

УО «Белорусский государственный технологический университет»

Министерство образования Республики Беларусь

Белорусский государственный концерн по нефти и химии

Государственный комитет по науке и технологиям

Национальная академия наук Беларуси

Министерство экономики Республики Беларусь

Национальное агентство инвестиций и приватизации  
Республики Беларусь

Исполнительный комитет СНГ

Постоянный Комитет Союзного государства

Россотрудничество

Министерство промышленности Республики Беларусь

Белорусский государственный концерн по производству  
и реализации товаров легкой промышленности

# **НЕФТЕХИМИЯ – 2019**

## **МАТЕРИАЛЫ**

**II Международного научно-технического  
и инвестиционного форума по химическим  
технологиям и нефтегазопереработке**

**16–18 октября 2019 г.**

**Минск, Республика Беларусь**

---

---

# **PETROCHEMISTRY – 2019**

## **PROCEEDINGS**

**II INTERNATIONAL SCIENCE, TECHNOLOGY AND INVESTMENT  
FORUM ON CHEMICAL ENGINEERING AND OIL AND GAS PROCESSING**

**October 16–18, 2019**

**Minsk, the Republic of Belarus**

УДК 665.7

**НЕФТЕХИМИЯ – 2019** : материалы II Междунар. науч.- техн. и инвестиц. форума по хим. технологиям и нефтегазоперераб., Минск, 16–18 сентября 2019 г. – Минск : БГТУ, 2019. – 247 с. – ISBN 978-985-530-797-7.

Сборник составлен по материалам докладов II Международного научно-технического и инвестиционного форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке «НЕФТЕХИМИЯ – 2019».

В представленных докладах отражены мировые тенденции нефтехимии, нефте- и газопереработки, вопросы, касающиеся модернизации предприятий концерна «Белнефтехим», представлены научные достижения в области технологий химических и нефтехимических производств, применения новых технологий и технических средств при эксплуатации месторождений углеводородов, разработки перспективных технологий и оборудования на основе полимерных композиционных материалов, освещены экологические проблемы химических и нефтехимических производств и пути их решения.

Сборник предназначен для работников различных отраслей экономики, научных сотрудников, специализирующихся в соответствующих областях знаний, аспирантов и студентов учреждений высшего образования.

© УО «Белорусский государственный технологический университет», 2019

## ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ

---



**Уважаемые участники, гости  
и организаторы II Международного  
научно-технического и инвестиционного  
форума по химическим технологиям  
и нефтегазопереработке  
«НЕФТЕХИМИЯ-2019»!**

*Последние геополитические события, а также тренды в мировой экономике и энергетике заставляют нас обратить особое внимание на тенденции и перспективы развития белорусской химической и нефтегазохимической индустрии, адекватно оценить те вызовы, которые стоят перед ней, и пути их преодоления.*

*Сегодня химическая и нефтехимическая промышленность играет ключевую роль в развитии экономики нашей страны. Это база, обеспечивающая ее стабильность. В связи с этим большое значение придается проведению исследовательских работ и внедрению инновационных средств и технологий в данной сфере. Проведение цифровой трансформации промышленности также обусловлено необходимостью сокращения издержек и повышения конкурентоспособности отрасли, обеспечения ее перехода на качественно новый уровень развития.*

*Форум «НЕФТЕХИМИЯ-2019» призван содействовать реализации перспективных проектов, внедрению инновационных технологий и современного оборудования, созданию благоприятных условий для развития новых форм взаимовыгодного сотрудничества. Обмен мнениями специалистов и экспертов в рамках форума послужит серьезной платформой для дальнейшего продвижения достижений науки и практики в производство.*

*Желаю всем участникам, гостям и организаторам форума интересной, плодотворной работы, полезных встреч и успешного осуществления задуманных проектов.*

**Председатель Совета Республики  
Национального собрания Республики Беларусь  
доктор экономических наук, профессор,  
член-корреспондент НАН Беларуси  
М.В. Мясникович**

16 октября 2019 г.



**Уважаемые участники и организаторы  
II Международного научно-технического  
и инвестиционного форума  
по химическим технологиям  
и нефтегазопереработке  
«НЕФТЕХИМИЯ-2019»!**

*От имени Правительства Республики Беларусь и от себя лично позвольте поприветствовать вас на форуме.*

*Проведение второго форума при поддержке концерна "Белнефтехим", Национальной академии наук Беларуси и Министерства образования подчеркивает важность вопросов развития и модернизации отечественной нефтехимии.*

*Нефтехимическая промышленность – это флагман белорусской экономики, прокладывающий путь к новому технологическому укладу, безопасности и независимости государства. Изменение экономических условий в мире требует совершенствования промышленного производства, снижения энергоемкости, повышения глубины переработки сырья, выхода на новые импортозамещающие и экспортноориентированные виды продукции.*

*В настоящее время вопросы развития нефтехимии невозможно решать без совместных действий специалистов и ученых разных стран. Обмен между учеными и производителями научно-техническими знаниями и достижениями в области нефтехимии, представление научных достижений, перспективных технологий и оборудования, а также экологических решений будет способствовать укреплению производственного и социального потенциала всех стран – участников форума.*

*Благодаря ежегодному форуму укрепляются прямые контакты с партнерами и инвесторами для совместного решения технических и экономических задач, определяются направления дальнейшего развития белорусской промышленности и региона в целом.*

*Желаю вам новых достижений, плодотворного сотрудничества и ярких открытий на благо ваших предприятий и Республики Беларусь.*

**Заместитель Премьер-министра  
Республики Беларусь  
И.В. Ляшенко**





**Участникам II Международного  
научно-технического  
и инвестиционного форума  
по химическим технологиям  
и нефтегазопереработке  
«НЕФТЕХИМИЯ – 2019»**

*Уважаемые коллеги!*

*От имени коллективов организаций концерна «Белнефтехим» приветствую участников форума «Нефтехимия-2019».*

*Это знаковое мероприятие для белорусского нефтехимического комплекса и научных работников, призванных способствовать его развитию. Ведь химические и нефтегазоперерабатывающие производства – это не только основа промышленности Беларуси сегодня, но и ключевой ресурс для обеспечения экономического роста республики в дальнейшем.*

*Благодаря своевременно реализованным проектам модернизации и применению современных технологий организации концерна увеличивают добычу нефти на территории Беларуси и укрепляются на зарубежных рынках товаров и услуг, осваивают новые виды импортозамещающей продукции и повышают эффективность деятельности. Ряд крупнейших инвестиционных проектов находится в стадии реализации.*

*Сегодня белорусская нефтепереработка и нефтехимия сталкиваются с новыми вызовами: изменением условий поставок сырья и его качества, повышением конкуренции в бизнес-среде.*

*Поэтому актуальными остаются устремления к поиску новых подходов, ориентированных на повышение эффективности производства и производительности труда, сохранение и улучшение качества продукции, разработку «прорывных» технологий и производств, обеспечение высокой экологичности выпускаемой продукции.*

*Уверен, что обсуждение на форуме производственных и научно-технических проблем в итоге позволят выработать новые предложения по развитию отечественных нефтехимических предприятий в русле мировых тенденций, которые будут учитываться концерном «Белнефтехим» в разработке дальнейшей стратегии роста.*

*Желаю участникам форума успехов в налаживании новых профессиональных связей для достижения высоких научных и практических результатов!*

**Председатель  
Белорусского государственного  
концерна по нефти и химии  
А. Рыбаков**



**Участникам II Международного научно-технического и инвестиционного форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке «НЕФТЕХИМИЯ-2019»**

*Уважаемые участники форума!*

*От имени Министерства образования Республики Беларусь поздравляю вас с началом работы II Международного научно-технического и инвестиционного форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке «НЕФТЕХИМИЯ-2019» и приветствую зарубежных коллег, ученых и практиков организаций нашей страны.*

*Рассматриваемая проблематика является чрезвычайно актуальной для мирового сообщества, а сам форум – это мероприятие, в рамках которого создаются условия для выработки важных решений.*

*Развитие нашей страны невозможно без внедрения новых перспективных технологий, направленных на создание инновационных материалов и производств, ресурсо- и импортозамещение, информатизацию всех сфер жизни, минимизацию последствий воздействия производства на окружающую среду. На форуме будут обсуждены актуальные проблемы нефтехимии, переработки полимерных композиционных материалов, внедрения цифровых технологий, рассмотрены вопросы усиления практико-ориентированной составляющей в подготовке кадров для нефтехимического комплекса.*

*Большие надежды мы возлагаем на научно-исследовательскую деятельность молодого поколения: студентов, магистрантов, аспирантов. Ведь именно им предстоит в ближайшей перспективе противостоять будущим вызовам современности и решать основные задачи отрасли.*

*Считаю, что форум «НЕФТЕХИМИЯ-2019» будет способствовать увеличению вклада науки, производства, высшей школы в решение социально-экономических задач, стоящих перед Республикой Беларусь, а представленные к обсуждению материалы будут с интересом встречены учеными и практиками, станут предметом дальнейших исследований заинтересованных лиц.*

*Желаю участникам форума интересных и плодотворных дискуссий, творческого поиска, успехов в реализации своих идей, новых научных достижений!*

**Министр образования  
Республики Беларусь  
И.В. Карпенко**



**От имени Белорусского государственного технологического университета приветствую всех присутствующих на II Международном научно-техническом и инвестиционном форуме по химическим технологиям и нефтегазопереработке «НЕФТЕХИМИЯ – 2019» и поблагодарить за участие.**

### **НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЗВИТИЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет» (БГТУ) является уникальным динамично развивающимся образовательным и научным центром, обеспечивающим кластерную сквозную систему подготовки кадров для республики, и вносящим весомый вклад в национальную систему формирования интеллектуальной и управленческой элиты, способной создавать и внедрять в реальный сектор экономики инновационные решения и продукты.

БГТУ один из ведущих ВУЗов по подготовке кадров для химической отрасли, готовит специалистов для производственной и социальной сфер экономики по 31 специальности и 61 специализации высшего образования первой ступени, 40 специальностям второй ступени (магистратуры), 34 специальностям среднего специального и профессионально-технического образования, 14 специальностям переподготовки кадров и 35 научным специальностям в аспирантуре и докторантуре.

Свыше 75 000 выпускников университета, среди которых известные ученые, академики, лауреаты государственных премий, министры, руководители крупных производственных объединений и предприятий составляют интеллектуальный потенциал современной Беларуси.

Кроме того, университет имеет высокий международный авторитет, сертифицировал свою систему менеджмента качества (СМК) в национальной и немецкой системе аккредитации DGA.

Ежегодно университетом выполняется более 550 научно-исследовательских тем. Объем финансирования выполненных работ последние несколько лет возрастает в среднем на 13 %, а за счет внебюджетных средств – на 29 %. Увеличение объемов финансирования НИР происходит в первую очередь за счет прямых хозяйственных договоров с предприятиями реального сектора экономики.

Спектр научных исследований ученых университета для предприятий нефтехимического комплекса широк. Это перспективные полимерные, композиционные материалы и наноматериалы, химические волокна, эластомеры, шины, лаки и краски, прогрессивные технологии

основного неорганического и органического синтеза, нефтепереработки, производства удобрений и солей, высокоэффективные машины и оборудование, продукты глубокой химической переработки древесины, химические реагенты и компоненты для различных отраслей промышленности, вопросы природопользования и промышленной экологии, охраны окружающей среды, IT-технологии, автоматизация и управление химико-технологическими процессами, экономика отрасли, вопросы маркетинга и менеджмента.

Развитие химической и нефтехимической отрасли республики невозможно без серьезного научно-технического сопровождения, которое может быть наиболее эффективно организовано с привлечением ведущих профильных технических вузов и институтов Национальной академии наук Беларуси, создания отраслевых институтов и инжиниринговых центров.

Для повышения эффективности научных исследований и качества подготовки инженерных кадров, рационального использования дорогостоящего и уникального оборудования БГТУ включился в процесс создания и развития отраслевых лабораторий. Для их слаженного функционирования и обеспечения научно-технического сопровождения стратегического развития предприятий с целью повышения эффективности деятельности нефтехимического комплекса Республики Беларусь на базе БГТУ в рамках выполнения решения концерна «Белнефтехим» и Министерства образования Республики Беларусь в БГТУ создан Республиканский научно-практический центр нефтехимических технологий и производств.

В настоящий момент имеется опыт успешного научно-технического взаимодействия БГТУ с предприятиями отрасли. Активно развивались отраслевые лаборатории стекла и волокнистых материалов (ОЛСВ), а также шинной промышленности (ОЛШП).

ОЛСВ является совместным проектом БГТУ и ОАО «Полоцкстекловолокно».

Отраслевая лаборатория стекла и волокнистых материалов создавалась для повышения результативности выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ, научного сопровождения инновационных проектов, опытно-промышленной апробации и внедрения в производство результатов научной и научно-технической деятельности на предприятиях концерна Белнефтехим, ОАО «Полоцк-стекловолокно»; совершенствования образовательной деятельности и повышения качества подготовки инженерных кадров по специальности 1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» (специализация 1-48 01 01 06 «Технология стекла и ситаллов») и специалистов высшей научной квалификации по специальности 05.17.11 «Технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов», развития интегрированных систем их подготовки путем внедрения в образовательный процесс разработанных инновационных и наукоемких технологий.

В настоящее время в ОЛСВ выполняются проекты:

– «Влияние борсодержащих компонентов на технологический процесс получения и свойства непрерывного волокна»;

– «Разработка технологии получения стеклокерамических пропантов на основе петрургического сырья Республики Беларусь» (ГПНИ «Химические технологии и материалы», подпрограмма «Новые химические технологии и продукты»);

– «Разработка технологии получения высокопрочных копропозиционных материалов и стекловолоконных армирующих систем для применения в клинической стоматологии» (ГПНИ «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии», подпрограмма «Материаловедение и технологии материалов»).

Объединение потенциала ученых БГТУ и возможностей предприятий концерна «Белнефтехим», ОАО «ПСВ» позволит повысить конкурентоспособность производства, улучшить качество выпускаемой продукции, снизить материальные и энергетические затраты на производстве.

Еще одной отраслевой лабораторией, созданной совместно с предприятиями концерна «Белнефтехим» является отраслевая лаборатория шинной промышленности, которая является совместным проектом БГТУ и ОАО «Белшина».

Целями деятельности ОЛШП являются повышение эффективности и результативности выполняемых на кафедре полимерных композиционных материалов научно-исследовательских работ и разработок, направленных на создание инновационных и наукоемких технологий в области технологии производства шин, и внедрения их на ОАО «Белшина» и качества подготовки инженерных кадров по специальности первой ступени высшего образования 1-48 01 02 «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий» (специализации 1-48 01 02 05 «Технология переработки эластомеров», 1-48 01 02 08 «Конструирование изделий из полимерных материалов и формующих инструментов»), по специальности второй ступени высшего образования 1-48 80 04 «Технология и переработка полимеров и композитов» и специалистов высшей квалификации (кандидатов и докторов технических наук) по специальностям 05.17.06 «Технология и переработка полимеров и композитов», 05.16.09 «Материаловедение (химическая промышленность)», а также для усиления практико-ориентированной направленности и развития интегрированной системы их подготовки путем внедрения в образовательный процесс разработанных инновационных и наукоемких технологий в области производства шин.

В настоящее время в ОЛШП выполняются проекты:

– «Исследование физико-механических показателей резин, кордов и резинокордных композиций с целью инженерного расчета и анализа шин»;

– «Разработка рецептуры эластомерной композиции для протектора ЦМК грузовых шин для рулевых позиций с улучшенной стойкостью к истиранию не менее чем на 10% в условиях эксплуатации».

Реализация указанных проектов в рамках планируемых комплексных исследований позволит заложить основу для создания на предприятиях концерна «Белнефтехим» импортозамещающих производств новых видов продукции технического и медицинского назначения.

Кроме выполняющихся в рамках отраслевых лабораторий научно-исследовательских работ совместно с предприятиями концерна «Белнефтехим» учеными университета в последние годы выполнен ряд важных научно-технических проектов, в частности:

1. Для **ОАО «Завод горного воска»**: На основании выбранных волоконобразующих полимеров установлено влияние технологических параметров процесса электроформования на плотность, морфологию и фильтрующую способность получаемых нановолоконных покрытий. Опытным путем определены наиболее приемлемые технологические параметры электроформования для получения фильтрующих материалов из формовочных растворов на основе полиакрилонитрила, полиамида-6, хитозана и поликапролактона с наилучшими фильтрующими свойствами. Работы в этом направлении позволяют добиться создания новых и востребованных видов продукции.

2. По заказу **ОАО «СветлогорскХимволокно»** разработан технологический процесс получения синтетического гипса и высокопрочного гипсового вяжущего из мела и разбавленной серной кислоты. Проведено комплексное исследование физико-химических свойств синтетического гипса и гипсового вяжущего на его основе, наработаны экспериментальные партии базового продукта – гипсового вяжущего, с использованием в качестве исходных материалов мела и отработанной 52–55% серной кислоты – отхода производства жаростойкого волокна «Арселон». Испытания проводились на ООО «Илмакс» и в БГТУ.

3. Для **ОАО «Крион»** выполнен технологический и конструктивный расчет экспериментальной установки для исследования процесса массообмена в трубчатом пленочном аппарате при очистке кислорода.

4. Для **ОАО «Гомельский химический завод»** выполнена научно-исследовательская работа «Изучение особенностей кристаллизации фтористого алюминия на ОАО «Гомельский химический завод» с обоснование оптимального режима кристаллизации».

В текущем году подписан договор на выполнение НИР для **ОАО Могилевхимволокно** – «Научно-техническое и технико-экономическое обоснование организации в ОАО Могилевхимволокно» производства полиэтилентерефталат – гликоля (PET-G)».

Уверен, что ближайшие годы отраслевые лаборатории и Республиканский научно-практический центр нефтехимических технологий и производств внесет достойный вклад в успешное инновационное развитие химического и нефтехимического комплекса страны, в решение актуальных текущих и стратегических задач отрасли.

**Войтов И.В.**  
**Ректор УО «Белорусский государственный**  
**технологический университет»**

**Гайле А.А. Клементьев В.Н.**

Санкт-Петербургский государственный технологический институт

**Верещагин А.В.**

ООО «ПО «Киришинефтеоргсинтез»

## **ЭКСТРАКЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ СУДОВЫХ ТОПЛИВ И АРОМАТИЧЕСКИХ МАСЕЛ-МЯГЧИТЕЛЕЙ, УДОВЛЕТВОРЯЮЩИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ**

В соответствии с «Правилами предотвращения загрязнений атмосферы с судов», принятыми Международной конвенцией, содержание серы в судовых топливах должно быть снижено до 0,5 % мас. к началу 2020 г., а в зонах особого контроля, к которым относятся Балтийское и Северное моря, побережье США и Канады, с 2015 г. не должно превышать 0,1 % мас. Тем не менее, экологические требования к судовым топливам менее жесткие, чем к дизельным топливам, и их достижение реально с использованием экстракционных методов [1,2].

Вакуумные газойли и мазут, которые служат сырьём для получения судовых топлив, характеризуются повышенным по сравнению с дизельными фракциями содержанием гомологов бензотиофена и дибензотиофена, а также азотсодержащих соединений, трудно поддающихся гидрогенолизу при гидрогенизационных процессах. В то же время эти гетероциклические соединения ароматического характера и полициклоарены наиболее легко экстрагируются селективными растворителями – диметилформамидом (ДМФА), N-метилпирролидоном (N-МП), ацетонитрилом. В таблице 1 приведены результаты одноступенчатой экстракции 18 компонентов, присутствующих в нефтях, из модельных смесей с n-ундеканом при содержании последнего в сырье 90 % мас. с использованием ДМФА при его массовом отношении к сырью 1:1. Близкие результаты получены нами при экстракции тех же соединений N-МП, несколько менее эффективен ацетонитрил [2]. Более эффективны по сравнению с селективными органическими растворителями некоторые ионные жидкости, однако их применение проблематично из-за сложности получения и очистки, а также высокой вязкости [1].

Как следует из результатов таблицы 2, даже при одноступенчатой экстракционной очистке лёгкого вакуумного газойля N-МП достигается выполнение перспективных экологических требований к судовым топливам для открытого моря.

При этом снижается также содержание аренов, в особенности бициклических (в 4.4 раза), практически полностью удаляются полициклоарены,

сгорание которых приводит к выбросу сажи, на порядок снижается содержание азота, повышается цетановый индекс.

**Таблица 1 – Результаты одноступенчатой экстракции в системах н-ундекан (1)-экстрагируемый компонент (2)-ДМФА (3) при 20 °С**

Компонент (2)	Коэф. распределения $K_2$	Коэф. разделения $\beta$	Степень извлечения, % мас.	Выход рафината, % мас.
н-Додецилбензол	0.118	2.73	10.6	95.2
1,4-Диизопропилбензол	0.374	8.11	28.1	93.2
Дурол	1.50	30.2	63.3	88.8
Дифенил	2.51	44.3	75.1	87.2
1 -Метилнафталин	2.95	53.8	78.1	86.6
Нафталин	3.34	78.4	78.4	87.4
Бензотиофен	3.72	62.6	82.1	87.0
Флуорен	4.36	95.6	84.1	87.0
Аценафтен	4.40	105	84.1	87.0
Антрацен	4.82	92.0	85.6	86.6
Фенантрен	5.08	101	86.2	86.8
Флуорантен	5.27	86.1	86.8	87.2
Пирен	5.21	86.2	86.9	89.0
Дибензофуран	8.82	201	91.5	89.0
Дифениламин	9.71	216	92.3	86.8
Дибензотиофен	11.2	252	93.2	86.8
Индол	23.0	591	96.6	86.6
Карбазол	63.8	1729	98.8	86.4

Труднее подвергается экстракционной очистке тяжёлый вакуумный газойль ООО «ПО «Киришинефтеоргсинтез», что объясняется значительным содержанием в перерабатываемой на заводе смеси западносибирских нефтей насыщенных сераорганических соединений, которые экстрагируются хуже, чем бензолы тиофена. Однако при экстракционной очистке того же образца ТВГ экстракционной системой N-МП – рафинат установки бензольного риформинга при массовом соотношении к сырью 3.28 и 0.86:1 соответственно на роторно-дисковом экстракторе эффективностью около 4 теоретических ступеней содержание серы в рафинате снизилось до 0.57 % мас. Смешением рафинатов экстракционной очистки ЛВГ и ТВГ можно получать судовое топливо с содержанием серы 0.5 % мас.

Другая важная экологическая проблема – получение безопасных ароматических масел-мягчителей для шинной промышленности, которые в соответствии с современными требованиями должны содержать не более 3 % мас. полициклоаренов, в том числе менее 1 мг/кг наиболее



канцерогенного бензо(а)пирена и не более 10 мг/кг суммы 8 канцерогенных углеводородов. В таблице 3 представлены результаты четырехступенчатой противоточной экстракции сырья – смеси ТВГ с экстрактом деасфальтизата гудрона (1:1) – диметилсульфоксидом (ДМСО) и экстрагентом на основе N-МП при одинаковых условиях: массовое соотношение к сырью 1:1 и температуре 40 °С.

**Таблица 2 – Результаты одноступенчатой экстракционной очистки лёгкого вакуумного газойля (ЛВГ) и тяжёлого вакуумного газойля (ТВГ) N-метилпирролидоном при массовом отношении к сырью 3:1 и температуре 40 °С**

Наименование показателя	ЛВГ	Рафинат ЛВГ	ТВГ	Рафинат ТВГ
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	888.9	855	913.4	876
Содержание серы, % мас.	1.65	0.43	1.72	1.01
Вязкость кинематическая, мм <sup>2</sup> ·с <sup>-1</sup>	14.89 (40 °С)	12.31 (40 °С)	37.5 (50 °С)	22.9 (50 °С)
Показатель преломления, n <sub>D</sub> <sup>20</sup>	1.4915	1.4735	1.5000	1.4761 (40 °С)
Содержание аренов, % мас.	44.5	21.4	51.5	32.3
Цетановый индекс	47	57.1	37	52.1
Выход рафината, % мас.	100	53.4	100	49.5

**Таблица 3 – Характеристика сырья и рафинатов четырехступенчатой противоточной экстракции диметилсульфоксидом и экстрагентом на основе N-метилпирролидона**

Наименование показателя	Сырьё	Экстрагент	
		ДМСО	На основе N-МП
Содержание экстракта полициклоаренов, % мас.	7.5	4.1	1.5
Содержание суммы 8 канцерогенных углеводородов, мг/кг	37.9	3.6	0.7
в том числе:			
Бензо(а)пирен	3.0	0.2	<0.1
Бензо(е)пирен	14.8	1.2	0.2
Бензо(а)антрацен	2.8	0.2	<0.1
Хризен	8.7	0.7	0.2
Бензо(б)флуорантен	5.5	0.4	0.1
Бензо(j) флуорантен			
Бензо(к) флуорантен	0.7	0.1	<0.1
Дибензо(а,h)антрацен	2.4	0.8	0.2
Выход рафината, % мас	100	88.8	75.6

Для снижения вязкости системы в обоих опытах добавляли лёгкую бензиновую фракцию в массовом соотношении 0.4:1. Как следует из

приведенных данных, предложенный экстрагент значительно эффективнее, чем ДМСО; с его использованием обеспечивается выполнение требования по содержанию в рафинате полициклоаренов по методу IP 346 при значительно меньшей концентрации канцерогенов. Кроме того, недостаток применяющегося в промышленности ДМСО – низкая термическая стабильность (температура начала разложения 140 °С), что осложняет его регенерацию.

#### Литература

1. Гайле, А.А. Облагораживание дизельных и судовых топлив экстракционными и комбинированными методами. Часть 1. Использование ионных жидкостей в качестве экстрагентов (обзор) / А.А. Гайле, А.В. Верещагин, В.Н. Клементьев // Ж. прикладной химии. – 2019. – Т. 92. – №4. – С. 411–435.

2. Гайле, А.А. Облагораживание дизельных и судовых топлив экстракционными и комбинированными методами. Часть 2. Использование органических растворителей в качестве экстрагентов (обзор) / А.А. Гайле, А.В. Верещагин, В.Н. Клементьев // Ж. прикладной химии. – 2019. – Т. 92. – №5. – С. 547–559.

УДК 665.5.003

**Жагфаров Ф.Г., Голубева И.А.**

(РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина)

### **МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ГАЗОПЕРЕРАБОТКЕ**

В настоящее время природный газ является наиболее динамично развивающимся энергоресурсом и занимает все большую долю в мировом энергобалансе. Огромные ресурсы природного газа позволяют также рассматривать его в качестве одного из основных источников химического сырья.

По объему запасов, экономичности добычи и использования, экологичности природный газ является наиболее перспективным источником энергии в XXI веке. Однако локализация месторождений газа часто не совпадает с ведущими рынками его потребления, что вызывает необходимость использования различных видов транспортировки газа. В последнее время стремительно развивается индустрия сжиженных природных газов (СПГ), что позволяет доставлять газ в районы, удаленные от магистральных трубопроводов.

Сокращение традиционных запасов природного газа вынуждает обратить внимание на нетрадиционные источники газа: сланцевый газ, газ угольных пластов и газовые гидраты. Несмотря на все технические, экономические и экологические проблемы ведется промышленная добыча сланцевого газа. Добыча сланцевого газа в США позволила им выйти на первое место в мире по объемам добычи газа, опередив Россию. В ряде стран проводятся активные технологические разработки с целью выделения метана из газовых гидратов в промышленном масштабе.

Запрет на сжигание попутного нефтяного газа высвободил огромные ресурсы газа, как химического сырья. В настоящее время перед отраслью стоит задача выделения и использования всех компонентов столь ценного ресурса: метана, этана, пропана, бутанов, гексанов, конденсата.

Существует острая необходимость в реконструкции действующих и строительстве новых газохимических комплексов, основой которых являются установки пиролиза, развитию на их базе газохимических кластеров и выпуске продукции с высокой добавленной стоимостью.

Одной из важнейших технико-экономических задач является разработка современных экономичных и технологичных процессов конверсии газообразных углеводородов в жидкие топлива и в сырье для химической переработки.

Развитие современной экономики сегодня невозможно без надлежащего уровня развития газохимической промышленности, позволяющей получать на основе природного газа, являющегося одновременно экологически чистым энергоресурсом, широчайший спектр высокоценных химических продуктов.

УДК 620.22 : 678.743.41

**Костюкевич В.В.**

(ОАО «СветлогорскХимволокно»)

**ПРОИЗВОДСТВО СПЕЦВОЛОКОН И НИТЕЙ  
С ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ  
В ОАО «СВЕТЛОГОРСКИХИМВОЛОКНО»**

Акционерное общество «СветлогорскХимволокно» основано в 1964 году и является одним из крупнейших предприятий химической промышленности. Общество обладает всеми необходимыми транспортными и инженерными коммуникациями, развитой внутриводской инфраструктурой. Среднесписочная численность работников – 3 380 человек.

Организация включает в себя два завода: завод полиэфирных текстильных нитей и завод искусственного волокна и дочерние предприятия.

Основная продукция – полиэфирные текстильные нити. Удельный вес полиэфирных текстильных нитей в общем объеме товарной продукции – около 44 процентов. Около 78 процентов полиэфирной текстильной нити реализуется на экспорт.

**Нетканые материалы «СпанБел» и «АкваСпан» на основе полипропилена** применяются в медицине, сельском хозяйстве и строительстве, производстве потребительских товаров и предметов гигиены, при пошиве специальной защитной одежды.

Удельный вес нетканых материалов «СпанБел» и «АкваСпан» в общем объеме товарной продукции составляет около 19 процентов. На экспорт поставляется более 83 процентов продукции. Углеродные волокнистые материалы и композиты на их основе занимают в общем объеме товарной продукции – около 9 процентов. На экспорт реализуется более 96 процентов продукции.

**Арселоновые волокна и нити** в объеме товарной продукции составляет около 7 процентов. На экспорт поставляется около 97,0 процентов продукции. Кроме того, на предприятии производятся мешки полипропиленовые продуктовые и технические, биг-беги, трикотажные полотна, нетканые полотна (объемное полотно, иглопробивное полотно).

В обществе внедрены и сертифицированы система менеджмента качества и управления окружающей средой и охраной труда.

Система менеджмента качества, соответствующая требованиям стандарта СТБ ISO 9001 разработана, внедрена и сертифицирована с 2001 года. В настоящее время СМК распространяется на разработку и производство всей выпускаемой обществом продукции и соответствует требованиям СТБ ISO 9001 версии 2015 года.

Системы управления окружающей средой и охраной труда, внедрены и сертифицированы в 2009 году. В настоящее время подтверждено соответствие данных систем управления стандартам СТБ ISO 14001-2017 и СТБ 18001-2009.

Безопасность полиэфирных текстильных нитей и нетканых материалов СпанБел и АкваСпан подтверждена международными сертификатами Эко-Текс Стандарт 100.

#### **Структура реализации продукции по рынкам сбыта.**

Около 72 процентов продукции общества поставляется на внешний рынок. Основные рынки сбыта – Российская Федерация (41,7%), Украина, Узбекистан, Польша, Германия, Италия, страны Балтии, Словакия, Румыния, Чехия, Тунис и др.

В общей сложности партнерами общества являются компании из более 40 стран, экспорт продукции осуществляется в более 30 стран.

В арсенале производств эксплуатируется оборудование известных мировых фирм, что позволяет выпускать продукцию высокого качества.

Из всего многообразия выпускаемой обществом продукции останавливаемся на трех наиболее значимых направлениях в плане инновационности – это производство углеродных волокнистых материалов, производство термостойких полиоксадиазольных волокон и нитей под торговой маркой Арселон, а также на результатах разработок по приданию полиэфирным текстильным нитям функциональных свойств, так называемых «умных нитях».

**Арселон.** Термостойкие материалы класса полиоксадиазолов под общим названием Арселон на предприятии уже более 30 лет выпускаются в виде волокна, нити, ткани, иглопробивного полотна, измельченного волокна.

Продукты Арселон и изделия на их основе обладают уникальными свойствами и находят широкое применение в различных отраслях промышленности: термостабильность; пониженная горючесть; хемостойкость; гигроскопичность; низкая линейная усадка; низкий коэффициент трения по металлу; хорошие электроизоляционные свойства; способность окрашиваться; низкий ценовой уровень в сравнении с другими термостойкими материалами класса арамидов.

Уникальные свойства волокна и нити Арселон находят воплощение в изделиях на их основе и с успехом эксплуатируются в различных отраслях промышленности: защитные накладки для спецодежды (костюм алюминщика, металлурга, сварщика, лесника); средства индивидуальной защиты рук от высоких температур и брызг металла; рукавные фильтры для горячих газов (250°C и выше, работа в критических условиях); изготовление термостойкой пряжи и ткани на ее основе для защитной одежды пожарных, спасателей, сварщика, металлурга; в качестве армирующей добавки в резинотехнические изделия (шины, шланги), во фрикционные диски, а также в подшипники скольжения и различные уплотнительные элементы.

На ближайшую перспективу в направлении развития производства термостойких материалов предприятие видит перед собой задачи в освоении промышленного выпуска окрашенной в массу продукции, в разработке композиционного материала на основе полиоксадиазольного волокна Арселон для протектора шин, предназначенного для увеличения их сопротивления проколу и порезам, в проведении научно-исследовательской работы по увеличению гидролитической и кислотоустойчивости Арселоновых материалов, а также внедрению совместной

с ИХНМ АН Беларуси разработки и освоение производства светостабилизатора для Арселоновой продукции.

**Углеродные волокнистые материалы.** История выпуска углеродных волокнистых материалов на основе гидратцеллюлозы в ОАО «СветлогорскХимволокно» насчитывает более 35 лет постоянной работы над совершенствованием технологического процесса, разработкой новых ассортиментов для расширения областей применения.

В настоящее время предприятие предлагает широкий ассортимент углеродных волокнистых материалов (более 50 наименований и марок) для различных областей применения и сотрудничает с рядом организаций по созданию новых разработок. Углеродные материалы производства ОАО «СветлогорскХимволокно» – это карбонизованные и графитированные углеродные текстильные материалы в виде тканей, лент саржевого, полотняного, сатинового переплетения, в виде трикотажного полотна, нетканого иглопробивного материала, филаментной нити, волокна в форме жгута или резанного в виде штапелек длиной  $1,0 \div 20,0$  мм.

Выпускаемые на предприятии углеродные материалы из гидратцеллюлозных волокон не обладают теми прочностными характеристиками и высоким модулем упругости, которые характерны для УВМ из ПАН волокон. Поэтому они не рассматриваются как хорошие наполнители для конструкционных углепластиков.

Семь основных свойств вискозного углеродного волокна, которые определяют сферы его применения:

1. Термостойкость и низкая теплопроводность.
2. Стабильность механических свойств в диапазоне от низких до высоких температур.
3. Высокая сорбционная активность.
4. Электропроводность.
5. Биологическая совместимость.
6. Высокое химическое сопротивление.
7. Радиозкранирующие свойства.

**Применение углеволокнистых материалов.** Термические свойства вискозного углеродного волокна, его электрические и сорбционные характеристики позволяют инженерам и конструкторам использовать материал для решения самых сложных практических задач и на основе различных товарных форм создавать изделия и продукты для использования в различных областях промышленности: углерод-углеродные композиты; экранирующий текстиль; высокотемпературная изоляция; электроды для электрохимических процессов; угленасыщенные реактопласты (фенольные, эпоксидные); инфра-красные кварцевые

карбоновые нагреватели; нагревательные провода; нагреватели автомобильных сидений; фильтрация расплавленных металлов; защита от электромагнитных излучений.

**Применение активированных тканей и войлока:** фильтрация жидкостей и газов; ионисторы (суперконденсаторы); очистка питьевой воды и алкогольных напитков; поглотители запахов; очистка гальванических растворов; респираторы, костюмы химзащиты; повязки для ран, энтеросорбенты.

Обладея накопленным за многие годы теоретическим и практическим потенциалом, предприятие имеет возможность создания новых типов и марок активированных материалов с требуемыми характеристиками.

**Активированные углеродные ткани и ленты «Бусофит», «Бусофит-Л»** на основе вискозы, которые применяются в качестве электродов. Высокая сорбционная емкость и низкое электрическое сопротивление (высокая проводимость) – главные свойства наших углеродных лент.

ОАО «СветлогорскХимволокно» более 12 лет является участником рынка суперконденсаторов. Разработаны ленты со специальными свойствами для высокопроизводительных ионисторов как Стартерного типа (С), так и Тягового типа (Т).

Использование тканей и лент «Бусофит» и «Бусофит-Л» как электродов обеспечивает: мощность – больше, зарядку – быстрее, нет необходимости в обслуживании, безопасность эксплуатации, срок службы – дольше, диапазон рабочих температур – шире, крайне низкий уровень саморазрядки.

**Полиэфирные текстильные нити с функциональными свойствами.** В современном мире нас окружают различные технологические новинки: смартфоны, «умная бытовая техника», «умные вещи», «умный домашний текстиль». ОАО «СветлогорскХимволокно» также развивает это направление в части разработки новых полиэфирных текстильных «умных нитей» и трикотажных полотен из них.

Текстильные материалы из нитей нового поколения кроме прекрасных тактильных качеств, могут обладать свойствами быстро впитывать и отводить влагу от поверхности тела, предохранять его от перегревания или переохлаждения, обладать антибактериальными и другими свойствами. Совмещение различных функциональных свойств позволяет получить многофункциональные нити. Функциональные нити, производимые на ОАО «СветлогорскХимволокно», выпускаются под торговым знаком *Sohim Smart Yarns*.

**Микрофиламентные нити SOFT.** Освоен выпуск микрофиламентных нитей в диапазоне линейных плотностей от 5,5 текс до 70 текс

и филаментностью от 72 до 1152 филаментов. В сравнении с натуральными волокнами тонкие и сверхтонкие синтетические нити меньше пиллингуются, легко стираются, не подвержены гниению и гипоаллергенны. Кроме того, повышаются гигиенические и функциональные свойства готовых изделий: увеличивается их воздухопроницаемость, улучшается влагопоглощение.

Нити могут использоваться в производстве флисовых полотен, тканей и трикотажа для повседневной и спортивной одежды, основы искусственных кож, чулочно-носочных и медицинских изделий, обивочных полотен, фильтров, протирочных материалов.

**Нити с функцией управления влагой (быстроотводящие влагу) Quick Dry.** Трикотажные полотна из полиэфирных быстроотводящих влагу нитей обладают в 2,5 раза большим водопоглощением, в сравнении с полотнами из полиэфирных нитей с круглым профилем сечения, а также высокими показателями воздухопроницаемости и капиллярности.

ОАО «СветлогорскХимволокно» производит текстурированные и пневмотекстурированные нити с эффектом управления влагой различных линейных плотностей, как суровых так и окрашенных. Области применения – спортивная и повседневная одежда, нижнее белье, носки, перчатки, полотенца, постельное и столовое белье, одежда для активного отдыха, а также бинты медицинские.

**Функциональные нити с добавкой Cool Black (СВ) –«прохладный черный».** Материал, изготовленный из нитей Cool Black может отражать инфракрасное излучение от тела человека, в зимних условиях материал будет возвращать телу человека радиационную составляющую теплопотерь: лучи с длиной волны в диапазоне от 650 nm до 2500 nm, т.е. имеет место эффект согревания. Нити Cool Black могут нарабатываться как текстурированные (8,4 текс 33,4 текс и выше), так и пневмотекстурированные (линейной плотностью от 20 текс).

**Нити Thermo с полым сечением.** Полые волокна обладают более низкой теплопроводностью, так как их внутренняя полость заполнена воздухом и имеют меньший удельный вес по сравнению со стандартными нитями на 25–30 %, обеспечивают быстрое высыхание материала; высокие прочностные показатели в сравнении с натуральными волокнами. На предприятии освоен выпуск текстурированных нитей 16,7 f96 и пневмотекстурированных нитей 20 текс f96, как суровых, так и окрашенных поверхностным способом. Такие нити широко применяются для изготовления термобелья, одежды для спорта и отдыха, легких быстросохнувших согревающих носков, а также облегченных полотен для автомобильной промышленности.



**Многофункциональные пневмотекстурированные нити (АТУ).** С объединением в одной нити волокон со свойствами эффективного управления влагой и термозащитой специалисты предприятия, создали мягкие, «хлопкоподобные» много-функциональные пневмотекстурированные нити 20 текс f 120. Но наши технологи пошли дальше и смогли ввести в структуру одной из составляющих функциональную добавку Cool Black, позволяющую нити отражать инфракрасные лучи. Данный вид нити обеспечивает двойной согревающий эффект при изготовлении согревающего белья, термоносков и подкладочных тканей.

**Нити с антибактериальными свойствами (АВ).** Антибактериальная добавка вводится нами непосредственно в расплав полимера, что обеспечивает изделию сохранение антибактериального эффекта длительное время. Механизм действия основан на медленном высвобождении ионов серебра, которые препятствуют росту бактерий и микроорганизмов.

С антибактериальной добавкой могут нарабатываться и быстроотводящие влагу нити Quick Dry. Объединение этих двух свойств в готовом изделии позволяет человеку чувствовать себя сухим и свежим даже после самых тяжелых физических нагрузок и минимизируют неприятный запах пота. Нити рекомендуются для медицинских изделий, спортивного и бельевого трикотажа, чулочно-носочных изделий, постельного белья.

УДК 661.56

**Сиротин А.В.**  
ОАО «Гродно Азот»

## **РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТА ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ НОВОГО АГРЕГАТА ПО ПРОИЗВОДСТВУ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ МОЩНОСТЬЮ 1200 ТОНН В СУТКИ В ОАО «ГРОДНО АЗОТ»**

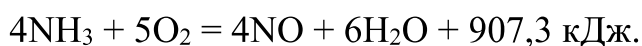
Сфера применения азотной кислоты в настоящее время огромна. Она охватывает многие отрасли промышленности, такие как:

- химическую (изготовление взрывчатых веществ, органических красителей, пластмасс, натрия, калия, пластмасс, некоторых видов кислот, искусственного волокна);
- сельскохозяйственную (производство азотных минеральных удобрений);
- металлургическую (растворение и травление металлов);
- фармакологическую (входит в состав препаратов по удалению кожных образований);

- ювелирное производство (определение чистоты драгоценных металлов и сплавов);
- военную (входит в состав взрывчатых веществ как нитрующий реагент);
- ракетно-космическую (одна из составляющих ракетного топлива);
- медицину (для прижигания бородавок и других кожных образований).

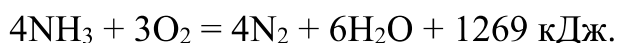
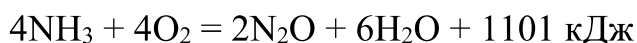
Промышленное производство азотной кислоты в мире в настоящий момент базируется на окислении газообразного аммиака кислородом воздуха на катализаторных сетках из сплава платины с родием и другими платиноидными металлами. В зависимости от примененного давления температура процесса окисления варьируется от 800 °С до 910 °С.

Процесс окисления аммиака происходит по основной реакции:



В зависимости от давления по основной реакции превращается в NO от 91 % до 97 % аммиака.

В процессе окисления аммиака могут проходить побочные реакции:



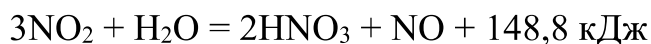
Далее в процессе получения азотной кислоты участвует NO.

Нитрозный газ охлаждается с 800 °С – 910 °С до 200 °С – 300 °С в котле-утилизаторе с выработкой водяного пара с давлением 1,667–3,923 МПа (абс.) и перегревом до 250 °С – 440 °С.

До стадии абсорбции оксидов азота водой с образованием азотной кислоты нитрозный газ охлаждается до 40 – 50 °С в котлах-утилизаторах, холодильниках-конденсаторах и подогревателях выхлопного газа. В ходе охлаждения NO окисляется кислородом, содержащимся в нитрозном газе и добавочном воздухе, до NO<sub>2</sub> по реакции:



Процесс кислотообразования идет в холодильниках-конденсаторах и абсорбционной колонне по реакции взаимодействия с водой:



Выделяющийся оксид азота (NO) окисляется кислородом нитрозного газа до диоксида NO<sub>2</sub> параллельно с образованием HNO<sub>3</sub>, ступенчато, многократно повторяясь.

Выхлопной газ после абсорбционной колонны содержит до 0,05–0,15 об. % NO + NO<sub>2</sub> в зависимости от типа агрегатов и подвергается каталитической очистке от NO + NO<sub>2</sub> до содержания не более 0,005 об. %.

Особенность производства азотной кислоты в промышленном масштабе заключается в том, что оно со времени изобретения способа получения оксидов азота методом окисления аммиака кислородом воздуха на платиновом катализаторе и их поглощения водой более ста лет назад базируется на этом общем единственном способе. Все многочисленные попытки получить оксиды азота прямой фиксацией атмосферного азота в промышленном масштабе завершились неудачей.

В то же время действующие в мире производства азотной кислоты отличаются многообразием технических решений по технологическим схемам, конструкции оборудования, способов достижения глубины переработки оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ) в азотную кислоту и минимизации содержания их в выхлопном газе, выбрасываемом в атмосферу.

Технически прогресс в отрасли производства азотной кислоты зависел не только от научных достижений, но и от технических, экономических возможностей металлургической промышленности, химического и энергетического машиностроения, изготавливающего компрессорное оборудование для сжатия атмосферного воздуха и нитрозного газа.

В способе получения азотной кислоты заложено противоречие между оптимальным давлением на стадии окисления аммиака (при более низком выше степень окисления  $\text{NH}_3$  в  $\text{NO}$  на платиновом катализаторе) и на стадиях окисления  $\text{NO}$  в  $\text{NO}_2$  и их абсорбции водой (чем выше давление, тем на порядки меньше объемы аппаратуры и, соответственно, капиталовложения). Развитие процессов в металлургии в части поставки коррозионностойких в азотной кислоте сталей и сплавов, химического машиностроения в части изготовления сложного крупногабаритного оборудования из этих металлов, энергетического машиностроения в части поставки качественных турбокомпрессоров и газовых турбин, а также малогабаритных котлов-утилизаторов для выработки водяного пара с высокими энергетическими параметрами обусловило постепенную смену производства азотной кислоты под атмосферным давлением с большим количеством крупногабаритных башен до крупнотоннажных производств в одну технологическую линию с одной абсорбционной колонной с мощностью, много большей, чем у предыдущих технологий.

**Описание действующих агрегатов по производству азотной кислоты (агрегат 1/3,5).** Производство химических продуктов в ОАО «Гродно Азот» фактически началось с цеха азотной кислоты и аммиачной селитры.

Производство слабой азотной кислоты, эксплуатировавшееся в ОАО «Гродно Азот» до строительства нового агрегата, было введено в эксплуатацию в декабре 1963 года. Генеральным проектировщиком технологической части и разработчиком технологического процесса является Государственный научно-исследовательский и проектный институт азотной промышленности и продуктов органического синтеза (г. Москва).

Проектная мощность производства слабой азотной кислоты – 234 тысячи тонн моногидрата азотной кислоты в год, достигнутая мощность составляет 245 500 тонн моногидрата азотной кислоты в год.

Производство слабой азотной кислоты осуществляется на пяти технологических линиях. Метод производства основан на двухступенчатой каталитической конверсии аммиака под атмосферным давлением с последующим окислением оксида азота в диоксид кислородом и абсорбцией диоксида азота водой под давлением 0,35 МПа. В качестве катализатора на первой ступени конверсии аммиака используются платиноидные сплавы, на второй ступени – неплатиновый катализатор.

Принципиальная технологическая схема производства приведена на рис. 1.

Выход окиси азота от количества окисляемого аммиака составляет не ниже 97 %.

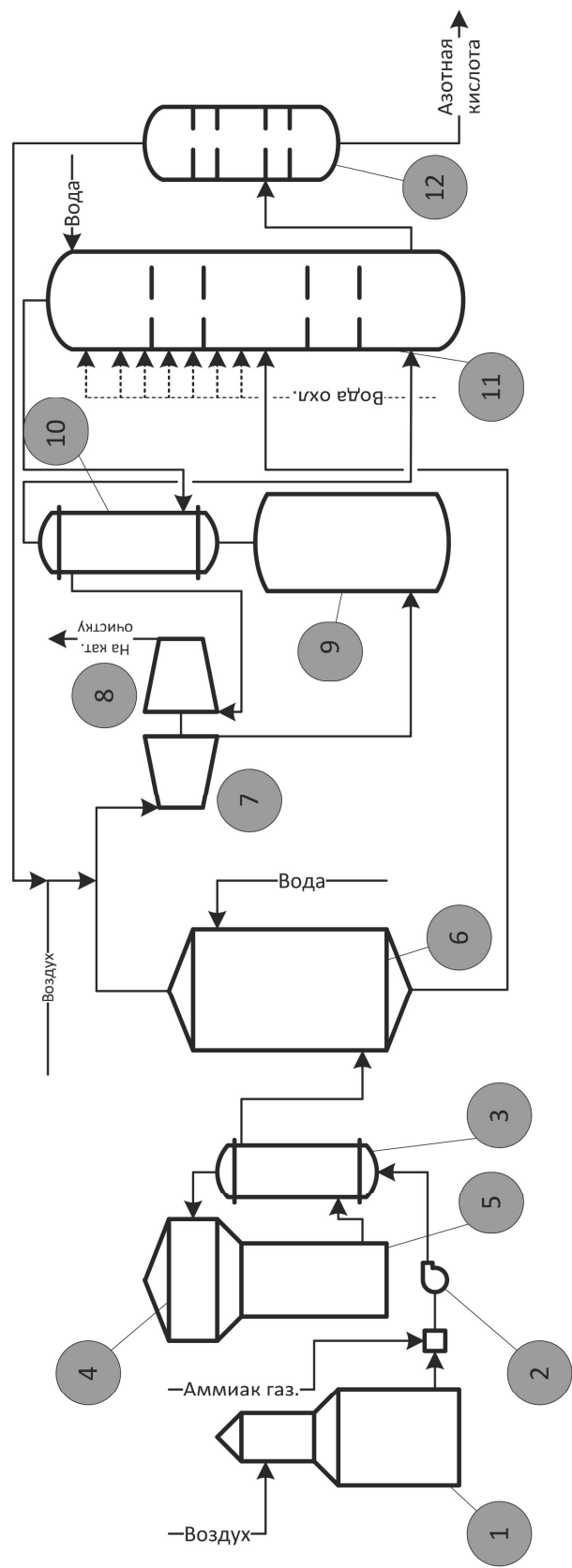
Нитрозный газ охлаждается в котле-утилизаторе с выработкой водяного пара.

Процесс кислотообразования идет в холодильниках-конденсаторах и абсорбционной колонне. Выделяющийся оксид азота NO окисляется кислородом до диоксида NO<sub>2</sub> параллельно с образованием HNO<sub>3</sub>, ступенчато, многократно повторяясь.

На нижней тарелке абсорбционной колонны кислота достигает концентрации не ниже 46 %. Полученная в колонне азотная кислота поступает на отдувку воздухом растворенных в ней окислов азота. Содержание растворенных окислов азота после продувки — не выше 0,15 %. Отбеленная кислота самотеком выдается в хранилища производственной азотной кислоты.

Выхлопной газ после абсорбционной колонны содержит до 0,15 об. % NO + NO<sub>2</sub> и подвергается процессу каталитической очистки от остатка NO + NO<sub>2</sub> до содержания 0,005 об. %. При этом в ходе работы производства достигнуты следующие технологические показатели:

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Значение показателя для агрегата 1/3,5
1	Удельный расход аммиака на производство 1 т азотной кислоты в пересчете на моногидрат	т	0,296
2	Удельное потребление электроэнергии на производство 1 т азотной кислоты в пересчете на моногидрат	тыс. кВт·ч	0,246
3	Выдача пара в сеть предприятия при производстве 1 т азотной кислоты в пересчете на моногидрат	Гкал	0,73
4	Удельные потери платинового катализатора на производство 1 т азотной кислоты в пересчете на моногидрат	г	0,03



1 – аппарат для очистки воздуха; 2 – аммиачно-воздушный вентилятор; 3 – подогреватель аммиачно-воздушной смеси; 4 – контактный аппарат; 5 – котел-утилизатор; 6 – газовый холодильник-промыватель; 7 – компрессор нитрозных газов; 8 – детандер отходящих газов; 9 – окислитель; 10 – подогреватель отходящих газов; 11 – абсорбционная колонна; 12 – отбелочная колонна

Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема агрегата 1/3,5

**Описание нового агрегата по производству азотной кислоты (агрегат 4/11).** Учитывая то, что действующее производство азотной кислоты являлось более энергоемким в сравнении с современными агрегатами, технологическая схема и оборудование не могли обеспечить высокую степень энергосбережения для выполнения задач обеспечения продовольственной безопасности Республики Беларусь и удовлетворения растущих потребностей предприятий сельского хозяйства в азотных удобрениях, снижения выбросов в атмосферу ОАО «Гродно Азот» начало проект по строительству нового технологического агрегата по производству азотной кислоты мощностью 1200 тонн в сутки.

От реализации проекта ожидалось следующие результаты:

- увеличение объемов производства азотной кислоты на 150 тыс. тонн в год;
- замена устаревшего энергоемкого оборудования производств азотной кислоты;
- снижение потребления топливно-энергетических ресурсов и исходного сырья (аммиака) на производство продукции;
- снижение материалоемкости и затрат на техническое обслуживание и ремонты;
- уменьшение выбросов вредных веществ в окружающую среду на единицу продукции в результате применения современных технологий и оборудования;
- увеличение производительности труда;
- улучшение условий труда промышленно-производственного персонала;
- получение дополнительной прибыли;
- повышение конкурентоспособности продукции на отечественном и мировом рынке.

В рамках проведения ОАО «Гродно Азот» открытых подрядных торгов на разработку проектно-сметной документации (архитектурный и строительный проекты) и комплектную поставку оборудования по инвестиционному проекту из трех компаний-претендентов «CNCEC» (Китай), «ThyssenKrupp Uhde GmbH» (Германия) и АО «Хемопроект» (Чехия) победителем торгов признана компания «ThyssenKrupp Uhde GmbH».

В 2014 году компания изменил название на ThyssenKrupp Industrial Solutions AG.

Немецкая компания ThyssenKrupp Industrial Solutions AG имеет хорошую деловую репутацию, производственно-технический потенциал и значительный опыт в проектировании, поставках оборудования и строительстве установок по производству азотной кислоты и минеральных удобрений.

Данная инжиниринговая компания является дочерним подразделением транснациональной корпорации «ThyssenKrupp AG», которая, в свою

очередь, является одним из самых крупных индустриальных концернов в мире, занимающим лидирующие позиции в области производства и продажи материалов и технологий, крупнейшим в мире производителем высоколегированной стали, а также металлообрабатывающих станков.

Компания ThyssenKrupp Industrial Solutions AG, штаб-квартира которой находится в городе Дортмунде, относится к мировым лидерам в строительстве промышленных предприятий, на счету компании более 2000 спроектированных и построенных заводов. Собственные дочерние предприятия фирмы есть в Австралии, Индии, Италии, Испании, Мексике, России, Швейцарии и Южной Африке.

Всего за свою многолетнюю историю компания ThyssenKrupp Industrial Solutions AG спроектировала, построила и пустила в эксплуатацию более 200 установок по производству азотной кислоты различной мощности и концентрации, и более 360 установок по производству минеральных удобрений.

**Технология производства азотной кислоты.** В производстве минеральных удобрений используется слабая азотная кислота с концентрацией в пределах от 50 до 70 %. Рабочий диапазон установок составляет 70 до 110 % от ее номинальной мощности.

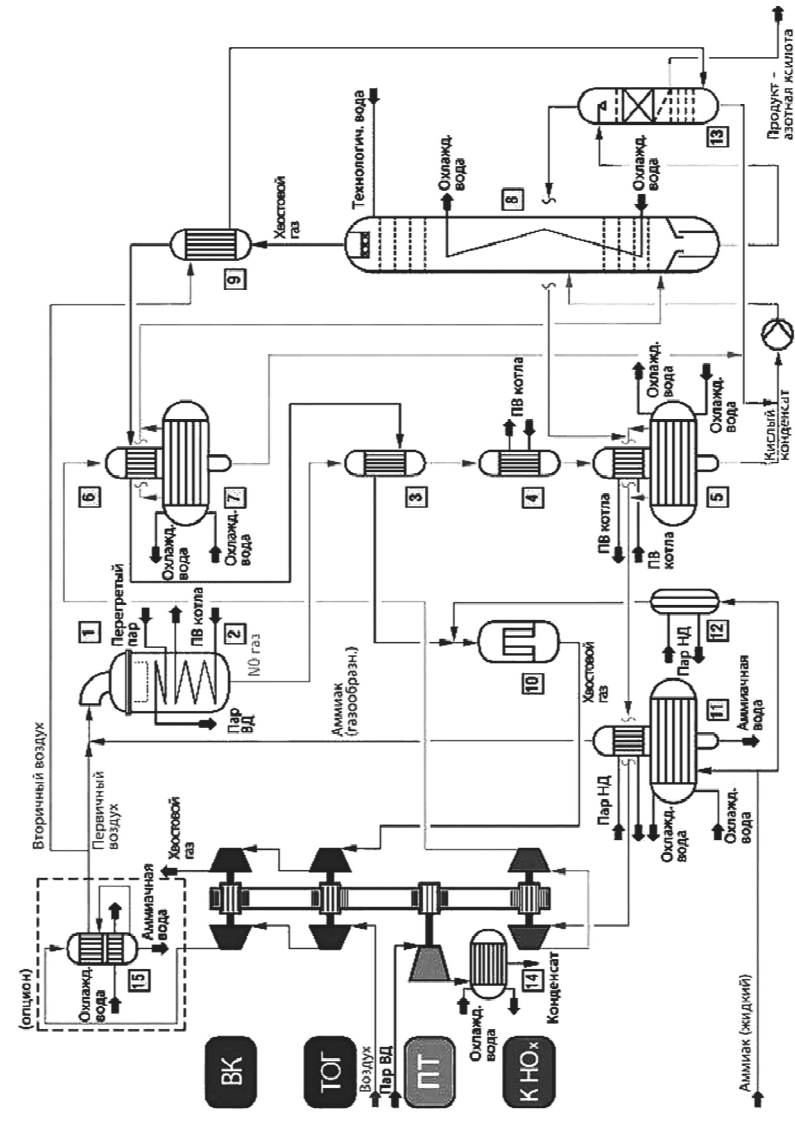
Технологические установки по производству 60 %-ной азотной кислоты проектируются двух типов: в виде установок, работающих под единым давлением и установок, работающих под двумя уровнями давления. Для производств мощностью до 1000 тонн в сутки более предпочтительным является процесс с единым давлением из-за экономических и эксплуатационных условий; для установок с более высокой мощностью (например, 1200 тонн в сутки) – процесс с двойным давлением с целью снижения капитальных затрат.

Технология с двумя ступенями давления была разработана в соответствии с самыми высокими требованиями по защите окружающей среды. Данная технология экономично объединяет преимущества низкого давления на стадии окисления и высокого давления на стадии абсорбции.

В данном процессе технологический воздух сжимается до конечного давления 0,4-0,6 МПа. Газы окисления (нитрозные) охлаждаются в ряде последовательных теплообменников с получением пара и подогревом хвостового газа, который затем сжимается до 1,0–1,2 МПа.

Конечное давление выбирается из расчета обеспечения оптимальной работы стадии абсорбции для того, чтобы достичь требуемого содержания оксидов азота в хвостовом газе и обеспечить компрессор с приводом от паровой турбины достаточным количеством пара из охладителя технологического газа. При этом необходимо всегда иметь небольшой избыток пара для обеспечения стабильных условий работы установки.

**Технологическая схема установки азотропной азотной кислоты**



- 1 Реактор
- 2 Холодильник технологического газа
- 3 Нагреватель хвостового газа 3
- 4 Экономайзер
- 5 Холодильник-конденсатор 1 и подогреватель питательной воды
- 6 Нагреватель хвостового газа 2
- 7 Холодильник-конденсатор 2
- 8 Абсорбционная колонна
- 9 Нагреватель хвостового газа 1
- 10 Реактор хвостового газа
- 11 Испаритель и подогреватель аммиака
- 12 Испаритель аммиака
- 13 Колонна отделения попутных газов
- 14 Конденсатор турбинного пара
- 15 Воздушный конденсатор (опцион)

ТХГ = турбина хвостового газа  
 ПТ = паровая турбина  
 ВК = воздушный компрессор  
 К NOx = компрессор NOx

**Рисунок 2 – Принципиальная технологическая схема установки азотропной азотной кислоты**



Выход по азоту установок такого типа составляет более 96 % с содержанием  $\text{NO}_x$  в неочищенном хвостовом газе 150-200 ppm (об.). При необходимости, можно получить концентрацию  $\text{NO}_x$  не более 50 ppm с помощью селективного каталитического восстановления в присутствии катализатора из неблагородного металла и аммиака в качестве восстановительного агента.

Благодаря низкой тепловой нагрузке контактного аппарата окисления аммиака, платинородиевые сетки катализатора могут использоваться более 6 или 8 месяцев до их частичной или полной замены.

Кроме того, при необходимости, в такой установке могут быть переработаны потоки слабой азотной кислоты (разной концентрации), являющихся жидкими отходами других производств, что актуально для ОАО «Гродно Азот» в связи с наличием определенных объемов азотнокислого конденсата с массовой концентрацией 16–26 % по азотной кислоте, поступающего из цеха ГАС производства капролактама.

Принципиальная технологическая схема приведена на рисунке 2.

Реализованная технологическая схема отличается низким энергопотреблением за утилизации энергии потока хвостовых газов в турбодетандере. Конструктивно воздушный компрессор, компрессор нитрозных газов турбодетандер отходящих газов и приводная паровая турбина оформлены в виде единого агрегата (рис. 3).

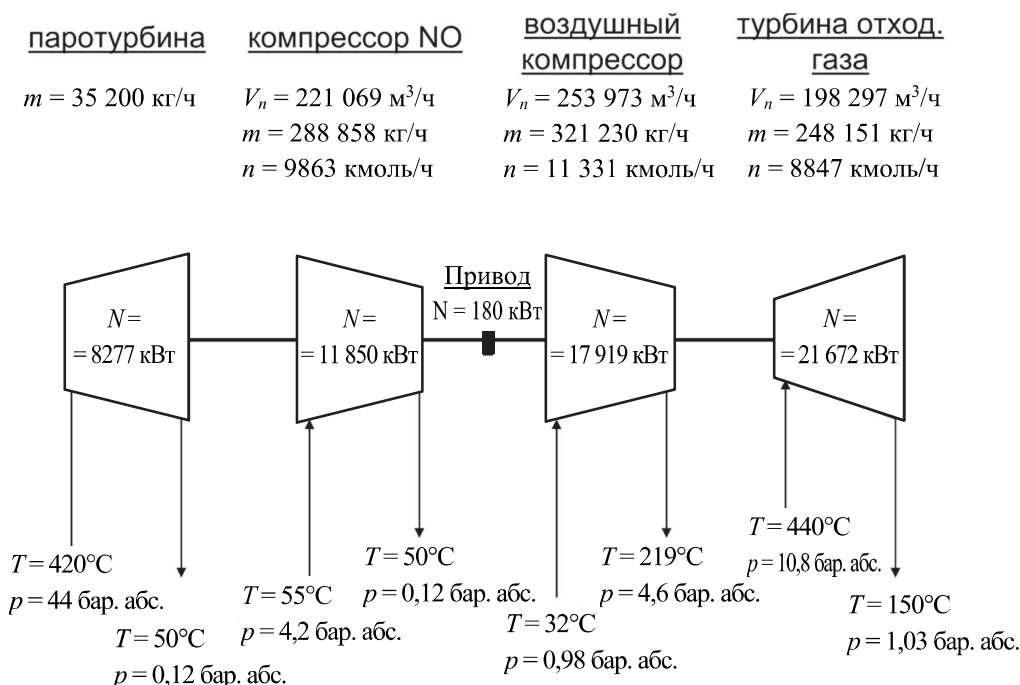


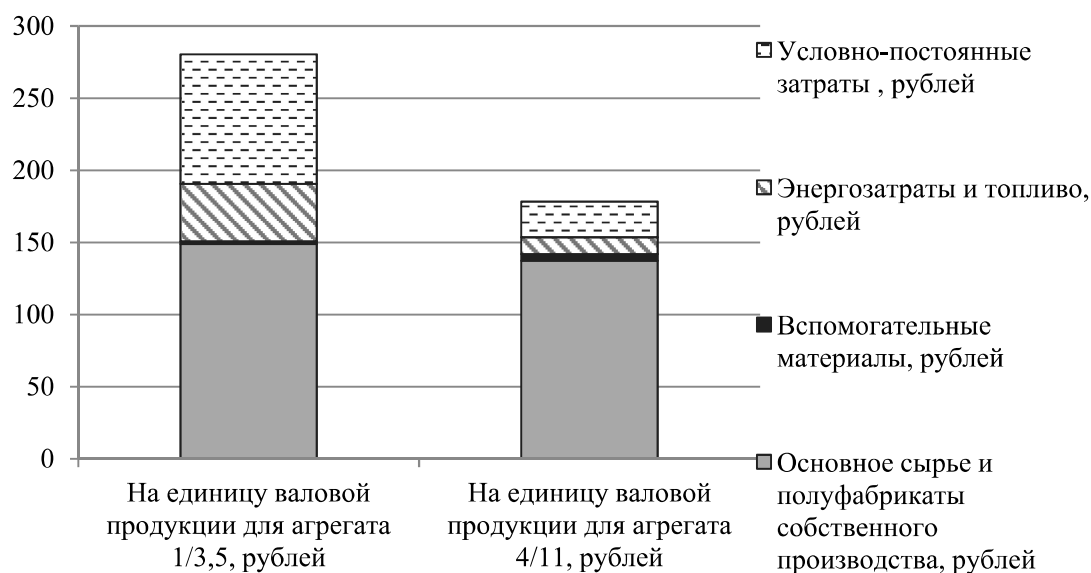
Рисунок 3 – Принципиальная схема компрессорного агрегата

Новый агрегат по производству азотной кислоты введен в эксплуатацию в мае 2019 года.

После вывода производства на проектную мощность достигнуты следующие технологические показатели:

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Значение показателя для агрегата 1/3,5	Значение показателя для агрегата 4/11
1	Удельный расход аммиака на производство 1 т азотной кислоты в пересчете на моногидрат	т	0,296	0,283
2	Удельное потребление электроэнергии на производство 1 т азотной кислоты в пересчете на моногидрат	тыс. кВт·ч	0,246	0,0126
3	Выдача пара в сеть предприятия при производстве 1 т азотной кислоты в пересчете на моногидрат	Гкал	0,73	0,9
4	Удельные потери платинового катализатора на производство 1 т азотной кислоты в пересчете на моногидрат	г	0,03	0,13

Сравнительный анализ структуры производственной себестоимости выработки 1 тонны азотной кислоты в пересчете на моногидрат на старом и новом агрегате приведен на рис. 4.



**Рисунок 4 – Сравнительный анализ структуры производственной себестоимости выработки 1 тонны азотной кислоты в пересчете на моногидрат на старом и новом агрегате**

Таким образом, в результате реализации проекта по строительству нового агрегата по производству азотной кислоты в ОАО «Гродно Азот» были достигнуты все поставленные цели:

- увеличены объемы производства азотной кислоты;
- снижено потребление топливно-энергетических ресурсов и исходного сырья (аммиака) на производство продукции;
- снижены материалоемкость и затраты на техническое обслуживание и ремонты;
- увеличена производительность труда;
- улучшены условия труда промышленно-производственного персонала;
- получена дополнительная прибыль за счет снижения затрат на производство продукции.

УДК 620.9

**Торосян Г.О.**

(Национальный политехнический университет Армении)

## **ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕВОДОРОДОВ ИЗ УГЛЕРОДНЫХ И УГЛЕВОДОРОДНЫХ ОТХОДОВ**

Бурый уголь является дешевым невостребованным энергетическим ресурсом, который практически не используется для выработки электроэнергии. Низкая калорийность бурого угля, от 2000–4000 ккал/кг, делает традиционные методы его использования для получения электроэнергии на электростанциях малоэффективными и экологически “грязными”, их можно считать также углеродным отходом].

Основными загрязнителями окружающей среды являются полимерные отходы, например, автомобильные шины.

В настоящем представлении сообщается о возможности использования углеродных и углеводородных отходов для получения углеводородов.

Несмотря на огромное количество работ по получению жидкого топлива из бурого угля, актуальной остается задача использования эффективных каталитических систем, обеспечивающих высокий выход продукта в сочетании с экологичностью процесса и упрощенной технологией. Аналогичное явление имеет место при осуществлении пиролиза твердых полимерных отходов.

В настоящем сообщении приводятся результаты по осуществлению каталитического пиролиза бурого угля (из Магавузского месторождения) на клиноптилолите (из Ноемберянского месторождения) при температуре 400...600°C при атмосферном давлении. В результате экспериментов получены фракции, выкипающие при температурах 350...420°C. Полученный перегон является сложной смесью углеводородов.

Изучен также процесс пиролиза бурого угля с сельскохозяйственными отходами, а также отходом пиролиза автошин по ранее предложенной нами лабораторной схеме дает успешные результаты.

В результате анализов в полученных жидких смесях были обнаружены следующие компоненты: бензол, толуол, ксилол.

Полученные смеси, после дальнейшей переработки, могут быть использованы в качестве чистого жидкого топлива, а также для получения реактивов ароматических соединений.