

УДК 66.02(06)

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МАТЕРИАЛОВ МЕЖДУНАРОДНОГО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СИМПОЗИУМА “ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОРЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ ХИМИЧЕСКОЙ И СМЕЖНЫХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ”, ПОСВЯЩЕННОГО 110-ЛЕТИЮ А.Н. ПЛАНОВСКОГО

© 2022 г. М. К. Кошелева^а *, В. С. Белгородский^а, Н. Н. Кулов^б

^аРоссийский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Москва, Россия

^бИнститут общей и неорганической химии имени Н.С. Курнакова РАН, Москва, Россия

*e-mail: oxtpaxt@yandex.ru

Поступила в редакцию 25.01.2022 г.

После доработки 26.01.2022 г.

Принята к публикации 15.02.2022 г.

Анализируемые в статье материалы представлены в докладах ведущих ученых в области процессов и аппаратов химической технологии и опубликованы в трудах Международного научно-технического симпозиума “Повышение энергоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности”, посвященного 110-летию А.Н. Плановского, состоявшегося в РГУ имени А.Н. Косыгина. Рассматриваются вопросы развития процессов и аппаратов химической технологии как науки и учебной дисциплины, основные направления теории инжиниринга энергоэффективных химико-технологических систем в условиях цифровой экономики, возможности повышения эффективности массообменных процессов за счет применения современных методов математического моделирования и кинетического расчета аппаратов, интенсификации и энергоэкономии, вопросы развития систем вычислительной гидродинамики применительно к пространственным расчетам процессов и аппаратов, инновационные методы получения волокнистых и наноматериалов, фундаментальные основы методов интенсификации основных процессов различных промышленных технологий, научные основы создания энергоэффективных химико-технологических и других процессов, вопросы экологической безопасности технологических процессов и оборудования, эффективные системы повышения техноферной безопасности.

Ключевые слова: процессы, аппараты, химическая технология, теория инжиниринга, энергоэффективность, техноферная безопасность, цифровизация, моделирование, кинетические расчеты, интенсификация

DOI: 10.31857/S0040357122030083

ВВЕДЕНИЕ

Международный научно-технический симпозиум (МНТС) “Повышение энергоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности” организован Российским государственным университетом имени А.Н. Косыгина, Российским Союзом научных и инженерных общественных объединений, Российской инженерной академией, РАН, РХО имени Д.И. Менделеева, Всекитайской Ассоциацией по науке и технике совместно с ведущими университетами, общественными и научными организациями и проведен 21 октября 2021 года в рамках Третьего

Международного Косыгинского Форума в Российском государственном университете имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство). МНТС проходил в год 155-летнего юбилея создания Русского Технического Общества в соответствии с решением о проведении Годов российско-китайского научно-технического и инновационного сотрудничества в 2020–2021 годах, принятом лидерами России и Китая.

Первые международные Косыгинские чтения по тематике, связанной с современными задачами инженерных наук, успешно прошли в РГУ имени А.Н. Косыгина в 2017 г. при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных

исследований (проект № 17-08-20544) [1]. МНТС “Вторые международные Косыгинские чтения “Энергоресурсоэффективные экологически безопасные технологии и оборудование”, приуроченные к 100-летию РГУ имени А.Н. Косыгина”, прошли в рамках второго Международного Косыгинского Форума. Симпозиум проходил под эгидой ЮНЕСКО и Всемирной федерации инженерных организаций (WFEO) при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-08-20053/19). Направления работы Симпозиумов и анализ представленных на них материалов приведены в [1–3].

МНТС “Повышение энергоресурсоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности” посвящен 110-летию со дня рождения выдающегося ученого в области процессов и аппаратов химической технологии профессора А.Н. Плановского, внесшего огромный вклад в развитие процессов и аппаратов химической технологии как науки и учебной дисциплины. Советская и Российская школы процессов и аппаратов химической технологии, созданные такими известными учеными как А.Г. Касаткин, А.Н. Плановский, П.Г. Романков, Н.И. Гельперин, В.В. Кафаров и другие, были представлена на Симпозиуме.

В состав научного оргкомитета Симпозиума, президентом которого является член Президиума РАН, академик РАН Ю.В. Гуляев, а председателем— Вице-президент РХО имени Д.И. Менделеева, профессор Н.Н. Кулов, наряду с известными Российскими учеными, вошли академики Китайской академии наук. Около 500 участников МНТС из России, КНР и других стран заявили более 300 докладов, представили более 170 статей. Участники из России представляют 22 региона и 32 города, почти 100 научных, производственных и образовательных центров.

Одной из актуальных целей Симпозиума является активизация международного сотрудничества в области повышения энергоресурсоэффективности и безопасности для окружающей среды и для людей промышленных производств, в области экологически чистой энергетики, развитие современных высокоэффективных технологий, способствующих обеспечению экологических ориентиров, приоритетных для всех стран, повышение инженерного образовательного уровня в области процессов и аппаратов химической и других технологий и др.

ОБЗОР МАТЕРИАЛОВ СИМПОЗИУМА

Генеральный секретарь Европейской федерации национальных инженерных ассоциаций (FEANI), Вице-Президент Европейской сети ак-

кредитации инженерного образования (ENAEЕ) профессор Dirk Vochar (Брюссель, Бельгия) принял участие в обсуждении вопросов подготовки инженерных кадров в ведущих технических университетах. Он отметил, что в рамках ООН была выработана концепция устойчивого развития, нацеленная на комплексное рассмотрение экологических, экономических и социальных проблем развития во взаимодействии общества с окружающей средой. Цели устойчивого развития ООН носят общечеловеческий характер и предназначены для всех стран, особенно они важны для стран с технологическим отставанием по многим направлениям [4].

В докладе [5] рассматриваются вопросы развития инженерной химии в России и роль в этом школы А.Н. Плановского, тенденции развития химической технологии и проблемы химико-технологического образования. Особое внимание в докладе уделено яркой и многогранной личности профессора А.Н. Плановского. Автор отмечает, что именно А.Н. Плановскому принадлежит широкая постановка проблемы перехода от периодических к непрерывным процессам и инженерное решение основных вопросов этой проблемы. А.Н. Плановский блестяще осуществил теоретический анализ структуры потоков в аппарате оригинальный по подходу и глубокий по содержанию, разработав модели полного вытеснения и полного перемешивания. Работы А.Н. Плановского по теории непрерывных процессов вызвали огромный резонанс, началось детальное изучение гидродинамической структуры потоков в аппаратах, разрабатывались новые математические модели, результаты этих работ использовали при проектировании аппаратуры химической, нефтехимической, пищевой отраслей промышленности. В годы руководства А.Н. Плановского кафедрой процессов и аппаратов химической технологии в Московском институте химического машиностроения курс ПАХТ приобретает характер общетехнической дисциплины. Методология преподавания этой дисциплины отражена в его учебниках, переведенных на английский и китайский языки.

В [6] рассмотрены основные направления теории инжиниринга энергоресурсоэффективных химико-технологических систем в условиях цифровой экономики. Изложены способы интенсификации химико-технологических процессов и химико-технологических систем; методы цифровизованного физико-химического инжиниринга и компьютерного моделирования текстуры нанокompозитов. Описаны способы энергоресурсосбережения в химико-технологических системах, изложены основные концепции логистики ресурсоэнергосбережения. Предложены основные актуальные приоритетные направления научных исследований по инжинирингу энергоресурсоэффективных экологически безопасных

химико-технологических систем. В условиях цифровой экономики для обеспечения успешной реализации целей устойчивого развития и повышения энергоэффективности производств, предприятий и цепей поставок нефтегазохимического комплекса необходимо широко использовать современные методы теории инжиниринга энергоэффективности химико-технологических систем, включающие методы цифровизированного физико-химического инжиниринга и компьютерного моделирования текстуры эффективных композитов; методы интенсификации химико-технологических процессов и химико-технологических систем; методы обеспечения энергоэффективности; методы цифровизации химико-технологических систем и цепей поставок; методы эколого-экономической оптимизации химико-технологических систем и цепей поставок; методы логистического управления обращением с отходами; методы автоматизированного синтеза оптимальных энергоэффективных химико-технологических систем; методы логистики ресурсоэнергосбережения. Подчеркивается, что проектирование и логистическое управление эксплуатации энергоэффективных экологически безопасных производств и цепей поставок нефтегазохимического комплекса могут осуществлять только высококвалифицированные кадры инженеров химиков-технологов, которые в результате обучения должны приобретать широкие компетентности на основе владения знаниями, навыками и умениями активное применение современных инструментов цифровизированного инжиниринга энергоэффективных химико-технологических систем.

В докладе [7] предложено новое видение структурирования химических элементов в виде объемной матрицы. Это позволяет прогнозировать новые элементы с обозначением ядерных масс и электронным строением оболочек. Сформулированы новые закономерности по цикличности (блочности) строения горизонтальных рядов, уточнено строение вертикальных групп и их физическое осмысление.

Недостатки традиционных макромасштабных методов растворного синтеза наноразмерных частиц рассмотрены в [8]. Обозначены пространственные и временные масштабы процесса гетерогенной нуклеации. Продемонстрированы преимущества милли- и микромасштабных подходов к поточному синтезу наноразмерных частиц, как в однофазных, так и в двухфазных потоках. Приведены примеры микрореакторного синтеза оксидных и фторидных наноразмерных материалов. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 20-63-47016.

Целью работы [9] является демонстрация того, как математический аппарат теории цепей Маркова может эффективно использоваться для моделирования широкого спектра процессов в химической инженерии. Показано, что теория цепей Маркова является эффективным инструментом моделирования химико-технологических процессов. Она предлагает универсальный алгоритм моделирования разнообразных процессов, понятный и доступный инженеру-проектировщику, позволяет легко подключать модели составляющих основного процесса и эффективно проводить численные эксперименты и оптимизацию, используя стандартные программы для операций с матрицами. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Ивановской области в рамках научного проекта № 20-48-370001.

В [10] на конкретных примерах рассмотрены возможности повышения на современном этапе эффективности (в широком смысле слова) таких массообменных процессов как сушка, адсорбция, экстрагирование за счет применения современных методов математического моделирования и кинетического расчета аппаратов, интенсификации, энерго- и ресурсосбережения, сохранения или даже улучшения качественных показателей обрабатываемых материалов, решения экологических задач.

Результаты изучения аминэфиров борной и ортофосфорной кислот (АЭБК и АЭФК) как потенциальных экстрагентов для разделения азетропных водно-спиртовых смесей экстрактивной ректификацией представлены в [11]. Исследованы условия паро-жидкостного равновесия в водных растворах этанол-вода, изопропанол-вода в присутствии АЭБК и АЭФК. В рамках модели UNIFAC предложено разбиение молекул АЭБК на групповые составляющие и определены неизвестные ранее геометрические и энергетические параметры. На основе АЭБК и АЭФК получены и исследованы полиуретановые иономеры в качестве материала для селективного слоя пермеационных мембран для разделения смеси этанол-вода, изопропанол-вода. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, грант № 075-00315-20-01 “Энергосберегающие процессы разделения жидких смесей для регенерации промышленных растворителей”.

В работе [12] рассматриваются математические аспекты явлений переноса теплоты и массы вещества в системе “газ (жидкость)–твердое” в пограничном слое, примыкающем к твердой плоской поверхности. Показаны особенности основных моделей пограничного слоя в движущейся сплошной среде. Сформулированы краевые задачи теплопроводности и диффузии в пограничном слое, приведены выражения для плотностей потоков

теплоты и массы вещества в пределах и на границах ламинарного и турбулентного пограничных слоев.

Результаты исследования развития систем вычислительной гидродинамики (CFD) применительно к пространственным расчетам процессов и аппаратов представлены в [13]. Установлена причина недостаточных прогнозирующих возможностей CFD пакетов. Показаны возможности выявления принципиально новых явлений процессов, имеющих значение при проектировании аппаратов. Намечены направления, необходимые для развития пространственного компьютерного проектирования процессов и аппаратов.

В докладе [14] рассмотрены физико-химические процессы, составляющие основе традиционных методов формирования волокон из растворов биополимеров, и возможности управления структурой и свойствами химических волокон, полученных по сухому способу формирования или коагуляции в осадительной ванне. Проанализированы перспективы технологии электроформования для создания инновационных материалов биомедицинского назначения. Показано, что передовые волоконные технологии вступают в новую фазу развития. Достижения в понимании взаимосвязи структура – свойства материалов и связанных с ними технологий переработки сделали возможным создание новых “умных” материалов на основе природных полиэлектролитов (белков, полисахаридов) для удовлетворения конкретных инженерных и человеческих потребностей лучше, чем природные материалы. Подобно тому, как искусственные волокна произвели революцию в том, что люди носят, системы волокнистых материалов с использованием аддитивных технологий и биомиметики произведут революцию в том, как люди проектируют и создают системы, которые смогут заменить определенные ткани и даже функции живого организма.

Новый подход к разработке способов энергосбережения при ректификации рассмотрен в [15]. Теоретически обоснован новый подход к разработке способов энергосбережения при ректификации бинарных и многокомпонентных смесей, доказана необходимость учета отношения потоков жидкости и пара и места расположения тарелки питания, приведена количественная оценка внутреннего энергосбережения при ректификации; сформулировано правило поиска оптимальных схем разделения многокомпонентных смесей.

Значительная часть работ, представленных на МНТС, посвящена экспериментальным и теоретическим исследованиям процессов тепло- и массопереноса в химико-технологических системах, направленным на создание новых и совершенствование имеющихся технологий сушки и экстрагирования для волокнообразующих поли-

меров, волокон, плоских волокнистых материалов и др.

Анализ тематики докладов показывает, что в настоящее время вектор разработки новых интенсивных и безопасных технологий сушки и экстрагирования во многом направлен на комплексное использование физических полей. Представлены современные разработки по интенсификации тепломассообменных процессов химической технологии волокнистых, пищевых и других материалов физическими полями (ультразвуковым, магнитным, электрическим и др.). Уделено внимание обоснованному выбору методов интенсификации тепломассообменных процессов с твердой фазой осциллирующими физическими полями, научным основам создания энергоресурсоэффективных безопасных процессов химической технологии.

Рассмотрены математические методы кинетического расчета тепломассообменных процессов с твердой фазой, результаты численного моделирования энергоресурсоэффективных процессов на основе полученных моделей. Большой интерес представляют работы, в которых показано то, как математические модели могут давать реальный выход на новые конструкции аппаратов.

Одним из современных методологических подходов к моделированию процессов сушки волокнистых материалов и других систем является изучение процессов тепло- и массообмена в многофазных системах. Однако, несмотря на несомненное преимущество математических моделей, созданных на основе механики гетерогенных систем, которые могут отражать сложный характер взаимодействия фаз, учитывать современные знания смежных наук, у них пока нет столь же широкого применения и популярности, как у гомогенных моделей. Это связано, вероятно, как со сложностью их создания с учетом междисциплинарных связей, так и со сложностью их анализа, который в большинстве случаев может быть проведен только с использованием численных методов. Исследования авторов, связанные с моделированием процесса сушки волокнистых и других материалов, позволяют сделать вывод о возможности проведения, в рамках данного фундаментального подхода, более глубокого анализа тех механизмов переноса, которые определяют энергоэффективность химических технологий, включающих в себя операции сушки и термовлажностной обработки. Новые экспериментальные исследования эффективности контактной ультразвуковой сушки капиллярно-пористых материалов (волокнистые материалы и др.) с одновременным нагревом, показали принципиальную возможность существенного ускорения процесса сушки по сравнению с нагревом без ультразвука.

На заседаниях секции МНТС “Современные экологически чистые инновационные технологии получения новых функциональных полимерных и наноматериалов” были представлены доклады в области инновационных технологий переработки полимеров: электроформования волокнистых материалов, твердофазных процессов, мембранных технологий, разработки новых гетерофункциональных комплексов, хемосорбционных, антиадгезионных, негорючих и антимикробных материалов. Разрабатываемые технологии направлены на решение задач устойчивого развития общества: инновационных медицинских технологий, защиты и реабилитации окружающей среды, создание биodeградируемых медицинских и упаковочных материалов, полимерных композиционных материалов. Участники подтвердили необходимость создания материалов нового поколения для сложных технологических систем, используя основополагающие принципы: неразрывность материалов и технологий, использование “зеленых” технологий при разработке инновационных материалов и комплексных систем защиты.

Проведение Симпозиума будет способствовать развитию процессов и аппаратов химической технологии как науки и учебной дисциплины, разработке теории инжиниринга энергоресурсоэффективных химико-технологических систем в условиях цифровой экономики, развитию современных направлений повышения эффективности массообменных процессов за счет применения современных методов математического моделирования и кинетического расчета аппаратов, интенсификации и энергоресурсосбережения, развитию систем вычислительной гидродинамики применительно к пространственным расчетам процессов и аппаратов, развитию инновационных методов получения волокнистых и наноматериалов, развитию фундаментальных основ методов интенсификации основных процессов различных промышленных технологий, научных основ создания энергоресурсоэффективных химико-технологических и других процессов, решению вопросов экологической безопасности технологических процессов и оборудования в различных производствах, созданию эффективных систем повышения техносферной безопасности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Симпозиум рекомендовал Президиуму Комитета РосСНИО по проблемам энергоресурсоэффективных химических технологий и РХО имени Д.И. Менделеева:

Проводить работу по организации временных творческих научных коллективов, в состав которых должны входить теоретики и экспериментаторы, работающие в различных учебных и науч-

ных центрах РФ, заинтересованные в решении современной актуальной научной проблемы в области исследования процессов и аппаратов химических технологий и готовые работать на общественных началах.

Провести работу по организации межведомственного научного семинара по актуальным вопросам изучения и разработки энергоресурсоэффективных аппаратов с непрерывными процессами.

Инициировать включение в учебные планы аспирантуры и магистратуры по химической технологии и экологии дисциплин, обеспечивающих изучение и практическое использование современных платформ численного моделирования мультифизических процессов, востребованных при проектировании новых энергоресурсоэффективных и экологически безопасных технологий химической и смежных отраслей промышленности.

Проводить работу, направленную на увеличение количества часов на контактную работу по курсу процессов и аппаратов химической технологии, в том числе в рамках лабораторного практикума, на возврат к существовавшей многие годы производственной практике по процессам и аппаратам химической технологии.

Участники Симпозиума высоко оценили создание Косыгинского консорциума для достижения целевых задач Программы стратегического академического лидерства (программа “Приоритет-2030”), направленной на поддержку программ развития образовательных организаций высшего образования, и выразили признательность РосСНИО, РХО имени Д.И. Менделеева, РИА за большую научно-организационную работу и важную роль в развитии техники и технологий, инженерного образования.

Подробная информация о МНТС и о Косыгинском Форуме размещена на сайтах <http://www.eeste.org>, <http://chem-com.ru>, <http://www.kosygin-rgu.ru>, <http://www.rusea.info>. Научные труды МНТС размещены на сайте <http://www.eeste.org>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Review of papers presented at the “Second international Kosygin readings: energy- and resource-efficient environmentally safe technologies and equipment”, an international scientific and technical symposium celebrating the 100th anniversary of the Kosygin state university of Russia. *Gulyaev Y.V., Belgorodskii V.S., Koshcheleva M.K.* // Theor. Found. of Chem. Eng. 2020. V. 54. № 3. P. 522-527.
2. Формирование научных направлений и отражение научных достижений в области повышения эффективности тепломассообменных процессов, экологической и производственной безопасности текстильных производств в разделе “Экологическая и производственная безопасность. Промтеплоэнергетика” *Сажин Б.С., Федосов С.В., Кошелева М.К.* // Изв. ву-

- зов. Технология текстильной промышленности. 2018. № 4(376). С. 116–122.
3. *Gulyaev Y.V., Belgorodskii V.S., Kosheleva M.K.* State-of-the-art review of papers presented at the symposium “Modern energy- and resource-saving technologies merst-2017” Held within the international scientific and technical forum “First international Kosygin readings “Current topics in engineering sciences”” // Theor. Found. of Chem. Eng. 2018. V. 52. № 3. P. 412.
 4. *Dirk G. Bochar.* Actual tasks of engineering // Материалы пленарной сессии МНТС “Повышение энергоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности”, посвященного 110-летию А.Н. Плановского / М.: ФГБОУ ВО “РГУ им. А. Н. Косыгина”, 2021. С. 19.
 5. *Кулов Н.Н.* Вклад школы А.Н. Плановского в становление и развитие процессов и аппаратов химической технологии как науки и учебной дисциплины // Материалы пленарной сессии МНТС “Повышение энергоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности”, посвященного 110-летию А.Н. Плановского / М.: ФГБОУ ВО “РГУ им. А.Н. Косыгина”, 2021. С. 43.
 6. *Мешалкин В.П.* Основные направления теории инжиниринга энергоэффективных химико-технологических систем в условиях цифровой экономики // Материалы пленарной сессии МНТС “Повышение энергоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности”, посвященного 110-летию А.Н. Плановского / М.: ФГБОУ ВО “РГУ им. А. Н. Косыгина”, 2021. С. 34.
 7. *Гусев Б.В.* Новая модель структурирования химических элементов // Материалы пленарной сессии МНТС “Повышение энергоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности”, посвященного 110-летию А.Н. Плановского / М.: ФГБОУ ВО “РГУ им. А. Н. Косыгина”, 2021. С. 22.
 8. *Абиев Р.Ш.* Мини- и микромасштабные реакторы: современное состояние и перспективы применения для синтеза наноразмерных частиц // Материалы пленарной сессии МНТС “Повышение энергоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности”, посвященного 110-летию А.Н. Плановского / М.: ФГБОУ ВО “РГУ им. А. Н. Косыгина”, 2021. С. 70.
 9. *Мизонов В.Е., Berthiaux H.* Применение теории цепей Маркова в химической инженерии // Материалы пленарной сессии МНТС “Повышение энергоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности”, посвященного 110-летию А.Н. Плановского / М.: ФГБОУ ВО “РГУ им. А. Н. Косыгина”, 2021. С. 65.
 10. *Рудобашта С.П.* Эффективность массообменных процессов в системах с твердой фазой (сушка, адсорбция, экстрагирование) // Материалы пленарной сессии МНТС “Повышение энергоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности”, посвященного 110-летию А.Н. Плановского / М.: ФГБОУ ВО “РГУ им. А.Н. Косыгина”, 2021. С. 80.
 11. *Клинов А.В.* Борорганические и фосфорорганические полиолы в процессах разделения жидких смесей (экстрактивная ректификация, первопарация) // Материалы пленарной сессии МНТС “Повышение энергоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности”, посвященного 110-летию А.Н. Плановского / М.: ФГБОУ ВО “РГУ им. А. Н. Косыгина”, 2021. С. 98.
 12. *Федосов С.В.* О некоторых особенностях математического моделирования явлений тепломассопереноса на границах двухфазных сред // Материалы пленарной сессии МНТС “Повышение энергоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности”, посвященного 110-летию А.Н. Плановского / М.: ФГБОУ ВО “РГУ им. А. Н. Косыгина”, 2021. С. 56.
 13. *Белоусов А.С.* Моделирование процессов и аппаратов на основе систем вычислительной гидродинамики – новые возможности и проблемы // Материалы пленарной сессии МНТС “Повышение энергоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности”, посвященного 110-летию А.Н. Плановского / М.: ФГБОУ ВО “РГУ им. А. Н. Косыгина”, 2021. С. 89.
 14. *Кильдеева Н.Р.* Инновационные методы получения волокнистых и наноматериалов – развитию инновационных технологий в медицине и технике // Материалы пленарной сессии МНТС “Повышение энергоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности”, посвященного 110-летию А.Н. Плановского / М.: ФГБОУ ВО “РГУ им. А. Н. Косыгина”, 2021. С. 49.
 15. *Захаров М.К.* Новый подход к энергосбережению при ректификации // Материалы пленарной сессии МНТС “Повышение энергоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности”, посвященного 110-летию А.Н. Плановского / М.: ФГБОУ ВО “РГУ им. А. Н. Косыгина”, 2021. С. 109.