

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Артемьева Артема Ильича «Сверхкритическая экстракция биологически активных веществ из аралии, женьшеня и мультифитоадаптогена», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.13.

### Процессы и аппараты химических технологий

Диссертация Артемьева А.И. посвящена решению прикладной научно-исследовательской задачи – разработке и совершенствованию промышленной технологии получения экстрактов растительного происхождения экологически чистым способом – на основе процесса сверхкритической флюидной экстракции (СФЭ). Основное внимание в работе уделено таким источникам биологически активных веществ (БАВ), как аралия, женьшень и мультифитоадаптоген. Напомним, что согласно градации ЮНЕСКО получение экстрактов с использованием суб- и сверхкритического диоксида углерода признано безальтернативной, экологически чистой, энерго- и ресурсосберегающей безотходной технологией XXI века. Ежегодно в мире с использованием вышеотмеченного процесса перерабатывается до 2-3-х миллионов тонн растительного сырья. Средние темпы роста продаж растительных экстрактов в мире составляют около 12-15% в год. А прибыль, которую в будущем может принести освоение пока неизученных лекарственных растений, оценивается в сотни миллиардов долларов.

В настоящее время направления развития обозначенной технологии включают совершенствование экспериментальных методик лабораторного уровня, методов моделирования процесса и масштабирования лабораторных результатов на коммерческий уровень, а также поиск новых принципов интенсификации СКФЭ процесса и освоение новых неисследованных видов растительного сырья. Всему этому в той или иной степени и посвящена диссертационная работа Артемьева А.И. Как следствие, ее **научно-практическая значимость и актуальность тематики** исследования очевидны.

В рамках **общей характеристики диссертации** отметим, что она состоит из введения, четырех глав, заключения, списка цитируемой литературы из 134 наименований. Общий объем составляет 123 страницы печатного текста, включая 19 таблиц и 66 рисунков. Все главы сопровождаются промежуточными выводами, которые определяют логику и направление исследований. Из текста диссертации следует строгая обоснованность основных положений, выносимых на защиту, которые, в свою очередь, подробно представлены в опубликованных научных работах в изданиях, рекомендованных ВАК, и известны как российской, так и международной научной общественности.

В первой главе проведен анализ научно-технической литературы. Представлен обзор по методам экстракционного извлечения компонентов растительного сырья и особенностям применения для этой цели процесса СКФ экстракции. Рассмотрены перспективы использования СКФЭ процесса в задачах химической и фармацевтической промышленности. Обсуждено технологическое оборудование, позволяющее его реализовывать. Описаны технологические схемы и некоторые способы интенсификации процесса сверхкритической флюидной экстракции применительно к биологически активным веществам растительного происхождения. Представлены и обсуждены СКФЭ установки, предполагающие ультразвуковое воздействие на обрабатываемое сырье. Рассмотрены возможности в части термодинамического обеспечения применительно к системам, участвующих в СКФЭ процессе. На основании литературного обзора сформулированы задачи диссертационной работы.

Во второй главе описано использованное в исследованиях растительное сырье: корень женьшеня обыкновенного (*Panax ginseng*), корень аралии маньчжурской (*Aralia mandshurica*) и смесь из сорока трав (мультифитоадаптоген). Обоснован их выбор. Указаны стандартизированные методы анализа составов исходного сырья и полученных из них экстрактов. В частности, анализ экстрактов проведен с помощью инфракрасной спектроскопии, а идентификация целевых компонент в экстрактах осуществлена с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии с тандемной масс-спектрометрией. Приведено полное описание лабораторных исследовательских установок, позволяющих реализовывать СКФЭ процесс и, в том числе, совмещенный с ультразвуковым воздействием на обрабатываемое сырье. Обсуждены методики осуществления процессов, включая и методику жидкостной экстракции, проведенной под вакуумом в колбе Бунзена.

Третья глава посвящена результатам осуществления СКФ экстракционного процесса в рамках задачи выделения экстрактов как в сочетании с таким интенсифицирующим процесс фактором, как ультразвуковое воздействие на обрабатываемое сырье, так и без него. Проведен анализ влияния температурных условий и давления на выход и состав получаемых экстрактов. На основе полученных кинетических зависимостей обоснованы предпочтительные условия для проведения процесса сверхкритической флюидной экстракции (323.2 К; 20 МПа). Также приведены результаты сопоставления возможностей процессов жидкостной и СКФ экстракций, которые однозначно указывают на достоинства и

предпочтительность сверхкритического флюидного экстракционного процесса.

Четвертая глава посвящена моделированию технологической схемы процесса сверхкритической флюидной экстракции гинзенозидов женьшеня и его масштабированию с применением пакета программ ChemCad. На основе программного комплекса ChemCad предложена логико-вычислительная процедура компьютерного моделирования технологической схемы установки СКФ экстракционного извлечения БАВ из женьшеня. Подобраны и описаны процессные модули, применяемые при моделировании технологической схемы процесса сверхкритической флюидной экстракции. На основании разработанной модели, осуществлено масштабирование процесса СКФ экстракции на пилотный уровень с объемом экстрактора в 25 л. и с возможностью рецикла и рекуперации диоксида углерода. При этом, для очистки потока диоксида углерода от возможных примесей на этапе рецикла введена адсорбционная колонна. Для технологической схемы с 25 л экстрактором рассчитаны энергетические затраты, на теплообменные процессы и требуемая мощность насоса и компрессора. Приведены результаты оценки показателей материального баланса СКФ экстракционного извлечения экстракта женьшеня с учетом рецикла и рекуперации диоксида углерода.

К наиболее значимым результатам диссертационной работы относятся:

1. Результаты экспериментального исследования возможностей сверхкритического флюидного и жидкостного экстракционных процессов в рамках задачи извлечения биологически активных веществ из аралии, женьшеня и мультифитоадаптогена. Установлены качественная и количественная предпочтительность СКФЭ процесса (в сопоставлении с процессом жидкостной экстракции) применительно ко всем трем видам растительного сырья.

2. Результаты экспериментального исследования влияния ультразвукового воздействия в процессе осуществления СКФ экстракционного процесса, в части его эффективности, как с точки зрения выхода экстракта, так и спектра биологически активных веществ в получаемом экстракте.

3. Модель технологической схемы процесса СКФ экстракционного извлечения экстракта женьшеня, разработанная с помощью пакета программ ChemCad. На основе собственных экспериментальных данных рассчитаны параметры лабораторной установки с 250 мл. экстрактором. Проведен расчет материальных потоков и предполагаемых энергетических затрат.

4. Результаты масштабирования процесса сверхкритической флюидной экстракции на базе ранее разработанной модели. С помощью пакета программ ChemCad рассчитаны параметры пилотной установки с 25 л. экстрактором, возможностью рецикла и рекуперации диоксида углерода. Рассчитаны материальные потоки пилотной сверхкритической флюидной установки и энергетические затраты, обеспечивающие работу оборудования.

Диссертационное исследование результативно по существу и выполнено на высоком научно-техническом уровне с использованием современных методов, методик и аппаратного оформления. Результаты хорошо апробированы и опубликованы в профильных рецензируемых журналах.

Несмотря на **общую положительную оценку** полученных автором результатов и корректность сформулированных выводов, диссертация не лишена **ряда недостатков**. В качестве некоторых **замечаний** по работе хотелось бы обратить внимание на следующее:

1. В работе почти отсутствует информация по перечню БАВ, входящих в составы исследуемых видов растительного сырья и их физико-химическим свойствам, которые важны при принятии некоторых значимых решений, касающихся процесса СКФ экстракции.

2. Выбор модификаторов ( $H_2O + C_2H_5OH$ ) основного СКФ экстрагента ( $CO_2$ ) практически не обосновывается. Именно, состав предполагаемых к извлечению веществ (замечание №1) определяет необходимость и физико-химическую природу соразтворителя. Правильно выбранный модификатор это важный элемент, обеспечивающий оптимальность процесса в данном случае СКФ экстракции в целом.

3. Применительно к фазовой диаграмме трехкомпонентной системы «этанол - вода - диоксид углерода» для убедительности следовало привести результаты и прежде всего экспериментальных исследований той или иной научной группы в мире, изучавшей эту систему. Как вариант, наконец, можно было бы использовать оптическую ячейку фазового равновесия, чтобы убедиться, что тройная система гомогенна и находится в газофазной области состояния. Опасения оппонента на самом деле обоснованны.

4. На рис. 12 автореферата (рис. 3.23 диссертации) приведена кинетика выхода экстракта аралии и, в том числе, под влиянием ультразвукового воздействия (УВ). В процессе, осуществленном при давлении 20 МПа и температуре 323.2 К наблюдается заметное увеличение выхода экстракта под влиянием ультразвука. Тогда как при той же температуре, но при давлении 12 МПа эффект противоположной направленности. Объяснение отсутствует.

5. Орфография, стилистика и терминология текстов автореферата и диссертации заметно страдают. Остановлю внимание лишь на том, что аббревиатура SCF применительно к экстракции, пришедшая как и иные

термины СКФ направления с Запада, означает «сверхкритическая флюидная экстракция» и никак иначе.

**В заключение**, оценивая диссертационную работу Артемьева Артема Ильича в целом, можно утверждать, что она представляет собой законченное научно-квалификационное исследование, в котором развиваются новые подходы к изучению процессов экстракции и получены новые результаты, имеющие существенное значение для совершенствования технологии СКФЭ. **Автореферат правильно отражает** содержание диссертации. Работа полностью соответствует паспорту специальности 2.6.13. и отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук в соответствии с п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (постановление Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.). Считаю, что ее автор Артем Ильич Артемьев **заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук** по специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий

Гумеров Фарид Мухамедович  
д-р техн. наук, проф.  
зав. каф. «Теоретические основы теплотехники»  
ФГБОУ ВО «КНИТУ»  
420015, Российская Федерация,  
Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68  
Тел.: +7 (843) 231-42-16; +7 (843) 238-56-94  
e-mail: [gum@kstu.ru](mailto:gum@kstu.ru)

