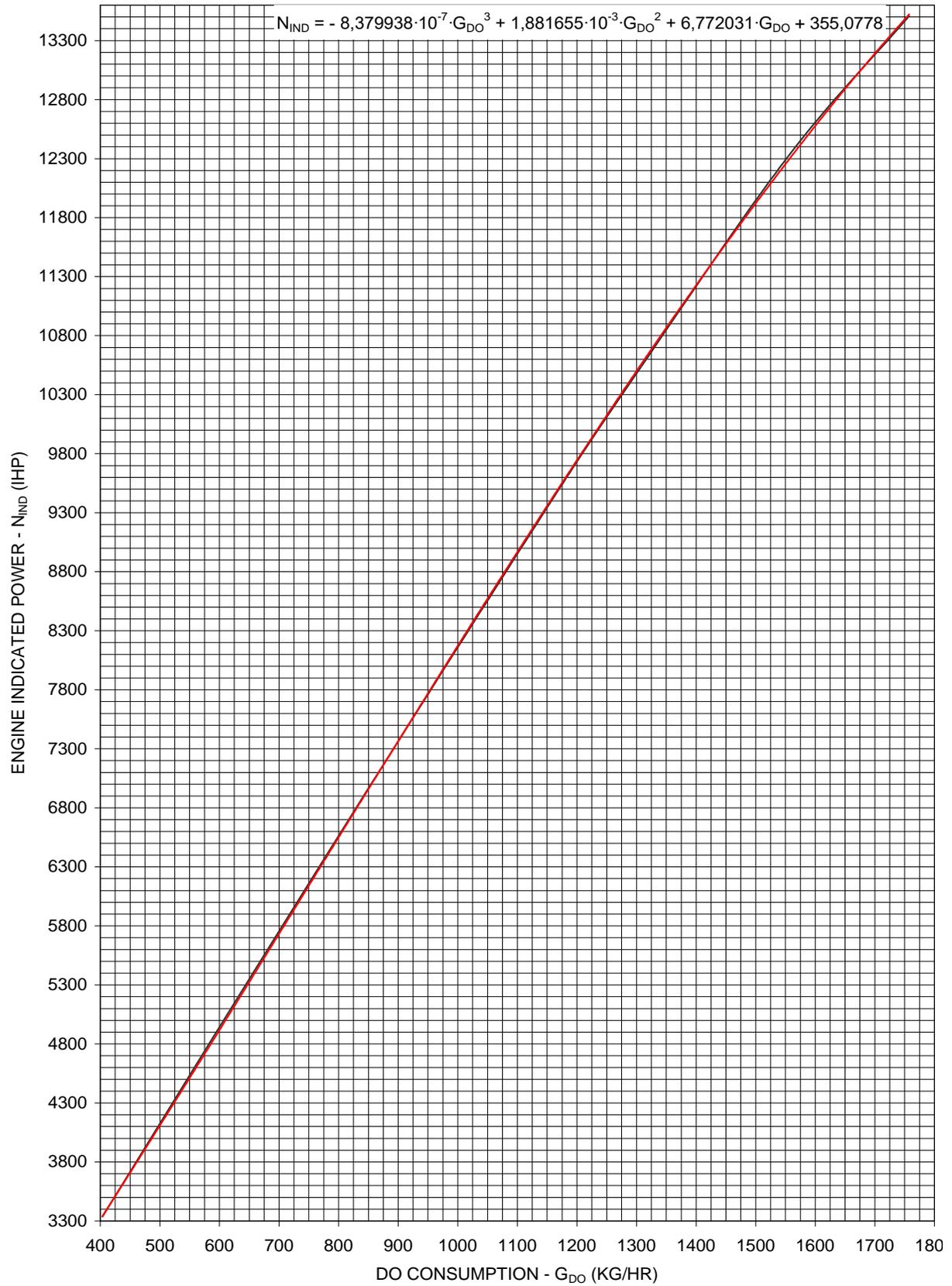
17) Correct the engine cylinders TDC first of all individually for making the diagrams compression lines in one line (arrow 1), then totally for making the engine indicated power same as calculated in item 15 (arrow 2), (Fig.3, Fig.4):

Cylinder 1 TDC = - 4 ° CA; Cylinder 2 TDC = - 3.5 ° CA; Cylinder 3 TDC = - 4 ° CA; Cylinder 4 TDC = - 4 ° CA; Cylinder 5 TDC = - 4 ° CA; Cylinder 6 TDC = - 5.5 ° CA;

Conclusion: As we have seen from the Fig.3 the engine all cylinders indicator diagrams compression lines are in one line (arrow 1) after TDC correction (arrow 2), that is what to be for the same designed cylinders. As we have seen from the Fig.4 the engine indicated power is 7431 IKW and almost the same with calculated in item 15 – 7436 IKW, that is become – 0.007% tolerance, which is perfect for the engine technical condition diagnostic and analyses.

Diagram 1

Engine indicated power dependence of FO consumption diagram



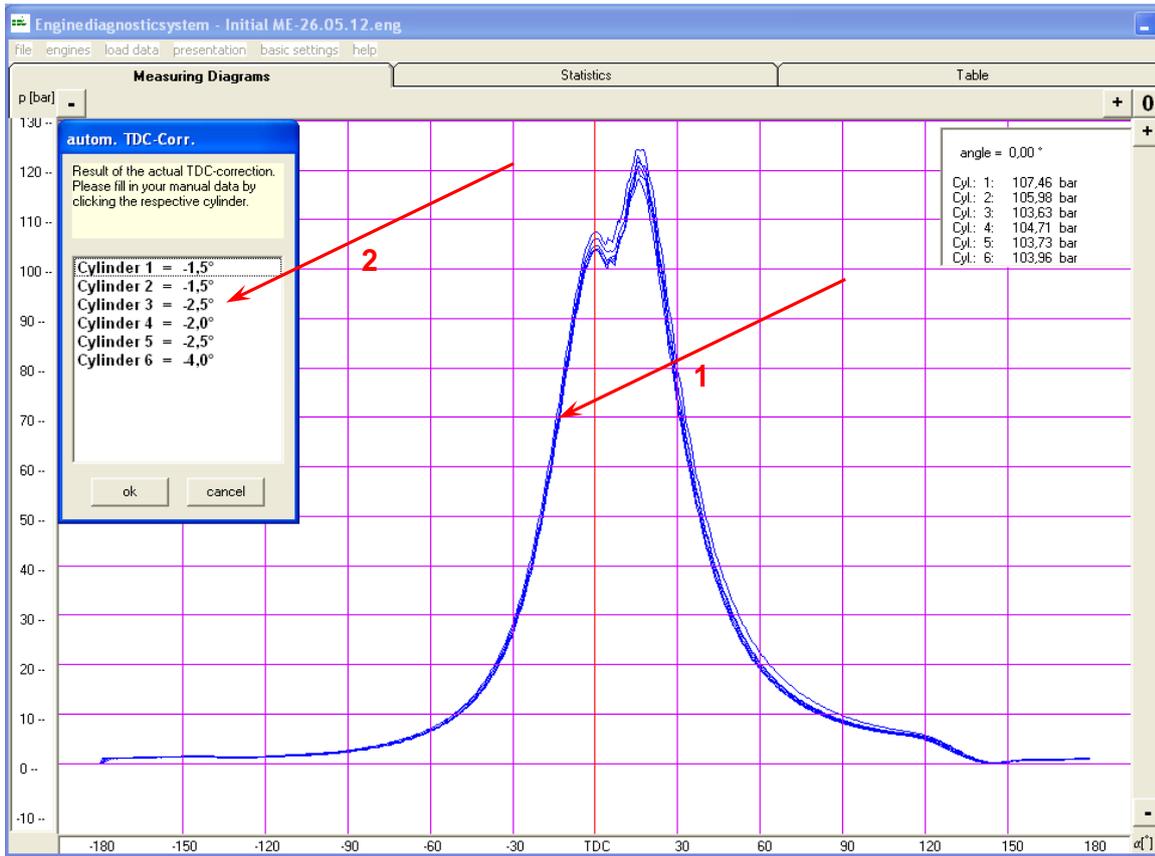


Figure 1. Cylinders open indicator diagrams before TDC correction

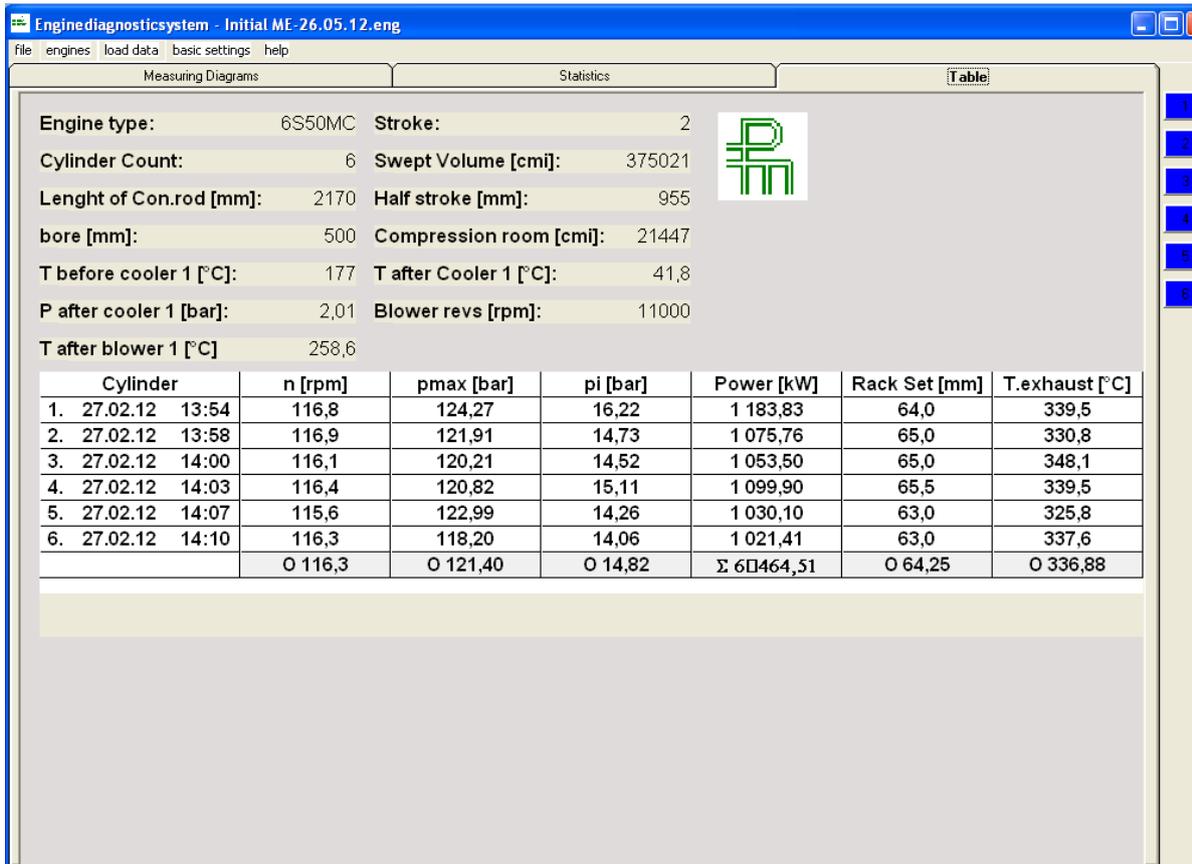


Figure 2. Cylinders indication & performance data results table before TDC correction

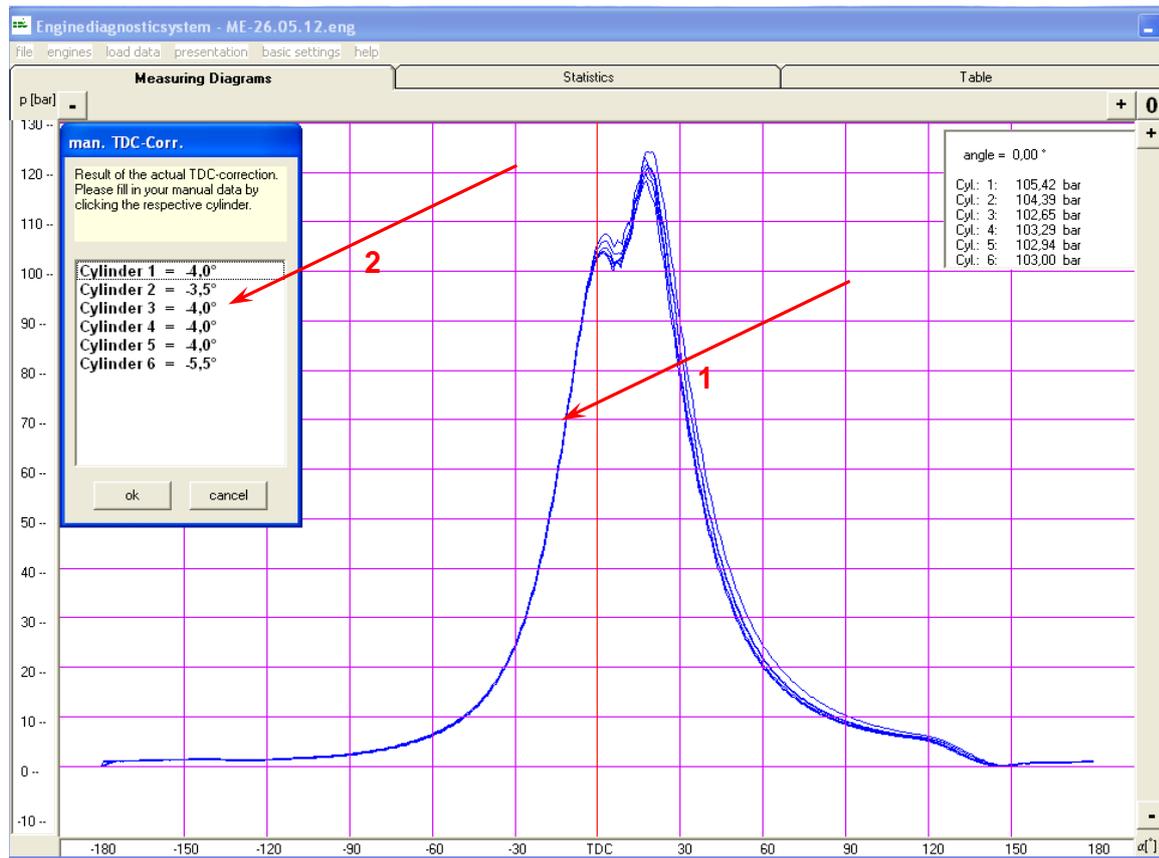


Figure 3. Cylinders open indicator diagrams after TDC correction

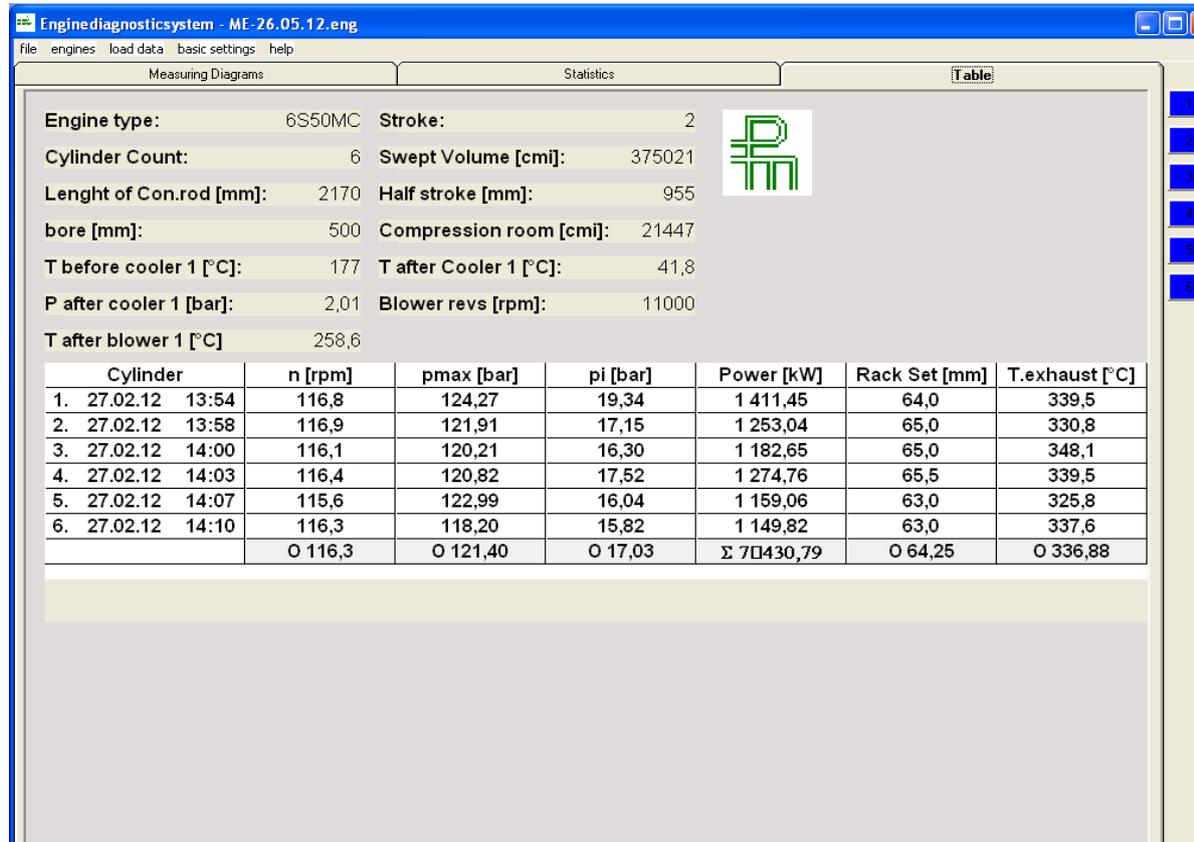


Figure 4. Cylinders indication & performance data results table after TDC correction

18) The Diesel Propulsion Engine mechanical loss pressure calculation:

a) ME Turning Gear technical data from instruction manual (Table 3):

Table 3

Turning gear electromotor amperage	I^{ELM}	A	from turning gear technical data	4,9
Turning gear electromotor voltage	U^{ELM}	V	from turning gear technical data	440
Turning gear electromotor phases Nos	m	-	from turning gear technical data	3
Turning gear electromotor active load	P^{ELM}	HP	from turning gear technical data	3
Turning gear electromotor total load	S^{ELM}	HP	$S^{ELM} = 1.3596 \cdot m^{0.5} \cdot U^{ELM} \cdot I^{ELM} / 10^3$	5,077
Turning gear electromotor power factor	$\cos\phi^{ELM}$	-	$\cos\phi^{ELM} = P^{ELM} / S^{ELM}$	0,59088
Turning gear electromotor frequency	F^{ELM}	Hz	from turning gear technical data	60
Turning gear electromotor pole's pairs No	p	-	from turning gear technical data	3
Turning gear electromotor speed	n^{ELM}	rpm	$n^{ELM} = 60 \cdot F^{ELM} / p$	1200
Turning gear electromotor speed	n^{ELM}	rpm	from turning gear technical data	1155
Turning gear speed	n^{TG}	rpm	from turning gear technical data	1,04
Turning gear angular velocity	ω^{TG}	1/sec	$\omega^{TG} = \pi \cdot n^{TG} / 30$	0,10891
Turning gear output shaft torque	M^{TG}	N · mtr	from turning gear technical data	15696
Turning gear output shaft power	N^{TG}	HP	$N^{TG} = 1.3596 \cdot M^{TG} \cdot \omega^{TG} / 1000$	2,32414
Turning gear mechanical loss power	N_{MEC}^{TG}	HP	$N_{MEC}^{TG} = P_{ELM} - N^{TG}$	0,67586
Turning gear mechanical efficiency	η_{MEC}^{TG}	-	$\eta_{MEC}^{TG} = N^{TG} / P^{ELM}$	0,7747

b) ME mechanical loss pressure calculation by the turning gear operation data at ME opened indicator cocks (Table 4):

Table 4

Turning gear electromotor amperage	I	A	by observation	2,75
Turning gear electromotor voltage	U	V	by observation	446
Turning gear electromotor active load	P	HP	$P = 1.3596 \cdot m^{0.5} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi / 10^3$	1,707
Turning gear output shaft power	N	HP	$N = P - N_{MEC}^{TG}$	1,031
ME turning time for 1 rev.by turning gear	t	sec	by observation	298
ME speed by turning gear	n^{ME}	rpm	$n^{ME} = 60 / t$	0,20134
ME mechanical loss pressure	P_{MEC}^{ME}	kg / cm ²	$P_{MEC} = N / (K \cdot n^{ME} \cdot i)$	1,024
ME mechanical loss pressure	P_{MEC}^{ME}	bar	$P_{MEC}^{BAR} = P_{MEC} / 1.0197$	1,004

or

c) Draw the diagram of the engine mechanical loss pressure dependence of the engine speed from shop

trial test results table and found its dependence function by the trend line (Diagram 2):

d) The engine calculated mechanical loss pressure by the function is founded from the diagram 2:

$$\begin{aligned}
 P_{MEC} &= 1.15598 \cdot 10^{-5} \cdot n_{ENG}^2 - 1.96628 \cdot 10^{-3} \cdot n_{ENG} + 1.13493 = \\
 &= 1.15598 \cdot 10^{-5} \cdot 116.8^2 - 1.96628 \cdot 10^{-3} \cdot 116.8 + 1.13493 = 1.063 \text{ kg / cm}^2 = \\
 &= 1.0425 \text{ bar}
 \end{aligned}$$

19) The Diesel Propulsion Engine mean-effective pressure calculation:

$$P_{ME} = P_{MI} - P_{MEC} = 17.03 - 1.0425 = 15.9875 \text{ bar}$$

where: $P_{MI} = 17.03$ bar – from the engine performance data results table (Fig.4);

$P_{MEC} = 1.0425$ bar – from item 19), sub-item d) or 1.004 bar from table 4.

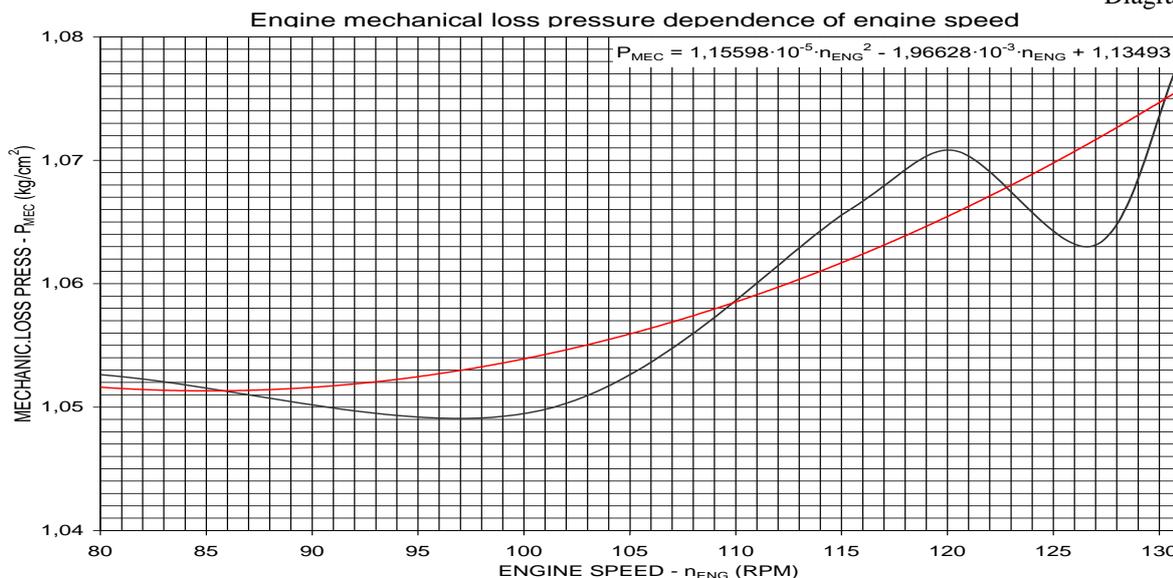
20) The Diesel Propulsion Engine effective power calculation:

$$N_{EFF} = k \cdot P_{ME} \cdot n \cdot i = 0.624761 \cdot 15.9875 \cdot 116.8 \cdot 6 = 7000 \text{ EKW}$$

where: $k = 1.3084 \cdot D^2 \cdot S \cdot m = 1.3084 \cdot 0.5^2 \cdot 1.91 \cdot 1 = 0.624761$ – cylinder constant;
 $D = 0.5$ mtr – cylinder diameter;

$S = 1.91$ mtr – piston stroke;
 $m = 1$ – stroke factor (4-stroke engine
 $m = 2, 2$ -stroke engine $m = 1$).

Diagram 2



Conclusion

As we have seen from mentioned above information for Diesel Propulsion Engines indicator diagrams TDC correction the ME indirect values measurement readings to be taken, recorded & output data have effected to the TDC correction to be calculated.

References

V.I. Korolev, A.G. Taranin, Training of engineers on watch with usage of the engine room simulator «DIESELSIM DPS–100». Parts 1 & 2, Novorossiysk, Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, 2010.

V.I. Korolev, A.G. Taranin, Unattended machine service of a ship’s power plant with simulator «DIESELSIM DPS–100». Parts 1 & 2, Novorossiysk, Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, 2010.

A.G. Taranin, The ship’s equipment operational instructions elements with usage of the ER simulator «DIESELSIM DPS–100», Novorossiysk, Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, 2020.

A.G. Taranin, The ship’s equipment operational instructions elements with usage of the ER simulator «NEPTUNE MC90–IV», Novorossiysk, Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, 2020.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

МНОГОМЕТОДНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ФУНКЦИЙ И ПАРАМЕТРОВ

Александр Иванович Тятюшкин

доктор техн. наук, профессор

Институт динамики систем и теории управления СО РАН)

г. Иркутск

MULTI-METHOD OPTIMIZATION OF CONTROL FUNCTIONS AND PARAMETERS

Alexander Ivanovich Tyatyushkin

doctor tech. sciences, professor

Institute of System Dynamics and Control Theory SB RAS)

Irkutsk

DOI: [10.31618/nas.2413-5291.2020.1.54.189](https://doi.org/10.31618/nas.2413-5291.2020.1.54.189)

Аннотация

Рассматривается задача оптимального управления с фазовыми ограничениями, содержащая управляющие параметры как в правых частях управляемой системы, так и в начальных условиях. Для решения этой сложной задачи предлагается сначала редукция к задаче математического программирования, а затем для поиска оптимальных значений параметров и управляющих функций - применение многометодного алгоритма, состоящего из методов линеаризации, метода приведенного градиента и метода спроектированного лагранжиана.

Abstract

An optimal control problem with phase constraints is considered, which contains control parameters both in the right-hand sides of the controlled system and in the initial conditions. To solve this complex problem, it is proposed first to reduce to a mathematical programming problem, and then to find the optimal parameter values and control functions, we use a multi-method algorithm consisting of linearization methods, the reduced gradient method, and the designed Lagrangian method.

Ключевые слова: численные методы; задача оптимального управления с параметрами; метод приведенного градиента; модифицированная функция Лагранжа; многометодная оптимизация.

Key words: numerical methods; optimal control problem with parameters; reduced gradient method; modified Lagrange function; multi-method optimization.

1. ВВЕДЕНИЕ

При построении математической модели сложного динамического процесса, а также при создании систем с желаемыми свойствами и поведением нередко используется параметрический синтез управления в виде функции известной структуры от фазовых координат, но с неизвестными значениями параметров. Тогда проблема синтеза управления сводится к задаче оптимизации процесса с параметрами [1,2].

В инженерной практике из-за большой трудоемкости расчетов на полной модели или трудностей, связанных с ее технической реализацией, часто возникает проблема понижения порядка системы, описывающей динамический процесс, с сохранением поведения некоторых переменных состояния. Эта проблема так же, как и ряд других проблем из области моделирования и идентификации динамических процессов, сводится к задаче оптимизации параметров. В данной статье рассматривается задача оптимального управления, когда в правые части системы входят не только параметры, но и управляющие функции, а начальные условия системы также зависят от параметров, выбором которых обеспечивается оптимальная стартовая точка для траектории. Заметим, что такая задача нередко возникает в

динамике полета летательных аппаратов. Например, наличие в бортовом компьютере непилотируемого космического аппарата Буран программы выбора оптимальной начальной точки наряду с алгоритмами расчета оптимальной траектории посадки обеспечило ему успешное и точное приземление. Задачи оптимального управления с параметрами в начальных условиях возникают также при расчете наиболее эффективных маневров, обеспечивающих защиту задней полусферы самолета от ракет класса «воздух – воздух» [3,4]. При проектировании самолета пятого поколения СУ-57 – мирового лидера по маневренности - была решена целая серия задач такого типа В монографиях [5-6], приведены результаты большого числа численных экспериментов, выполненных по многометодным алгоритмам для других практических задач из области энергетики, проектирования робототехнических систем и космических аппаратов.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ С ПАРАМЕТРАМИ

Рассмотрим задачу оптимального управления с фазовыми ограничениями, когда правая часть системы зависит не только от управлений, но и от параметров.

Пусть задан управляемый процесс с управляющими параметрами как в правых частях так и в начальных условиях

$$\begin{aligned} \dot{x} &= f(x, u, w, t), x(t) \in E^n, u(t) \in E^r, t \in T = [t_0, t_1], \\ x(t_0) &= \theta(v), w \in R^p, v \in R^n \end{aligned} \tag{2.1}$$

с терминальными условиями

$$I_i(u) = h_i(x(t_1)) = 0, i = \overline{1, m}, \tag{2.2}$$

и фазовыми ограничениями

$$J_i(u, v) = g_i(x(t), t) = 0, t \in T, i = \overline{1, s}. \tag{2.3}$$

Управление и параметры стеснены следующими ограничениями:

$$c_i(u, t) = 0, t \in T, i = \overline{1, l}, \tag{2.4}$$

$$u^h(t) \leq u(t) \leq u^b(t), t \in T, \tag{2.5}$$

$$v^h \leq v \leq v^b, w^h \leq w \leq w^b, \tag{2.6}$$

где $c_i(u, t)$, $i = \overline{1, l}$, — непрерывно дифференцируемые по u и кусочно-непрерывные по t функции; $\theta(v)$ — непрерывно дифференцируемая вектор-функция. Относительно функций, определяющих условия (2.1)–(2.3), справедливы предположения, оговоренные ранее, к которым добавляется также их непрерывная дифференцируемость по параметрам.

Требуется среди управлений и параметров, удовлетворяющих ограничениям (2.4)–(2.6), найти такие, которые обеспечивают выполнение условий (2.3) для управляемого процесса (2.1) и приводят его в точку фазового пространства, где с заданной точностью будут выполнены условия (2.2), а функционал

$$I_0(u) = \phi(x(t_1)) \tag{2.7}$$

достигнет наименьшего значения.

Для построения аппроксимирующей задачи на заданном интервале T вводится сетка дискретизации с узлами t_0, t^1, \dots, t^N такими, что

$$t_0 = t^0 < t^1 < \dots < t^N = t_1. \tag{2.8}$$

Эта сетка может быть и неравномерной.

Управляющие функции $u^i(t)$, $i = \overline{1, r}$, ищутся только в узлах (2.8), а для получения промежуточных значений $u^i(t)$, $i = \overline{1, r}$,

используется либо кусочно-постоянная аппроксимация

$$u^i(t) = u^i(t^j) = u_j^i, t \in [t^j, t^{j+1}],$$

либо кусочно-линейная

$$u^i(t) = \frac{[(t^{j+1}-t)u_j^i + (t-t^j)u_{j+1}^i]}{(t^{j+1}-t^j)}, t \in [t^j, t^{j+1}]. \tag{2.9}$$

Тогда конечномерная задача, аппроксимирующая задачу (2.1)–(2.7), будет иметь следующий вид:

$$\dot{x} = f(x, u, w, t), t \in T = [t_0, t_1], x(t_0) = \theta(v),$$

$$h_i(x(t^N)) = 0, i = \overline{1, m},$$

$$g_i(x(t^j), t^j) = 0, i = \overline{1, s}, j = \overline{0, N},$$

$$c_i(u_j, t^j) = 0, \quad i = \overline{1, l}, \quad j = \overline{0, N}, \quad (2.10)$$

$$v^H \leq v \leq v^B, \quad w^H \leq w \leq w^B,$$

$$\phi(x(t^N)) \rightarrow \min, \quad u_j^H \leq u_j \leq u_j^B, \quad j = \overline{0, N},$$

где

$$u_j^H = u^H(t^j), \quad u_j^B = u^B(t^j), \quad j = \overline{0, N}.$$

Заметим, что в аппроксимирующей задаче (2.10) управляемый процесс (2.1) остается непрерывным, а в процессе счета он с требуемой точностью (достаточно высокой) моделируется численным методом интегрирования.

3. ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ АППРОКСИМИРУЮЩЕЙ ЗАДАЧИ 3.1. Линеаризация ограничений. Расчет Якобиана.

Градиенты функционалов $I_j(u)$, $j = \overline{0, m}$, с помощью функций $H^j(\psi_j, x, u, t) = \psi_j'(t)f(x, u, t)$ и сопряженной системы

$$\dot{\psi}_j = -f_x(x, u, t)' \psi_j(t), \quad \psi_j(t_1) = -\Phi_x^j(x(t_1))$$

традиционно определяются по формулам:

$$\nabla I_j(u) = -H_u^j(\psi_j, x, u, t), \quad j = \overline{0, m}.$$

Для каждого $t \in T$ можно аналогично вычислить градиенты $J_j(u, t)$, $j = \overline{1, s}$:

$$\nabla I_j(u, t) = -\bar{H}_u^j(\Phi_j, x, u, t, \tau), \quad t_0 \leq \tau \leq t \leq t_1,$$

где $\bar{H}^j(\Phi_j, x, u, t, \tau) = \Phi_j'(t, \tau)f(x, u, \tau)$, $\Phi_j(t, \tau)$, $j = \overline{1, s}$ – решения сопряженной системы

$$\frac{\partial \Phi_j(t, \tau)}{\partial \tau} = -\frac{\partial f(x, u, \tau)}{\partial x} \Phi_j(t, \tau), \quad \tau \in [t_0, t]$$

с краевыми условиями

$$\Phi_j(t, t) = -\frac{\partial g^j(x(t))}{\partial x}, \quad j = \overline{1, s}.$$

Линеаризуем ограничения в аппроксимирующей задаче. Матрица-якобиан линеаризованных ограничений составляется из градиентов ∇I_i , $i = \overline{1, m}$, и $\nabla J_j(t)$, $j = \overline{1, s}$, $t \in T$.

Так как правые части и начальные условия системы (2.1) зависят еще и от параметров, то необходимо иметь также градиенты функционалов I_i , $i = \overline{1, m}$, и $J_j(t)$, $j = \overline{1, s}$, $t \in T$, по этим параметрам:

$$\begin{aligned} \nabla_v I_i(u^k, w^k, v^k) &= -\psi_i(t_0)' \theta_v(v^k), \quad i = \overline{1, m}, \\ \nabla_w I_i(u^k, w^k, v^k) &= -\int_{t_0}^{t_1} \psi_i(t)' f_w(x^k, u^k, w^k, t) dt, \end{aligned} \quad (2.11)$$

где $\psi_i(t)$ — решения сопряженной системы,

$$\nabla_w J_i(u^k, w^k, v^k, t^j) = -\int_{t_0}^{t^j} \Phi_i(t)' f_w(x^k, u^k, w^k, t) dt, \quad (2.12)$$

$$\nabla_v J_i(u^k, w^k, v^k, t^j) = -\Phi_i(t_0)' \theta(v^k), \quad i = \overline{1, s}, \quad j = \overline{1, N}. \quad (2.13)$$

Пусть теперь на k -й итерации внешнего метода на сетке (2.8) найдено $u^k(t^j)$ и ему соответствующее $x^k(t^j)$, $j = \overline{1, N}$.

Для расчета градиентов по управлению $\nabla_u I_i$, $i = \overline{1, m}$, система (2.10) m раз интегрируется от t_1

до t_0 с разными начальными условиями. Попутно вычисляются градиенты (2.11) с использованием квадратурных формул для расчета интегралов.

Далее ищутся градиенты функционалов $J_i(t^j)$, $j = \overline{1, N}$, $i = \overline{1, s}$. Для этого нужно s раз решить

задачу Коши для каждого узла сетки (2.8), т.е. проинтегрировать систему $s \cdot N$ раз в среднем на половине отрезка T .

На полученных решениях вычисляются компоненты градиентов $\nabla_u I_i, i = \overline{1, m}; \nabla_w J_i(t^j), i = \overline{1, s}, j = \overline{1, N};$ с учетом аппроксимации управления их значения равны

$$\int_{t^j}^{t^{j+1}} \psi^k(t)' f_u(x^k, u_j^k, w^k, t) dt$$

— в случае кусочно-постоянной аппроксимации и

$$\frac{1}{t^{j+1} - t^j} \left[\int_{t^{j-1}}^{t^j} \psi^k(t)' f_u(x^k, \bar{u}^k(t), w^k, t) (t - t^{j-1}) dt + \int_{t^j}^{t^{j+1}} \psi^k(t)' f_u(x^k, \bar{u}^k(t), w^k, t) (t^{j+1} - t) dt \right] \quad (2.14)$$

— в случае кусочно-линейной аппроксимации (2.9). При этом $\bar{u}^k(t)$ вычисляется по формуле (2.9) при $u_j = u_j^k, u_{j+1} = u_{j+1}^k.$

вычисленных по формулам (2.11)–(2.13) градиентов по параметрам составляется матрица коэффициентов линеаризованных ограничений.

Из полученных значений градиентов по управлению $\nabla I_i, i = \overline{1, m},$ и $\nabla J_j(t), j = \overline{1, s}, t \in T,$ и

Вводя векторные обозначения для равенств (2.2)–(2.4), построим модифицированную функцию Лагранжа для задачи (2.1)–(2.7):

$$L = \phi(x(t_1)) - \lambda^{k'} [h(x(t_1)) - \bar{h}^L] + \frac{\rho}{2} [h(x(t_1)) - \bar{h}^L]' [h(x(t_1)) - \bar{h}^L] - \int_{t_0}^{t_1} \mu^{k'}(t) [g(x(t), t) - \bar{g}^L] dt + \frac{\rho}{2} \int_{t_0}^{t_1} [g(x(t), t) - \bar{g}^L]' [g(x(t), t) - \bar{g}^L] dt - \int_{t_0}^{t_1} \gamma^k(t) [c(u, t) - \bar{c}^L] dt + \frac{\rho}{2} \int_{t_0}^{t_1} [c(u, t) - \bar{c}^L]' [c(u, t) - \bar{c}^L] dt, \quad (2.15)$$

где $\bar{h}^L = h(x^k(t_1)) + h_x(x^k(t_1)) \delta x(t_1), \bar{g}^L = g(x^k(t), t) + g_x(x^k(t), t) \delta x(t),$

$$\bar{c}^L = c(u^k(t), t) + c_u(u^k(t), t) \delta u(t), \delta u = u - u^k, \quad \delta x = x - x^k.$$

Далее линеаризуем ограничения (2.2), (2.3) на k -м приближении:

$$I^k + \sum_{j=0}^N \nabla_u I^k(t^j)' (u_j - u_j^k) + \nabla_w I^k (w - w^k) + \nabla_v I^k (v - v^k) = 0, \quad (2.16)$$

$$J_j^k + \sum_{i=0}^j [\nabla_u J^k(t^j)' (u_i - u_i^k) + \nabla_w J^k(t^j)' (w - w^k) + \nabla_v J^k(t^j)' (v - v^k)] = 0, \quad j = \overline{0, N}. \quad (2.17)$$

Здесь $I = (I_1, I_2, \dots, I_m), J = (J_1, J_2, \dots, J_s).$ Следовательно, имеем m ограничений (2.16) и $(N + 1)s$ ограничений (2.17), которые представляют собой явную форму (через u, w, v) линеаризованных (h^L, g_j^L) ограничений (2.2), (2.3),

причем вместо равенств (2.3), заданных для каждого момента $t \in T,$ имеем N равенств, определенных в узлах сетки (2.8).

Линеаризуем также условия (2.4):

$$c(u^k, t^j) + \nabla_u c(u^k, t^j)' (u_j - u_j^k) = 0, j = \overline{0, N}, \quad (2.18)$$

где $c = (c_1, c_2, \dots, c_l).$ Прямые ограничения на управление и параметры оставим без изменений:

$$u_j^H \leq u_j \leq u_j^B, j = \overline{1, N}, \quad (2.19)$$

$$v_j^H \leq v_j \leq v_j^B, j = \overline{1, n}, w_i^H \leq w_i \leq w_i^B, i = \overline{1, p}. \quad (2.20)$$

Для минимизации функционала (2.15) при линейных ограничениях (2.16)–(2.20) применяется

метод приведенного градиента [7]. Заметим, что функционал (2.15) предполагает использование

исходной системы (2.1) для расчета траектории $\{x(t^1), x(t^2), \dots, x(t^N)\}$ по заданным параметрам v , w и управлению $u(t^0), u(t^1), \dots, u(t^N)$, т.е. полная модель вспомогательной задачи описывается соотношениями (2.1), (2.15)–(2.20).

3.2. Алгоритм метода спроектированного лагранжиана.

Рассмотрим теперь полный алгоритм решения исходной задачи (2.1)–(2.6).

1. С заданным управлением $u_j^k, j = \overline{0, N}$, интегрируется система (2.1), и в узлах сетки (2.8) запоминаются точки фазовой траектории $x_j^k, j = \overline{0, N}$. Здесь k — номер итерации (первый раз $k = 0$).

На полученном решении линеаризуются ограничения задачи (2.10) и строится вспомогательная задача (2.15)–(2.20).

2. Методом приведенного градиента решается вспомогательная задача минимизации модифицированной функции Лагранжа (2.15) при линейных ограничениях (2.16)–(2.20).

В результате будут найдены новые приближения для управления $u_j^{k+1}, j = \overline{0, N}$, параметров w^{k+1} и v^{k+1} , а также для двойственных переменных λ^{k+1} и $\mu_j^{k+1}, j = \overline{0, N}$.

3. Проверяется критерий окончания итерационного процесса как по прямым, так и по двойственным переменным:

$$\frac{|I_i(u^{k+1}, w^{k+1}, v^{k+1})|}{(1+\alpha^{k+1})} \leq \varepsilon, i = \overline{1, m},$$

$$\frac{|J_i(u^{k+1}, w^{k+1}, v^{k+1})|}{(1+\alpha^{k+1})} \leq \varepsilon, i = \overline{1, s},$$

где

$$\alpha^{k+1} = \max\{\|u_j^{k+1}\|, j = \overline{0, N}; |w_i|, i = \overline{1, p}; |v_l|, l = \overline{1, n}\};$$

$$\frac{|\lambda_j^k - \lambda_j^{k+1}|}{(1+\theta^{k+1})} \leq \varepsilon, j = \overline{1, m};$$

$$\frac{|\mu_{ij}^k - \mu_{ij}^{k+1}|}{(1+\theta^{k+1})} \leq \varepsilon, i = \overline{1, s}, j = \overline{0, N};$$

$$\theta^{k+1} = \max\{|\lambda_j^{k+1}|, j = \overline{1, m}; |\mu_{ij}^{k+1}|, i = \overline{1, s}, j = \overline{0, N}\}.$$

При нарушении хотя бы одного из этих условий выполняется новая $k + 1$ -я итерация с п. 1. Если же эти неравенства выполняются для заданного $\varepsilon > 0$, то итерационный процесс прекращается, а найденные $u_j^{k+1}, j = \overline{0, N}$, w^{k+1} и v^{k+1} выдаются в качестве приближенного решения задачи оптимального управления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенные в данной статье численные методы оптимизации параметров и управляющих функций конструктивно учитывают фазовые ограничения путем применения эффективных алгоритмов линейного [8] и нелинейного программирования [7] для решения вспомогательных задач большой размерности. Современные информационные технологии и многопроцессорная вычислительная техника допускают достаточно эффективную реализацию сложных алгоритмов, например, путем применения параллельных вычислений [9]. Программное обеспечение, разработанное на основе данного подхода и реализующее многометодную технологию [6] расчета оптимального управления и оптимальных параметров, успешно применяется для решения сложных прикладных задач

оптимального управления из различных областей науки и техники [3–6].

Список литературы

1. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Н., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. — М.: Наука, 1969.
2. Габасов Р., Кириллова Ф.М. Качественная теория оптимальных процессов. — М.: Наука, 1971.
3. Тятюшкин А.И., Федунев Б.Е. Численное исследование свойств оптимального управления в одной задаче преследования. Изв. РАН, ТиСУ. 2005. № 3. С. 104–113.
4. Тятюшкин А.И., Федунев Б.Е. Возможности защиты от атакующей ракеты задней полусферы самолета вертикальным маневром. Изв. РАН, ТиСУ. 2006. № 1. С. 111–125.
5. Тятюшкин А.И. Численные методы и программные средства оптимизации управляемых систем. — Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992.
6. Тятюшкин А.И. Многометодная технология оптимизации управляемых систем. — Новосибирск: Наука, 2006.
7. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация. — М.: Мир, 1985.
8. Габасов Р., Кириллова Ф.М., Тятюшкин А.И. Конструктивные методы

оптимизации. Ч. 1: Линейные задачи. – Минск: Университетское, 1984.

9. Тятюшкин А.И. Параллельные вычисления в задачах оптимального управления // Сиб. журн. вычисл. математики. 2000. Т. 3, № 2. С. 181-190.

ДИСПЕРСИОННЫЕ УРАВНЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ИОНО-МАГНИТОСФЕРЫ, ПОМЕЩЕННОЙ В ПОСТОЯННОЕ МАГНИТНОЕ И СВЧ-ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Шестакова Ольга Владимировна

Кандидат технических наук, доцент

МАИ (национальный исследовательский университет)

Москва

DISPERSION EQUATIONS OF POTENTIAL OSCILLATIONS OF THE ION-MAGNETOSPHERE, PLACED IN A PERMANENT MAGNETIC AND MICROWAVE ELECTRIC FIELD

Shestakova Olga Vladimirovna

Candidate of technical Sciences, associate Professor

MAI (national research University),

Moscow

DOI: [10.31618/nas.2413-5291.2020.1.54.188](https://doi.org/10.31618/nas.2413-5291.2020.1.54.188)

Аннотация

В данной статье приводится теоретическое обоснование дисперсионного уравнения потенциальных колебаний ионо-магнитосферы. Это уравнение необходимо для решения актуальной научно-технической задачи по разработке вероятностно-статистического метода моделирования явлений переноса в многокомпонентной, помещенной СВЧ-электрической поле.

Abstract

This article provides a theoretical justification for the dispersion equation of the potential vibrations of the ion-magnetosphere. This equation is necessary for solving the urgent scientific and technical problem of developing a probabilistic-statistical method for modeling transport phenomena in a multicomponent, placed microwave electric field.

Ключевые слова: ионо-магнитосфера, параметры ионо-магнитосферы, радиолокационный импульс, авроральные неоднородности.

Keywords: ion-magnetosphere, state ion-magnetosphere parameters, radar pulse, auroral inhomogeneities.

Расширение масштабов задач, решаемых обеспечивающими космическими системами, а также перспективные планы широкомасштабного использования космоса для размещения ударных систем, решающих задачи поражения наземных, воздушных и космических объектов требуют совершенствования методов и алгоритмов, используемых для обработки траекторных измерений с целью повышения их достоверности и точности определения траекторных параметров движения цели ведет к решению различных научно-технических задач.

Особый интерес представляет собой решение актуальной научно-технической задачи по разработке вероятностно-статистического метода моделирования явлений переноса в многокомпонентной, помещенной СВЧ-электрической поле, построению и анализу на основе полученных результатов математической модели влияния ионо-магнитосферы на характеристики систем электронной техники,

имеющей существенное значение для повышения эффективности функционирования РЛС, широкомасштабного использования космоса для решения различных задач связи, а также для обработки траекторных измерений с целью повышения их достоверности и точности определения траекторных параметров движения различных летательных аппаратов (цели).

Одним из этапов решения поставленной задачи является теоретическое обоснование дисперсионного уравнения потенциальных колебаний ионо-магнитосферы, полученных из бесконечной системы уравнений типа Вольтера для сверх-высокочастотного электрического поля с частотой превосходящей собственные частоты среды.

Для обоснования дисперсионного уравнения потенциальных колебаний многокомпонентной ионо-магнитосферы в качестве исходного пункта используем уравнение Пуассона.

$$\operatorname{div} \delta \vec{E} = 4\pi \sum_{\alpha} \delta n_{\alpha}, \quad (1)$$

где в правой части фигурирует возмущение плотности заряженных частиц, а в левой - возмущение потенциального электрического поля.

$$\delta \vec{E} = -i \sum_{\vec{k}_1 \omega_1 n} \vec{k} \delta \Phi^{(n)} \exp\{-i(\omega + n\omega_0) + i\vec{k}\vec{r}\} \quad (2)$$

где $\delta \Phi^{(n)}$ -амплитуда возмущения электрического потенциала. Возмущение плотности заряженных частиц под воздействием потенциального поля волны

$$\frac{4\pi e_e}{k^2} \delta \tilde{n}_e^{(n)} = -\delta \varepsilon_e^{(n)} \sum_{s=-\infty}^{+\infty} J_{n-s}(a_E) \delta \Phi^{(s)} \quad (3)$$

$$\frac{4\pi e_\alpha}{k^2} \delta \tilde{n}_\alpha^{(n)} = -\delta \varepsilon_\alpha^{(n)} \delta \Phi^{(n)} \quad (4)$$

Для электронов ($\delta \tilde{n}_e^{(n)}$) и ионов ($\delta n_i^{(n)}$), полученные во втором разделе, а так же используем уравнение Пуассона (1)

$$\sum_{s=-\infty}^{+\infty} J_{n-s}(a_E) \delta \Phi^{(s)} = \frac{4\pi}{k^2} (e_e \delta \tilde{n}_e^{(n)} + \sum_{s=-\infty}^{+\infty} J_s(a_E) e_\alpha \delta n_\alpha^{(s)}) \quad (5)$$

записанные относительно возмущения потенциальных колебаний ионо-магнитосфере в потенциала $\delta \Phi^{(n)}$ представляет собой систему СВЧ – электрическом поле.

однородных уравнений, условие разрешимости которой определяет дисперсионное уравнение для

Упростим систему (3.) – (5), подставим значения для возмущения потенциала из (3), (4)

$$\begin{cases} -\delta \tilde{\rho}_e^{(n)} = -(\delta) \varepsilon_e^{(n)} + \sum_{s=-\infty}^{+\infty} \sum_\alpha J_{n-s}(a_E) \delta \rho_\alpha^{(s)} \\ -\delta \tilde{\rho}_\alpha^{(n)} = -(\delta) \varepsilon_\alpha^{(n)} (\sum_{s=-\infty}^{+\infty} J_{s-n}(a_E)) \delta \tilde{\rho}_\alpha^{(s)} + \sum_\alpha \delta \rho_\alpha^{(n)} \end{cases} \quad (6)$$

где $\delta \tilde{\rho}_e = e_e \delta \tilde{n}_e$ - возмущение плотности заряда ионов, $\delta \rho_e = e_e \delta n_e$ - возмущения плотности зарядов ионов сорта α .

Таким образом (6) представляет собой бесконечную систему алгебраических уравнений типа Вольтера.

Рассмотрим сверхвысокочастотное поле $\vec{E}_0(t)$, считая, что частота ω_0 много больше всех характерных плазменных частот. Поэтому $\delta \varepsilon_{e\alpha}(\omega + n\omega_0) = 0$ при $n \neq 0$. Поэтому система (6) для случая двухкомпонентной системы сводится к двум уравнениям

$$\begin{cases} \rho_e^{(0)} = -\delta \varepsilon_e^{(0)} [\rho_e^{(0)} + J_0(a_E) \rho_\alpha^{(0)}] \\ \rho_\alpha^{(0)} = -\delta \varepsilon_\alpha^{(0)} [\rho_\alpha^{(0)} + J_0(a_E) \rho_e^{(0)}] \end{cases} \quad (7)$$

представляющих собой дисперсионное уравнение электростатических колебаний плазменной среды во внешнем поле.

В высокочастотном пределе, когда фазовая скорость колебаний намного больше тепловых

скоростей носителей ($\omega \gg kV_{Te}$) дисперсионное соотношение (7) приводит в случае среды без магнитного поля к биквадратному уравнению относительно ω , содержащему два корня

$$\begin{cases} \omega_1^2 = \omega_{Le}^2 + \omega_{Li}^2 J_0^2(a_E) \\ \omega_2^2 = \omega_{Li}^2 (1 - J_0^2(a_E)) \end{cases} \quad (8)$$

Первый из них представляет слабое искажение спектра высокочастотных электронных ленгмюровских колебаний холодной плазмы; второй описывает новый спектр, который получил название электрический звук.

В случае трехкомпонентной ионо-магнитосферы, состоящей из электронов и двух сортов ионов дисперсионное уравнение будет иметь следующий вид:

$$(1 + \delta \varepsilon_e^{(0)} + \delta \varepsilon_{i_1}^{(0)} + \delta \varepsilon_{i_2}^{(0)}) + \delta \varepsilon_e^{(0)} (\delta \varepsilon_{i_1}^{(0)} + \delta \varepsilon_{i_2}^{(0)}) (1 - J_0^2(a_E)) = 0 \quad (9)$$

Здесь $\delta \varepsilon_e^{(0)}, \delta \varepsilon_{i_1}^{(0)}, \delta \varepsilon_{i_2}^{(0)}$ - парциальные коэффициенты диэлектрической проницаемости электронов (e) и двух сортов ионов (i_1 и i_2).

Приведенное теоретическое исследование в дальнейшем позволяет решить следующие задачи:

рассчитать влияние сильного СВЧ - электрического поля на потенциальные колебания многокомпонентной горячей ионо-магнитосферы, получить спектры и декременты затухания потенциальных колебаний в низкочастотной

области спектра колебаний, рассчитать влияние СВЧ-электрического поля на потенциальные колебания многокомпонентной холодной ионосферы, получить собственную частоту и декременты затухания в высоко- и низкочастотной областях спектра, что приведет к решению актуальной научно-технической задачи по разработке вероятностно-статистического метода моделирования явлений переноса в многокомпонентной, помещенной СВЧ-электрической поле.

Литература:

1. Annual Report 1980-81. // Geophys.Inst.Univ. - Alaska Fairbanks,1982
2. Hunsucker R.D., Romic G.I., Ecklung W.L. // Structure and dynamics of ionization and auroral luminosity during the auroral evens of March 16,1972. - Radio Sci.,1975,v.10.№8/9. - P.813-820.
3. Акасофц С.И., Чепмен С. Солнечно - земная физика. - М.:Мир,1975. - 509с.
4. Беспрозванный А.С., Горбушина Г.Н. Морфология возмущенной ионосферы высоких широт. - Гидрометеиздат,1965. - 123с.
5. Дриацкий В.М., Смирнов В.Б., Ходжа-Ахмедов Ч.Л. Инструкция по обработке записей интенсивности космического радиоизлучения. - 1965,34с.
6. Александров А.Ф., Богданкевич Л.С., Рухадзе А.А. Колебания и волны в плазменных средах. - М.:Московский университет,1990. - 271с.
7. Шестакова О.В. Характеристики основных параметров модели ионо-магнитосферы, определяющих динамику распространения радиолокационного импульса //ЕВРАЗИЙСКИЙ СОЮЗ УЧЕНЫХ (ЕСУ) Ежемесячный научный журнал № 9(42), 1 часть, 2017.- 77-80с.
8. Шестакова О.В. Дисперсионные уравнения потенциальных колебаний ионо-магнитосферы, помещенной в постоянное магнитное и СВЧ-электрическое поле //НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ "CHRONOS" ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СБОРНИК НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ XXXI Международная научная конференция «Вопросы современной науки: проблемы, тенденции и перспективы», 13 июля 2018ю- 33-37с.

ISSN 2413-5291

НАЦИОНАЛЬНАЯ АССОЦИАЦИЯ УЧЕНЫХ (НАУ)

Ежемесячный научный журнал

№54 / 2020

1 часть

Редакционный совет

Ответственный редактор – д.ю.н. Чукмаев А.И.
Секретарь конференции – к.ф.н. Варкумова Е.Е.
Редакционная коллегия
Сорновская Н.А.
Кажемаев А.В.
Каверин В.В.
Каримов П.Б.
Свистун А.А.
Селиктарова К.Н.
Артафонов В.Б.
Самиров А.И.
Семипалов С.А.
Новицкая О.С.

Ответственный редактор

Чукмаев Александр Иванович

Доктор юридических наук, профессор кафедры уголовного права.

(Астана, Казахстан)

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Адрес редакции: 620144, г. Екатеринбург, улица Народной Воли, 2, оф. 44

Адрес электронной почты: info@national-science.ru

Адрес веб-сайта: <http://national-science.ru/>

Учредитель и издатель Общество с ограниченной ответственностью

"Евразийское Научное Содружество"

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии 620144, г. Екатеринбург,
улица Народной Воли, 2, оф. 44