

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА**

Д 212.204.03, созданного на базе Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета  
от «27» декабря 2018 года, протокол № 14

О присуждении Цыганкову Павлу Юрьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Процессы получения аэрогелей с внедрёнными углеродными нанотрубками в аппаратах высокого давления и их интенсификация» в виде рукописи по специальности 05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий, технические науки, принятая к защите «25» октября 2018 года, протокол №11, диссертационным советом Д 212.204.03, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (125047, Москва, Миусская площадь, 9, приказ о создании диссертационного совета от «15» октября 2014 года № 574/нк).

Соискатель **Цыганков Павел Юрьевич**, «22» ноября 1992 года рождения, в 2015 году окончил Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. С 31.07.2015 года является аспирантом очной формы обучения аспирантуры кафедры кибернетики химико-технологических процессов Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Работает в должности ведущего инженера в Международном учебно-научном центре трансфера фармацевтических и биотехнологий Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева Министерства науки и высшего образования Российской Федерации с 2015 года по настоящее время.

Диссертация выполнена на кафедре кибернетики химико-технологических процессов Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Научный руководитель** доктор технических наук, профессор Меньшутина Наталья Васильевна, гражданка Российской Федерации, руководитель Международного учебно-научного центра трансфера фармацевтических и биотехнологий, профессор кафедры кибернетики химико-технологических процессов Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева.

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, доцент Макаренков Дмитрий Анатольевич, гражданин Российской Федерации, заместитель директора по науке Федерального государственного унитарного предприятия «Институт химических реагентов и особо чистых химических веществ Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва;

кандидат технических наук, доцент Хайрутдинов Венер Фаилевич, гражданин Российской Федерации, ведущий научный сотрудник кафедры «Теоретических основ теплотехники» Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, дали **положительные** отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, в своем **положительном** заключении, подписанном заведующей кафедрой «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность» доктором технических наук, профессором Гатаповой Натальей Цибиковной, указала, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой, заслуживает высокой оценки и соответствует требованиям «Положения о порядке

присуждения ученых степеней», утвержденного Правительством Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, а ее автор, Цыганков Павел Юрьевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий (отзыв обсужден и принят на заседании кафедры «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность» «3» декабря 2018 года, протокол №17).

Соискатель имеет 15 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 15 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 6 работ. Общий объем публикаций составляет 65 страниц. Все публикации выполнены в соавторстве, личный вклад соискателя в публикациях (от 50 до 70 %) состоит в анализе литературы, получении и анализе экспериментальных данных, проведении вычислительных экспериментов, обработке результатов, написании публикаций. Соискателем опубликованы 14 работ в материалах всероссийских и международных конференций и конгрессов. Монографий, депонированных рукописей, патентов не имеет. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. P. Tsygankov, I. Khudeev, A. Lebedev, E. Lebedev, N. Menshutina. Lab Scale High-Pressure Equipment for Supercritical Drying //Chemical Engineering Transactions. 2018. Vol. 70. P. 877–882.
2. N. Menshutina, S. Ivanov, P. Tsygankov, I. Khudeev. Synthesis and characterization of composite materials “aerogel-MWCNT” //Journal of Sol-Gel Science and Technology. 2017. Vol. 84. Issue 3. P. 382-390.
3. E. Ivanova, N. Burmistrova, M. Alekhina, P. Tsygankov, S. Ivanov. Aerogels based on calcium alginate and silicon dioxide and modified with carbon nanotubes for selective sorption of argon from a mixture with oxygen // Russian Journal of Applied Chemistry. 2017. Vol. 90. Issue 10. P. 1700–1705.

На автореферат поступило 6 отзывов, **все положительные**. В отзывах указывается, что представляемая работа характеризуется высоким теоретическим и экспериментальным уровнем, имеет большое научное и практическое значение и по своей новизне и актуальности соответствует требованиям Высшей аттестационной комиссии.

В отзыве **Евгения Акимовича Богачёва**, кандидата технических наук, начальника отделения 0240 акционерного общества «Композит», в качестве замечания отмечено, что неясно, какие именно УНТ использовались в работе, не приведены их особенности и обоснованность выбора наночастиц именно этого типа. Кроме того, в работе говорится о создании устойчивой суспензии углеродных нанотрубок с использованием ультразвуковой обработки, но не приведены данные, подтверждающие их равномерное распределения в неагломерированном виде в объеме материала. Следует использовать русскоязычные сокращения для распространённых терминов вместо англоязычных (например, ПК вместо PC, ПЛК вместо PLC).

В отзыве **Александра Петровича Комарова**, кандидата химических наук, доцента, ведущего специалиста обособленного структурного подразделения «Центр компетенций» открытого акционерного общества «Корпорация «Росхимзащита»» в качестве замечаний отмечено, что в автореферате приведены методы получения материалов на основе аэрогелей с внедрёнными нанотрубками и сферы применения данных материалов. Однако, непонятно почему не был получен патент на материал. Кроме того, в качестве доказательства возможности использования разработанных аэрогелей для создания промышленных газовых датчиков в автореферате описано использование для этих целей только одного тест-вещества Ф, что не позволяет рекомендовать данный новый функциональный материал для индикации других вредных и опасных промышленных газов.

В отзыве **Александра Игоревича Зеркаева**, кандидата технических наук, ведущего менеджера акционерного общества «НПК «Химпроминжиниринг», в качестве замечания отмечено, что из текста автореферата не ясно, в чем именно заключается интенсификация процесса сверхкритической сушки? Кроме того, в рамках математического моделирования процесса сверхкритической сушки автор отмечает, что рассчитывалась длительность процесса в зависимости от давления, температуры и расхода диоксида углерода. При этом диапазоны изменения параметров указаны только для

температуры. В каких диапазонах варьировались остальные параметры и чем обусловлен выбор этих диапазонов?

В отзыве **Антона Сергеевича Шалыгина**, кандидата химических наук, научного сотрудника лаборатории исследования процессов в средах повышенной плотности Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук в качестве замечания отмечено, что в тексте автореферата не указано, учитывались ли в построенной математической модели диаметр пор, взаимодействие спирта и диоксида углерода с функциональными группами поверхности аэрогеля; отсутствуют данные по удельной поверхности и объему пор для используемых УНТ; в таблицах 1 и 2 удельная поверхность и объем пор уменьшаются с увеличением содержания УНТ, предположительно это связано с заполнением пор аэрогелей УНТ. Данное предположение нуждается в более четких доказательствах; утверждение автора, что удельная поверхность и объем пор для микрочастиц аэрогелей увеличиваются в связи с увеличением количества открытых УНТ, представляется спорным.

В отзыве **Олега Игоревича Покровского**, кандидата химических наук, старшего научного сотрудника лаборатории магнитных материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук, в качестве замечания отмечено, что из текста автореферата не ясно насколько воспроизводимы свойства композитных аэрогелей, приведённые в таблицах 1 и 2? УНТ чрезвычайно склонны к агломерации и добавляются в растворы в виде крупных агломерированных структур (бандлов). Для их деагломерации одной лишь ультразвуковой обработки, как правило, бывает недостаточно, необходимо отделять неразбитые бандлы центрифугированием. Насколько можно понять из рисунков 5-7, этого не делалось. Кроме того, во всех трёх способах синтеза композитов не использовались ПАВы, а после ультразвуковой обработки есть длительные фазы пребывания УНТ в жидкой среде, что неизбежно должно приводить к их реагломерации. В этой связи возникает вопрос о воспроизводимости свойств композитов, формируемых в таких условиях, прежде всего их электропроводности, поскольку она критически зависит от распределения УНТ по образцу.

В отзыве **Оксаны Владимировны Яценко**, кандидата технических наук, старшего научный сотрудника лаборатории №22 «Радиационная безопасность персонала» Отдела № 4 Промышленной радиационной гигиены Государственного научного центра Федерального медицинского биофизического центра имени А.И. Бурназяна, в качестве замечания отмечено, что хотелось бы увидеть оценку адекватности, используемой в кандидатской работе математической модели в сравнении с экспериментальными величинами с учетом неопределенности (погрешности) измерения. Также не совсем ясно как обеспечивалось единство измерений в соответствии с Федеральным законом М 102-ФЗ "Об обеспечении единства измерений" от 26.06.2008 (Проверенные СИ и аттестованные методики)?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации определен соответствием тематики работы соискателя областям их научных интересов и направлениям деятельности, что подтверждается большим числом научных публикаций. Высокая квалификация в области основных процессов химической технологии и аппаратов для их проведения позволяет им оценить научную и практическую значимость диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**развита** математическая модель для описания процесса сверхкритической сушки пластин геля, базирующаяся на механике сплошных сред; записаны новые граничные условия для начала процесса сверхкритической сушки; модель может быть использована для разработки новых конструкций аппаратов высокого давления;

**установлены** этапы интенсификации сверхкритической сушки за счёт интенсивного тепло- и массообмена и уменьшения времени процесса на следующих этапах: набор давления, вытеснение

растворителя из свободного объёма аппарата, замещение растворителя в порах геля на сверхкритический диоксид углерода;

**разработана** установка для сверхкритической сушки объёмом 2л и **включена** в единую технологическую схему проведения процессов в сверхкритическом диоксиде углерода;

**разработаны и реализованы** методики получения аэрогелей с внедрёнными нанотрубками для использования в качестве газовых датчиков и для разделения газовых смесей;

**доказана** возможность использования аэрогелей с внедрёнными нанотрубками в качестве газовых датчиков и для разделения газовых смесей.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

**установлено** влияние параметров (давление, температура, расход СК диоксида углерода) сверхкритической сушки на скорость процесса с использованием математического моделирования;

**проанализирован** характер изменения состава двух фаз (жидкая фаза – смесь изопропиловый спирт-СО<sub>2</sub>; газообразная фаза – смесь СО<sub>2</sub>-изопропиловый спирт), что позволило установить возможности интенсификации процесса сверхкритической сушки на следующих этапах: набор давления, вытеснение растворителя из свободного объёма аппарата, замещение растворителя в порах геля на сверхкритический диоксид углерода;

**предложена** интенсификация отдельных стадий получения аэрогелей;

**установлены** закономерности, влияющие на свойства аэрогелей с внедрёнными УНТ и **предложены** механизмы структурообразования аэрогелей с внедрёнными УНТ;

**доказана** возможность использования аэрогелей на основе диоксида кремния с внедрёнными УНТ для создания промышленных газовых датчиков, а также применения аэрогелей на основе альгината натрия с внедрёнными УНТ для разделения газовых смесей и селективной адсорбции аргона;

**предложены** механизмы сорбции газов в аэрогель с внедрёнными УНТ.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**проведены** проектные работы, **разработана** конструкторская документация и **собрана** установка для проведения процесса сверхкритической сушки объёмом 2 л (давление до 300 атм, температура до 180 °C) с комплектом контрольно-измерительных приборов;

**разработаны** методики получения аэрогелей с внедрёнными УНТ: монолитов на основе диоксида кремния с внедрёнными УНТ золь-гель методом; микрочастиц на основе диоксида кремния с внедрёнными УНТ масляно-эмulsionным методом; частиц на основе альгината натрия с внедрёнными УНТ капельным методом;

**создана** установка для изучения процесса адсорбции промышленных газов и паров в аэрогелях с целью исследования возможности их применения в качестве промышленных газовых датчиков.

**Результаты работы могут быть рекомендованы** для предприятий акционерное общество «НПК «Химпроминжиниринг», акционерное общество «Композит», открытое акционерное общество «Корпорация «РОСХИМЗАЩИТА», общество ограниченной ответственности «Ниагара», а также для использования в учебном процессе Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева, Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» и других.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- достоверность полученных результатов подтверждается согласованностью теоретических выводов с результатами, полученными в ходе экспериментальных исследований;
- результаты лабораторных экспериментов получены на сертифицированном оборудовании, показана воспроизводимость результатов исследования в различных условиях;
- использовано современное программное обеспечение для моделирования гидродинамики, процессов переноса (FLUENT);

- достоверность полученных результатов обеспечена использованием методик эксперимента, соответствующих современному научному уровню, и подтверждена их согласованностью;
- полученные результаты обоснованы, выводы следуют из анализа результатов и не противоречат современным представлениям теории гидродинамики, химических процессов и аппаратов.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в постановке и реализации задач исследований, в планировании и проведении экспериментальных работ, обработке полученных результатов, в развитии математической модели процесса сверхкритической сушки. Автором проведена систематизация, интерпретация и оценка полученных результатов, сформулированы выводы, подготовлены материалы для публикаций и представления результатов исследований на российских и международных научных мероприятиях.

Диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, которая направлена на решение важных задач разработки научных основ процессов получения аэрогелей с внедрёнными нанотрубками и интенсификации процесса сверхкритической сушки с позиции энерго- и ресурсосбережения. Полученные в ходе работы аэрогели с внедрёнными нанотрубками представляют собой перспективные функциональные материалы для создания газовых датчиков и разделения газовых смесей и являются новым научно обоснованным технологическим решением, имеющим существенное значение для развития страны.

По своему содержанию диссертация отвечает паспорту специальности 05.17.08 – «Процессы и аппараты химических технологий». Формуле специальности: «Совершенствование аппаратурного оформления технологических процессов с позиций энерго- и ресурсосбережения» в части проектирования аппарата высокого давления. «Создание эффективных технологическим схем и производств на основе использования современных машин и аппаратов; изучение свойств и режимов функционирования вновь создаваемых химико-технологических систем» в части интенсификации процесса сверхкритической сушки и проектирования аппарата высокого давления, а также области исследования: «Способы, приёмы и методология исследования гидродинамики движения жидкости, газов, исследование тепловых процессов в технологических аппаратах, исследования массообменных процессов и аппаратов» в части исследования влияния параметров сверхкритической сушки на скорость процесса и в части оценки гидродинамики потоков сверхкритического диоксида углерода при проектировании аппарата высокого давления. «Методы изучения и создания ресурсо- и энергосберегающих процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности» в части исследование свойств многокомпонентных систем при проведении процесса сверхкритической сушки с целью интенсификации и совершенствования технологического процесса сверхкритической сушки с целью энерго- и ресурсосбережения.

По актуальности, новизне, практической значимости диссертация соответствует требованиям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842(с изменениями и дополнениями), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

На заседании «27» декабря 2018 года, протокол № 14, диссертационный совет принял решение присудить Цыганкову Павлу Юрьевичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 9 докторов наук по научной специальности и отрасли наук рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени – 15, против присуждения учёной степени – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета

М. Б. Глебов

Ученый секретарь диссертационного совета

А. В. Женса

