

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента

на диссертацию Бойко Михаила Анатольевича «Совершенствование электротехнологических устройств доочистки сточных вод наружной мойки сельскохозяйственной техники применением неоднородных электромагнитных полей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.20.02 – электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве (технические науки)

Настоящий отзыв подготовлен в соответствии с требованиями п. 43 Положения ВАК «О совете по защите диссертаций» на основе изучения диссертации, автореферата, представленных материалов опубликованных работ соискателя по теме вышеназванной диссертации.

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

Диссертация Михаила Анатольевича Бойко на тему «Совершенствование электротехнологических устройств доочистки сточных вод наружной мойки сельскохозяйственной техники применением неоднородных электромагнитных полей» соответствует специальности 05.20.02 – электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве и отрасли науки – технические (раздел 1 паспорта специальности).

Формула специальности: содержание диссертации соответствует разделу II паспорта специальности.

Область исследований: область исследований затрагивает пункты 1-4 раздела III паспорта специальности 05.20.02.

Диссертация не выходит за рамки паспорта 05.20.02 – электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве (технические науки).

### **2. Актуальность темы диссертации**

Внедрение эффективных способов очистки сточных вод наружной мойки сельскохозяйственной техники с использованием оборотной системы технического водоснабжения позволяет снизить расходы воды, загрязнение окружающей среды. Рассмотренные вопросы электрохимической очистки сточной воды с применением неоднородных электромагнитных полей важны для организаций, занимающихся разработкой, проектированием и эксплуатацией очистных сооружений.

Тема диссертации соответствует приоритетным направлениям научной, научно-технической и инновационной деятельности в нашей стране, требованиям Президента Республики Беларусь (перечень утвержден Указом Президента Республики Беларусь от 1 апреля 2025 г. № 135), решениям Совета Министров Республики Беларусь в области рационального использования водных ресурсов (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от

16 января 2026 г. № 24 «О Стратегии управления водными ресурсами до 2040 года»), их воспроизводства. Задачи, решаемые в диссертационном исследовании, отвечают направлениям реализации подпрограммы 5 «Чистая вода» Государственной программы «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021 – 2025 годы, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28 января 2021 г. № 50.

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

Научные результаты, полученные в диссертации, и научные положения, выносимые на защиту, являются новыми. Их новизна заключается в разработке:

- устройства электрохимической очистки сточных вод наружной мойки сельскохозяйственной техники в электромагнитном флотокоагуляторе, отличающегося использованием неоднородных электрических и магнитных полей, получением коагулянта (гидроксида железа III) при меньших энергозатратах;

- макетной модели извлечения коагулянта из очищаемых сточных вод, отличающейся применением в одном устройстве электрической и магнитной флотации, что обеспечило эффективное снижение концентрации загрязнений;

- математической модели минимизации энергозатрат на очистку сточных вод, полученной экспериментально, отличающейся учетом исходной и конечной концентраций нефтепродуктов, производительности установки и плотности тока электрокоагуляции;

- методики расчета электродной системы электрокоагулятора, магнитной системы катушки индуктивности, отличающихся учетом создания напряженности неоднородных электромагнитных полей.

Новизна результатов, полученных в диссертации Бойко М.А., и научных положений, выносимых на защиту заключается в следующем:

- впервые в устройстве очистки использовано неоднородное электрическое поле для электрохимической коагуляции загрязнений сточных вод наружной мойки сельскохозяйственной техники, что в отличие от однородного электрического поля, позволило уменьшить энергозатраты на очистку, не ухудшая показатели очистки;

- разработан метод комбинированного удаления коагулянта под воздействием электрической и магнитной флотации, что способствовало снижению концентрации загрязнений сточных вод;

– разработана методика инженерного расчета электродной системы электрокоагулятора, отличающаяся учетом количества электричества, необходимого для образования требуемой дозы коагулянта;

– научно обоснованы технологические параметры электрохимической очистки, реализованной в устройстве очистки, отличающейся применением неоднородных электромагнитных полей, обеспечивающих снижение концентрации загрязнений до требуемых значений. Техническая новизна устройства очистки подтверждена патентом Республики Беларусь на изобретение;

– разработана эмпирическая модель минимизации энергозатрат на очистку сточных вод, отличающаяся учетом концентрации загрязнений, ограничений по производительности установки и плотности тока электрокоагуляции.

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

Достоверность сформулированных в диссертации выводов и рекомендаций подтверждается применением методов математического и компьютерного моделирования с использованием современного и апробированного программного обеспечения, а также проведением экспериментальных исследований в соответствии с утвержденными методиками отбора проб, проведения их испытаний в аккредитованных лабораториях, а также численными расчетами, результаты которых согласуются с измерениями, полученными в ходе экспериментальных исследований.

Погрешностей в применении математического аппарата и интерпретации результатов не выявлено. Степень обоснованности выводов и рекомендации в диссертации достаточна, они получены в соответствии с электромагнитными процессами, явлениями и теорией электромагнитного поля.

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

Научная значимость полученных результатов заключается в развитии теоретических основ применения неоднородных электрических и магнитных полей на повышение эффективности очистки сточных вод постов мойки сельскохозяйственной техники.

Практическая значимость полученных результатов состоит в том, что предлагаемая установка очистки сточных вод, научно обоснованные электротехнологические режимы процесса очистки могут быть использованы для совершенствования существующего, а также разработки и создания нового

современного оборудования систем очистки сточных вод. Техническая значимость полученных соискателем результатов подтверждается патентом Республики Беларусь на изобретение устройства для очистки сточных вод, актом изготовления действующего макета экспериментальной установки, а также справкой о возможном использовании (внедрении) результатов диссертационного исследования, полученной в РНПУП «Институт энергетики НАН Беларуси».

Экономическая значимость результатов диссертационного исследования заключается в повышении энерго-ресурсоэффективности и обеспечении рационального использования водных ресурсов при наружной мойке сельскохозяйственной техники. Расчетный экономический эффект от внедрения установки очистки сточных вод с применением неоднородных электромагнитных полей составляет 65 тыс. рублей в год.

Социальная значимость результатов исследований состоит в:

– снижении экологической нагрузки на экосистему путем снижения экологического загрязнения водных ресурсов и почвы нефтепродуктами и другими вредными веществами, патогенными микроорганизмами, улучшении санитарно-гигиенических условий;

– получении более чистой продукции сельскохозяйственных культур за счет снижения загрязнения среды природопользования.

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

Всего соискатель в соавторстве опубликовал 30 работ общим объемом 7,2 авторских листа, в том числе 9 статей в рецензируемых журналах, изданиях, рекомендованных ВАК для опубликования результатов диссертационных исследований по специальности 05.20.02 – электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве (технические науки), 21 – тезисы и материалы научно-технических конференций. Одна статья в журнале опубликована единолично. По теме диссертации имеется 1 патент Республики Беларусь на изобретение.

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

Диссертация оформлена в основном в соответствии с требованиями, изложенными в Инструкции о порядке оформления диссертации, диссертации в виде научного доклада, автореферата диссертации и публикаций по теме диссертации, утвержденной Постановлением Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 22 августа 2022 года №5. Содержание автореферата в полной мере соответствует содержанию диссертации и отражает основные полученные научные результаты.

На работы авторов, материалы которых используются в диссертации, имеются ссылки.

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

Научные результаты, полученные соискателем Бойко Михаилом Анатольевичем в ходе теоретических и экспериментальных исследований свидетельствуют о соответствии его научной квалификации ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.20.02 – электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве (технические науки).

## **9. Замечания по диссертации**

1. На стр. 43 приводятся требования к осветленной технической сточной воде для наружной мойки грузовых автомобилей и ничего не упоминается о сельскохозяйственной технике: комбайнах, тракторах и др. технике. Здесь же указывается, что сточные воды наружной мойки сельскохозяйственной мойки наносят «ущерб гидросфере», а точнее будет – экосистеме.
2. На стр. 44 не корректно указана размерность удельных затрат в формуле (2.32) и в автореферате в формуле (16) Дж/м<sup>3</sup>, а надо Вт·ч/м<sup>3</sup>.
3. На стр. 53 приведен рис. 3.3 удельной проводимости сточных вод без доверительных границ. Реально их химический состав на территории РБ разный, следовательно можно предположить, что удельная проводимость ее будет разной.
4. На стр. 55 в таблице 3.2 – Матрица плана экспериментов непонятно зачем введены два пустых столбца: удельных энергозатрат и конечная концентрация нефтепродуктов.
5. В главе 5 оценка капиталовложений в новое оборудование не учитывает проектно-изыскательские работы, затраты на подготовку кадров для обслуживания станции наружной мойки, стоимость замены растворимого анода, что требует разборки установки в полном объеме. Для оценки экономической эффективности разработанной установки взяты тарифы на электроэнергию и тепловую энергию на 01.01.2024 года. Объем используемой воды для мойки техники по базовому варианту принят 660 м<sup>3</sup>, а по предлагаемому 60 м<sup>3</sup>, хотя по базовому варианту можно использовать воду для повторной мойки техники, т. к. степень очистки ее составляет 97 % (табл. 5.1), что повысило затраты на воду по базовому варианту в 11 раз.

## Заключение

Несмотря на отмеченные недостатки, следует признать, что диссертация М. А. Бойко на тему «Совершенствование электротехнологических устройств доочистки сточных вод наружной мойки сельскохозяйственной техники применением неоднородных электромагнитных полей» представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, в которой изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований, имеющих существенное научное и практическое значение для разработки электротехнологических установок доочистки сточных вод в совокупности, например, с механической очисткой.

Диссертация отвечает требованиям, изложенным в главе 3 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, утвержденных Указом Президента Республики Беларусь, в части, касающихся кандидатских диссертаций. Соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.20.02 – электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве (технические науки) за новые научные результаты, включающие:

- разработку устройства электрохимической очистки сточных вод наружной мойки сельскохозяйственной техники в электромагнитном флотокоагуляторе, отличающееся использованием неоднородных электрических и магнитных полей, получением коагулянта (гидроксида железа III) при меньших в 1,4 раза энергозатратах;

- разработку макетной модели извлечения коагулянта из очищаемых сточных вод, отличающейся применением в одном устройстве электрической и магнитной флотации, что обеспечило эффективное снижение концентрации загрязнений до установленных показателей и использование очищенной воды в системе оборотного водоснабжения постов наружной мойки;

- научно обоснованные технологические параметры электрохимического способа очистки, отличающиеся применением неоднородных электромагнитных полей, обеспечивающего повышение качества очистки. Техническая новизна устройства очистки подтверждена патентом Республики Беларусь на изобретение;

- разработку эмпирической модели минимизации энергозатрат на очистку сточных вод, отличающуюся учетом концентрации нефтепродуктов, ограничений по производительности установки и плотности тока электрокоагуляции;

– разработку методик расчета электрокоагулятора, индукционной катушки для создания неоднородного электромагнитного поля, **что в совокупности** позволяет создать электромагнитную установку очистки сточных вод, снижающую концентрацию загрязнений до предельно допустимых показателей применения технической воды в системах оборотного водоснабжения наружной мойки сельскохозяйственной техники.

Даю согласие на размещение отзыва на сайте учреждения образования «Белорусский аграрный технический университет».

Официальный оппонент,  
кандидат технических наук, доцент,  
профессор кафедры эффективных технологий  
учреждения образования «Международный  
государственный экологический институт  
имени А.Д. Сахарова» БГУ

В.А. Пашинский

24 марта 2026 г.



Ознакомлен  (Бойко М.А.)  
26.03.26г.