

## ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Сосновской Александры Андреевны  
«Масло сосновое многофункционального назначения с повышенным  
содержанием терпеновых кислородсодержащих соединений  
из  $\alpha$ -пинена живичного скипидара»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.21.03 – технология и оборудование химической  
переработки биомассы дерева; химия древесины

### **1. Соответствие диссертации специальности и отрасли науки, по которым она представляется к защите**

Диссертационная работа Сосновской А.А. посвящена разработке технологического режима получения соснового масла с улучшенными характеристиками. Исследование охватывает два направления: жидкофазное окисление  $\alpha$ -пинена кислородом воздуха в присутствии катализатора на основе металла переменной валентности и гидратация  $\alpha$ -пинена с использованием кислотного катализатора. В рамках первого направления оптимизированы параметры окислительного процесса, при которых достигается регулируемая селективность образования целевых кислородсодержащих терпеновых производных. Во втором направлении показано, что проведение реакции гидратации в кислой среде с применением  $\alpha$ -пинена в качестве исходного соединения приводит к увеличению содержания основных продуктов реакции, включая  $\alpha$ -терпинеол и его изомеры, в составе получаемого соснового масла-сырца.

Оба технологических решения ориентированы на получение соснового масла с повышенным содержанием терпеновых кислородсодержащих соединений. Такой компонентный состав расширяет потенциальные области применения масла за счёт улучшенных физико-химических свойств.

Содержание и структура диссертационной работы, включая постановку цели, формулировку задач, определение объекта и предмета исследования, перечень выносимых на защиту положений и состав приложений, соответствуют отрасли технических наук. Работа входит в рамки специальности 05.21.03 «Технология и оборудование химической переработки биомассы дерева; химия древесины» и охватывает направления, указанные в пунктах 10 и 11 паспорта специальности. В рамках этих направлений рассматриваются вопросы химии и технологии получения и применения экстрактивных веществ биомассы дерева и других видов растительного сырья; химии и технологии продуктов лесохимической переработки древесной биомассы (канифоль, скипидар, эфирные масла и их компоненты и др.), а также вторичных продуктов на их основе.

## 2. Актуальность темы диссертации

В условиях глобальных изменений на сырьевых рынках и усиления экологических требований развитие отечественного производства флотационных реагентов на основе возобновляемого лесохимического сырья приобретает стратегическое значение. На территории Республики Беларусь имеются значительные ресурсы лесохимического происхождения, в первую очередь за счёт хвойных пород древесины, что позволяет формировать замкнутый технологический цикл – от заготовки живицы до выпуска продуктов с высокой добавленной стоимостью.

Актуальность данного направления обусловлена высокой степенью зависимости отечественной калийной промышленности от импорта флотационных реагентов, в частности соснового масла. Несмотря на наличие значительного количества научных публикаций, посвящённых вопросам получения соснового масла, промышленное производство данного продукта, а также переработка скипидара на территории Республики Беларусь в настоящее время отсутствуют.

С научно-технологической точки зрения процесс получения соснового масла представляет собой сложную многостадийную процедуру, основанную на современных подходах в области каталитической химии терпеноидов и переработки лесохимического сырья. Технологическая схема включает стадии ректификации живичного скипидара с выделением фракции  $\alpha$ -пинена, его дальнейшую химическую модификацию путём гидратации и окисления, а также получение целевого продукта с заданными физико-химическими характеристиками.

В прикладном аспекте сосновое масло обладает благоприятными реологическими свойствами, что обеспечивает его эффективность при использовании в пенной флотации. Эти характеристики создают предпосылки для замещения синтетических аналогов природным продуктом и снижения зависимости от импортных поставок.

Диссертационное исследование Сосновской А.А. затрагивает область глубокой переработки живичного скипидара с получением вторичного продукта на его основе, а именно соснового масла, и представляет как научный, так и практический интерес. В ходе работы были решены задачи, основанные на установлении зависимостей влияния основных технологических параметров процессов жидкофазного окисления  $\alpha$ -пинена кислородом воздуха в присутствии катализатора и гидратации  $\alpha$ -пинена в присутствии кислотного катализатора на изменение качественного и количественного состава соснового масла-сырца. Полученные результаты позволили разработать отечественную технологию производства соснового масла многофункционального назначения, что вносит значимый вклад в развитие лесохимической отрасли Республики Беларусь.

Таким образом, считаю, что актуальность темы диссертационного исследования Сосновской А.А. не вызывает сомнений.

### **3. Степень новизны результатов диссертации и научных положений, выносимых на защиту**

Степень научной новизны диссертационного исследования определяется следующими достигнутыми результатами:

– установлены зависимости влияния основных технологических параметров процесса жидкофазного окисления  $\alpha$ -пинена, выделенного из живичного скипидара, кислородом воздуха в присутствии 0,4 мас. % катализатора на основе стеарата кобальта (II) на изменение компонентного состава оксидата. Выявлены оптимальные условия: температура 70–73 °С, удельный расход воздуха 0,39 см<sup>3</sup>/с на 1 г  $\alpha$ -пинена, продолжительность реакции 5 часов. При указанных параметрах достигается максимальное содержание терпеновых кислородсодержащих соединений в пределах 27,0–55,0 мас. %, что связано со снижением индукционного периода до 3 часов и отсутствием в исходной смеси других монотерпеновых углеводородов (3-карена, дипентена, терпинолена), содержащихся в живичном скипидаре;

– определено оптимальное массовое соотношение « $\alpha$ -пинен : 70%-й водный раствор муравьиной кислоты», равное 1,0 : 1,1. Это основано на выявленных зависимостях влияния компонентного состава исходного сырья ( $\alpha$ -пинен, живичный скипидар, скипидаро-пиненовые смеси) и соотношения к кислотному катализатору при гидратации на качественный и количественный состав реакционной смеси. Установленные условия обеспечивают наибольшее содержание  $\alpha$ -терпинеола и его изомеров (57,6 мас. %), снижение доли побочных терпеновых углеводородов (до 26,2 мас. %) за счёт сокращения расхода муравьиной кислоты до 26,7 % и уменьшения продолжительности процесса гидратации с 5 до 3 часов за счёт ингибирования побочной реакции изомеризации  $\alpha$ -пинена;

– разработан технологический режим получения соснового масла методом жидкофазного окисления  $\alpha$ -пинена кислородом воздуха в присутствии катализатора стеарата кобальта (II), обеспечивающий повышенное содержание терпеновых кислородсодержащих соединений (2,3-эпоксипинана, вербенола, вербенона) в пределах от 60,0 до 85,0 мас. %;

– разработана технология получения соснового масла многофункционального назначения посредством кислотно-каталитической гидратации  $\alpha$ -пинена, характеризующаяся улучшенным качественным и количественным составом за счёт высокого содержания (60,0–85,0 мас. %) терпеновых кислородсодержащих соединений ( $\alpha$ -терпинеола и его изомеров). Полученное масло обеспечивает высокую флотационную эффективность при извлечении хлористого калия из сильвинитового сырья (95,1 %), на уровне аналогичного показателя импортного соснового масла марки МС-60 (94,2 %);

Научные положения, выносимые на защиту, являются новыми и

соответствуют основным результатам, полученным в диссертационном исследовании.

#### **4. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Результаты проведенных соискателем исследований, выводы и рекомендации научно обоснованы и экспериментально подтверждены. Сформулированные в заключении основные научные результаты диссертации соответствуют вынесенным положениям на защиту. Достоверность, воспроизводимость и точность результатов не вызывает сомнений, поскольку использованы современные методы анализа для определения физико-химических, спектральных и пространственно-структурных свойств терпеновых кислородсодержащих соединений в масле сосновом, а также применены методы статистического анализа данных.

#### **5. Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации с указанием рекомендаций по их использованию**

**Научная значимость** полученных результатов заключается в применении системного подхода к исследованию влияния условий проведения реакций окисления и гидратации  $\alpha$ -пинена, выделенного из живичного скипидара, в присутствии катализаторов. Такой подход охватывает установление зависимостей содержания целевых продуктов от технологических параметров, включая температуру, расход воздуха, продолжительность процесса, количество катализатора и массовое соотношение исходных реагентов. В рамках исследования также выявлены причины высокой продолжительности индукционного периода при жидкофазном окислении живичного скипидара кислородом воздуха в присутствии стеарата кобальта (II), а также механизмы изомеризационных превращений  $\alpha$ -пинена при его гидратации с использованием 70% водного раствора муравьиной кислоты. Установленные зависимости и оптимальные параметры позволили повысить содержание терпеновых кислородсодержащих соединений в сосновом масле-сырце до 27,0–55,0 мас. % в процессе жидкофазного окисления  $\alpha$ -пинена и до 57,6 мас. % при его гидратации, что легло в основу разработки технологического режима и технологии получения соснового масла многофункционального назначения.

**Практическая значимость** результатов заключается во внедрении разработанной технологии масла соснового на отечественном предприятии ООО «СТиМ» (г. Брест) с получением опытно-промышленной партии в количестве 210 кг и проведением лабораторных испытаний масла соснового для определения его вспенивающих свойств при флотации сильвинита на ОАО «Беларуськалий».

**Экономическая значимость** результатов определяется фактическим экономическим эффектом при выпуске 210 кг опытно-промышленной партии масла соснового, равном 825,3 руб. (325,7 долл. США на июль 2021 г.), и

ожидаемым годовым – 786,0 тыс. руб. (310 206,0 долл. США на июль 2021 г.) при планируемом годовом выпуске 200 т.

**Социальная значимость** результатов диссертационного исследования состоит в расширении ассортимента отечественной лесохимической продукции, производимой на основе живичного скипидара, а также в создании предпосылок для импортозамещения за счёт внедрения отечественного соснового масла, разработанного в рамках работы, взамен используемого в настоящее время на ОАО «Беларуськалий» импортного аналога – масла соснового марки МС-60 (Российская Федерация).

#### **6. Опубликованность результатов диссертации в научной печати**

Результаты диссертационной работы соискателя опубликованы в 17 научных трудах, включая 5 статей в научных журналах, внесённых в перечень изданий Республики Беларусь, предназначенных для публикации результатов диссертационных исследований, 8 материалах конференций и тезисах трёх докладов. Кроме того, подана одна заявка на выдачу патента Республики Беларусь на изобретение. Опубликованные научные результаты соответствуют содержанию диссертации и являются достаточными для подтверждения основных положений исследования.

#### **7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК Республики Беларусь**

Диссертационная работа и автореферат оформлены в полном соответствии с Инструкцией о порядке оформления диссертации, диссертации в виде научного доклада, автореферата диссертации и публикаций по теме диссертации (Постановление Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 28.02.2014 г. № 3 (в редакции постановления Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 22.08.2022 г. № 5).

#### **8. Замечания по диссертации**

1. Чем обусловлен выбор катализаторов для жидкофазного окисления  $\alpha$ -пинена кислородом воздуха и кислотно-каталитической гидратации  $\alpha$ -пинена?

2. Гетерогенные катализаторы, такие как цеолиты, ионообменные смолы или твердые кислотные катализаторы, упоминаются в качестве возможной альтернативы «классическим» кислотам, однако сведения об их тестировании в тексте диссертации отсутствуют.

3. В тексте диссертации отсутствуют кинетические модели или уравнения, значения констант скорости реакции, энергий активации, порядков, что могло бы усилить научную основу работы.

4. Хотя упоминается повторное использование муравьиной кислоты (стр. 243), не приведены данные о количестве циклов повторного использования или методах утилизации отработанных растворов.

5. На страницах 102–103 диссертации (глава 4) в описании выходов продуктов реакции используется единица измерения «мас. %», что является

некорректным применительно к выходу вещества. Вероятно, допущена техническая ошибка, поскольку в предыдущем разделе (глава 3) выходы продуктов указаны корректно в «%».

6. Недостаточно обоснован выбор водного раствора гидроксида натрия в качестве ингибитора реакции жидкофазного окисления  $\alpha$ -пинена.

### **9. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует**

Научная квалификация соискателя соответствует ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.21.03 – технология и оборудование химической переработки биомассы дерева; химия древесины.

#### **Заключение**

Диссертация Сосновской Александры Андреевны на тему «Масло сосновое многофункционального назначения с повышенным содержанием терпеновых кислородсодержащих соединений из  $\alpha$ -пинена живичного скипидара» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, содержащую существенный научный и практический вклад в развитие направлений, связанных с глубокой переработкой живичного скипидара в продукты с высокой добавленной стоимостью.

Считаю, что Сосновская А.А. заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.21.03 – технология и оборудование химической переработки биомассы дерева; химия древесины за новые экспериментальные и научно обоснованные результаты исследования в области лесохимии, позволившие разработать технологию масла соснового многофункционального назначения кислотно-каталитической гидратацией  $\alpha$ -пинена живичного скипидара с повышенным содержанием терпеновых кислородсодержащих соединений от 60,0 до 85,0 мас. %.

Выражаю согласие на размещение настоящего отзыва на официальном сайте учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

Ведущий научный сотрудник  
государственного научного учреждения  
«Институт химии новых материалов  
Национальной академии наук Беларуси»,  
кандидат химических наук, доцент

А.Ю. Сидоренко

Подпись *А.Ю. Сидоренко* завершено

Ведущий специалист  
по кадрам *И.В. Кисель*

