

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора химических наук Мордковича Владимира Зальмановича о диссертации Владислава Алексеевича Налетова «Разработка multifunctionальных технологических систем переработки природных энергоносителей на основе их оптимальной организации», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям:
05.17.07 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ и
05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий.

В диссертационной работе В.А. Налетова рассматривается наиболее сложный класс технологических объектов – химико-технологические системы (ХТС) с неоднородной структурой. При этом под организованностью автор понимает характеристику структуры ХТС, при которой ее элементы действуют согласованно благодаря оптимальному распределению или дифференциации функций системы между элементами.

Объектами приложений разрабатываемого аппарата выступают наиболее энергоемкие технологические процессы: коксование, газификация, сжигание природных энергоносителей и ряд других.

Для достижения цели исследования автором были поставлены и решены такие задачи, как глубокая утилизация остаточной теплоты очищенных дымовых газов технологических объектов, использующих ископаемые топлива; разработка multifunctionальных технологических систем, включая системы ко- и полигенерации; глубокое улавливание диоксида углерода из очищенных дымовых газов; использование выделенного диоксида углерода для целей повышения нефтеотдачи месторождений, либо выделение его в качестве товарного продукта; минимизация теплового загрязнения окружающей среды; повышение термодинамического КПД систем.

Актуальность цели и задач работы подтверждается тем, что они находятся в тренде современной технологической политики, обеспечивая энергосбережение, охрану окружающей среды и повышение рентабельности технологий, а также являются индикаторами программ по энергосбережению и охране окружающей среды ведущих энергетических и нефтегазовых компаний России. Кроме того, актуальность представленной диссертационной работы обусловлена тем, что она выполнена в соответствии с Федеральной целевой программой «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2014 годы и на 2014-2020 годы» в рамках НИР по

проектам 2011-1.6-516-023, 2013-1.5-14-515-0043 и 14.583.21.0064, уникальный идентификатор проекта RFMEF158317X0064.

Таким образом, актуальность работы не вызывает сомнений.

Научная новизна диссертационной работы В.А. Налетова несомненна, особенно следует отметить такие достижения работы, как разработку научных основ оптимальной организации многофункциональных ХТС, стратегии и алгоритмов оптимальной организации ХТС с заданным типом и множеством элементов, а также модификации структуры цикла Ренкина для глубокой утилизации теплоты дымовых газов с «гипотетическим регенератором» (в терминологии автора), в которой совмещены в одном аппарате функции регенератора цикла Ренкина и десублиматора холодильного цикла. Следует отметить также квазистационарную математическую модель процесса низкотемпературной десублимации диоксида углерода из очищенных дымовых газов, адекватно описывающая процесс в аппаратах трубчатого типа, позволяющая прогнозировать характеристики процесса.

Практическая значимость диссертационной работы В.А. Налетова заключается в рекомендациях и конкретных технических решений по ряду практически важных вопросов, в том числе по применению новых элементов кирпичной кладки отопительных простенков печей по мультифункциональной отопительной системе для печных камер коксового производства, по системе газификации бурого угля в интеграции с двумя высокотемпературными ступенями конверсии синтез-газа. Также разработано и внедрено программно-алгоритмическое обеспечение оптимальной организации теплоэнергетических систем, а также технические предложения по оптимальной организации линейных компрессорных станций по транспортировке природного газа, созданию опытных образцов газотурбинных агрегатов и модернизации системы рекуператора с нагревательной печью для нефтеперерабатывающих заводов, подтвержденные актами и заключениями о внедрении.

В целом результаты исследований, выводы и рекомендации приняты следующими заинтересованными организациями: ООО УК «Мечел-Майнинг» (ПАО «Мечел»); ООО «НИИГазэкономика» (ПАО «Газпром»); Институтом арктических нефтегазовых технологий Российского университета нефти газа им. И.М. Губкина; ООО «Бушевецкий завод» (г. Бологое); АО «Специальное конструкторское бюро «ТУРБИНА»» (г. Челябинск); ООО «Теплотехнический независимый институт» (г. Москва), Министерство образования и науки РФ (Департамент науки и технологий).

Научная новизна и практическая значимость работы подтверждены документально: получены 2 патента РФ, 2 свидетельства на программы для ЭВМ по расчету цикла Ренкина и процессу низкотемпературной десублимации диоксида углерода из дымовых газов; опубликованы 3 учебных пособия по курсам лекций:

«Основы проектирования технологии топлива и углеродных материалов» (части 1 и 2) и «Научные основы построения экотехнологий», а также представлены акты и заключения о внедрении результатов исследований, в том числе в рамках выполненных государственных контрактов, и протокол испытаний программного продукта по оценке эффективности теплоэнергетических систем.

Достоверность результатов работы подтверждается использованием общих объективных принципов термодинамики, статистической физики и теории информации; экспериментальными исследованиями теплового двигателя на паре и воздухе, а также экспериментальными исследованиями процесса низкотемпературной десублимации диоксида углерода из газовой смеси; использованием адекватной математической модели процесса низкотемпературной десублимации диоксида углерода из очищенных дымовых газов; применением параллельных расчетов с использованием зарегистрированных авторских программ и коммерческого пакета ChemCAD.

Обоснованность результатов, выдвинутых автором, подтверждается корректностью математических выводов, согласованностью экспериментальных данных, научных выводов и результатов расчетов. Основные результаты диссертации опубликованы в 40 печатных работах, включая 20 публикаций в рецензируемых изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации, из которых 14 в журналах, индексируемых в международных системах SCOPUS и Web of Science, 2 патента и 2 свидетельства на программы для ЭВМ, они неоднократно обсуждались на российских и международных конференциях.

Личный вклад автора заключается в обосновании цели и задач работы; разработке методических основ исследования; выводе критериев организованности и оптимальной организации для многоцелевых и многопоточных процессов, а также для систем по мере их усложнения; разработке механизмов организации для ХТС с заданным типом; разработке алгоритмов, моделей и практических рекомендаций для синтеза оптимально организованных ХТС; процесса низкотемпературной десублимации диоксида углерода; отопительной системы коксового производства, пылеугольной газификации бурого угля и конверсии синтез-газа, системы газификации бурого угля в интеграции с конверсией синтез-газа в схеме получения метанола и высших спиртов; использования попутного нефтяного газа месторождений арктического шельфа; разработке проекта технического задания на ОКР на данный процесс; разработке экспериментальной установки и проведении исследований по получению твердого CO₂; технико-

экономическом обосновании практических рекомендаций по процессу получения товарного диоксида углерода из очищенных дымовых газов.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, включая литературный обзор, выводов, глоссария основных терминов и понятий, списка использованных литературных источников и приложений. Работа изложена на 487 страницах, включает 116 рисунков и 95 таблиц. Список использованной отечественной и зарубежной литературы содержит 283 наименования.

Во введении представлены актуальность, цели и задачи исследования.

Первая глава представляет собой обзор научно-технической и патентной литературы по методам оптимальной организации химико-технологических систем и актуальным вопросам переработки природных энергоносителей в части поставленных задач.

Глава завершается выбором направления исследований по оптимальной организации мультифункциональных технологических систем и необходимости в этой связи развития информационного подхода к анализу и синтезу ХТС, позволяющего дифференцировать функции системы между элементами в общей постановке задачи оптимальной организации.

Вторая глава представляет собой разработку научных и методических основ оптимальной организации мультифункциональных ХТС.

Рассмотрен вывод количественной характеристики, учитывающей дифференциацию функций ХТС между элементами и подсистемами на основе информационной модели исходов, совпадающей с энтропией информации Шеннона, выраженной через статистические веса системы или подсистем. При этом статистический вес связан обратной зависимостью с вероятностью согласно распределению Больцмана и имеет смысл фактора затрат на организацию процесса.

Автором получены оригинальные критерии организованности ХТС в процессе их элементного усложнения, которые совпадают с неопределенными множителями Лагранжа и по смыслу определяют «стоимость» единицы информации потоков продуктов. Такая интерпретация критериев взята по аналогии с эксергоэкономическим подходом, в котором критериями также являются множители Лагранжа, которые имели смысл стоимости единицы эксергии потоков продуктов. В диссертации представлены также методы распределения затрат на организацию многопоточных процессов на примере теплообмена. В главе приведена методика оценки характеристик макроуровня или весовых коэффициентов ХТП, оптимальное распределение которых подчиняется нулевому закону термодинамики, а также рассмотрено влияние на организованность ХТС характеристик макро- и микроуровня.

Показано, что характеристики макроуровня играют доминирующую роль в организованности ХТС. На основании влияния макро- и микрохарактеристик на организованность системы предложены стратегии и алгоритмы оптимальной организации ХТС с заданным типом и множеством элементов по принципу «сверху-вниз» и в условиях неопределенности элементной и топологической структур.

В третьей главе рассмотрены примеры разработки мультифункциональных технических решений переработки природных энергоносителей.

В числе примеров представлены результаты по оптимальной организации отопительной системы печи коксования, позволяющие совместить несколько задач: энергосбережение путем применения новых конструктивных решений по искусственной турбулизации потоков в отопительных каналах печей в совокупности с принудительной рециркуляцией и когенерацией, а также охрану окружающей среды путем минимизации выбросов термических оксидов азота. При этом все технические решения были ориентированы на неизменный расход коксового газа на процесс.

В работе представлены рекомендации по оптимальным параметрам процесса газификации бурого угля, конверсии синтез-газа.

Определены элементная и топологическая структуры организованной системы газификации бурого угля в интеграции с конверсией синтез-газа в технологии получения метанола и высших спиртов, отличающиеся наличием двух высокотемпературных ступеней конверсии. Сравнение полученного решения с существующими аналогами показывает повышение ресурсо- и энергосберегающих показателей предлагаемого решения.

Для промышленных площадок нефтяных месторождений арктического шельфа России разработано мультифункциональное техническое решение по получению электроэнергии, теплоты и диоксида углерода в жидком или сверхкритическом состоянии для реализации газовых методов повышения нефтеотдачи, которое по эффективности превосходит зарубежный аналог установки *VENZ 4*.

Представлены решения практических задач по оптимальной организации теплоэнергетических систем, в частности для линейных компрессорных станций по транспортировке природного газа трубопроводным транспортом, газотурбинных агрегатов, систем рекуперации с нагревательными печами нефтеперерабатывающих производств, имеющие коммерческий потенциал использования.

Четвертая глава посвящена решению актуальной практической задачи по разработке способа получения товарного диоксида углерода из очищенных дымовых газов в рамках выполнения госзадания.

Задача представлена в трех аспектах: разработка мультифункционального способа получения товарного диоксида углерода, электроэнергии и холода на основе интеграции цикла Ренкина и холодильного цикла, разработка математической модели процесса низкотемпературной десублимации диоксида углерода из очищенных дымовых газов и экспериментальные исследования. Разработанный способ получения электроэнергии, холода и диоксида углерода (тригенерации) из дымовых газов защищен патентом РФ.

Для подтверждения выводов по оптимизации цикла Ренкина проводились режимные испытания теплового двигателя и было показано, что эффективность двигателя повышается с ростом параметров низкотемпературного рабочего тела (НРТ), а также, что генерация холода выгоднее генерации теплоты.

В работе представлена квазистационарная математическая модель процесса десублимации диоксида углерода из очищенных дымовых газов, адекватно описывающая процесс в аппаратах трубчатого типа.

В пятой главе дан технико-экономический анализ разработанного технического решения получения товарного диоксида углерода из очищенных дымовых газов.

Проведенный сравнительный анализ на основе эксергетических показателей свидетельствует о достижении синергетического эффекта энергоэффективности в установке тригенерации по сравнению с объединением отдельных способов.

В результате сравнения с лучшими зарубежными аналогами ведущих мировых производителей установок по улавливанию диоксида углерода на основе удельного критерия кг $\text{CO}_2/\text{кВт}$ мощности был сделан вывод о том, что разработанное техническое решение превосходит лучшие зарубежные аналоги. Показатели финансового плана проекта позволяют заключить, что он имеет срок окупаемости до 6 лет, что меньше чем у зарубежных проектов по улавливанию и захоронению диоксида углерода и характеризует его инвестиционную привлекательность.

Область исследований, результаты которых систематизированы в диссертационной работе В.А. Налетова, соответствует паспортам специальностей: 05.17.07 – «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ» и 05.17.08 – «Процессы и аппараты химических технологий».

По области исследования специальности 05.17.07:

П.2 «Технологии и схемы процессов переработки нефтяного сырья на компоненты. Конструктивное оформление технологий и основные показатели аппаратуры установок для переработки сырья. Технологии подготовки нефти к переработке. Энергосберегающие технологии. Технологии приготовления товарных нефтепродуктов» (Глава 3, раздел 3.5).

П.8 «Разработка новых процессов переработки органических и минеральных веществ твердых горючих ископаемых с целью получения продуктов топливного и нетопливного назначения» (Гл. 3, разделы 3.2, 3.3, 3.4).

П. 9 «Научные основы промышленного процесса коксования углей. Теория формирования кускового кокса, пластического состояния, спекание углей и угольных шихт. Новые способы подготовки углей к производству кокса и химических продуктов коксования. Производство углеродистых восстановителей и сорбентов. Непрерывные способы коксования. Разработка путей и способов сохранности огнеупорной кладки коксовых печей» (Глава 3, разделы 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3).

П.12 «Экологические аспекты переработки топлив. Разработка технических и технологических средств и способов защиты окружающей среды от вредных выбросов производств по переработке топлив» (Глава 3, раздел 3.6, главы 4, 5).

По области исследования специальности 05.17.08:

«Методы изучения и создания ресурсо- и энергосберегающих процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности, обеспечивающие минимизацию отходов, газовых выбросов и сточных вод» (Глава 2, разделы 2.1–2.6).

«Принципы и методы синтеза ресурсосберегающих химико-технологических систем с оптимальными удельными расходами сырья, топливно-энергетических ресурсов и конструкционных материалов» (Глава 2, раздел 2.7).

«Способы, приемы и методология исследования гидродинамики движения жидкости, газов, перемещения сыпучих материалов, исследование тепловых процессов в технологических аппаратах и технологических схемах, исследования массообменных процессов и аппаратов» (глава 4, раздел 4.2).

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертационной работы. Научные результаты опубликованы в журналах, включенных в перечень изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки для опубликования результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук («Теоретические основы химической технологии», «Химическая технология», «Кокс и химия», «Экология промышленного производства», «Технологии нефти и газа») и обсуждены на ряде международных и всероссийских конференций.

При этом необходимо сделать ряд замечаний к работе:.

1. Невозможно согласиться с утверждением диссертанта, сделанным в разделе 1.1.5, с.37: «...теория информации содержательнее классической термодинамики». Такого рода сравнение недопустимо в силу разного статуса теории информации как раздела прикладной математики и классической термодинамики как раздела фундаментального естествознания, непосредственно раскрывающего наиболее базовые законы сохранения.
2. Технологические и принципиальные схемы, показанные на некоторых рисунках, не сопровождаются расшифровкой внутренней нумерации и условных обозначений ни в поле рисунка, ни в подписи. Приходится разыскивать разъяснения в тексте диссертации, что затрудняет понимание. В особенности страдают этим рисунки №№ 1.16, 3.11, 4.19. При этом некоторые другие рисунки выполнены безупречно, как, например, Рис. 4.25.
3. Показанная на Рис. 4.20б фазовая диаграмма CO_2 перегружена излишними, дезориентирующими, и местами неправильными надписями («снегообразный», «твердый CO_2 + пар» и т.п.). Диаграммы однокомпонентных систем совершенно в этом не нуждаются. При этом трехмерная диаграмма на Рис. 4.20а показана неправильно.

Высказанные замечания не затрагивают сути обсуждаемой диссертации, которая выполнена на высоком теоретическом и экспериментальном уровнях, полностью отвечает критериям, установленным для докторских диссертаций Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. N 842. Диссертационная работа содержит теоретические положения по созданию организованных мультифункциональных технологических систем и их применению для переработки природных энергоносителей с целью создания химических технологий с оптимальными удельными расходными коэффициентами и минимальным воздействием на окружающую среду, - что в совокупности можно квалифицировать как решение научной проблемы, имеющей важное социально-экономическое и хозяйственное значение. Выводы и рекомендации вносят несомненный вклад в развитие инструментов принятия эффективных технологических решений для практических задач переработки

природных энергоносителей. Автор диссертации Налетов Владислав Алексеевич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальностям: 05.17.07 – «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ» и 05.17.08 – «Процессы и аппараты химических технологий»..

Заведующий отделом
новых химических технологий и наноматериалов
Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Технологический институт сверхтвердых и новых
углеродных материалов», д.х.н.



Владимир Зальманович Мордкович

19-сч. 2018

142190, г. Москва, г. Троицк, ул. Центральная, д. 7А
Тел. +7 499 272 2314 доб. 371
Электронная почта mordkovich@tisnum.ru

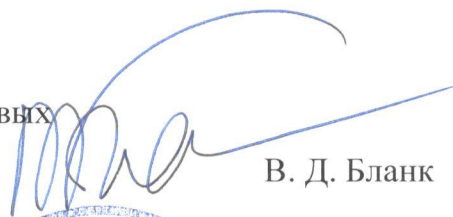
Отзыв д.х.н. В. З.Мордковича заверяю:

Директор

Федерального государственного учреждения

«Технологический институт сверхтвердых и новых

углеродных материалов», д.ф.-м.н., проф.



В. Д. Бланк

