### МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.94

# ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

### Е.В. Бурляева®, В.В. Бурляев, В.С. Цеханович

Московский технологический университет (Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова), Москва 119571, Россия <sup>®</sup> Автор для переписки, e-mail: lenbur@yandex.ru

Разработана методика формализованного описания функциональных моделей химического производства на основе теории графов. Модель представляется в виде совокупности ориентированных помеченных графов, иерархически упорядоченную с помощью отношения детализашии. Вначале описана проиедира преобразования отдельной диаграммы в помеченный граф, включающая в себя добавление служебных вершин и дуг. Вершины графа соответствуют функциональным блокам, границам и точкам ветвления стрелок диаграммы; дуги графа соответствуют стрелкам диаграммы. Приведены графические описания типовых взаимосвязей функциональных блоков: выход-вход, выход-управление, выход-механизм. Разработаны процедуры для преобразования граничных и ветвящихся стрелок. Преобразование ветвящихся стрелок выполняется в зависимости от изменения меток ветвей. Каждой ветвящейся стрелке соответствует подграф, включающий несколько дуг и, возможно, дополнительные вершины. Помеченные ориентированные графы задаются в теоретико-множественной нотации, содержащей метки дуг и роли вершин. Иерархия диаграмм задается с помощью отношения декомпозиции, которое связывает родительскую диаграмму, дочернюю диаграмму и детализириемый блок. В качестве примера выполнено построение теоретико-множественного описания функциональной модели получения винилацетата. Применение мощного математического аппарата, накопленного в рамках теории графов, для верификации и анализа функциональных диаграмм на основе предложенного формализованного описания является областью дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** функциональное моделирование, верификация функциональной модели, теория множеств, теория графов, получение винилацетата.

# SET-THEORETIC DESCRITPION OF FUNCTIONAL MODELS OF CHEMICAL MANUFACTURING

### E.V. Burlyaeva®, V.V. Burlyaev, V.S. Tsekhanovich

Moscow Technological University (M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies), Moscow 119571, Russia

@ Corresponding author e-mail: lenbur@yandex.ru

The technique for the formalized description of functional models of chemical manufacturing is developed. The technique is based on graph theory. The model is described as a set of oriented labeled graphs that are hierarchically organized by the decompose relationship. First we describe the conversion of a single diagram to a labeled graph, including adding new nodes and edges. The nodes of the graph correspond to boxes, borders and branching points of the arrows at the diagram. The edges of the graph correspond to the arrows at the diagram. The graph descriptions of the model of base functional relationships such as output-input, output-control, output-mechanism are represented. We develop procedures to convert the border arrows and branch arrows. Conversion of branch arrows is performed depending on changes of the labels of branches. Branching of each arrow corresponds to a subgraph including several edges and

perhaps additional nodes. Oriented labeled graphs are described by set-theoretic notation that contains the labels of the edges and the roles of nodes. The hierarchy of diagrams is specified by a decompose relationship, which includes the parent chart, the child chart and the decomposed box. As an example, we present the set-theoretic description of the functional model of vinyl acetate manufacturing. The application of mathematical apparatus built within the framework of graph theory for verification and analysis of functional diagrams based on the proposed formal description is an area for further research.

**Keywords:** functional modeling, verification of functional model, set theory, graph theory, vinyl acetate production.

#### Ввеление

В настоящее время развитие химической отрасли промышленности сопряжено с сокращением продолжительности жизненного цикла технологий производства и управления. Решение задач постоянной модернизации и совершенствования производства невозможно без применения методов формализованного анализа различных аспектов деятельности предприятия [1]. Базой для такого анализа является точное, достаточное, лаконичное, наглядное описание различных аспектов производства и управления [2]. Одним из средств построения такого описания является методология функционального моделирования IDEF0. Методология IDEF0 обеспечивает структурированное, иерархическое, сколь угодно детализированное, формализованное описание процессов производства и управления [3, 4]. Применение методологии IDEF0 для анализа жизненного цикла химических предприятий рассмотрено в работах [5–7].

В России нотация функционального моделирования IDEF0 изложена в Рекомендациях по стандартизации Р 50.1.028-2001 [8], которые содержат описание синтаксиса графического языка. Функциональная модель представляет собой совокупность графических диаграмм, иерархически упорядоченных от обобщенного описания к частному. Основными компонентами нотации IDEF0 являются блоки, стрелки и диаграммы. Каждая модель должна иметь диаграмму верхнего уровня, обеспечивающую наи-

более общее описание объекта моделирования. На этой диаграмме объект моделирования представлен единственным блоком; стрелки описывают внешние интерфейсы объекта. Далее выполняется декомпозиция функционального блока посредством создания дочерней диаграммы. Дочерняя диаграмма описывает ту же функцию, что и исходный (родительский) функциональный блок, но более подробно. Таким образом, задается иерархия декомпозиции «родительский блок – дочерняя диаграмма».

Преимущества функциональной модели по сравнению с технологической схемой подробно рассмотрены в [9] и сведены в табл. 1. Как видно из таблицы, функциональное моделирование является более мощным, универсальным и гибким средством описания процессов производства и управления.

Формальные правила построения функциональных моделей изложены в Рекомендациях по стандартизации [8]. На рынке программного обеспечения представлен ряд коммерческих продуктов, в частности, AllFusion ERwin Data Modeler [10, 11], Edraw [12], предназначенных для создания функциональных моделей. Однако в этих программных комплексах как формальный язык описания моделей, так и алгоритмы проверки правильности построения моделей скрыты от пользователя. Разработка формальной системы, включающей в себя язык описания функциональных моделей, а также методики их верификации и анализа, обеспечит поддержку начальных этапов деятельности специалистов в области системного анализа производственных процессов.

**Таблица 1.** Преимущества функциональных моделей по сравнению с технологическими схемами

Критерий	Технологическая схема	Функциональная модель
Степень детализации	Фиксирована, выбирается до начала описания	Произвольная, в любой момент может быть изменена
Описываемые процессы	Только технологические	Технологические, информационные, процессы управления
Обозначения	ГОСТ 2.793-79 ЕСКД (понятны химикам- технологам)	Р 50.1.028-2001 (понятны широкому кругу специалистов)

Нами предложено теоретико-множественное представление функциональных моделей в виде совокупности ориентированных графов специального

вида, связанных отношением детализации. Такое представление обеспечивает возможность применения мощного математического аппарата, накоплен-

ного в рамках теории графов [13], для верификации и анализа функциональных диаграмм.

## Преобразование отдельной функциональной диаграммы в граф

Функциональная диаграмма не является графом по следующим причинам:

- на функциональной диаграмме имеются стрелки, выходящие из границ диаграммы (граничные стрелки), в то время как дуга графа должна связывать две вершины;
- 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 будем использовать граф с помеченными дугами.

Опишем вначале структуру отдельной диаграммы в виде графа.

Такой граф будет включать в себя вершины 3-х типов:

- вершины, задающие функциональные блоки диаграммы;
- 4 служебные вершины, задающие границы диаграммы. Эти вершины вводят для того, чтобы граф не содержал дуг, ведущих «из ниоткуда». Обозначим их: L левая граница, R правая граница, U верхняя граница, D нижняя граница;
- служебные вершины, задающие точки ветвления стрелок. Поскольку каждая вершина графа должна иметь уникальное имя, необходим специальный механизм генерации уникальных имен служебных вершин.

Дуги графа задают стрелки функциональной диаграммы. Каждая дуга имеет метку, однако эта метка не обязательно является уникальной. Для задания дуги нужно указать вершины, которые она соединяет, и роли этих вершин. Будем указывать роли перед именами вершин и отделять двоеточием. Таким образом, каждой стрелке функциональной диаграммы будет соответствовать дуга графа:

название\_дуги (роль\_начальной\_вершины: Имя начальной вершины,

роль\_конечной\_вершины: Имя\_конечной\_вершины)

Стрелкам с ветвлением будет соответствовать несколько (не менее двух) дуг графа.

Теоретико-множественные описания граничных стрелок приведены в табл. 2.

**Таблица 2.** Представление граничных стрелок в виде дуг графа

Роль стрелки	Дуга графа
≪вход»	Связь(О:L, І:Блок)
≪выход»	Связь(О:Блок, I:R)
«управление»	Связь(О:U, С:Блок)
«механизм»	Связь(О:D, М:Блок)

Далее рассмотрим отношения блоков функциональных диаграмм, рассмотренные в п. 7.4 Рекомендаций по стандартизации [8], и соответствующие им элементы помеченных графов.

- Связь «вход-выход». Наиболее часто в функциональных диаграммах используются связи между выходом одного функционального блока и входом другого. Такой связи на графе соответствует дуга, началом которой является вершина Блок1, а концом вершина Блок2. При этом вершина Блок1 имеет роль «выход», вершина Блок2 роль «вход» (рис. 1а). Отметим, что теоретико-множественное представление обратной связи «вход-выход» не отличается от представления обычной такой связи.
- Связь по управлению. Если стрелка описывает связь по управлению, выход одного функционального блока является управляющим воздействием на следующий блок. Графовое описание такого фрагмента будет отличаться от описания предыдущего только ролью «управление» вершины Блок2 (рис. 1б).
- Связь «выход-механизм». Для стрелки, описывающей такую связь, выход одного функционального блока является механизмом реализации другого блока. Графовое описание такого фрагмента будет отличаться от описания связи «выход-вход» только ролью «механизм» вершины Блок2 (рис. 1в).

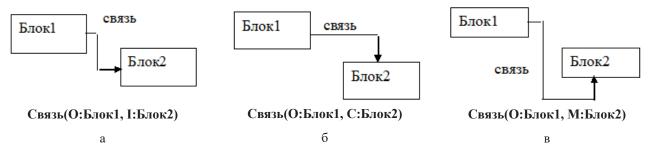
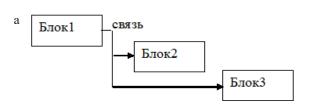
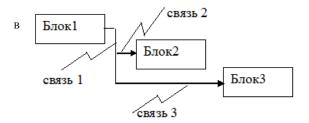


Рис. 1. Теоретико-множественное описание отношений блоков функциональных диаграмм.

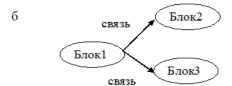
Как уже было отмечено выше, теоретико-множественное представление ветвящихся стрелок имеет ряд особенностей:

- Ветви стрелки на графе соответствует отдельная дуга. Роли вершин для этих дуг соответствуют ролям вершин в описываемых связях. Дуги, описывающие ветви стрелки, имеют одинаковые метки. Так, на рис. 2а выход функционального блока 1 является входом блоков 2 и 3. Описание такой стрелки в виде графа и в теоретико-множественной нотации представлено на рис. 26.
- Ветвление стрелки с изменением меток. Изменение меток требует добавления служебной вер-

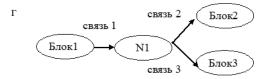




шины, соответствующей точке ветвления. Отдельная дуга графа соответствует части стрелки от начальной вершины до служебной. Кроме того, каждой ветви стрелки, независимо от того, изменяется ее метка или нет, соответствует отдельная дуга графа. Роли вершин для этих дуг соответствуют ролям вершин в описываемых связях. Для каждой ветвящейся стрелки с изменением меток на графе задают, как минимум, 3 дуги. На рис. 2в выход функционального блока 1 является входом блоков 2 и 3, при этом связь разделяется на две. Описание такой стрелки в виде графа и в теоретико-множественной нотации представлено на рис. 2г.



**Вершины:** Блок1, Блок2, Блок3 Дуги: Связь(О:Блок1, I:Блок2), Связь(О:Блок1, I:Блок3)



**Вершины:** Блок1, Блок2, Блок3, N1 Дуги: Связь1(О:Блок1, I:N1), Связь2(О:N1, I:Блок2), Связь3(О:N1, I:Блок3)

Рис. 2. Теоретико-множественное описание ветвящихся стрелок.

Таким образом, при преобразовании функциональной диаграммы в граф с помеченными дугами последовательно выполняются следующие операции:

- 1. Каждому функциональному блоку ставится в соответствие вершина.
- 2. Добавляются служебные вершины для границ диаграммы.
- 3. Каждой простой стрелке ставится в соответствие дуга с указанием ролей вершин.
- 4. Каждой ветвящейся стрелке ставится в соответствие фрагмент графа.
- а. Если при ветвлении метка не изменяется, каждой ветви стрелки соответствует отдельная дуга.
  - b. Если при ветвлении метки изменяются:
- i) добавляется служебная вершина с уникальным именем;
- іі) добавляются дуги, соответствующие каждому фрагменту стрелки.

# **Теоретико-множественное описание иерархии** диаграмм функциональной модели

Все диаграммы внутри одной модели связаны иерархическим отношением «от общего к частному» и могут быть представлены в виде дерева, кор-

нем которого является диаграмма наивысшего уровня обобщения А-0. При теоретико-множественном представлении для каждого элемента этого отношения (обозначим его *decompose*) необходимо указать:

- номер родительской (обобщенной) диаграммы;
- номер дочерней (детализированной) диаграммы;
- функциональный блок родительской диаграммы, который детализируется с помощью дочерней диаграммы.

Так, если декомпозируется функциональный блок Блок4 диаграммы A2, элемент отношения *decompose* будет иметь вид (A2, A24, Блок4).

Существенно, что при декомпозиции стрелки, которые связывали функциональный блок с границами или другими блоками диаграммы, преобразуются в граничные стрелки для новой диаграммы. Так, если на родительской диаграмме имеется стрелка, связывающая функциональные блоки Блок1 и Блок2 отношением «выход-вход», которой соответствует дуга графа Связь(О:Блок1, I:Блок2), при декомпозиции блока Блок2 в теоретико-множественном описании дочерней диаграммы должна присутствовать дуга, задающая граничную стрелку Связь(О:L, I:Блок2).

Наличие на дочерней диаграмме дуг, описывающих граничные стрелки, для которых на родительской диаграмме отсутствуют соответствующие дуги, указывает на то, что эти стрелки являются туннельными.

Таким образом, на основе теоретико-множественных описаний отдельных диаграмм и отношения *decompose*, задающего связи между этими диаграммами, можно разработать алгоритм проверки правильности построения функциональной модели.

# Теоретико-множественное представление функциональной модели производства винилапетата из этилена

В качестве примера рассмотрим построение теоретико-множественного описания функциональной модели получения винилацетата. На начальном этапе построения функциональной модели производство винилацетата рассматривается как единый процесс. При декомпозиции этого процесса выделены основные процессы, протекающие при производстве винилацетата [14]. Функциональные блоки на диаграмме, представленной на рис. 3, соответствуют основным технологическим операциям, которые были выделены при анализе технологической схемы:

- 1. Подготовка сырья
- 2. Химическое превращение
- 3. Конденсация
- 4. Разделение конденсата

Последний функциональный блок «анализ состава продукта» описывает процедуру контроля качества готовой продукции. Эти функциональные

блоки должны входить в описание любого одностадийного химического производства [15], отличаться будут только стрелки.

Большинство из представленных на диаграммах стрелок описывают связи «выход-вход». Как правило, продукт, полученный на выходе из одного блока, является сырьем для следующего — например, газ, получаемый в результате химического превращения в реакторе, далее направляется на конденсацию. Из диаграммы видно, что все рассмотренные блоки связаны последовательно, выполняются строго один за другим.

На диаграмме показаны также стрелки, которые не были задействованы на предыдущих уровнях диаграммы, — туннельные стрелки. Например, туннельной стрелкой обозначен катализатор, используемый в процессе химического превращения. Также на диаграмме имеются стрелки, описывающие рецикл реагентов. Так, вторичное использование уксусной кислоты описано стрелкой, которая связывает функциональный блок «разделение конденсата» с функциональным блоком «подготовка сырья».

Функциональный блок «анализ состава продукта» отвечает за контроль качества винилацетата. Стрелка с ролью «управление» задает документ, регламентирующий состав и количество допустимых примесей. Кроме того, добавляется туннельная стрелка с ролью «механизм», описывающая аппарат для проведения химического превращения — трубчатый реактор.

Теоретико-множественное описание функциональной диаграммы приведено на рис. 4.

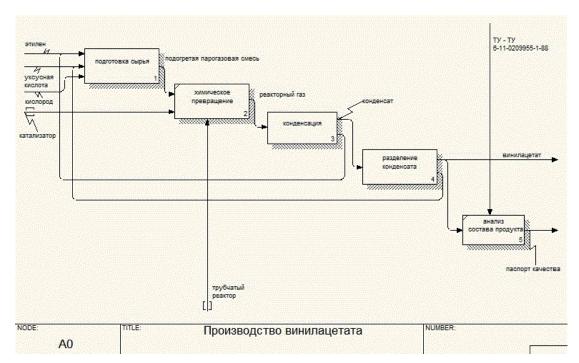


Рис. 3. Функциональная диаграмма «Производство винилацетата».

```
decompose = \{(A00, A0, Производство винилацетата)\}
A0=\{N0, L0\}, где
N0={L, R, U, D, Подготовка сырья, Химическое превращение, Конденсация,
               Разделение конденсата, Анализ состава продукта}
L0={этилен(O:L, I: Подготовка сырья),
   • уксусная кислота(О:L, I: Подготовка сырья),
   • кислород(О:L, I: Подготовка сырья),
   • подогретая парогазовая смесь
            (О:Подготовка сырья, І:Химическое превращение),
   • катализатор(O:L, I: Химическое превращение),
   • реакторный газ (О: Химическое превращение, І: Конденсация),
   • этилен(О: Конденсация, І: Подготовка сырья),
   • конденсат(О: Конденсация, І: Разделение конденсата),
   • уксусная кислота(О: Разделение конденсата, І: Подготовка сырья),
   • винилацетат(О: Разделение конденсата, I:R),
   • винилацетат(О: Разделение конденсата, І: Анализ состава продукта),
   • паспорт качества(О: Анализ состава продукта, I:R),
   • ТУ(О:U,С: Анализ состава продукта),
   • трубчатый реактор(О:D,М:Химическое_превращение)}
```

Рис. 4. Теоретико-множественное описание функциональной диаграммы уровня А0.

На этом этапе отношение *decompose* содержит единственный элемент, задающий результат декомпозиции функционального блока «производство винилацетата» – диаграмму уровня A0.

Граф, соответствующий функциональной диаграмме уровня A0, содержит как вершины, соответствующие функциональным блокам, так и служебные вершины, соответствующие границам диаграммы. Дуги, задающие граничные стрелки, идентичны дугам предыдущего графа. Большая часть дуг описывает связи «выход-вход».

Отметим, что метки дуг не являются уникальными: так, имеются две дуги с меткой «этилен», одна из ко-

торых описывает свежий этилен, поступающий на вход процесса подготовки сырья, а вторая – рецикл этилена.

На диаграмме имеется единственная ветвящаяся стрелка. Эта стрелка описывает конечный продукт – винилацетат, часть которого используется в процессе анализа состава продукта. Так как при ветвлении дуги метки не изменяются, дополнительная вершина в граф не добавляется, двум ветвям стрелки соответствуют две отдельные дуги с одинаковой меткой.

Полное теоретико-множественное описание иерархии функциональных диаграмм, составляющих модель получения винилацетата, задает отношение *decompose*, приведенное на рис. 5.

```
      decompose = {(A00, A0, Производство_винилацетата)

      • (A0, A1, Подготовка_сырья)

      • (A0, A3, Конденсация)

      • (A0, A4, Разделение_конденсата)

      • (A4, A41, Отделение_уксусной_кислоты)

      • (A4, A42, Осушение)

      • (A42, A423, Отделение_винилацетата_с_примесями)

      • (A42, A424, Отделение_фузельной_воды)

      • (A4, A43, Отделение_винилацетата_с_тяжелокипящими_примесями)

      • (A4, A44, Выделение_винилацетата)}
```

**Рис. 5.** Представление иерархии функциональных диаграмм получения винилацетата с помощью отношения *decompose*.

#### Заключение

Предложена методика построения теоретико-множественного описания функциональной мо-

дели химического производства. Разработка алгоритмов верификации и анализа функциональных моделей химического производства является направлением дальнейших исследований.

### 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. Fuchino T., Miyazawa M., Naka Y. Business model of plant maintenance for lifecycle safety // Computer Aided Chemical Engineering. 2007. V. 24. P. 1175–1180.
- 3. Jeong K.-Y., Wu L., Hong J.-D. IDEF method-based simulation model design and development framework // J. Industrial Engineering and Management. 2009. V. 2. № 2. P. 337–359.
- 4. Репин В.В., Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. 544 с.
- 5. Sugiyama H., Fischer U., Antonijuan E., Hoffmann V. H., Hirao M., Hungerbühler K. How do different process options and evaluation settings affect economic and environmental assessments? A case study on methyl methacrylate (MMA) production processes // Process Safety and Environmental Protection. 2009. V. 87(6). P. 361–370.
- 6. Aifaoui N., Deneux D., Soenen R. Feature based interoperability between design and analysis processes // J. Intelligent Manufacturing. 2006. V. 17 (1). P. 13–27.
- 7. Бурляева Е.В., Колыбанов К.Ю., Панова С.А. Информационная поддержка систем принятия решений на производственных предприятиях химического профиля. М.: Изд-во МИТХТ им. М.В. Ломоносова, 2013. 196 с.
- 8. Рекомендации по стандартизации. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. М.: Госстандарт России, 2001. 19 с.
- 9. Бурляева Е.В., Бурляев В.В., Фролкова А.К. Функциональное моделирование производств основного органического синтеза на примере получения винилацетата // Хим. технология. 2016. № 9. С.418–423
- 10. https://www.ca.com/us.html (дата обращения: 30.06.2017)
- 11. Маклаков С.В. Моделирование бизнес-процессов с AllFusion Process Modeler (BPwin 4.1). М.: Диалог-МИФИ, 2002. 240 с.
- 12. https://www.edrawsoft.com/IDEF0-flowcharts. php (дата обращения: 30.06.2017)
- 13. Алексеев В.Е., Таланов В.А. Графы и алгоритмы. Структуры данных. Модели вычислений М.: Интуит, Бином, 2012. 320 с.
- 14. Тимофеев В.С., Серафимов Л.А., Тимошенко А.В. Принципы технологии основного органического и нефтехимического синтеза. М.: Высшая школа, 2010. 408 с.
- 15. Бурляева Е.В., Разливинская С.В., Трегубов А.В. Разработка и применение обобщенной функ-

#### **References:**

- 1. Bayer B., Marquardt W. A comparison of data models in chemical engineering // Concurrent Engineering. 2003. V. 11. Iss. 2. P. 129–138.
- 2. Fuchino T., Miyazawa M., Naka Y. Business model of plant maintenance for lifecycle safety // Computer Aided Chemical Engineering. 2007. V. 24. P. 1175–1180.
- 3. Jeong K.-Y., Wu L., Hong J.-D. IDEF method-based simulation model design and development framework // J. Industrial Engineering and Management. 2009. V. 2. № 2. P. 337–359.
- 4. Repin V., Eliferov V. Processnyj podhod k upravleniju. Modelirovanie biznes-processov (Process approach to control. Business processes modeling). Moscow: Mann, Ivanov and Ferber Publ., 2013. 544 p. (in Russ.).
- 5. Sugiyama H., Fischer U., Antonijuan E., Hoffmann V. H., Hirao M., Hungerbühler K. How do different process options and evaluation settings affect economic and environmental assessments? A case study on methyl methacrylate (MMA) production processes // Process Safety and Environmental Protection. 2009. V. 87(6). P. 361–370.
- 6. Aifaoui N., Deneux D., Soenen R. Feature based interoperability between design and analysis processes // J. Intelligent Manufacturing. 2006. V. 17 (1). P. 13–27.
- 7. Burlyaeva E.V., Kolybanov K.Yu., Panova S.A. Informacionnaya podderzhka sistem prinyatiya reshenij na proizvodstvennuh predprijatiyah himicheskogo profilya (Informational support of decision-making systems at chemical plants). Moscow: MITHT Publ., 2013. 196 p. (in Russ.).
- 8. Informacionnye tehnologii podderzhki zhiznennogo cikla produkcii. Metodologiya funkcionalnogo modelirovaniya (Recommendations for standardization. Information technology support of the product life cycle. Functional modling methodology). Moscow, Gosstandart Publ., 2001. 19 p. (in Russ.).
- 9. Burlyaeva E., Burlyaev V., Frolkova A. Functional modeling of basic organic synthesis manufacturing by the example of vinyl acetate production // Khimicheskaya tekhnologiya (J. Chem. Technol). 2016. № 9. P. 418–423 (in Russ.).
- 10. https://www.ca.com/us.html (Data of access: June 30, 2017)
- 11. Maklakov S.V. Modelirovanie biznes-processov s AllFusion Process Modeler (BPwin 4.1). (Business processes modeling by AllFusion Process Modeler (BPwin 4.1)). Moscow: Dialog-MIFI Publ., 2002. 240 p. (in Russ.).
- 12. https://www.edrawsoft.com/IDEF0-flowcharts. php (Data of access: June 30, 2017)
- 13. Alekseev V., Talanov V. Grafy i algoritmy. Struktury dannyh. Modeli vychislenij (Graphs and algorithms. Data structures. Calculation models). Moscow: Intuit, Binom Publ., 2012. 320 p. (in Russ.).

циональной модели одностадийного химического производства // Прикл. информатика. 2016. Т. 11. N 1 (61). С. 64–70.

- 14. Timofeev V.S., Serafimov L.A., Timoshenko A.V. Princypy tehnologii osnovnogo organicheskogo i neftehimicheskogo sintesa (Principles of technology of basic organic and petrochemical synthesis). Moscow: Vysshaya shkola Publ., 2010. 408 p. (in Russ.).
- 15. Burlyaeva E., Razlivinskaya S., Tregubov A. Development and application of the generalized functional model of one-stage chemical manufacturing // Prikladnaya informatika (J. Appl. Informatics). 2016. V. 11. № 1 (61). P. 64–70. (in Russ.).

### Об авторах:

**Бурляева Елена Валерьевна,** доктор технических наук, профессор кафедры информационных систем в химической технологии Института тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» (119571, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 86). E-mail: lenbur@yandex.ru

**Бурляев Валерий Викторович,** кандидат технических наук, профессор кафедры информационных систем в химической технологии Института тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» (119571, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 86). E-mail: burliaevv@yandex.ru

**Цеханович Виктор Сергеевич,** аспирант кафедры информационных систем в химической технологии Института тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» (119571, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 86). E-mail: viktorc93@mail.ru

#### About authors:

**Elena V. Burlyaeva,** Dr.Sc. (Engineering), Professor, Chair of Informational Systems in Chemical Technologies, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, Moscow Technological University (86, Vernadskogo Pr., Moscow, 119571, Russia). E-mail: lenbur@yandex.ru

**Valery V. Burlyaev,** Ph.D. (Engineering), Professor, Chair of Informational Systems in Chemical Technologies, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, Moscow Technological University (86, Vernadskogo Pr., Moscow, 119571, Russia). E-mail: burliaevv@yandex.ru

**Viktor S. Tsekhanovich,** Postgraduate Student, Chair of Informational Systems in Chemical Technologies, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, Moscow Technological University (86, Vernadskogo Pr., Moscow, 119571, Russia). E-mail: viktorc93@mail.ru