

На правах рукописи

САМПИЕВ АДАМ МИХАЙЛОВИЧ

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ
МОЩНОСТЬЮ ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА ПО
СЖИЖЕНИЮ ПРИРОДНОГО ГАЗА**

Специальность: 08.00.05 – «Экономика и управление народным хозяйством
(экономика, организация и управление предприятиями, отраслями,
комплексными: промышленность)»

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата экономических наук



Москва 2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Захаров Михаил Николаевич

Официальные оппоненты: **Демкин Игорь Вячеславович**,
доктор экономических наук, главный
научный сотрудник ООО
«НИИГазэкономика»

Агафонов Иван Алексеевич,
кандидат экономических наук,
руководитель проектов ПАО
«МОЭК»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Российский химико-
технологический университет
(РХТУ) им. Д.И. Менделеева»

Защита диссертации состоится «21» декабря 2017 года в 13:00 на заседании диссертационного совета Д 212.141.13 при Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана по адресу: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 7, ауд. 414мт.

Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим выслать по адресу: 105005, г. Москва, 2-ая Бауманская, д. 5, стр. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана и на сайте www.bmstu.ru.

Автореферат разослан « ___ » _____ 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.141.13
кандидат экономических наук



Е.Н. Горлачева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. При проектировании промышленных комплексов по сжижению природного газа в арктических и субарктических регионах России необходимо обеспечить возможность устойчивого функционирования промышленного комплекса в условиях нестабильной отгрузки готовой продукции. Нестабильность отгрузки сжиженного природного газа (далее – СПГ) обуславливают следующие факторы:

- отклонения от запланированных сроков прибытия танкеров СПГ;
- ограниченные возможности резервуарного парка для хранения СПГ;
- сезонно-климатические изменения (мягкая, средняя, суровая зима, лето).

Анализ проблем и специфики производства, хранения и отгрузки СПГ показал, что актуальными задачами, с точки зрения стабильного функционирования производства СПГ, являются две задачи. Это – разработка модели управления производственной мощностью промышленного комплекса и выбор оптимального объема резервуарного парка СПГ. Решение этих задач позволит, с одной стороны, избежать переполнения резервуаров СПГ и остановку технологических линий, с другой стороны, обеспечит наличный запас СПГ, необходимый для заполнения прибывающего танкера.

Степень разработанности проблемы. В настоящее время имеется база знаний по вопросу минимизации издержек хранения и производства продукции при реализации транспортных рисков на промышленных предприятиях. С точки зрения освещения данной проблемы выделяются следующие авторы: А.Ф. Андреев, Б.А. Аникин, Ю. Бригхем, П.Л. Виленский, А.М. Гаджинский, Л. Гапенски, В.Ф. Дунаев, М.Н. Захаров, В.Д. Зубарева, А.С. Саркисов.

Также доступны труды авторов по теории нечетких множеств и реализации методов нечеткой логики на практике: К. Асаи, Л.С. Бернштейн, Р. Бишоп, В.И. Гостев, Р. Дорф, Ю.А. Зак, Ю.П. Зайченко, А. Кофман, А.В. Леоненков, А.Н. Мелихов, В. Новак, М. Сугэно, Т. Тэрано, А.А. Усков, Х. Циммерман.

Ознакомление с трудами отечественных и зарубежных авторов позволило сделать вывод об отсутствии проработок по оптимизации издержек хранения и производства на промышленных комплексах по сжижению природного газа с применением систем нечеткого управления.

Актуальность диссертационной работы также подтверждается тем, применение предлагаемой модели нечеткого управления позволит оптимизировать издержки предприятия при наличии транспортных рисков не только для промышленного комплекса по сжижению природного газа, но и для любой другой отрасли промышленности.

Цель работы. Разработка модели управления производственной мощностью промышленного комплекса по сжижению природного газа (далее – КСПГ) в условиях нестабильной отгрузки продукции, позволяющей

минимизировать эксплуатационные издержки и повысить экономическую эффективность КСПГ.

Для достижения поставленной цели в диссертационном исследовании необходимо решить следующие **основные задачи**:

1. Анализ функционирования КСПГ и специфики отгрузки продукции;
2. Разработка модели функционирования систем хранения и отгрузки промышленного комплекса по сжижению природного газа, для определения оптимального объема резервуарного парка, количества и грузовместимости судов для перевозки СПГ;
3. Определение мероприятий по компенсации транспортных рисков и минимизации эксплуатационных издержек КСПГ;
4. Разработка модели управления производственной мощностью КСПГ для принятия управленческих решений по изменению производственной мощности, снижения издержек производства и хранения СПГ.

Научная новизна диссертации заключается в том, что на основе анализа специфики функционирования предприятий ТЭК в арктических и субарктических регионах России разработан новый организационно-экономический механизм управления производственной мощностью промышленного комплекса по сжижению природного газа, отличающийся использованием методов имитационного и нечетко-лингвистического моделирования для поддержки принятия управленческих решений в условиях нестабильной отгрузки СПГ.

Научную новизну работы составляют основные научные результаты, полученные в ходе исследования лично автором:

- разработана модель функционирования систем хранения и отгрузки промышленного комплекса по сжижению природного газа, которая позволяет имитировать нестабильную отгрузку готовой продукции и путем проведения многократных численных оценок изменения наличного запаса СПГ в этой ситуации определить оптимальный объем резервуарного парка, количество и грузовместимость судов для перевозки СПГ;
- предложена база правил систем нечеткого вывода, представляющая из себя набор рекомендаций по изменению производственной мощности при различных сценариях прибытия перевозящих СПГ судов под погрузку, а также определен вид функций принадлежности входных и выходных лингвистических переменных, в качестве которых обоснованно выбраны: время прибытия танкера, уровень заполнения резервуаров и производительность комплекса;
- разработана модель управления производственной мощностью промышленного комплекса по сжижению природного газа, основанная на теории нечетких множеств и нечеткой логике, позволяющая принимать управленческие решения по изменению производственной мощности, уменьшать издержки производства и хранения СПГ.

Объект исследования: промышленный комплекс по сжижению природного газа в арктических и субарктических регионах России,

исследуемый в диссертации как экономическая система ТЭК, функционирующая в условиях нестабильной отгрузки готовой продукции.

Предмет исследования: организационно-экономические методы управления производственной мощностью промышленного комплекса по сжижению природного газа.

Область исследования. Основные научные положения диссертации соответствуют следующим пунктам паспорта ВАК Минобрнауки РФ по специальности 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством»: 1.1.19 Методологические и методические подходы к решению проблем в области экономики, организации управления отраслями и предприятиями топливно-энергетического комплекса; 1.1.27. Управление производственной программой в различных условиях хозяйствования подразделения организации.

Теоретическая и практическая значимость работы. Разработанные в диссертации модели и алгоритмы расчетов могут использоваться для определения объема резервуарных парков СПГ и танкерного флота при реализации проектов по созданию СПГ-производств. Использование модели управления производственной мощностью промышленного комплекса позволяет уменьшить издержки производства и хранения СПГ.

Методология и методы исследования.

Методологическую основу составили труды отечественных и зарубежных авторов по экономике и управлению предприятием, организации производства, управлению запасами предприятия, теории нечетких множеств, нечеткой логики, методы моделирования управления производственными системами в условиях неопределенности и транспортных рисков.

В работе использовались открытые материалы, опубликованные в общей, специальной литературе, в периодической печати, интернет-изданиях, собственные материалы автора, полученные в процессе работы над диссертацией.

Основные положения, выносимые на защиту:

- разработанная для определения изменения наличного запаса СПГ в резервуарах, минимального запаса СПГ в резервуарах, оптимального количества и грузоместимости судов для перевозки СПГ, модель функционирования систем хранения и отгрузки промышленного комплекса по сжижению природного газа;
- сформулированные в виде базы правил рекомендации по изменению производственной мощности промышленного комплекса по сжижению природного газа при различных сценариях прибытия перевозящих СПГ судов под погрузку;
- разработанная для принятия управленческих решений по изменению производственной мощности промышленного комплекса по сжижению природного газа и снижения издержек производства и хранения СПГ модель управления производственной мощностью;

– алгоритмы практической реализации математических моделей на примере комплекса по сжижению природного газа на полуострове Ямал.

Достоверность результатов исследования подтверждается использованными математическими методами, теорией нечетких множеств, нечеткой логики, основывается на положениях, сформулированных в исследованиях отечественных и зарубежных специалистов.

Апробация результатов. Основные положения работы докладывались и обсуждались на Юбилейной 70-ой Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ 2016», Москва, 2016; на VI Всероссийской научной конференции по организации производства (ШЕСТЬЕ ЧАРНОВСКИЕ ЧТЕНИЯ), Москва, 2016; на научно-технических совещаниях в компании ОАО «Ямал СПГ», Москва, 2013-2016; на заседаниях кафедры оборудования нефтегазопереработки РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, Москва, 2015-2017; на заседании кафедры промышленной логистики МГТУ имени Н.Э. Баумана, Москва, 2017.

Публикации. Основное содержание работы отражено в 7 научных работах, общим объемом 4,32 п.л., из них в журналах, рекомендованных ВАК РФ – 3.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка сокращений, приложения и списка литературы из 86 наименований. Диссертация содержит 127 страниц основного текста, 37 рисунков, 3 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационного исследования, поставлены цели и задачи исследования, сформулированы практическая ценность результатов работы, научная новизна и выделены выносимые на защиту научные положения.

В **первой главе** проведен анализ проблем и перспектив организации производств по сжижению природного газа, обзор развития СПГ-производств в мире, обзор проектов по созданию СПГ-производств на территории РФ, рассмотрены технологические и конструктивные особенности производства, хранения и отгрузки СПГ, общая философия автоматизированной системы управления процессами хранения и отгрузки СПГ, изложены принципы проектирования СПГ-производств в условиях Арктики.

Производство сжиженного природного газа имеет ряд характерных особенностей – непрерывный характер производства, особые требования к хранению СПГ, периодичность вывоза, ограничение возможности варьирования танкерного флота в тяжелых ледовых условиях.

Технология производства СПГ не предполагает возможность регулярных остановок комплекса. Это означает, что объем резервуаров для хранения СПГ должен быть рассчитан таким образом, чтобы избежать

недогруза СПГ в танкер при работе завода на неполную мощность (в случае проведения плановых ремонтных работ, внеплановых остановках и т.д.).

С другой стороны, резервуары СПГ представляют собой сложные и дорогостоящие конструкции, их количество и вместимость должны быть рассчитаны оптимальным образом, с учетом частоты и объемов отгружаемого СПГ, а также рисков, связанных с возможной задержкой танкера. Также необходимо учитывать, что природный газ находится в сжиженном состоянии благодаря низким температурам (-160°C) и, несмотря на сложные изоляционные системы, заложенные в конструкции резервуаров, испаряется в среднем в количестве 0,1-0,15% от общего объема в сутки. Отпарной газ может направляться на повторное сжижение, либо на факельную установку, что является нерациональным решением.

Следует обратить внимание, что количество танкеров, способных работать круглогодично в ледовых условиях, ограничено, и, поэтому, существует также некоторая вероятность задержки прихода танкера в порт в запланированное время.

Анализ проблем и специфики производства, хранения и отгрузки СПГ показал, что необычайно важным является обоснованный выбор параметров резервуарного парка. Эти параметры должны определяться расчетным путем из условия минимума затрат на транспортировку и хранение СПГ, с учетом сезонности спроса, параметров обслуживающего танкерного флота и возможных частот отгрузки. Таким образом, при организации производств сжиженного природного газа основные технологические параметры системы хранения должны быть рассчитаны на основе модели, учитывающей параметры танкерного флота, частоту и сезонность отгрузки СПГ.

Во **второй главе** выполнено построение модели функционирования систем хранения и отгрузки промышленного комплекса по сжижению природного газа, на основе которой возможно определить изменение наличного запаса СПГ в резервуарах, минимальный необходимый запас СПГ в резервуарах, оптимальный объем резервуарного парка, количество и грузовместимость судов для перевозки СПГ.

Основными параметрами модели функционирования систем хранения и отгрузки промышленного комплекса по сжижению природного газа являются:

1. Время оборачиваемости судна (ВОС)

Под показателем оборачиваемости судна подразумевается время, которое требуется одному танкеру для прохождения от района ожидания до порта, швартовки у причала, погрузки СПГ, отхода от причала и прохождения назад до района ожидания.

В теории показатель оборачиваемости означает время, которое необходимо танкеру для прохождения всего цикла, при условии отсутствия времени ожидания (теоретический показатель зависит от скорости судна, которая зависит от ледовых условий во время навигации судна).

Под фактическим показателем ВОС подразумевается теоретический показатель + время, затраченное судном на ожидание (ожидание хорошей погоды, ледокольного сопровождения (в случае тяжелых ледовых условий), готовности причала или канала и т.д.) + задержки в ходе погрузки (например, из-за поломки стендера или из-за вынужденного отплытия с частичным грузом).

Таким образом, теоретическое время оборачиваемости судна

$$t_{oc.} = t_{сегм.} + t_{ман.} + t_{ув.} + t_{под.ст.} + t_{н.пог.} + t_{погр.} + t_{з.погр.} + t_{отс.ст.} + t_{отч.} + t_{сегм.},$$

где

$t_{сегм.}$ – время прохождения сегментов от района ожидания до акватории;

$t_{ман.}$ – время маневрирования танкера в акватории порта;

$t_{ув.}$ – время швартовки;

$t_{под.ст.}$ – время на подсоединение стендеров и охлаждение;

$t_{н.пог.}$ – время начала погрузки, наращивание скорости отгрузки;

$t_{погр.}$ – время отгрузки;

$t_{з.погр.}$ – время на завершение погрузки, снижение скорости отгрузки;

$t_{отс.ст.}$ – отсоединение стендеров (дренаж и продувка стендеров);

$t_{отч.}$ – время отчаливания танкера.

2. Наличный запас СПГ в резервуарах определен следующим образом:

$$V_N = V_0 + v_{пост} \cdot t_n - \sum_i^n v_{отгр} \cdot (t_i - t_{i-1})$$

где

V_0 – объем СПГ в резервуаре в начальный момент времени;

$v_{пост} = const$ – скорость поступления СПГ в резервуары;

$v_{отгр}$ – скорость отгрузки СПГ на танкер, периодическая функция времени;

t_n – промежуток времени поступления СПГ в резервуар со скоростью $v_{пост}$;

t_{i-1}, t_i – время начала и окончания отгрузки СПГ на танкер;

$i = 2k, k \in Z$.

Зависимость скорости отгрузки СПГ на танкер и скорости поступления СПГ в резервуар от времени показана на Рисунке 1.

В модели предусмотрены условия, что объем СПГ в резервуарах в начале зимнего сезона, с одной стороны, учитывая меньшую интенсивность отгрузки, должен стремиться к минимуму ($V_0^{зим} \rightarrow V_{min}$).

С другой стороны, объем СПГ в начале зимнего сезона должен быть достаточным, чтобы избежать дефицита СПГ на всем протяжении зимнего сезона ($V_0^{зим} \geq V_{min}$).

Учитывая высокую интенсивность отгрузок СПГ в летний сезон, объем газа в резервуарах в начале летнего сезона должен быть близок к максимальному значению объема резервуарного парка ($V_0^{лет} \rightarrow V_{max}$).

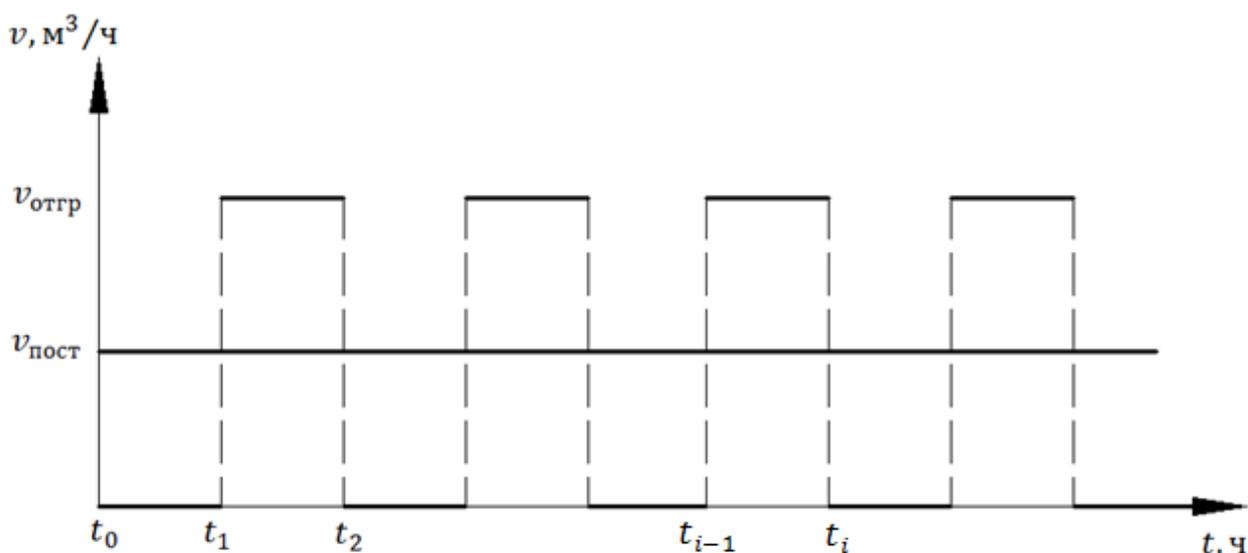


Рисунок 1. Изменение скорости отгрузки СПГ на судно и скорости поступления СПГ в резервуары

Модель позволяет выполнить расчет допустимых значений изменения наличного запаса СПГ за время оборачиваемости одного танкера в зимний и летний сезоны $\Delta_{\text{зим}}$ и $\Delta_{\text{лет}}$ соответственно:

$$[\Delta_{\text{зим}}] = \frac{V_0^{\text{лет}} - V_0^{\text{зим}}}{n_{\text{зим}}} \quad (1)$$

$$[\Delta_{\text{лет}}] = \frac{V_0^{\text{зим}} - V_0^{\text{лет}}}{n_{\text{лет}}} \quad (2)$$

где

$V_{\text{к}}^{\text{зим}} = V_0^{\text{лет}}$ – объем СПГ в резервуарах к концу зимнего – началу летнего сезона;

$V_{\text{к}}^{\text{лет}} = V_0^{\text{зим}}$ – объем СПГ в резервуарах к концу летнего – началу зимнего сезона;

$\Delta_{\text{зим}}, \Delta_{\text{лет}}$ – изменение наличного запаса СПГ за время оборачиваемости одного танкера в зимний и летний сезоны соответственно;

$n_{\text{зим}}, n_{\text{лет}}$ – количество рейсов за зимний и летний сезоны соответственно.

При создании модели учитывался ряд правил судоходства. В базовых сценариях для ожидания используется район ожидания № 1. Допускается также использование района ожидания № 2. СПГ-танкер приходит из открытого моря в район ожидания № 1, далее принимается решение о том, может ли СПГ-танкер проследовать к причалу. Фарватер от района ожидания № 1 до причала разделен на три сегмента S_1, S_2, S_3 .

На причале проводятся операции по отгрузке СПГ, и по завершении отгрузки принимается решение о том, может ли СПГ-танкер покинуть причал и выйти в открытое море.

Перед тем, как танкер получит разрешение проследовать к одному из причалов, необходимо провести несколько проверок:

- наличие продукта в хранилищах – в резервуарах СПГ должно быть достаточное количество СПГ, прежде чем танкер сможет выдвинуться к причалу;
- готовность причала – причал должен быть готов к принятию танкера. Причал считается занятым, если судно уже пришвартовалось к нему, либо совершает маневры для подхода;
- канал – уходящие суда имеют приоритет перед прибывающими. Входящие суда рядом с районом ожидания № 1 могут запросить прохождение сегмента S_1 при условии, что это не вызовет задержки уходящих судов. Такая задержка будет возникать из-за ограничений при пересечении курсов.

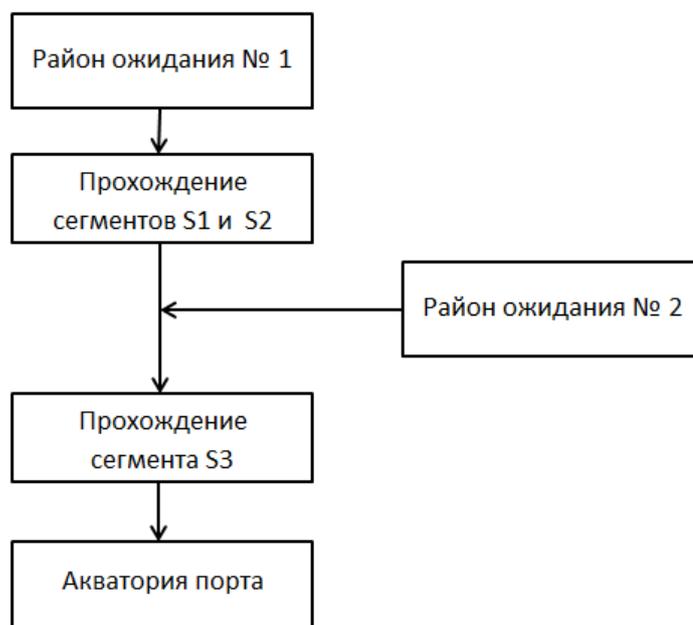


Рисунок 2. Схема ситуационного плана морского порта

Таким образом, для каждого сегмента определены различные правила судоходства:

- в сегментах S_1 и S_3 пересекающееся судно недопустимо;
- в сегменте S_2 пересечение курсов допускается;
- в сегментах S_1 и S_2 в одном направлении одновременно могут следовать несколько судов. Для сегмента S_3 это является недопустимым.

В качестве одного из параметров, характеризующих загруженность и полноту использования емкости резервуарного парка хранения СПГ, был принят коэффициент оборачиваемости, определяемый как отношение годового оборота СПГ к установленной емкости резервуарного парка хранения:

$$k_{об} = \frac{V_{год}}{V}$$

В третьей главе разработана модель регулирования производственной мощности промышленного комплекса по сжижению природного газа с использованием модели нечеткого управления.

При проектировании производств по сжижению природного газа необходимо учитывать логистические риски, связанные с задержками или преждевременными прибытиями под погрузку танкеров, перевозящих сжиженный природный газ (СПГ).

При отклонении от запланированного времени прибытия танкера СПГ под погрузку, проектная мощность технологических линий, производящих СПГ, должна быть отрегулирована соответствующим образом, с учетом ограниченного объема резервуарного парка.

В процессе эксплуатации комплекса по сжижению природного газа возникают определенные условия, формирующие стратегию принятия решений в определении производительности установок по сжижению газа.

К этим условиям относятся:

- отклонения от запланированных сроков прибытия танкеров СПГ в морской терминал;
- ограниченные возможности резервуарного парка хранения принять СПГ с технологических линий без изменения их производительности в случае задержки танкера;
- наличие в резервуарах достаточного количества СПГ для отгрузки в случае прихода танкера раньше запланированного;
- сезонно-климатические изменения (мягкая, средняя, суровая зима, лето).

Работа комплекса по сжижению природного газа предполагается в непрерывном режиме, за исключением небольших промежутков, предусматриваемых для планового ремонта оборудования. В связи с ограниченным объемом резервуарного парка и периодичностью вывоза СПГ возможны сценарии, при которых оптимальным решением будет являться регулирование производственной мощности технологических линий комплекса. При высоких уровнях заполнения резервуарного парка и ожидаемых задержках в прибытии танкера СПГ в терминал, уменьшение производственной мощности технологических линий комплекса позволит минимизировать издержки на перепроизводство СПГ и потерю излишков газа. При низких уровнях заполнения резервуарного парка и ожидаемом прибытии танкера СПГ раньше запланированного времени увеличение производственной мощности технологических линий комплекса позволит сократить сроки простоя танкеров в ожидании продукта.

На регулирование производительности комплекса также оказывает воздействие сезонный фактор. Промежутки времени между прибытием танкеров СПГ различны в зависимости от времени года и ледовых условий (мягкая, средняя, суровая зима).

В третьей главе также изложены основные положения теории нечетких множеств, методы построения функций принадлежности, описан процесс нечеткого вывода.

В **четвертой** главе показано применение моделей, разработанных и описанных во второй и третьей главах настоящей работы, на примере проекта по освоению Южно-Тамбейского газоконденсатного месторождения.

В моделях рассмотрены сценарии изменения наличного запаса СПГ в резервуарах для летнего и зимнего сезона. В зависимости от суровости зимнего сезона (толщины льда) выделены случаи мягкой, средней и суровой зимы.

По результатам расчетов было обнаружено значительное превышение допустимых значений изменения наличного запаса СПГ за время оборачиваемости одного танкера. Так, изменение наличного запаса СПГ за время оборачиваемости одного танкера для сценариев

- мягкой зимы составило $\Delta_{\text{мяг.зим}} = 9558 \text{ м}^3 / \text{рейс}$, $\Delta_{\text{мяг.зим}} = 1433700 \text{ долл.США} / \text{рейс}$;
- средней зимы составило $\Delta_{\text{ср.зим}} = 24525 \text{ м}^3 / \text{рейс}$, $\Delta_{\text{ср.зим}} = 3678750 \text{ долл.США} / \text{рейс}$;
- суровой зимы составило $\Delta_{\text{сур.зим}} = 50469 \text{ м}^3 / \text{рейс}$, $\Delta_{\text{сур.зим}} = 7570350 \text{ долл.США} / \text{рейс}$;
- летнего сезона $\Delta_{\text{лет.}} = -20377 \text{ м}^3 / \text{рейс}$; $\Delta_{\text{лет.}} = -3056550 \text{ долл.США} / \text{рейс}$.

Пересчет в стоимостные показатели был выполнен исходя из стоимости природного газа, равной 250 долл. США за 1000 м³.

Результаты расчетов представлены в графическом виде на Рисунке 3.

Используя выражения (1) и (2) и полученные фактические значения интенсивности изменения наличного запаса в резервуарном парке, рассчитывается количество судов, после обработки которых резервуарный парк будет полностью заполнен (для зимних сезонов) / полностью опустошен (для летних сезонов).

$$n_{\text{зим}} = \frac{V_{\text{max}} - V_0^{\text{зим}}}{\Delta_{\text{зим}}}; \quad n_{\text{лет}} = \frac{0 - V_{\text{max}}}{\Delta_{\text{лет}}}$$

Результаты выполненных расчетов показывают перепроизводство СПГ в зимний период, что приводит к необходимости принудительного выпаривания СПГ и направления его на факел. В летний период создается дефицит СПГ, что может привести к срыву установленных сроков поставки продукта покупателю и, возможно, к штрафным санкциям.

Эмпирические знания о рассматриваемой проблемной области могут быть представлены в форме правил, которые применяются в случае регулирования производственной мощности технологических линий комплекса по сжижению природного газа.

Примеры правил для случая средней зимы:

1. Если прибытие танкера ожидается в запланированный срок, в период средней зимы и уровень заполнения резервуаров низкий, то производительность комплекса следует довести до максимального уровня.
2. Если прибытие танкера ожидается с незначительной задержкой, в период средней зимы, и уровень заполнения резервуаров средний, то производительность комплекса следует сохранить на проектном уровне.
3. Если прибытие танкера ожидается со значительной задержкой, в период средней зимы, и уровень заполнения резервуаров высокий, то производительность комплекса следует незначительно уменьшить.

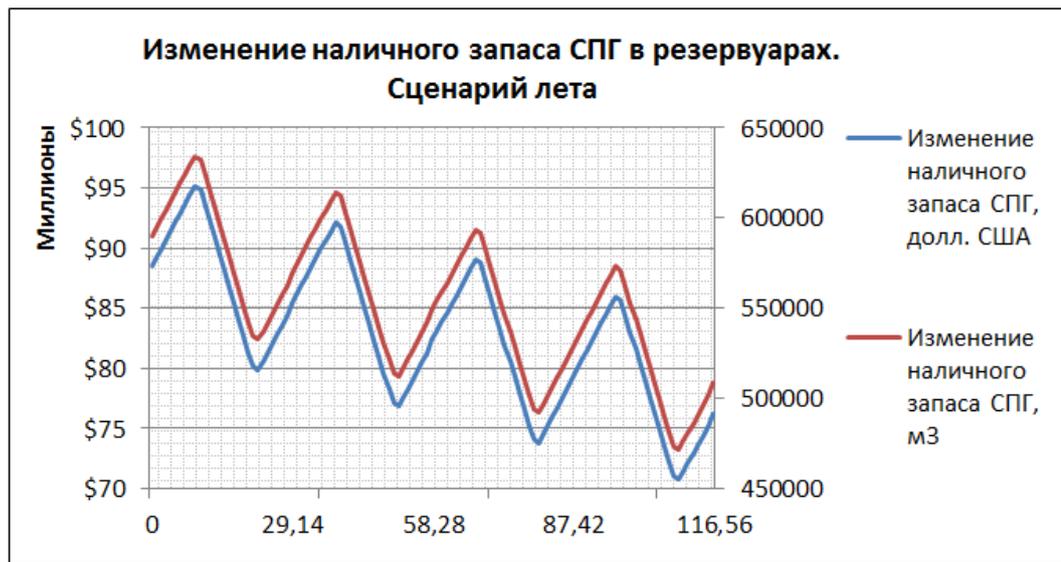


Рисунок 3. Изменение наличного запаса СПГ в резервуарах в натуральном и стоимостном выражении

Аналогичные правила составляются для летнего периода и случаев мягкой и суровой зимы.

Для формирования базы правил предварительно определяются входные и выходные лингвистические переменные. В качестве первой из входных лингвистических переменных использовано «время прибытия танкера» – β_1 , в качестве второй входной лингвистической переменной – «уровень заполнения резервуарного парка» – β_2 , а в качестве третьей входной переменной – «сезонные условия» – β_3 . В качестве выходной лингвистической переменной использована «производственная мощность комплекса по сжижению природного газа» – β_4 .

Для первой лингвистической переменной использовано множество $T_1 = \{\text{«запланированный срок»}, \text{«незначительная задержка»}, \text{«значительная задержка»}\}$ с функциями принадлежности, изображенными на Рисунке 4.

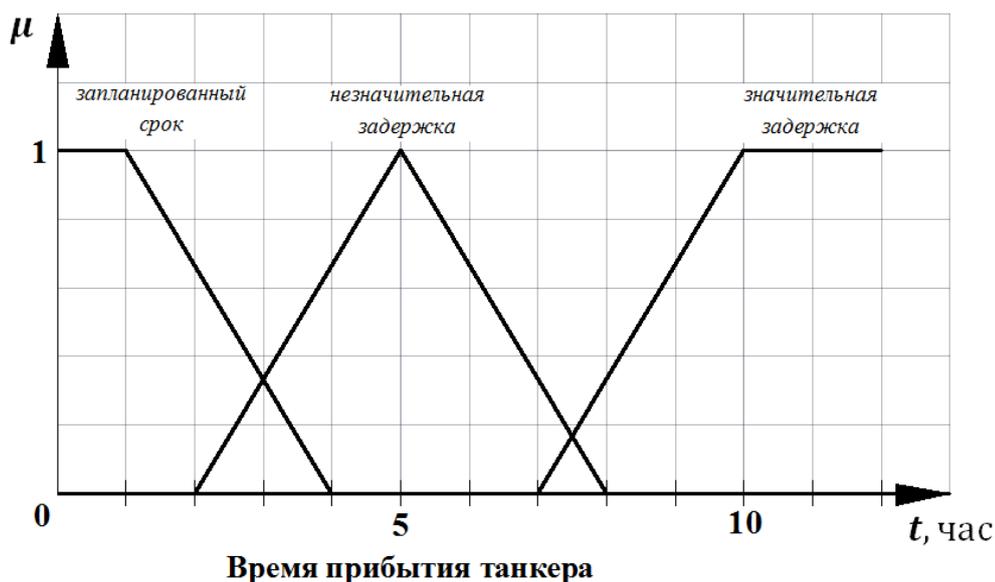
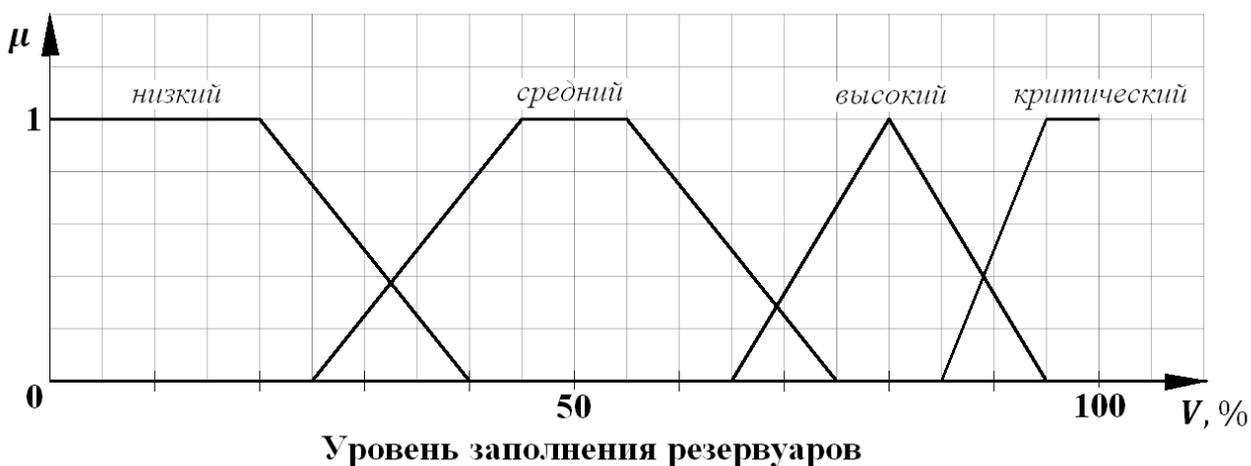


Рисунок 4. Графики функций принадлежности для переменной «время прибытия танкера»

Для второй лингвистической переменной принято множество $T_2 = \{\text{«низкий»}, \text{«средний»}, \text{«высокий»}, \text{«критический»}\}$ с функциями принадлежности, изображенными на Рисунок 5.

Для третьей лингвистической переменной принято множество $T_3 = \{\text{«мягкая зима»}, \text{«средняя зима»}, \text{«суровая зима»}, \text{«лето»}\}$. В данном расчете предлагается зафиксировать лингвистическую переменную β_3 и



рассматривать в дальнейшем случай «средней зимы».

Рисунок 5. Графики функций принадлежности для переменной «уровень заполнения резервуаров»

Для выходной лингвистической переменной принято множество $T_4 = \{\text{«максимальная»}, \text{«проектная»}, \text{«незначительно уменьшить»}, \text{«значительно уменьшить»}, \text{«минимальная»}\}$ с функциями принадлежности, изображенными на Рисунке 6.

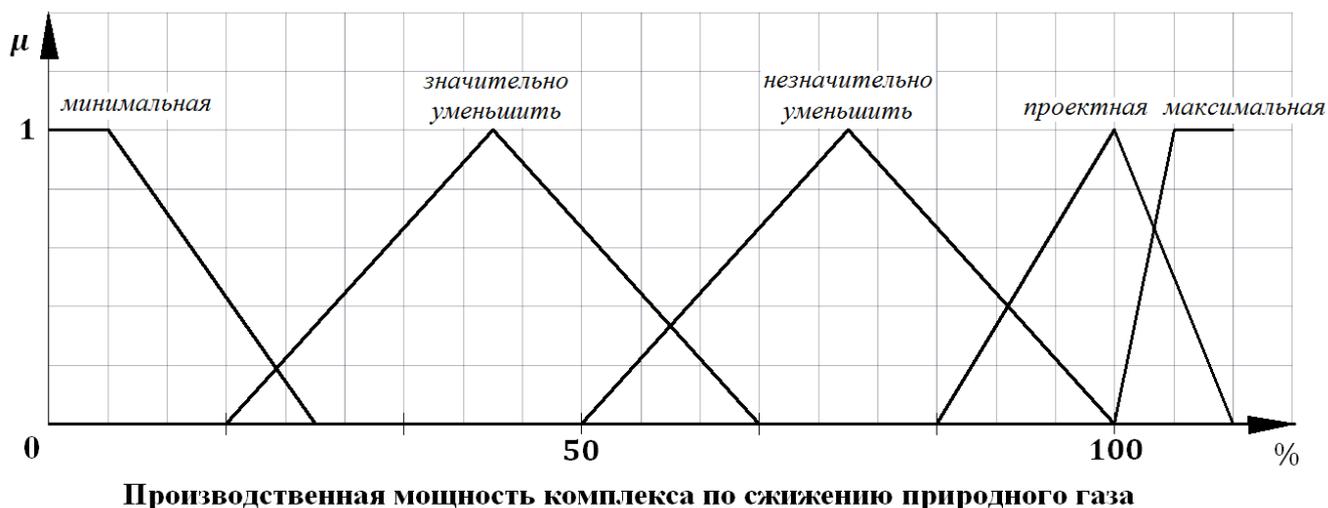


Рисунок 6. Графики функций принадлежности для переменной «производственная мощность комплекса по сжижению газа»

В настоящем диссертационном исследовании применены линейные функции принадлежности (треугольные, трапециевидные). Целесообразность их использования обуславливается простотой выполнения операций над ними, а также наглядной графической интерпретацией. Разделение множеств на лингвистические переменные, присвоение лингвистическим переменным функций принадлежности определенной конфигурации и границ выполнено на основании особенностей технологии сжижения природного газа, знаниями и экспертными оценками влияния изменения входных переменных (время задержки, уровень заполнения резервуаров) на изменение выходной переменной (производительность КСПГ).

Используя в качестве алгоритма вывода алгоритм Мамдани, рассмотрен пример его выполнения для случая средней зимы, когда прибытие танкера задерживается на 7 часов и уровень заполнения резервуарного парка составляет 85%.

В этом случае фаззификация первой входной лингвистической переменной приводит к значению истинности 0,34 для нечеткой переменной «незначительная задержка», а фаззификация второй нечеткой переменной приводит к значению истинности 0,66 для нечеткой переменной «высокий».

В текущем процессе нечеткого вывода используется правило: «Если прибытие танкера ожидается с незначительной задержкой, в период средней зимы, и уровень заполнения резервуаров высокий, то производительность комплекса следует незначительно уменьшить».

Агрегирование подусловий правила дает в результате число 0,34. Следующим этапом нечеткого вывода является активизация заключений в нечетких правилах продукции.



Рисунок 7. Графики функций принадлежности для переменной «производственная мощность комплекса по сжижению природного газа». Этап активизации

Поскольку все заключения правил заданы в форме нечетких лингвистических высказываний первого вида, а весовые коэффициенты правил по умолчанию равны 1, то активизация правила приводит к одному нечеткому множеству, функция принадлежности которого показана на Рисунке 7.

Дефаззификация выходной лингвистической переменной «производственная мощность комплекса по сжижению природного газа» методом центра площади для значений функции принадлежности, изображенной на Рисунке 7, приводит к значению управляющей переменной, равной уменьшению производственной мощности комплекса по сжижению природного газа на 25% от проектного значения.

На Рисунке 8 показано иллюстративное изображение изменения выходной переменной – производительности промышленного комплекса по сжижению природного газа в зависимости от изменения входных переменных – времени прибытия танкеров и уровня заполнения резервуарного парка хранения СПГ. Из Рисунка 8 видно, что уменьшение производительности технологических линий по производству СПГ рекомендуется начинать при уровне заполнения резервуаров выше 60 % от общего объема в случае задержки прибытия танкеров СПГ более чем на 4 часа. Нарастивать производительность технологических линий выше проектных мощностей рекомендуется при низких уровнях заполнения резервуаров (ниже 40%) и отсутствии задержек в прибытии танкеров.

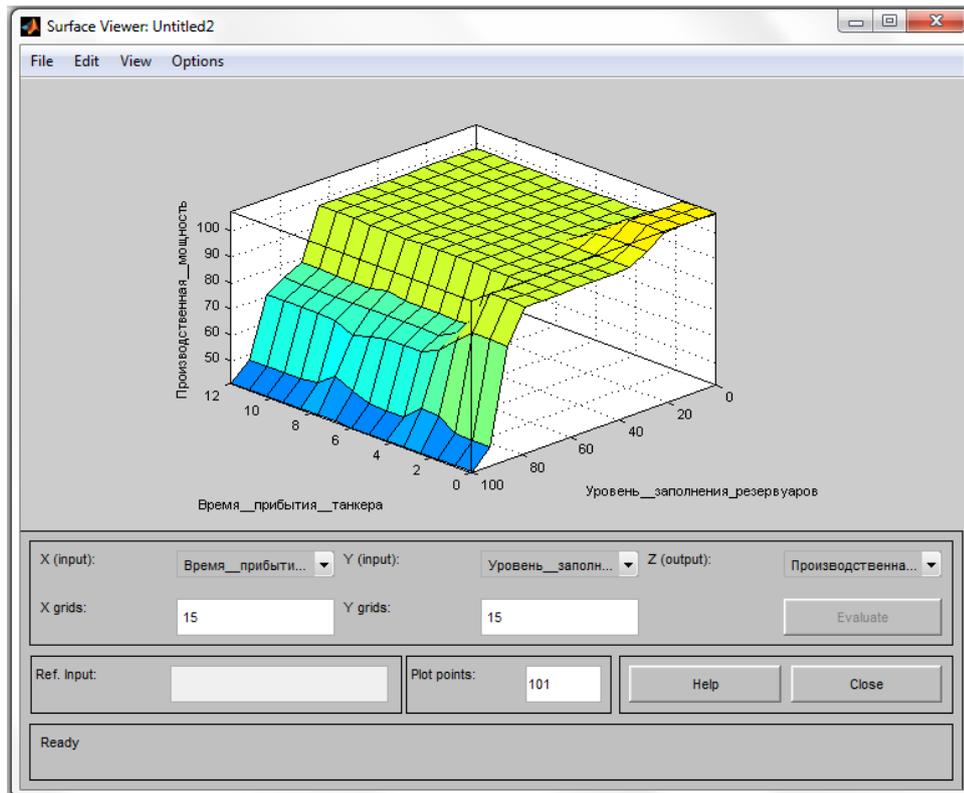


Рисунок 8. Трехмерное изображение изменения производительности комплекса по сжижению природного газа для средней зимы

Итоговым показателем экономической эффективности промышленного комплекса по сжижению природного газа была принята рентабельность производства, определяемая следующим образом:

$$R = \frac{TR - TC}{TC}$$

TR - общая выручка от реализации сжиженного природного газа;

TC - общие затраты промышленного комплекса по производству сжиженного природного газа.

Для оценки эффективности применения модели управления производственной мощностью промышленного комплекса по сжижению природного газа определено приращение рентабельности:

$$\Delta R = R_2 - R_1 = \frac{TR - TC_2}{TC_2} - \frac{TR - TC_1}{TC_1} = P \cdot Q \cdot \left(\frac{1}{TC_2} - \frac{1}{TC_1} \right)$$

TC_1 – общие затраты КСПГ без учета функционирования модели управления производственной мощностью;

TC_2 – общие затраты КСПГ с учетом работы модели управления производственной мощностью.

$$TC_1 = FC + VC_1; \quad TC_2 = FC + VC_2$$

FC – постоянные затраты, не зависящие от объема запасов СПГ в резервуарах;

VC_1 , VC_2 – переменные затраты, зависящие от величины запасов СПГ в резервуарах, в случае работы без учета и с учетом использования модели управления производственной мощностью;

$$VC_1 = vc \cdot V_1; VC_2 = vc \cdot V_2$$

vc – удельные переменные затраты на хранение;

V_1 , V_2 – величины запасов СПГ в резервуарах без учета и с учетом функционирования модели управления производственной мощностью соответственно.

Приращение рентабельности за счет применения модели управления производственной мощностью промышленного комплекса по сжижению природного газа в средней задержке танкеров на 2 часа в сутки в период зимнего сезона в среднем составит 16%.

ВЫВОДЫ

1. Проведенный анализ функционирования промышленного комплекса по сжижению природного газа и специфики отгрузки продукции показал, что издержки хранения и производства сжиженного природного газа существенны при реализации транспортных рисков и разработка системы мер по минимизации издержек может значительно повысить эффективность и конкурентоспособность предприятия в целом.
2. Проведенный анализ сценариев с нестабильной отгрузкой готовой продукции, исполненных путем проведения многократных численных оценок изменения наличного запаса СПГ в резервуарах хранения, позволяет определить оптимальный объем резервуарного, количество и грузместимость судов для перевозки СПГ.
3. Разработанный подход к оценке изменения наличного запаса СПГ показал, что наиболее предпочтительным решением по компенсации транспортных рисков и минимизации ассоциированных с ними издержек производства и хранения является регулирование производственной мощности промышленного комплекса по производству СПГ.
4. По результатам анализа автоматизированных методов принятия управленческих решений показано, что управление производственной мощностью промышленного комплекса по сжижению природного газа предпочтительно осуществлять на основе положений теории нечетких множеств.
5. Разработанная база правил, представляющих из себя рекомендации по изменению производственной мощности при различных сценариях прибытия перевозящих СПГ судов под погрузку, позволяет построить модель управления производственной мощностью промышленного комплекса по сжижению природного газа.
6. Разработанная модель управления производственной мощностью промышленного комплекса по сжижению природного газа, основанная на теории нечетких множеств и нечеткой логике, позволяет принимать

- управленческие решения по изменению производственной мощности, уменьшать издержки производства и хранения СПГ.
7. Предложенный метод графического представления изменения производительности промышленного комплекса по сжижению природного газа наглядно иллюстрирует степень свободы при принятии управленческих решений, а также обеспечивает их оперативность.
 8. Результаты диссертационного исследования будут использованы в работе промышленного комплекса «Ямал СПГ», что подтверждается справкой о внедрении результатов диссертационного исследования.

Тема диссертации отражена в следующих научных работах:

1. Захаров М.Н., Сампиев А.М. Построение логистической модели функционирования комплекса по сжижению природного газа // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2015. № 5. С. 55-61. (0,81п.л./0,4п.л.).
2. Захаров М.Н., Сампиев А.М. Проблемы и перспективы организации производств по сжижению природного газа // Нефть, газ и бизнес. 2015. № 6. С. 8-12. (0,75п.л./0,3п.л.).
3. Захаров М.Н., Сампиев А.М. Регулирование производственной мощности комплекса по сжижению природного газа с использованием модели нечеткого управления // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2016. № 2. С. 59-64. (0,88п.л./0,5п.л.).
4. Сампиев А.М. Построение математических моделей для определения конфигурации хранилищ и транспортных средств при производстве сжиженного природного газа // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. 2016. № 9. С. 36-42. (0,94п.л./0,94п.л.).
5. Захаров М.Н., Сампиев А.М. Управление производственной программой комплекса по сжижению природного газа с учетом специфики условий его функционирования // Контроллинг. 2016. № 3 (61). С. 54-61. (0,75п.л./0,2п.л.).
6. Сампиев А.М. Регулирование производственной мощности комплекса по сжижению природного газа с использованием модели нечеткого управления // Юбилейная 70-я международная молодежная научная конференция «Нефть и газ – 2016». М.: Издательство «РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина». 2016. С.79-89. (0,06п.л.).
7. Сампиев А.М., Захаров М.Н. Управление производственной мощностью комплекса по сжижению природного газа при нестабильной отгрузке продукции // VI Всероссийская научная конференция по организации производства (ШЕСТЬЕ ЧАРНОВСКИЕ ЧТЕНИЯ). М.: НОЦ «Контроллинг и управленческие инновации» МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. С. 276-278. (0,13п.л./0,8п.л.).