

УДК 658.012.011.57:66.013.6

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ЛОГИКО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ ВЫБОРА ЭНЕРГОРЕСУРСООБЪЕКТИВНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

© 2019 г. Б. Б. Богомолов¹, В. С. Болдырев², А. М. Зубарев¹,
В. П. Мешалкин¹, В. В. Меньшиков¹, *

¹Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия

²Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

*E-mail: vm_uti@muctr.ru

Поступила в редакцию 29.11.2018 г.

После доработки 25.01.2019 г.

Принята к публикации 04.02.2019 г.

Предложен логико-информационный алгоритм выбора энергоэффективных химических технологий с применением логико-информационного моделирования бизнес-процессов и интеллектуальных моделей представления знаний для принятия решений. На основе использования методики SADT и интеллектуальных моделей представления знаний о химических технологиях в виде фреймов предложена методика построения логико-информационной модели бизнес-процесса выбора рационального технологического решения. Разработана логико-информационная модель бизнес-процессов и алгоритм выбора энергоэффективной технологии переработки попутного нефтяного газа.

Ключевые слова: алгоритм, бизнес-процесс, жизненный цикл, логико-информационное моделирование, технологический регламент, технологическое решение, фрейм, химико-технологическая система, химико-технологический процесс

DOI: 10.1134/S0040357119050026

ВВЕДЕНИЕ

Решение большинства задач совершенствования технологических процессов требует определения только финансово-экономических показателей эффективности решения [1]. При этом не учитываются важные задачи организации и управления технологическими процессами, оценивающие проблемы инновационного, производственного, информационного менеджмента [2, 3].

В свою очередь, существующая методика функционального и логико-информационного моделирования бизнес-процессов производств и предприятий химического комплекса позволяет решать многие задачи производственно-организационного менеджмента, но недостаточно учитывает технологические особенности моделируемых объектов. В общем случае бизнес-процесс — это целенаправленная совокупность последовательных и регламентированных элементарных видов деятельности (работ), в которой посредством управляющего воздействия и с помощью ресурсов входные воздействия для бизнес-процесса преобразуются в выходные (результаты), имеющие определенную ценность для потребителей [4, 5].

Разработка логико-информационных моделей бизнес-процессов проектирования и управления эксплуатацией химико-технологических систем (ХТС) связана с решением следующих задач:

- получение информации о свойствах объекта (измерения и математическое моделирование);
- диагностика состояния технологического процесса (интеллектуальный анализ данных);
- формирование альтернативных управленческих решений и выбор эффективного (рационального) решения;
- оптимизация параметров и прогнозирование развития бизнес-процессов ХТС (логико-математическое моделирование).

При этом имеется возможность рассмотреть бизнес-процессы ХТС с разных сторон. Полученное решение анализируется, документируется и только после этого реализуется на реальном объекте.

Структурное моделирование ХТС базируется на принципах системного анализа, но предусматривает решение задач для фиксированной струк-

туры объекта моделирования, что для ХТС соответствует фиксированной технологической схеме [6]. Использование принципов структурного моделирования бизнес-процессов при планировании, проектировании, управлении, прогнозировании работы объектов химической промышленности позволяет комплексно решать организационно-экономические задачи с учетом технологических особенностей промышленного объекта на всех этапах его жизненного цикла [7].

Анализ и классификация закономерностей организации и управления химико-технологическими процессами (ХТП) позволяют сформировать библиотеку типовых организационно-экономических моделей бизнес-процессов ХТС [3]. Использование библиотеки бизнес-процессов обеспечивает комплексный учет технологических, организационных и экономических факторов при решении таких задач, как технологическое проектирование, тактическое и оперативное управление, стратегическое планирование и инновационный менеджмент, информационный менеджмент отраслевой информационной системы и другие задачи, относящиеся ко всем этапам жизненного цикла объекта химической технологии [6, 7].

Формирование логико-информационной модели любого бизнес-процесса в задачах процессного управления технологическими объектами происходит в соответствии с методикой, состоящей из следующих типовых операций.

1. Определение назначения (миссии) бизнес-процесса. Цель этапа – идентификация предметной области процесса, входных и выходных характеристик, используемых химических технологий.

2. Построение организационно-функциональной структуры организации с учетом задачи управления бизнес-процессом. Цель этапа – определение предметной области задачи, включающей данные, функции и возможные цели бизнес-процесса.

3. Анализ множества возможных целей бизнес-процесса, выбор одной цели и критерия для оценки ее достижения, идентификация владельца бизнес-процесса – лица, принимающего решение, определение характеристик бизнес-процесса, которые могут выступать в качестве целевых переменных, но представляются в виде ограничений.

4. Формирование информационных объектов бизнес-процесса, включающих:

- объект выходных показателей процесса, включающий целевую переменную;
- массив входных переменных процесса;
- характеристики участников бизнес-процесса и средств достижения цели в виде изменяемых и постоянных ресурсов;

– параметры управляющих воздействий, определяющие принципы управления процессом.

5. Составление регламента бизнес-процесса, который определяет содержание и последовательность функций (действий) в модели процесса и принципы управления ими.

6. Построение общей контекстной диаграммы бизнес-процесса. Проведение экспертной оценки диаграммы с целью ее последующей декомпозиции.

7. Составление декомпозируемой IDEF0-диаграммы с выделением функций и уточнением внутренних связей между ними. Определение типа и характеристик управляющих процедур бизнес-процесса.

8. Продолжение процесса декомпозиции с возможной детализацией и уточнением регламента бизнес-процесса или завершение декомпозиции при получении функций-элементов процесса, дальнейшая детализация которых не требуется.

9. Моделирование отдельных функций бизнес-процесса (IDEF3- или DFD-диаграммы, модели представления знаний, процедуры интеллектуального анализа данных, логико-математические модели теории принятия решений) [1].

Рассмотрим методику построения модели бизнес-процесса ХТС на примере поиска возможного технологического решения как основы производственного процесса объекта химической технологии. С одной стороны, технологические решения – это один из разделов проектной документации, который необходим для описания технологического процесса изготовления продукции заданного качества, с эффективным применением оборудования, рациональным использованием ресурсов, соблюдением безопасности условий труда, обеспечением защиты окружающей среды [3]. С другой стороны, под технологическими решениями понимают комплекс мер, позволяющий достигнуть требуемого результата с учетом установленного срока и соблюдением должного качества. Они включают не только технические, но и организационные составляющие. Организационно-технологические решения служат основой для определения технико-экономических показателей [8].

Подраздел “Технологические решения” разрабатывается в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 16.02.2008 г. № 87 “О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию” в составе раздела 5 “Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технологических решений для объектов производственного и непромышленного назначения”.

Исходные данные при выборе технологического решения включают:

- характеристику выпускаемой продукции и требования к объему производства;
- характеристику и возможные источники сырья;
- данные о местоположении технологического объекта;
- дополнительные требования, определяемые владельцем проектируемого или реконструируемого объекта.

При определении технологического решения выполняются следующие основные процедуры:

- анализ существующего и предполагаемого производства (имеющееся оборудование и технологические процессы);
- изучение и подбор способов, методов, технологий увеличения эффективности конкретного производства;
- разработка концепции (определение потенциальных характеристик производства, определение требований к технологическому и техническому обеспечению);
- реализация выбранной концепции (проектирование системы с учетом планировки помещения, спецификации оборудования и его компоновки);
- монтажные работы, опытная эксплуатация оборудования.

Необходимым элементом задачи выбора технологических решений является моделирование бизнес-процессов объекта с учетом всех используемых при его функционировании организационных и технологических процессов. Для этого анализируется информация о функциональном назначении объекта, краткая его характеристика, обоснование технологических решений и соответствие их нормативно-правовым документам [1, 3].

Авторами предложен алгоритм выбора энерго-ресурсоэффективной технологии, состоящий из следующих основных этапов:

1. Анализ исходных данных и идентификация имеющихся ресурсов;
2. Оценка основных критериев выбора вида химической технологии и определение ключевых показателей;
3. Анализ существующих технологий и составление набора рациональных подходящих технологических решений;
4. Сравнительный анализ показателей энерго-ресурсоэффективности технологий;
5. Выбор оптимальной энерго-ресурсоэффективной химической технологии и определение показателей ее экономической эффективности;
6. Представление результатов (документирование).

Для моделирования бизнес-процесса комплексного анализа технологического решения целесообразно использовать логико-информационные и организационно-экономические модели.

При анализе энерго-ресурсоэффективности выбранной технологии ХТС в модели бизнес-процесса должны учитываться следующие основные организационно-технологические характеристики: возможные варианты выпускаемых продуктов для планируемого производства; качественные и количественные характеристики потоков сырья, материальных, энергетических, технологических, организационных ресурсов технологического объекта; расчет экономических показателей химической технологии; организационные характеристики технологического объекта, включающие уровень соответствия технологии поставленным целям, анализ технологических и экономических рисков, формы коммерциализации и трансфера технологии, наличие альтернатив и способов освоения выбранной технологии и т.д.; учет внешних факторов, к которым относятся эксплуатационные требования к технологическим решениям в стране, регионе или отрасли, требования экологической безопасности, соответствие требованиям наилучших доступных технологий, характеристика рынка производимой продукции и т.д.

При выборе оптимальной энерго-ресурсоэффективной технологии ХТС к дополнительным значимым факторам относится классификация применяемых технологий переработки и утилизации отходов, экологические и экономические характеристики сырья и продуктов, время переработки, стоимость и мощность технологических установок.

Результаты выбора энерго-ресурсоэффективной технологии ХТС оформляются в виде документа, включающего характеристики сырья и получаемых продуктов, описание технологии, экономические показатели процесса и график организации и выполнения технологического проекта. Получаемый информационный объект представляется в виде технологического регламента и проектной документации по реализации организационно-технологического решения [1, 2].

Описание полученной с использованием модели технологии представлено в виде информационного объекта, оформляемого в виде таблицы. Последовательно заполняя поля таблицы, в ходе выполнения бизнес-процесса создается форма, представленная в табл. 1.

Для описания технологии создается документ в форме регламента, который представляет собой подробное описание бизнес-процесса. В основе регламента лежат: организационно-технологические решения ХТС, должностные инструкции, типовые процессы принятия решений, опыт организации аналогичного производственного про-

Таблица 1. Форма представления результатов алгоритма выбора энергоресурсоэффективной технологии

Характеристика	Показатель	Форма представления и источник информации
Характеристика ассортимента продукции	Характеристика продукции Классификация продукции	Данные и ссылки из технического задания
Основные характеристики сырья	Сырье на переработку Основные компоненты сырья Класс опасности сырья	Данные или ссылки из технического задания
Определение подходящего и эффективного способа переработки	Способы переработки (технологии и ресурсы), применимые для данного вида сырья и ассортимента продукции Предпочтительное технологическое решение Экономическое обоснование способов переработки	Данные, получаемые из баз данных и информационных хранилищ с использованием интеллектуального анализа данных и экспертных систем. Результаты вычислительных процедур (модели ХТП и ХТС)
Описание и представление выбранной технологии	Идентификация технологии Применяемое оборудование Ресурсы, используемые при переработке Классификация технологического документа	Структурированный документ, заполняемый с использованием моделей представления знаний предметной области

цесса, директивы вышестоящих организаций и т.д. [9].

Технический регламент составляется на этапе создания логико-информационной модели бизнес-процесса проектируемого объекта [10]. Он позволяет декомпозировать бизнес-процесс на элементарные работы (функции), что служит основой для выбора функций, входящих в организационно-экономическую модель, и разработки методического обеспечения (технологических регламентов, должностных инструкций, методик и т.д.). При разработке регламента и логико-информационной модели бизнес-процесса выбора энергоресурсоэффективной технологии ХТС учитываются следующие дополнительные условия:

1. Назначением бизнес-процесса выбора технологии является определение эффективного, обоснованного с точки зрения экономической и экологической оценки способа переработки сырья.

2. В процедуре выбора энергоресурсоэффективной технологии ХТС участвуют:

– лицо, принимающее решение (ЛПР) – руководитель проекта, который координирует работы и участвует в подборе и анализе технологии, выборе способа переработки, представлении результатов разработанного технологического решения;

– непосредственно работники цеха, в котором будет осуществляться переработка, проводящие и

контролирующие технологический процесс переработки [10];

– назначенный сотрудник лаборатории, который обеспечивает выполнение анализа сырья и продуктов и выполняет классификацию и подготовку результатов исследования;

– технический персонал, обеспечивающий обслуживание технологического процесса.

3. Каждый участник проекта использует общие ресурсы организации на базе регламентированных технологий.

4. На входе ХТС предприятие использует: сырье, ресурсы технологических схем и обеспечивающие ресурсы. В случае невозможности реализации технологического решения на этапах бизнес-процесса, по согласованию с руководителем, допускается возврат на предыдущие этапы процесса. При возврате на предыдущий этап происходит уточнение необходимой для принятия решения информации, дополнение или ее корректировка.

5. Основным критерием для оценки эффективности процесса является экономический показатель, рассчитываемый с учетом регламентированных технологических и организационно-технических ограничений ХТС.

6. Документация, используемая и формируемая в процессе выбора технологии, составляется в соответствии с действующей Единой системой технологической документации с учетом того, что при проведении технологического процесса

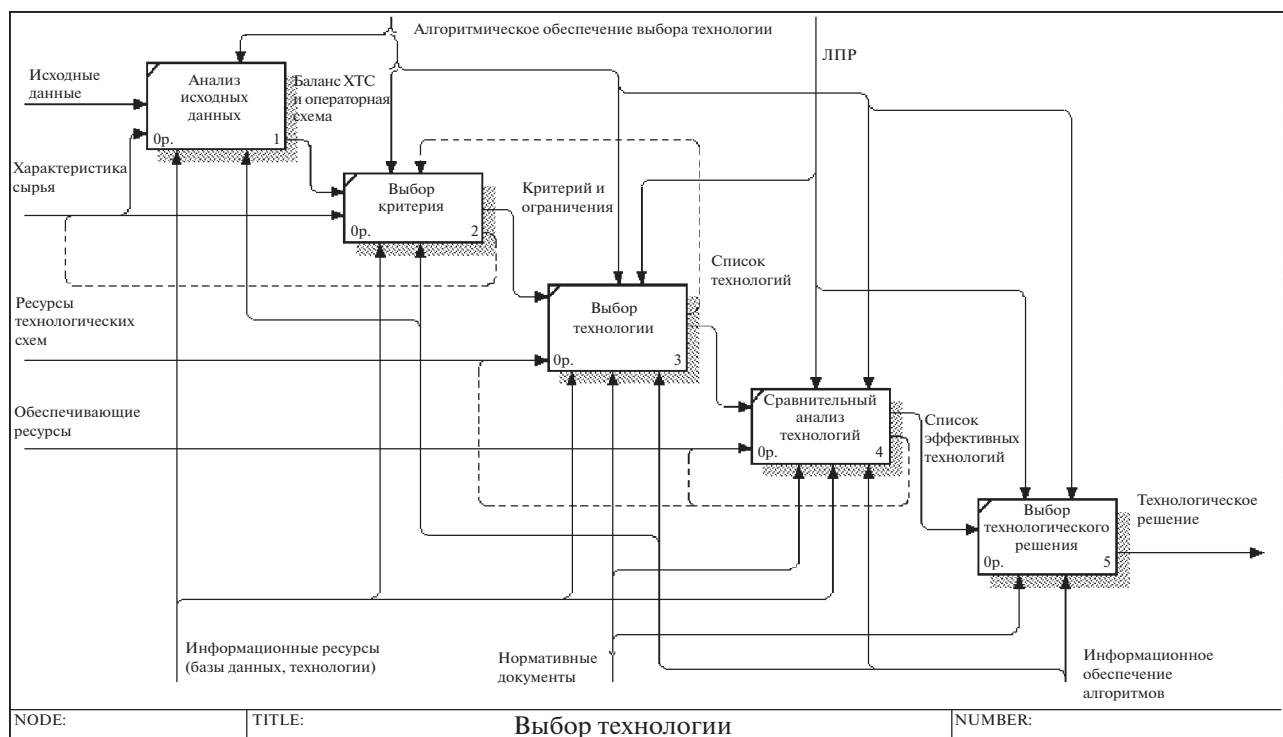


Рис. 1. Диаграмма IDEF0 логико-информационной модели бизнес-процесса выбора энергоресурсоэффективной технологии ХТС.

необходимо соблюдение стандартов, норм, показателей, установленных и зафиксированных в технологическом регламенте ХТС. В процессе документирования используются описания существующих технологий, методики расчета экономических показателей, формы документов, включающие: должностные инструкции, документацию по технике безопасности, операционные и технологические карты и т.д. [11].

7. При выработке технологии используется существующий опыт принятия решений, формулируемый в виде продукционных правил ("если" → "то") и реализуемый в форме многоуровневой экспертной системы выбора технологических решений, построенной с использованием моделей представления знаний, интеллектуального анализа данных (data mining) и вычислительных процедур.

Для разработки логико-информационной модели бизнес-процесса выбора энергоресурсоэффективной технологии используется инструментарий IDEF0-диаграмма. В диаграмме бизнес-процесс разбит на последовательные функции (этапы). Каждый этап завершается формированием определенного раздела документа, форма которого дана в табл. 1. В ходе составления модели в соответствии с циклом Деминга выполняется анализ результатов для принятия решения о переходе к следующей функции процесса или возвра-

те к предыдущим этапам с изменением входных ресурсов процесса или корректировкой алгоритмов управления функциями бизнес-процесса [9].

На рис. 1 представлена IDEF0-диаграмма логико-информационной модели бизнес-процесса выбора энергоресурсоэффективной технологии ХТС.

На первом этапе алгоритма выбора технологии в соответствии с исходной информацией происходит построение операторной схемы ХТС, по которой идентифицируются все необходимые технологические процессы и рассчитываются основные материальные и тепловые нагрузки проектируемой ХТС. Для расчета баланса используются алгоритмы анализа ХТС, в которых предусмотрены процедуры составления математической модели и расчета системы алгебраических уравнений. При расчете баланса возможен выбор альтернативных источников сырья, в результате чего могут быть получены альтернативные варианты операторных схем. В качестве постоянных ресурсов используется информация баз данных типовых технологических операторов, свойств сырья и ресурсов проектируемой ХТС и типовое алгоритмическое обеспечение организации запросов средствами системы управления базами данных (СУБД) [1, 2].

Второй этап алгоритма необходим для выбора одной операторной схемы ХТС с выделением в ее составе целевой переменной, позволяющей оценить качество технологического решения, и пара-

метров, определяющих ограничения, которые обеспечивают организационно-технологическую реализуемость технологии [5, 6]. При выполнении этапа кроме алгоритма расчета баланса ХТС используются процедуры интеллектуального анализа данных типовых технологических решений и подсистема экспертной оценки параметров ХТС [12]. В случае возникновения проблем с реализацией операторной схемы ХТС возможно изменение характеристик сырья и параметров химико-технологических процессов, что позволяет скорректировать параметры и ограничения операторной схемы [8, 13].

На третьем этапе алгоритма из множества возможных технологий, реализующих выбранную операторную схему ХТС, формируется список технологически реализуемых схем, что определяется выполнением ограничений, накладываемых на проектируемый объект. Для выполнения процедуры выбора технологий формируется экспертная система, в основе которой лежит модель представления знаний в виде фрейма – минимального смыслового описания в словесной структурно-классифицированной форме иерархических знаний о каком-либо стереотипном понятии в предметной области. При реализации фрейма используются процедуры интеллектуального анализа данных, вычислительные процедуры и возможность субъективного решения ЛПР.

На следующем этапе все доступные технологии анализируются с точки зрения выполнения организационных ограничений (монтаж, экология, ремонт и обслуживание, риски и т.д.), в результате чего формируется список эффективных технологий, т.е. технологических решений, реализующих требования и ограничения комплекса исходных данных бизнес-процесса выбора технологии. В процедуре анализа схем используются модели представления знаний, инфологические модели данных и программное обеспечение, составляющие основу информационного обеспечения экспертной системы [10]. В случае если список технологий слишком мал или слишком велик, то возможно изменение критерия и ограничений оценки решений на втором этапе алгоритма за счет пересчета балансовой модели или корректировки изменяемых ресурсов на третьем и четвертом этапах алгоритма.

На пятом этапе алгоритма происходит экономический расчет всех реализуемых технологических решений, в результате чего каждое решение получает экономическую оценку. Из ранжированного списка технологий окончательный выбор доверяется ЛПР, так как субъективная оценка эффективности технологического решения не всегда совпадает с экономической оценкой. Следует отметить, что в распоряжении ЛПР имеется

весь список допустимых технологических решений [14].

Рассмотрим построение логико-информационной модели бизнес-процесса и применение алгоритма для решения задачи выбора энергоресурсо-эффективной технологии переработки попутного нефтяного газа (ПНГ), что обеспечивает сокращение объемов выброса попутного газа до 5%, влияющего на потепление климата, и возможность выпуска продукции с высокой добавленной стоимостью [6].

Выбор оптимальных технологий направления переработки и утилизации ПНГ должен осуществляться в соответствии с экономическими, геологическими, технологическими и экологическими критериями. В целях эффективного применения ПНГ на расположенных в удаленных районах мелких и средних месторождениях нефти, не имеющих доступа к магистральным трубопроводам и электрическим сетям, при выборе технологии переработки ПНГ должны учитываться следующие условия:

- использование ПНГ для выработки электрической или тепловой энергии происходит непосредственно на месторождении;
- установка для переработки ПНГ должна быть компактна и иметь минимальные эксплуатационные затраты.

На входе бизнес-процесса выбора технологии переработки ПНГ в качестве основной информации вводятся характеристики состава газа и показатели, используемые для выбора технологии (объем, наличие примесей и т.д.). В информационный объект результата бизнес-процесса включается полное описание выбранной технологии и общие характеристики альтернативных решений [9].

В соответствии с первым этапом алгоритма выполняется классификация ПНГ, включающая идентификацию некоторых нормативных параметров и расчет массовых расходов компонентов газа. ПНГ классифицируют в соответствии с ГОСТ Р. 55598-2013 “Попутный нефтяной газ. Критерии классификации”, а при расчете расходов компонентов учитывается информация ГОСТ 5542-2014 “Газы горючие природные промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия”.

На втором этапе алгоритма формируется файл данных характеристик ПНГ для исследуемого месторождения. Кроме состава газа определяются объем добычи, месторасположение скважины, информация об удаленности объекта от инфраструктуры. При формировании таблицы используются процедуры интеллектуального анализа данных и инструменты запросов СУБД. Уточняются параметры ограничений, связанных с переменными и постоянными ресурсами технологии утилизации и переработки ПНГ. К таким ограни-



Рис. 2. Инфологическая модель базы данных “Множество альтернативных технологий”.

чениям относятся: доступные материальные и энергетические ресурсы, обеспечивающие технологический процесс; организационно-технические ресурсы месторождения; технологические режимы типовых установок переработки ПНГ.

На выходе этого этапа формируется документ в виде технического обоснования подбора технологии переработки газа, в который включаются исходные данные и информация о ресурсах бизнес-процесса. В документе оценивается подходящий для месторождения масштаб использования ПНГ с учетом внешних факторов, определяющих следующие направления: утилизация газа на месторождении; переработка газа с получением продукции на месторождении; получение готовой продукции на газоперерабатывающем заводе [15].

На третьем этапе алгоритма выбираются технологии, которые подходят под требования технического обоснования. Для принятия решений используются процедуры интеллектуального анализа данных (проверка гипотез) и механизм интеллектуального запроса в базе данных [16]. Для построения модели данных используется процедура инфологического моделирования “от запроса”, а для реализации данного этапа составляется база данных “Технологии”, инфологическая модель которой представлена на рис. 2.

В случае с базой данных “Множество альтернативных технологий” для запроса могут использоваться следующие характеристики (поля для запроса): наименование технологии, использование специального оборудования, капитальные затраты, эксплуатационные затраты, применение специальных компонентов. Таких запросов должно быть несколько, которые в дальнейшем используются для сравнения различных характеристик [16].

На следующем этапе алгоритма выбора технологии переработки ПНГ все возможные технологии проходят процедуру организационно-технологического анализа, в ходе которого формируется список эффективных технологий, из которого выбирается технологическое решение. В качестве входного ресурса используются заполненные таблицы-запросы 3-го этапа алгоритма, которые служат источником информации для оценки технологий.

Для моделирования процедуры принятия решения на данном этапе используется модель представления знаний в виде фрейма [11].

При построении фреймов необходимо применять концептуальный и таксономический анализ. При построении фреймов для баз знаний при выборе энергоресурсоэффективных технологий ХТС необходимо использовать следующие правила:



Рис. 3. Фрейм “Сравнение эффективных химических технологий”.

– для исключения неопределенности в структуре фрейма должны предусматриваться пустые слоты, или ответы должны быть полностью альтернативными (исключающими “или”);

– использование блоков-вопросов и блоков-ответов позволяет учитывать опыт непрограммируемых экспертов, описывающих таким образом последовательность своих действий при принятии решений;

– в большей части нижеследующих вопросов используются ответы на вышестоящие, таким образом, означенные атрибуты фреймов становятся характеристиками для последующих вопросов [17].

Структура фрейма для процедуры выбора энергоресурсоэффективной технологии ХТС должна включать следующие блоки-вопросы: условия

применения технологии для ХТС – оценка предполагаемой стоимости технологии; учет экологического воздействия на окружающую среду; учет условий эксплуатации, ремонта и технического обслуживания технологической установки. Фрейм может быть изменен или дополнен, а этапы могут быть перегруппированы, исходя из особенностей предприятия и вида основных критериев, которые каждое предприятие устанавливает самостоятельно. На рис. 3 представлена структура фрейма-прототипа “Сравнение эффективных химических технологий” [18].

При проведении информационной обработки фрейма происходит последовательное сокращение множества рациональных химических технологий за счет исключения решений, не соответствующих корректному ответу на вопрос фрейма.

Полученный список эффективных технологий ранжируется в соответствии с результатами технико-экономического анализа на последнем, пятом, этапе алгоритма выбора химических технологий [19].

В результате проведенного исследования выбирается одно технологическое решение, при этом остальные технологии сохраняются как альтернативные [20]. Для приоритетной технологии составляется технологическая карта. Технологическая карта содержит в себе полную информацию обо всех стадиях производственного процесса, кадровом составе специалистов, подробную характеристику технологических режимов и контрольных показателей, требования к безопасности технологических режимов и т.д. [21].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование логико-информационных моделей бизнес-процесса выбора энергоресурсоэффективной химической технологии позволяет оценить несколько технологических решений, провести консультации со специалистами разных профилей и определить инвестиционные перспективы выбранного технологического решения. Показано, что применение различных химических технологий переработки ПНГ при действующих штрафах за выбросы и его сжигание должно обеспечивать получение дохода нефтяным компаниям. Использование логико-информационных моделей бизнес-процессов в алгоритме выбора энергоресурсоэффективных химических технологий позволяет создать информационное обеспечение для проектирования и управления эксплуатацией энергоресурсоэффективной установки утилизации и переработки ПНГ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bogomolov B.B., Bykov E.D., Men'shikov V.V., Zubarev A.M.* Organizational and technological modeling of chemical process systems // *Theor. Found. Chem. Eng.* 2017. V. 51. № 2. P. 238. [*Богомолов Б.Б., Быков Е.Д., Меньшиков В.В., Зубарев А.М.* Организационно-технологическое моделирование химико-технологических систем // *Теор. осн. хим. технол.* 2017. Т. 51. № 2. С. 221.]
2. *Богомолов Б.Б., Меньшиков В.В., Богословский К.Г., Быков Е.Д., Шумова В.С.* Управление проектированием и эксплуатацией окрасочных линий с использованием бизнес-моделирования // *Сборник научных трудов "Технология лакокрасочных покрытий". Научно-производственное объединение "Лакокраспокрытие". М.: Пэйнт-Медиа, 2012. С. 40.*
3. *Репин В.В., Елиферов В.Г.* Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. М.: РИА "Стандарты и качество", 2009.
4. *Богомолов Б.Б., Меньшиков В.В., Быков Е.Д., Богословский К.Г.* Моделирование химико-технологических систем с использованием организационно-технологических моделей бизнес-процессов // *Сборник научных трудов "Технология лакокрасочных покрытий". Научно-производственное объединение "Лакокраспокрытие". М.: Пэйнт-Медиа, 2013. С. 4.*
5. *Fuchino T., Shimada Y., Kitajima T., Takeda K., Miyazawa M.* Framework to Manage Engineering Technology for Plant Maintenance // *J. Chem. Eng. Jpn.* 2015. V. 48. № 8. P. 662.
6. *Кафаров В.В., Мешалкин В.П.* Анализ и синтез химико-технологических систем. М.: Химия, 1991.
7. *Урбанович О., Богомолов Б.Б.* Бизнес-процесс выбора технологии переработки попутного нефтяного газа // *Логистика и экономика ресурсоэнергосбережения в промышленности (МНПК "ЛЭРЭП-8-2014")*. Сборник научных трудов по материалам VIII Международной научно-практической конференции ЛЭРЭП-8-2014. М.: Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, 2014. С. 91.
8. *Маладжанова Н.А., Богомолов Б.Б.* Разработка экспертной системы выбора технологии переработки отходов химико-технологической системы // *Усп. хим. хим. технол.* 2013. Т. 27. № 9. С. 84.
9. *Мешалкин В.П., Катерищук М.Ю., Василенко Е.А.* Методика формирования комплексной оценки эффективности реинжиниринга бизнес-процессов на промышленном предприятии // *Изв. высш. учебн. завед., экон., финанс. упр. производ.* 2014. № 2. С. 87.
10. *Богомолов Б.Б., Мешалкин В.П.* Принципы разработки экспертной системы оптимальной компоновки оборудования химических производств // *Теор. осн. хим. технол.* 1994. Т. 28. № 6. С. 638.
11. *Dvoretzky D.S., Dvoretzky S.I.* Integrated design of flexible chemical processes, devices, and control systems // *Theor. Found. Chem. Eng.* 2014. V. 48. № 5. P. 614. [*Дворецкий Д.С., Дворецкий С.И.* Интегрированное проектирование гибких химико-технологических процессов, аппаратов и систем управления // *Теор. осн. хим. технол.* 2014. Т. 48. № 5. С. 557.]
12. *Bogomolov B.B., Meshalkin V.P., Sel'skii B.E.* A calculation-logical algorithm for predicting failures in working vacuum filters of a mineral oil deparaffination setup // *Theor. Found. Chem. Eng.* 1998. V. 32. № 6. P. 582. [*Мешалкин В.П., Богомолов Б.Б., Сельский Б.Е.* Вычислительно-логический алгоритм прогнозирования состояний отказов действующих вакуум-фильтров установки депарафинизации минеральных масел // *Теор. осн. хим. технол.* 1998. Т. 32. № 6. С. 640.]
13. *Мешалкин В.П.* Экспертные системы в химической технологии. Основы теории, опыт разработки и применения. М.: Химия, 1995.
14. *Мешалкин В.П., Тюкаев Д.А., Шумаев В.А.* Экономико-математические модели управления материалоёмкостью и качеством проектируемого оборудования // *Интеграл.* 2011. № 2. С. 90.
15. *Sarkisov P.D., Stoyanova O.V., Dli M.I.* Principles of project management in the field of nanoindustry // *Theor. Found. Chem. Eng.* 2013. V. 47. № 1. P. 31. [*Саркисов П.Д., Стоянова О.В., Дли М.И.* Принципы

- управления проектами в сфере наноиндустрии // Теор. осн. хим. технол. 2013. Т. 47. № 1. С. 36.]
16. Дейт К. Введение в системы баз данных. М.: Вильямс, 2001.
 17. Ziyatdinov N.N. Modeling and optimization of chemical engineering processes and systems // Theor. Found. Chem. Eng. 2017. V. 51. № 6. P. 889. [Зиятдинов Н.Н. Моделирование и оптимизация химико-технологических процессов и систем // Теор. осн. хим. технол. 2017. Т. 51. № 6. С. 613.]
 18. Orazbayev B.B., Orazbayeva K.N., Utenova B.E. Development of mathematical models and modeling of chemical engineering systems under uncertainty // Theor. Found. Chem. Eng. 2014. V. 48. № 2. P. 138. [Оразбаев Б.Б., Оразбаева К.Н., Утенова Б.Е. Разработка математических моделей и моделирование химико-технологической системы в условиях неопределенности // Теор. осн. хим. технол. 2014. Т. 48. № 2. С. 152.]
 19. Ostrovsky G.M., Lapteva T.V., Ziyatdinov N.N. Optimal design of chemical processes under uncertainty // Theor. Found. Chem. Eng. 2014. V. 48. № 5. P. 583. [Островский Г.М., Лантева Т.В., Зиятдинов Н.Н. Проектирование оптимальных химико-технологических систем в условиях неопределенности // Теор. осн. хим. технол. 2014. Т. 48. № 5. С. 527.]
 20. Palyukh B.V., Vinogradov G.P., Egereva I.A. Managing the evolution of a chemical engineering system // Theor. Found. Chem. Eng. 2014. V. 48. № 3. P. 325. [Палюх Б.В., Виноградов Г.П., Егерова И.А. Управление эволюцией химико-технологической системы // Теор. осн. хим. технол. 2014. Т. 48. № 3. С. 349.]
 21. Pavlov S.Yu., Kerimov R.M., Kulov N.N. Improvement of chemical engineering processes using systems analysis // Theor. Found. Chem. Eng. 2014. V. 48. № 2. P. 117. [Павлов С.Ю., Кулов Н.Н., Керимов Р.М. Совершенствование химико-технологических процессов на основе системного анализа // Теор. осн. хим. технол. 2014. Т. 48. № 2. С. 131.]