

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫБОРА НАИЛУЧШЕЙ ДОСТУПНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

К.И. Ерушева, К.Ю. Кольбанов[@], И.Р. Тишаева

Московский технологический университет (Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова), Москва 119571, Россия

[@]Автор для переписки, e-mail: cyrk@mail.ru

В связи с актуальностью проблемы внедрения наилучших доступных технологий (НДТ) в российской химической промышленности необходимо разработать научно-обоснованный процесс перехода химических предприятий на НДТ. Для этого была использована методология функционального моделирования в графической нотации IDEF0, стандартизированная в Российской Федерации. Производственный процесс перехода химического предприятия на НДТ был описан как иерархическая структура, изображенная в виде диаграммы, состоящей из функциональных блоков и дуг, которые их соединяют. Сначала объект моделирования был представлен в виде единственного блока с граничными стрелками, которые показывают, как связан моделируемый процесс с окружающей средой. Затем он был последовательно разложен на диаграммы более низкого уровня, т.е. была выполнена пошаговая иерархическая декомпозиция контекстной диаграммы верхнего уровня, чьим результатом стала совокупность взаимосвязанных диаграмм, которые описывают процессы и связи между ними и окружающей средой. Это позволяет четко установить порядок действий, которые выполняются на каждом этапе перевода химического производства на НДТ.

Ключевые слова: *наилучшие доступные технологии, функциональное моделирование, информационная поддержка принятия решений.*

FUNCTIONAL MODELING OF THE PROCESS OF CHOOSING THE BEST AVAILABLE TECHNIQUE

K.I. Erusheva, K.Yu. Kolybanov[@], I.R. Tishaeva

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

[@]Corresponding author e-mail: cyrk@mail.ru

Due to the relevance of the problem of implementation of the Best Available Techniques (BAT) in the chemical industry of the Russian Federation it is necessary to develop a scientifically defensible transition process to BAT for chemical manufactures. For this purpose, the functional modeling methodology was used in the graphical notation IDEF0 standardized in the Russian Federation. The production process for the transition of a chemical manufacture to BAT was described as a hierarchical structure represented as a diagram consisting of functional blocks and arcs that connect them. First, the simulation object was represented as a single block with boundary arrows, which show how the simulated process is related to the environment. Then it was sequentially decomposed into diagrams of a lower level, i.e., stepwise hierarchical decomposition of the top-level context diagram was performed, which resulted in a set of interrelated diagrams that describe the processes and relationships between them and the environment. This allows us to clearly establish the order of actions that are performed at each stage of the transfer of chemical manufacture to BAT.

Keywords: *best available techniques, functional modeling, information support of decision-making.*

Введение

Федеральный закон Российской Федерации от 21.07.2014 № 219-ФЗ определяет термин «наилучшая доступная технология» (НДТ) как технологию производства продукции (товаров), выполнения работ, оказания услуг, определяемую на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения целей охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности ее применения¹. Российские химические производства вносят существенный вклад в общее количество промышленных отходов, и это определяет актуальность внедрения наилучших доступных технологий на химических предприятиях. Это влечет за собой необходимость разработки научно-обоснованного методического обеспечения перехода предприятий российской химической промышленности на наилучшие доступные технологии. В России стратегическая цель перехода к НДТ определена Концепцией долгосрочного социально-экономического развития на период до 2020 года². Первым шагом перехода на НДТ является идентификация технологии как наилучшей доступной, при этом от выбранных параметров ресурсоэффективности и экологической результативности будут зависеть граничные условия для разработки новых химико-технологических процессов и модернизации химической промышленности России [1], что является национальной целью нашей страны³. Кроме того, необходимо учитывать реализуемость технологии с технологической точки зрения, безопасность – с экологической и целесообразность – с экономической. Поскольку решение этой задачи является нетривиальным и многоаспектным, необходимо использование системного подхода.

Методы и цели функционального моделирования

Чтобы успешно решить задачу перевода химического производства на НДТ, целесообразно структурировать и формализовать процесс внедрения НДТ на предприятиях химической промышленности. Для этого удобно использовать методологию функционального моделирования, которая позволяет построить

функционально-технологическую модель, отображающую структуру системы, потоки информации и ресурсов. Чаще всего для построения функционально технологических моделей используется графическая нотация IDEF0 [2], стандартизированная в Российской Федерации⁴. В этом случае производственный процесс описывается как иерархическая структура, изображенная в виде диаграммы, которая состоит из функциональных блоков и дуг, их соединяющих. Графическая нотация IDEF0 позволяет проводить пошаговую детализацию диаграмм, и с ее помощью можно поэтапно сверху вниз описать иерархическую декомпозицию, при этом каждый из функциональных блоков может быть разложен на дочерние блоки на другой диаграмме. Результатом моделирования является совокупность взаимосвязанных графических диаграмм, описывающих исследованные процессы и связи между ними, в том числе обратные связи [3].

Использование функционального моделирования для отображения процесса выбора НДТ для химического производства с последовательной декомпозицией позволяет четко установить порядок действий, которые выполняются на каждом этапе.

Результаты функционального моделирования

Построение функциональной модели следует начать с построения контекстной диаграммы верхнего уровня. На этой диаграмме объект моделирования представлен в виде единственного блока с граничными стрелками, которые показывают, как связан моделируемый процесс с окружающей средой (рис. 1).

В качестве входа процесса показаны существующие на данный момент и реализованные на предприятиях технологии производства химической продукции, научные разработки, а также Справочные документы по НДТ ЕС [4]. Кроме того, ресурсы для производства продукции химического производства тоже будут являться входом в функциональный блок. Что касается выходов процесса, то ими будет являться продукция, произведенная по НДТ, а это – как химическая продукция как таковая, так и информация о технологических процессах. В качестве управления здесь представлены различные регламентирующие документы, а именно: Законы Российской Федерации, которые устанавливают допустимый уровень воздействия химического предприятия на окружающую среду, ГОСТы на процессы производства и химическую продукцию, технические регламенты и методические указания. Поскольку определение технологии как наилучшей доступной – совместное решение представителей бизнеса и общества, то механиз-

¹Федеральный закон от 21.07.2014 № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации».

²Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года, утвержденная распоряжением Правительства РФ от 17 ноября 2008 г. № 1662-р.

³Распоряжение Правительства Российской Федерации от 19 марта 2014 г. № 398-р «О комплексе мер, направленных на отказ от использования устаревших и неэффективных технологий, переход на принципы наилучших доступных технологий и внедрение современных технологий».

⁴Рекомендации по стандартизации. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. М.: Госстандарт России, 2001. 19 с.

мом исполнения перевода химического производства на НДТ должны быть предприятия, государственные контролирующие органы и экологические организации.

Далее на первом этапе декомпозиции выделяются 4 основных процесса: выбор наилучшей

доступной из представленных технологий, ее внедрение на предприятии, производство продукции по выбранной технологии и ее постоянное совершенствование, что отображается в обратной связи по входу (рис. 2).

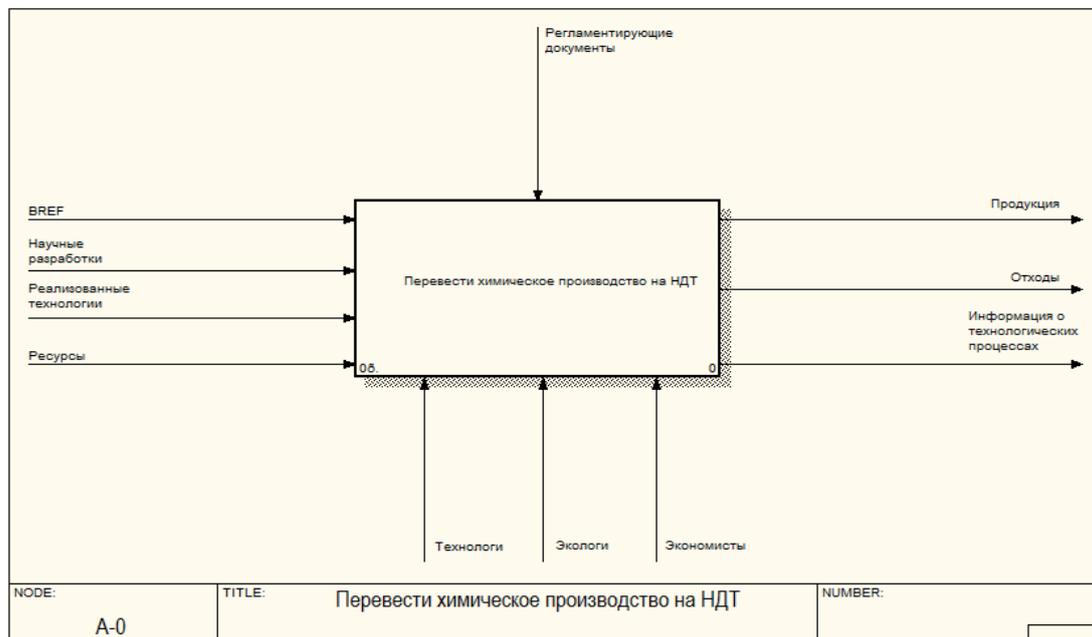


Рис. 1. Контекстная диаграмма верхнего уровня.

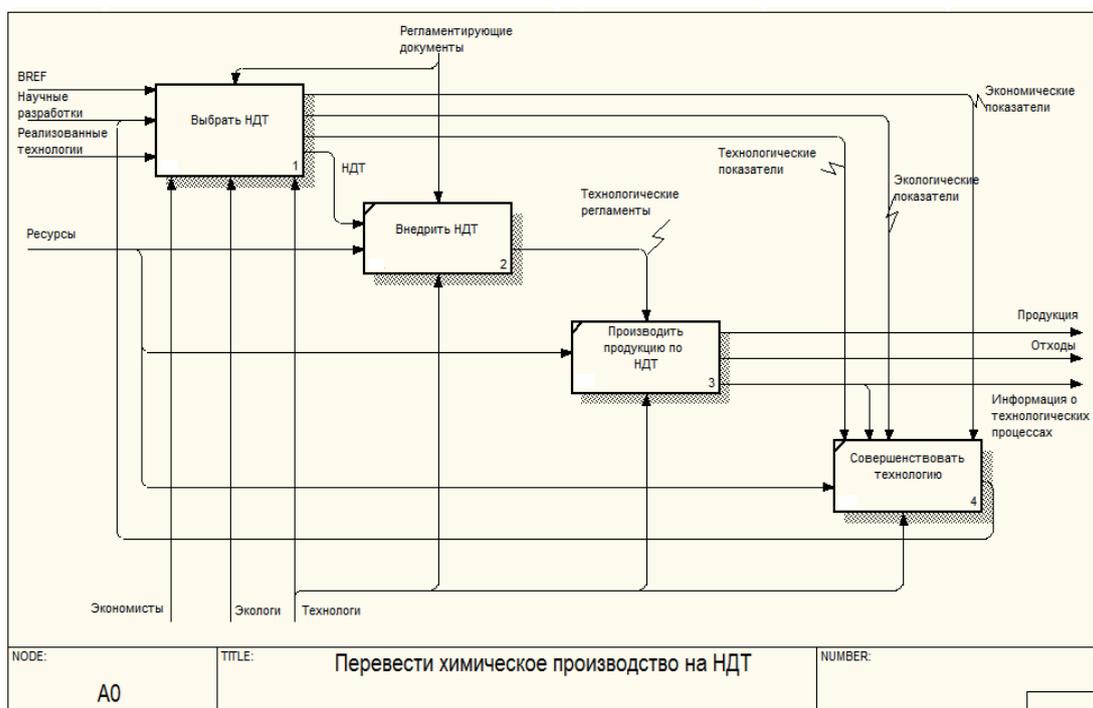


Рис. 2. Диаграмма уровня A0.

Рассмотрим процесс выбора НДТ более детально. Его можно разложить на пять этапов:

- определение альтернативных технологий;
- оценка технологических показателей;
- оценка экологических показателей;

- оценка экономических показателей;
- выбор технологии для конкретного производства.

На диаграмме, которая отображает этот этап декомпозиции (уровень A1), каждому из вышеуказанных процессов соответствует функциональный блок (рис. 3).

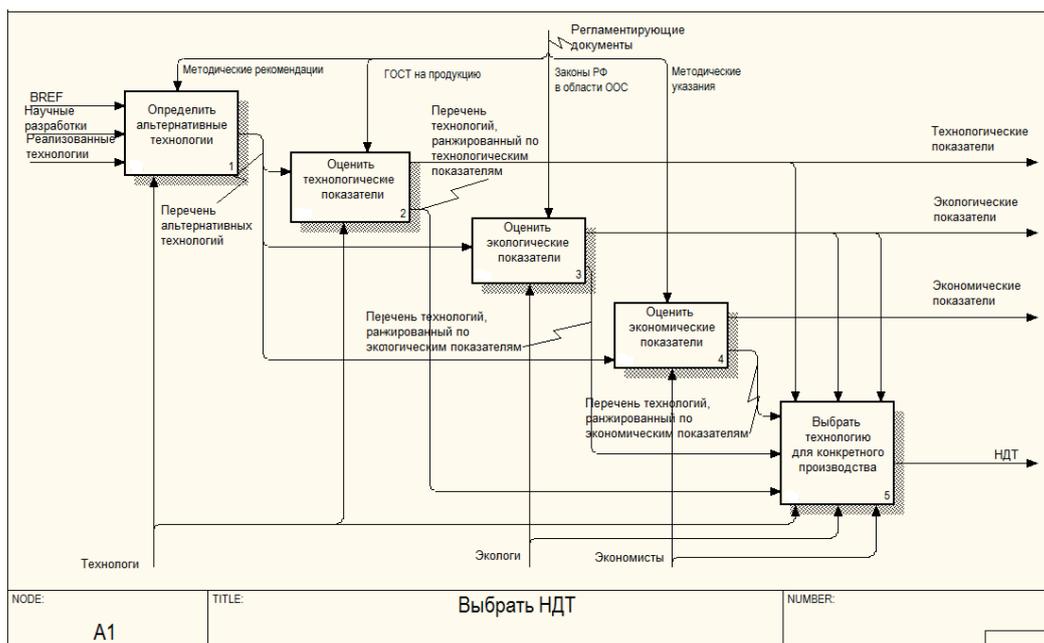


Рис. 3. Диаграмма уровня A1.

Результатом первого процесса является список альтернативных технологий, каждая из которых потенциально может быть внедрена на химическом производстве. Этот список формируется из современных реализованных технологий, новейших научных разработок и справочных документов НДТ ЕС, а также Информационно-технических справочни-

ков наилучших доступных технологий, разрабатываемых и подготавливаемых в России в настоящее время^{5,6}, которые отображены как входы для данного функционального блока.

Процесс определения перечня альтернативных технологий, в свою очередь, может быть декомпозирован на пять этапов, что показано на диаграмме A11 (рис. 4).

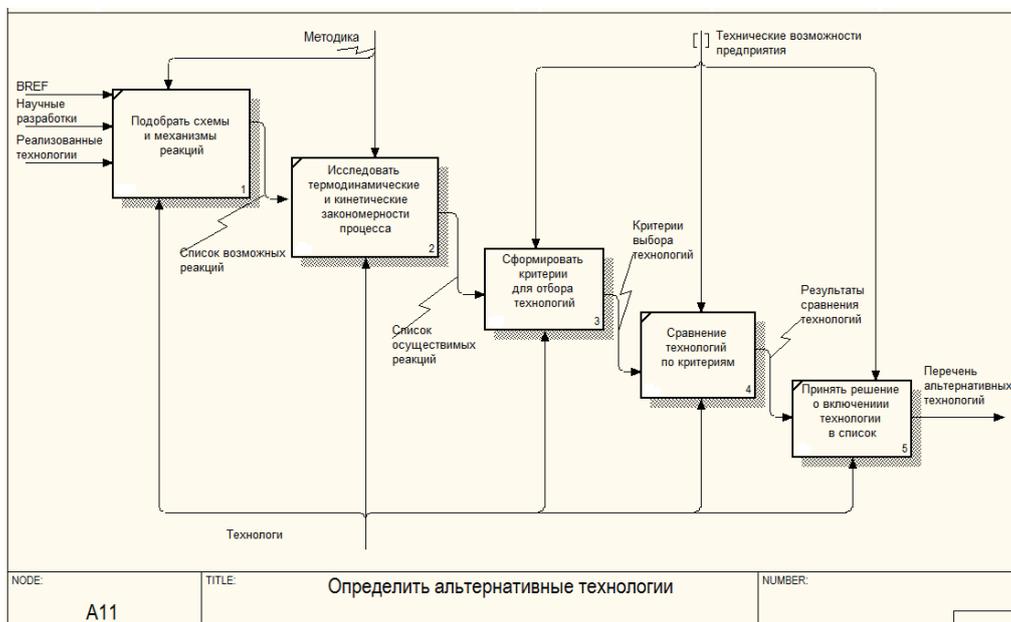


Рис. 4. Диаграмма уровня A11.

⁵Распоряжение Правительства Российской Федерации от 31 октября 2014 г. № 2178-р «О поэтапном графике создания в 2015–2017 годах справочников наилучших доступных технологий».

⁶Справочник ЕС по наилучшим доступным технологиям «Европейская комиссия. Комплексное предотвращение и контроль загрязнения окружающей среды Справочный документ по наилучшим доступным технологиям. Экономические аспекты и вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды Июль 2006 г.» («European Commission Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Economics and Cross-Media Effects July 2006»).

При исследовании конкретных технологических процессов могут быть эффективно использованы функциональные модели технологических процессов, например [5, 6], которые представляют собой иерархически упорядоченное формализованное поэтапное описание технологических процессов.

После того, как были исследованы схемы и механизмы реакций, термодинамические и кинетические показатели процессов, необходимо сформировать критерии для отбора технологий, у которых далее будут исследоваться технологические, экологические и экономические показатели. Такими критериями могут выступать доступность сырья, реагентов, ресурсов, отсутствие заведомо вредных реагентов и условий труда и др., то есть управлением для этого функционального блока являются технические возможности предприятия. Затем технологии сравниваются по выбранным критериям, и на основе сравнения формируется перечень альтернативных технологий, из которых в дальнейшем будет выбрана наилучшая доступная.

Данный перечень является входом для трех функциональных блоков: оценки технологических, экологических и экономических показателей. Эти три блока связаны параллельно, выходами для них являются перечни технологий, ранжированных по соответствующим показателям.

В качестве технологических показателей могут выступать: конверсия, селективность, выход продукта, сложность аппаратного оформления, единич-

ная мощность установки и др. Управление для этого блока – документы, регламентирующие необходимое качество продукции (ГОСТы на продукцию и процессы производства).

Помимо перечня технологий, ранжированных по технологическим показателям, выходом для этого процесса оценки технологий будут непосредственно сами технологические показатели, которые будут влиять на процесс совершенствования технологий на диаграмме А0.

Третий этап процесса выбора НДТ – оценка экологических показателей – является важным шагом в процессе определения технологии как наилучшей доступной. Поскольку осуществление любого химического производственного процесса серьезным образом влияет на окружающую среду, необходимо выбрать такую технологию, реализация которой сопровождалась бы наименьшим отрицательным воздействием. Регламентируют этот процесс Законы Российской Федерации, которые устанавливают допустимый уровень воздействия химического производства на окружающую среду. Экологическое регулирование опирается на систему ограничительных документов, в число которых входят нормативы на допустимые выбросы и сбросы, как разовые, так и интегральные (годовые). Соблюдение ограничений на выбросы и сбросы поддерживается экономическими стимулами (регламентными платежами и прогрессивными штрафами) [7]. Декомпозиция этого процесса представлена на диаграмме А13 (рис. 5).

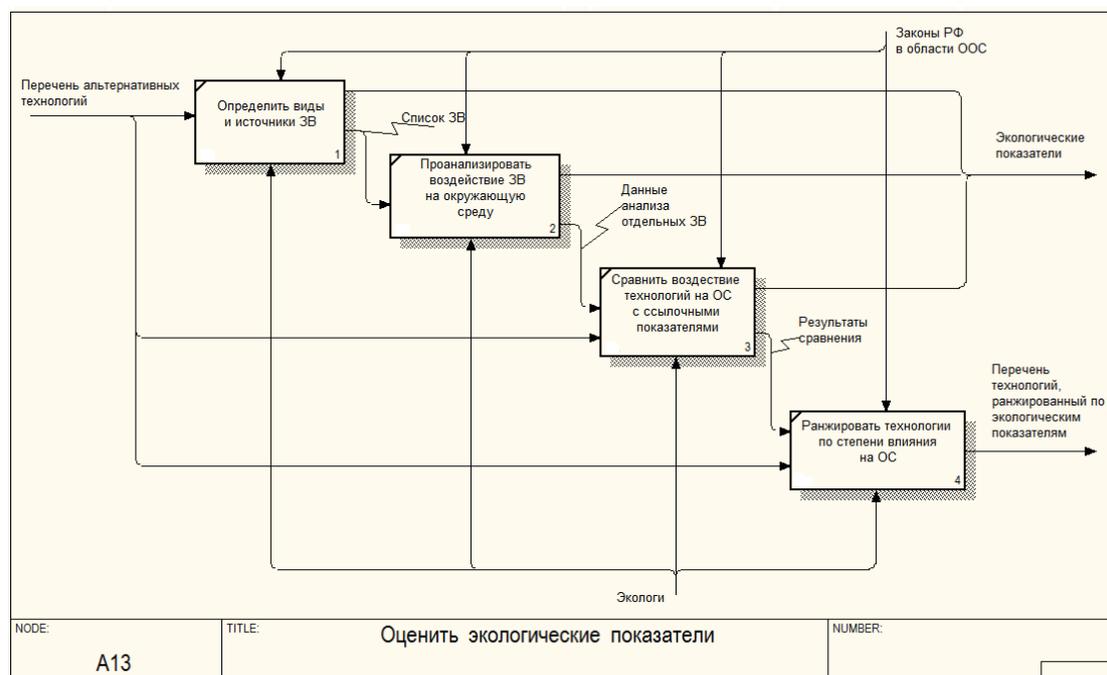


Рис. 5. Диаграмма уровня А13.

В первом функциональном блоке диаграммы А13 представлен процесс инвентаризации видов и источников загрязняющих веществ (ЗВ), которые могут содержаться в выбросах/сбросах/отходах. В результате составляется перечень ЗВ для каждой технологии.

Анализ воздействия каждого из ЗВ на окружающую среду представлен в виде следующего функционального блока. Источником информации об экологических показателях технологических процессов могут выступать информационные системы производственного экологического мониторинга, реализованные на основе технологий хранилищ данных [8]. Влияния широкого спектра загрязняющих веществ могут как сравниваться друг с другом, так и агрегироваться с целью получения совокупного эффекта. Результаты анализа воздействия на окружающую среду отдельных загрязняющих веществ затем сравниваются с российскими (общеевропейскими, международными, региональными) ссылочными показателями. По результатам сравнения технологии ранжируются по степени влияния на окружающую среду. Экологические показатели, которые являются выходами из первых трех функциональных блоков, так же как и технологические, влияют на дальнейшее совершенствование выбранной НДТ.

Наряду со сравнением технологических и экологических показателей для разных технологий необходимо определить целесообразность этих технологий с экономической точки зрения. Для этого необходимо ранжировать технологии по экономическим показателям. В качестве основных показателей экономической эффективности выступают затраты, производственные и природоохранные, а также ожи-

даемый чистый дисконтированный доход [9]. Необходимо, чтобы информация о затратах, полученная из разных источников, была собрана и обработана одинаково для адекватного сравнения технологий. Важным критерием для оценки технологий по экономическим показателям также является прогноз изменения затрат. Выходами из функционального блока, который представляет процесс анализа технологий по экономическим показателям, будут как ранжированный перечень технологий, так и непосредственно экономические показатели, наряду с технологическими и экологическими, влияющие на дальнейшее совершенствование технологии.

Перечни технологий, ранжированных по технологическим, экологическим и экономическим показателям, являются входами для функционального блока, описывающего методику выбора НДТ среди альтернативных технологий. Выбор наилучшей доступной технологии подразумевает сравнение технологий по неоднородным критериям. Такое сравнение не может быть выполнено без использования математического аппарата. Было разработано большое количество методов многокритериального анализа и оптимизации. Рассмотрим метод теории нечетких множеств.

Функциональный блок выбора НДТ для конкретного производства может быть подвергнут декомпозиции на три этапа (рис. 6). Первый этап: из перечней технологий, ранжированных по технологическим, экологическим и экономическим показателям, отбираются технологии, входящие в множество Эджворта-Парето, т.е. такие альтернативные технологии, каждая из которых превосходит любую другую по какому-то из показателей.

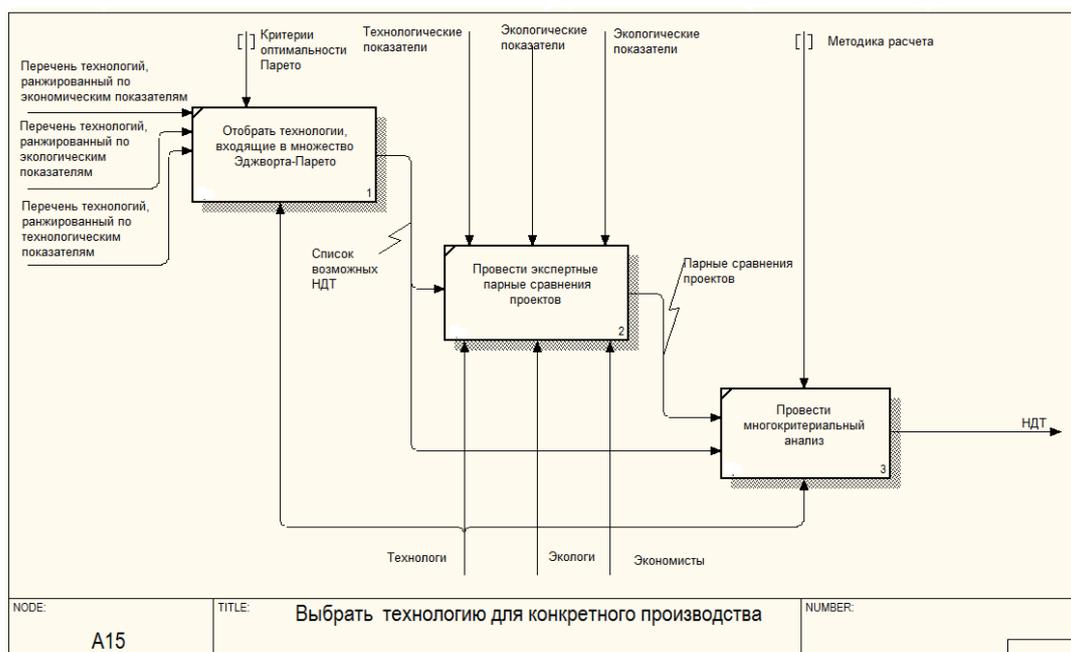


Рис. 6. Диаграмма уровня А15.

Для отобранных технологий проводятся парные экспертные сравнения по технологическим, экологическим и экономическим критериям, что показано во втором функциональном блоке диаграммы A15. Затем следует этап многокритериального анализа, в ходе которого вычисляются степени принадлежности нечеткого решения и в результате делается вывод

о преимуществе той или иной технологии перед другими [10].

Иерархическая структура, которая описывает все этапы декомпозиции процесса выбора наилучшей доступной технологии, представляет собой дерево. На рис. 7 приведены первые четыре уровня декомпозиции.

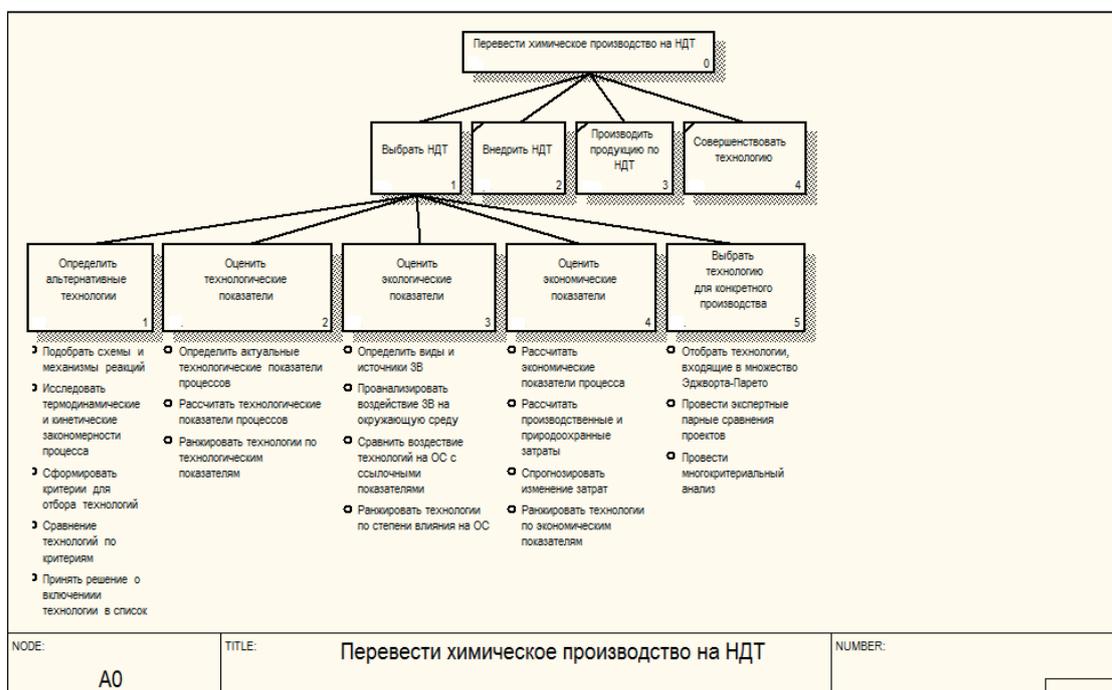


Рис. 7. Иерархическая диаграмма, описывающая 4 уровня декомпозиции.

Выводы

Построенная в графической нотации IDEF0 функционально-технологическая модель процесса перевода химического производства на НДТ позво-

ляет получить формализованное описание алгоритма действий. Данная модель является одним из этапов информационной поддержки выбора наилучшей доступной технологии в химическом производстве.

Список литературы:

1. Гусева Т.В., Молчанова Я.П., Аверочкин Е.М., Вартанян М.А. Наилучшие доступные технологии: перспективы распространения в химической промышленности России / В сб. «Химическая технология и биотехнология новых материалов и продуктов». VI Междунар. конф. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева: тезисы докладов. М., 2014. С. 21–22.
2. 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.
3. Бурляев В.В., Бурляева Е.В., Николаев А.И., Пешнев В.Б., Разливинская С.В. Функциональное моделирование управления синтезом углеродных нановолокон // Тонкие химические технологии. 2014. Т. 9. № 3. С. 98–104.

References:

1. Guseva T.V., Molchanova Ya.P., Averochkin E.M., Vartanyan M.A. Best available techniques: Distribution prospects in the chemical industry in Russia / In book: Chemical technology and biotechnology of new materials and products. VI Int. Conf. of the D.I. Mendeleev Russian Chemical Society: theses of reports. Moscow, 2014. P. 21–22. (in Russ.).
2. Burlyayeva E.V., Kolybanov K.Yu., Panova S.A. Informational support of decision-making systems at industrial enterprises of chemical profile. Moscow: MITHT Publ., 2013. 196 p. (in Russ.).
3. Burlyayev V.V., Burlyayeva E.V., Nikolaev A.I., Peshnev V.B., Razlivinskaya S.V. Functional modeling of carbon nanotubes synthesis control // Tonkie khimicheskie tekhnologii (Fine Chemical Technologies). 2014. V. 9. № 3. P. 98–104. (in Russ.).
4. Guseva T.V., Begak M.V., Molchanova Ya.P.

4. Гусева Т.В., Бегак М.В., Молчанова Я.П. Принципы создания и перспективы применения Информационно-технологических справочников НДТ // Компетентность. 2015. № 5 (126). С. 8–18.
5. Бурляева Е.В., Разливинская С.В., Трегубов А.В. Разработка и применение обобщенной функциональной модели одностадийного химического производства // Прикладная информатика. 2016. Т. 11. № 1 (61). С. 64–70.
6. Тарасенко Р.Ю., Бурляева Е.В. Функциональное моделирование производства метил-трет-бутилового эфира // Тонкие химические технологии. 2013. Т. 8. № 5. С. 136–140.
7. Колыбанов К.Ю. Основы построения корпоративных информационных систем экологического мониторинга предприятий химического профиля // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и хим. технология. 2008. Т. 51. № 9. С. 103–105.
8. Колыбанов К.Ю. Информационные системы экологического мониторинга предприятий химического профиля на базе технологий хранилищ данных : дис. ... д-ра техн. наук. Москва, 2008. 252 с.
9. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция). Официальное издание. М.: Экономика, 2000. 421 с.
10. Панова С.А., Тишаева И.Р., Гончаров И.А. Алгоритмическое решение задачи выбора наилучшей доступной технологии производства // Национальная Ассоциация Ученых. 2015. № 10-1 (16). С. 39–41.
- Technical reference documents on BAT: Development principles and implementation perspectives // 'Kompetentnost' (Competence). 2015. № 5 (126). P. 8–18. (in Russ.).
5. Burlyayeva E.V., Razlivinskaya S.V., Tregubov A.V. Development and application of the generalized functional model of one-stage chemical production // Prikkladnaya informatika (Appl. Informatics). 2016. V. 11. № 1 (61). P. 64–70. (in Russ.).
6. Tarasenko R.Yu., Burlyayeva E.V. Functional simulation of production of methyl tertiary ether // Tonkie khimicheskie tekhnologii (Fine Chemical Technologies). 2013. V. 8. № 5. P. 136–140. (in Russ.).
7. Kolybanov K.Yu. Fundamentals of building corporate information systems for environmental monitoring of chemical enterprises // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya (Bull. of High-School Institutes. Chemistry and Chemical Technology). 2008. V. 51. № 9. P. 103–105. (in Russ.).
8. Kolybanov K.Yu. Information systems for environmental monitoring of chemical enterprises based on data warehouse technologies : dis. ... Dr.Sc. Moscow, 2008. 252 p. (in Russ.).
9. Methodical recommendations on the evaluation of the effectiveness of investment projects (second edition). Official Edition. Moscow: Ekonomika Publ., 2000. 421 p. (in Russ.).
10. Panova S.A., Tishaeva I.R., Goncharov I.A. Algorithmic solution of the problem of choosing the best available production technology // Natsional'naya Assotsiatsiya Uchenykh (National Association of Scholars). 2015. № 10-1 (16). P. 39–41. (in Russ.).

Об авторах:

Ерушева Ксения Игоревна, аспирант кафедры информационных систем в химической технологии Института тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» (119571, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 86).

Колыбанов Кирилл Юрьевич, доктор технических наук, профессор кафедры информационных систем в химической технологии Института тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» (119571, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 86).

Тишаева Ирина Романовна, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры высшей и прикладной математики Института тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» (119571, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 86).