

	Ширина насыпи поверху $b$ (м)	28.5		Высота насыпи $H$ (м)	3	Глубина грунтовых вод (м)	4.2
	Ширина насыпи понизу $B$ (м)	37		Вес грунта насыпи (кН/м <sup>3</sup> )	19		
Кол-во слоев		Давление				Вычислить	
2		57					
	Глубина подошвы слоя грунта (м)	Мощность слоя грунта (м)	Модуль деформации (кПа)	Объемный вес грунта (кН/м <sup>3</sup> )	Кэф. пористости	Водоупор (1 - да, 0 - нет)	Осадка (м) 0.082534
4	4.5	4.5	6500	20.2	0.65	0	Сжимаемая толща (м) 16.60001
12	29.5	25	10000	21.7	0.432	0	

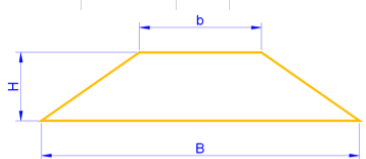


Рисунок 5. Результаты расчета осадки методом послойного суммирования

В результате многочисленных расчётов устойчивость обеспечена, значение коэффициента запаса устойчивости больше минимально допустимого.

Из проведенного анализа следует, что необходимо переустройство сетей дождевой канализации, попадающих в границы исследуемого объекта. Перед подключением к существующим сетям дождевой канализации переустраиваемых сетей предусмотрена очистка стоков на линейных очистных сооружениях. Поэтому в работе были произведены следующие расчеты: расход дождевых вод, расчетная продолжительность дождя, полезный объем регулирующего резервуара, расчетный напор на выходе из КНС. Исходя из проведенных расчетов были рекомендованы к использованию линейные очистные сооружения 3-х разных производительностей. Проведены восстановительные работы автомобильной дороги в следующей последовательности по видам работ: подготовительные, основные (искусственные

сооружения, земляное полотно, дорожные одежды), планировочные и укрепительные.

Рассмотрены мероприятия по обеспечению устойчивости параметров автомобильной дороги после ремонта коммуникаций.

#### Список литературы:

1. Дормидонтова Т.В., Суркова М.С., Котеленец М.В. Мероприятия по охране и рациональному использованию земельных ресурсов и почвенного покрова при строительстве подземного пешеходного перехода на Московском шоссе города Самара: Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2016 №2.
2. Ильина А.А. Характерные проектно-строительные недостатки организации системы отвода поверхностных вод в откосные водосбросные лотки. - М., 2001.- (Сб. науч.-метод. работ по повышению уровня обоснованности проектов автомоб. дорог и сооружений на них / Союздорпроект; Вып. 5).

#### ОБОБЩЕННАЯ ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА И ЕЕ ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ

**Бурляева Елена Валерьевна**

доктор технических наук, профессор

Российский технологический университет,

Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова,  
город Москва

**Кононенко Виолетта Витальевна**

аспирантка

Российский технологический университет МИРЭА,

Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова,  
город Москва

#### GENERALIZED FUNCTIONAL MODEL OF CHEMICAL MANUFACTURING AND ITS SET-THEORETIC REPRESENTATION

**Burlyayeva Elena Valeryevna**

Doctor of Technical Sciences, Professor,

Russian Technological University,

Institute of Fine Chemical Technologies named after M.V. Lomonosov,  
Moscow

**Kononenko Violetta Vitalyevna**

postgraduate student,

**Аннотация**

Рассмотрен механизм построения функциональных моделей в нотации IDEF0. Описан процесс создания помеченного графа, включающего в себя добавление служебных вершин и дуг, путем его преобразования из отдельной диаграммы. Разработана обобщенная функциональная модель одностадийного химического производства. Представлено теоретико-множественное описание графа, описывающего функциональную модель наивысшего уровня.

**Abstract**

The mechanism of constructing functional models in the IDEF0 notation is considered. The process of creating a marked graph is described, it includes adding service vertices and arcs by converting the graph from a separate diagram. A generalized functional model of one-stage chemical production has been developed. A set-theoretic description of a graph describing a top-level functional model is presented.

**Ключевые слова:** функциональное моделирование; верификация функциональной модели; теория множеств; теория графов.

**Keywords:** functional modeling; verification of functional model; set theory; graph theory.

Развитие химической промышленности тесно связано с сокращением длительности жизненного цикла технологий производства и управления. В целях совершенствования производственных процессов используются методы формализованного анализа различных аспектов деятельности предприятий [1]. Основой такого анализа является развернутое описание процессов производства и управления, одним из средств которых является методология функционального моделирования IDEF0. Функциональное моделирование – мощное, универсальное и гибкое средство описания процессов производства и управления [2, 3]. Формальные правила построения функциональных моделей изложены в Рекомендациях по стандартизации [4].

Для верификации и анализа функциональных диаграмм необходимо представить функциональную модель в виде совокупности ориентированных графов специального вида, связанных отношением детализации.

Сама по себе функциональная диаграмма не является графом по следующим причинам [5]:

- На функциональной диаграмме имеются стрелки, выходящие из границ диаграммы (граничные стрелки), в то время как дуга графа должна связывать 2 вершины (дуг «из ниоткуда» быть не может),
- Стрелка функциональной диаграммы может ветвиться, дуга графа – не может,
- Положение стрелки относительно функционального блока существенно, положение дуги графа относительно его вершины – нет.

Отметим также, что каждая стрелка функциональной диаграммы имеет название, но это название не является уникальным. Поэтому для описания функциональной диаграммы используется граф с помеченными дугами.

Функциональная диаграмма преобразуется в граф, вершины которого, помимо вершин, задающих функциональные блоки диаграммы, будут включать в себя 4 служебные вершины, задающие границы диаграммы. Эти служебные вершины обозначим латинскими буквами:

- L – левая граница,
- R – правая граница,
- U – верхняя граница,
- D – нижняя граница.

Кроме того, для описания точек ветвления стрелок также потребуются служебные вершины. Если при ветвлении не изменяется метка стрелки, такую стрелку можно описать как 2 различные стрелки с одинаковой меткой. Однако, если метки стрелки изменяются, для описания точки ветвления нужно задать служебную вершину.

Стрелки функциональной диаграммы преобразуются в дуги графа. Дуга однозначно задается указанием вершин, которые она соединяет, и ролей этих вершин. Обозначим роли латинскими буквами, отделенных двоеточием от имен вершин. Каждой стрелке функциональной диаграммы поставим в соответствие дугу:

**название\_дуги(роль\_начальной\_вершины):**

**Имя\_начальной\_вершины,**

**роль\_конечной\_вершины:**

**Имя\_конечной\_вершины)**

Теоретико-множественные описания граничных стрелок приведены в табл. 1.

Таблица 1.

**Представление граничных стрелок в виде дуг графа**

Роль стрелки	Дуга графа
«ВХОД»	Связь(О:L, I:Блок)
«ВЫХОД»	Связь(О:Блок, I:R)
«управление»	Связь(О:U, С:Блок)
«механизм»	Связь(О:D, М:Блок)

Методика преобразования функциональной диаграммы в граф с помеченными дугами включает в себя следующие этапы:

1. Вершины графа соответствуют функциональным блокам диаграммы;
2. Дополнительные служебные вершины описывают границы диаграммы;
3. Дуги графа соответствуют стрелкам диаграммы, необходимо добавить роли вершин;
4. Ветвящиеся стрелки преобразуются во фрагменты графа:
  - а. Дуги, соответствующие отдельным ветвям стрелки
  - б. При изменении метки, помимо дуг для исходной стрелки и ее ветвей необходимо добавить служебную вершину с уникальным именем

Каждый функциональный блок может подвергаться декомпозиции. Отношение «от общего к частному» задает иерархию диаграмм, которая может быть представлена в виде дерева. Корнем этого дерева является наиболее общая диаграмма уровня А-0. Описание этого отношения (decompose) состоит из элементов – упорядоченных троек, элементами которых являются

- Номер родительской диаграммы
- Номер дочерней диаграммы
- Детализируемый блок родительской диаграммы.

При построении функциональной модели химического производства на начальном этапе рассматривается единый процесс. Для этого процесса необходимо описать входные ресурсы - сырье. На функциональной диаграмме верхнего уровня сырье описано одной стрелкой, при описании конкретного производства могут использоваться отдельные стрелки для каждого вида сырья. В качестве результатов процесса выступают готовая продукция и документы, удостоверяющие ее качество. В роли «управление» для этого процесса задаются стандарты (ГОСТ или ТУ), описывающие требования к качеству продукции. Исполнителем процесса, как правило, является цех или производственный участок. Функциональная модель наивысшего уровня для химического производства приведена на рис. 1.

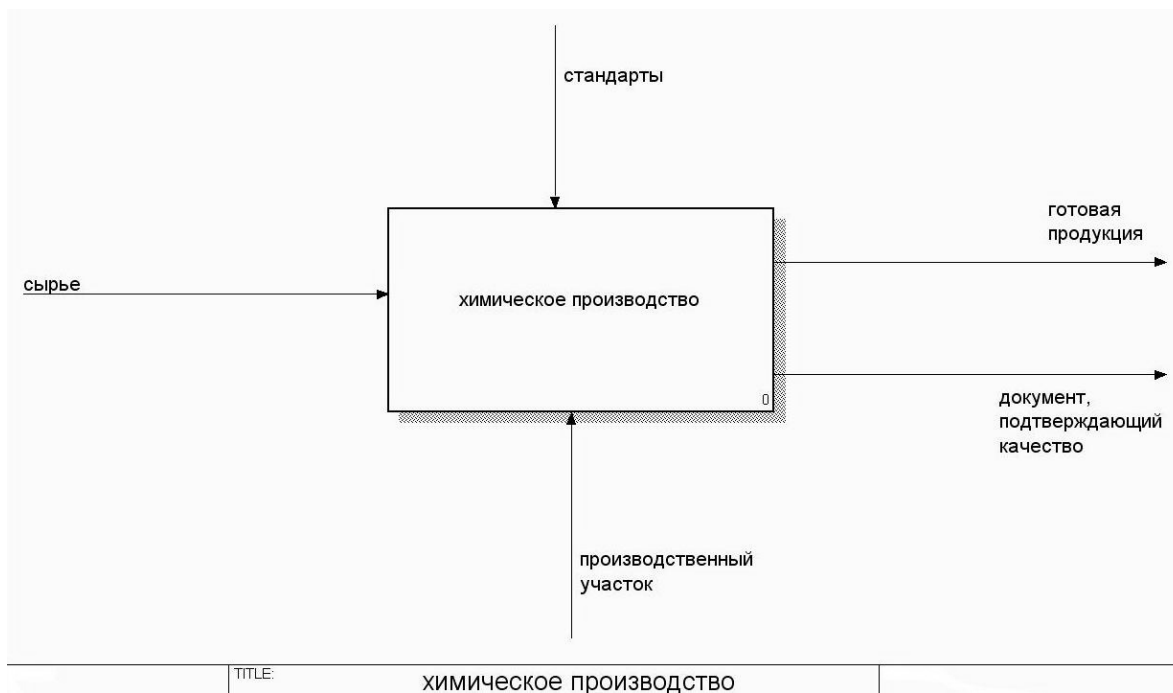


Рисунок 1. Функциональная диаграмма, описывающая химическое производство

Теоретико-множественное описание графа представлено на рис. 2. Поскольку в диаграмме наивысшего уровня все стрелки являются граничными, все дуги графа описывают граничные

стрелки и связывают служебные вершины с единственной вершиной, соответствующей единственному функциональному блоку диаграммы уровня А-0.

$A-0 = \{N00, L00\}$  где  
 $N00 = \{L, R, U, D, \text{химическое\_производство}\}$   
 $L00 = \{\text{сырье}(O:L, I:\text{химическое\_производство}),$   
 $\text{готовая\_продукция}(O:\text{химическое\_производство}, I:R),$   
 $\text{документ\_подтверждающий\_качество}(O:\text{химическое\_производство}, I:R),$   
 $\text{стандарты}(O:U, C:\text{химическое\_производство}),$   
 $\text{производственный\_участок}(O:D, M:\text{химическое\_производство})\}$

Рисунок 2 Теоретико-множественное описание функциональной диаграммы уровня А-0



Теоретико-множественное описание графа представлено на рис. 4. На этом шаге отношение decompose состоит из единственной тройки, описывающей декомпозицию функционального блока «химическое производство». Из описания видно, что метки дуг не являются уникальными: в частности, 2 дуги имеют одну и ту же метку «сырье». Одна из этих дуг описывает свежее сырье, поступающее на вход процесса подготовки сырья, сырье(О:L, I: подготовка\_сырья) а вторая - рецикл сырья сырье(О: разделение\_смеси, I: подготовка\_сырья).

На этой диаграмме ветвятся 2 стрелки: готовая\_продукция и производственный\_участок. Для первой из них при ветвлении дуги метки не изменяются, поэтому нет необходимости добавления в граф дополнительной вершины. Две отдельные дуги с одинаковыми метками задают две ветви этой стрелки. Для второй при ветвлении появляются дополнительные метки, поэтому добавляется служебная вершина N1, задающая точку ветвления. Исходной стрелке и каждой ее ветви соответствует отдельная дуга.

$A0 = \{N0, L0\}$  где  
 $N00 = \{L, R, U, D, \text{подготовка\_сырья}, \text{химическое\_превращение}, \text{разделение\_смеси}, \text{анализ\_состава\_продукции}\}$   
 $L00 = \{\text{сырье}(O:L, I:\text{подготовка\_сырья}), \text{подготовленное\_сырье}(O:\text{подготовка\_сырья}, I:\text{химическое\_превращение}), \text{реакционная\_смесь}(O:\text{химическое\_превращение}, I:\text{разделение\_смеси}), \text{побочные\_продукты}(O:\text{разделение\_смеси}, I:R), \text{готовая\_продукция}(O:\text{разделение\_смеси}, I:\text{анализ\_состава\_продукции}), \text{готовая\_продукция}(O:\text{разделение\_смеси}, I:R), \text{сырье}(O:\text{разделение\_смеси}, I:\text{подготовка\_сырья}), \text{документ\_подтверждающий\_качество}(O:\text{анализ\_состава\_продукции}, I:R), \text{продукция\_ненадлежащего\_качества}(O:\text{анализ\_состава\_продукции}, I:\text{разделение\_смеси}), \text{стандарты}(O:U, C:\text{анализ\_состава\_продукции}), \text{производственный\_участок}(O:D, M:N1), \text{участок\_подготовки\_сырья}(O:N1, M:\text{подготовка\_сырья}), \text{реакторный\_участок}(O:N1, M:\text{химическое\_превращение}), \text{участок\_разделения}(O:N1, M:\text{разделение\_смеси}), \text{лаборатория\_контроля\_качества}(O:N1, M:\text{анализ\_состава\_продукции})\}$

Рисунок. 4 Теоретико-множественное описание функциональной диаграммы уровня A0

#### Список литературы:

1. Bayer B., Marquardt W. A comparison of data models in chemical engineering // Concurrent Engineering. 2003. V. 11. Iss. 2. P. 129–138.
2. Jeong K.-Y., Wu L., Hong J.-D. IDEF methodbased simulation model design and development framework // J. Industrial Engineering and Management. 2009. V. 2. № 2. P. 337–359.
3. Репин В.В., Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. 544 с.
4. Рекомендации по стандартизации. Информационные технологии поддержки

жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. М.: Госстандарт России, 2001. 19 с.

5. Бурляева Е.В., Бурляев В.В., Цеханович В.С. Теоретико-множественное представление функциональных моделей химических производств // Тонкие химические технологии. 2017. Т. 12. № 5. С. 71-78.

6. Бурляева Е.В., Бурляев В.В., Фролкова А.К. Функциональное моделирование производств основного органического синтеза на примере получения винилацетата // Химическая технология. 2016. № 9. - С.418-423.