

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Директор Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки Федерального  
исследовательского центра «Саратовский  
научный центр Российской академии наук»

  
д.ф.-м.н. Хлебцов Б.Н.

«02» декабря 2025 г.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Федерального исследовательского центра  
«Саратовский научный центр Российской академии наук» (ФИЦ СЦ РАН)  
по диссертации Петрова Дмитрия Юрьевича «Методическое и программно-  
информационное обеспечение автоматизированного управления  
энергоресурсоэффективностью многостадийного производства  
высококачественного листового стекла» на соискание ученой степени  
доктора технических наук по специальности 2.3.3 Автоматизация и  
управление технологическими процессами и производствами

Диссертация **Петрова Дмитрия Юрьевича** «Методическое и программно-информационное обеспечение автоматизированного управления энергоресурсоэффективностью многостадийного производства высококачественного листового стекла», представленная к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами выполнена в лаборатории системного анализа и управления Института проблем точной механики и управления РАН (ИПТМУ РАН) – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр Российской академии наук» (ФИЦ СЦ РАН) (далее совместно ИПТМУ РАН - ФИЦ СЦ РАН).

Тема диссертационной работы первоначально была утверждена на заседания Ученого совета ИПТМУ РАН, протокол № 2 от 17 марта 2017 г. и в окончательной редакции утверждена приказом директора ФИЦ СЦ РАН от 10 марта 2025 г. № 48.

Соискатель **Петров Дмитрий Юрьевич** в 1994 году с отличием окончил Саратовский государственный технический университет (СГТУ) по

специальности «Автоматизированные системы обработки информации и управления» с присвоением квалификации инженера-системотехника. После окончания вуза был принят на работу в должности инженера кафедры системотехники СГТУ. С ноября 1994 г. в течение трех лет обучался в очной аспирантуре Саратовского государственного технического университета, после окончания которой в марте 2000 г. успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – Автоматизация технологических процессов и производств на тему: «Интерактивная многокритериальная оптимизация структур роботизированных технологических комплексов дуговой сварки» под руководством директора ИПТМУ РАН, д.т.н., профессора, заведующего кафедрой системотехники СГТУ (по совместительству) Резчикова А.Ф. В соответствии с решением диссертационного совета Д 063.58.05 (протокол № 5 от 22 марта 2000 г.), созданного на базе Саратовского государственного технического института, Петрову Д.Ю. была присуждена ученая степень кандидата технических наук, диплом КТ № 025382 от 14 июля 2000 г.

С 1997 г. Петров Д.Ю. работал на должностях научного, старшего научного сотрудника лаборатории системных проблем управления и автоматизации в машиностроении ИПТМУ РАН, а с января 2018 г. был утвержден приказом Министра высшего образования и науки Российской Федерации в должности Временной исполняющим обязанности директора ИПТМУ РАН. В 2018 г. в соответствии с приказом Минобрнауки России Петров Д.Ю. был утвержден в должности проректора по научной работе Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. (новое название вуза после переименования), с 2019 г. по совместительству работал в должности начальника Управления исследованиями в области образования и науки, а впоследствии был избран по конкурсу на должность заведующего кафедрой «Системотехника и управление в технических системах» вышеупомянутого вуза.

С ноября 2020 г. Петров Д.Ю. возвратился в ИПТМУ РАН на должность старшего научного сотрудника лаборатории системного анализа и управления, которую занимает и по настоящее время, и где продолжил активную научную работу над докторской диссертацией, начатую в 2007-2008 гг. (В ноябре 2021 г. в связи с реорганизацией в форме присоединения ИПТМУ РАН получил статус обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр Российской академии наук» (далее совместно сокращенно ИПТМУ РАН – ФИЦ СЦ РАН)).

Научным консультантом по докторской диссертации Петрова Д.Ю. является утвержденный приказом директора ФИЦ СЦ РАН от 10 марта 2025 г. № 48 Мешалкин Валерий Павлович, академик Российской академии наук, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, директор научно-образовательного центра «Международный институт

логистики ресурсосбережения и технологической инноватики» (НОЦ) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева (далее ФГБОУ ВО «РХТУ им. Д.И. Менделеева»), профессор кафедры логистики и экономической информатики того же вуза, который дал положительный отзыв о диссертации и соискателе.

Научную экспертизу докторская диссертация Петрова Д.Ю. проходила на расширенном заседании лаборатории системного анализа и управления ИПТМУ РАН – ФИЦ СЦЦ РАН с приглашением специалистов по профилю диссертации из других структурных подразделений Центра, а также из других научных и учреждений высшего образования г. Саратова и профильных докторов наук других вузов и научных учреждений гг. Москвы и Санкт-Петербурга (в режиме видеоконференции). В заседании участвовал 21 человек, в том числе по профилю специальности и отрасли науки диссертации – 7 докторов наук, кандидатов наук – 6 человек. По смежным научным специальностям, входящим в укрупненную профильную группу научных специальностей – 8 докторов наук.

На заседании присутствовали:

1. Костерев Андрей Александрович, кандидат технических наук, руководитель Института проблем точной механики и управления (ИПТМУ РАН) – обособленного структурного подразделения ФИЦ СЦЦ РАН.

*Сотрудники лаборатории системного анализа и управления ИПТМУ РАН – ФИЦ СЦЦ РАН:*

2. Богомолов Алексей Сергеевич, доктор технических наук, доцент, заведующий лабораторией системного анализа и управления ИПТМУ РАН – ФИЦ СЦЦ РАН (председательствующий на заседании);

3. Кушников Вадим Алексеевич, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник (внутренний совместитель) лаборатории системного анализа и управления, заведующий лабораторией комплексных научных исследований ИПТМУ РАН – ФИЦ СЦЦ РАН;

4. Иващенко Владимир Андреевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник лаборатории системного анализа и управления ИПТМУ РАН – ФИЦ СЦЦ РАН;

5. Лапковский Роман Юрьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории системного анализа и управления ИПТМУ РАН – ФИЦ СЦЦ РАН;

6. Фомин Игорь Николаевич, к.т.н, старший научный сотрудник лаборатории системного анализа и управления ИПТМУ РАН – ФИЦ СЦЦ РАН;

7. Фоминых Дмитрий Сергеевич, к.т.н, старший научный сотрудник лаборатории системного анализа и управления ИПТМУ РАН – ФИЦ СЦЦ РАН;

8. Барышникова Елена Сергеевна, к.т.н, старший научный сотрудник лаборатории системного анализа и управления, ученый секретарь ИПТМУ РАН – ФИЦ СЦ РАН (секретарь заседания).

*Сотрудники лаборатории механики, навигации и управления движением ИПТМУ РАН – ФИЦ СЦ РАН:*

9. Челноков Юрий Николаевич, д.ф.-м.н., профессор, заведующий лабораторией механики, навигации и управления движением ИПТМУ РАН – ФИЦ СЦ РАН;

10. Ольшанский Владимир Юрьевич, д.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории механики, навигации и управления движением ИПТМУ РАН – ФИЦ СЦ РАН;

11. Молоденков Алексей Владимирович, д.т.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории механики, навигации и управления движением ИПТМУ РАН – ФИЦ СЦ РАН;

12. Макеев Николай Николаевич, д.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории механики, навигации и управления движением ИПТМУ РАН – ФИЦ СЦ РАН (в настоящее время – пенсионер);

13. Панкратов Илья Алексеевич, к.т.н., доцент, старший научный сотрудник лаборатории механики, навигации и управления движением ИПТМУ РАН – ФИЦ СЦ РАН;

14. Бирюков Вячеслав Геннадьевич к.ф.-м.н., старший научный сотрудник лаборатории механики, навигации и управления движением ИПТМУ РАН – ФИЦ СЦ РАН;

*Приглашенные специалисты по профилю диссертации:*

15. Мешалкин Валерий Павлович, академик РАН, д.т.н., профессор, директор Международного института логистики ресурсосбережения и технологической инноватики (НОЦ), профессор кафедры логистики и экономической информатики ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» (**научный консультант**) (участвовал в заседании в режиме видеоконференции);

16. Резчиков Александр Федорович, член-корр. РАН, д.т.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории крупных масштабных систем (№ 33) Института проблем управления Российской академии наук (участвовал в заседании в режиме видеоконференции); ;

17. Большаков Александр Афанасьевич, д.т.н., профессор, профессор кафедры систем автоматизированного проектирования и управления ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)» (участвовал в заседании в режиме видеоконференции);

18. Игнатъев Александр Анатольевич, д.т.н., профессор кафедры «Техническая механика и мехатроника» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования

«Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.» (сокращенно ФГБОУ ВО «СГТУ имени Гагарина Ю.А.»);

19. Виноградов Михаил Владимирович, д.т.н., профессор кафедры «Техническая механика и мехатроника» ФГБОУ ВО «СГТУ имени Гагарина Ю.А.»;

20. Коваль Владимир Александрович, д.т.н., профессор кафедры «Системотехника и управление в технических системах» ФГБОУ ВО «СГТУ имени Гагарина Ю.А.» (в настоящее время – пенсионер);

21. Игнатьев Станислав Александрович, д.т.н., профессор кафедры биофизики и цифровых технологий ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет имени В.И. Разумовского» (защита докторской диссертации по спец. 05.13.07).

#### *Рецензенты диссертации:*

1. Иващенко Владимир Андреевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник лаборатории системного анализа и управления ИПТМУ – ФИЦ СНЦ РАН предоставил положительный отзыв о соответствии диссертации требованиям пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к докторским диссертациям;

2. Молоденков Алексей Владимирович, д.т.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории механики, навигации и управления движением ИПТМУ РАН – ФИЦ СНЦ РАН предоставил положительный отзыв.

Слушали: доклад соискателя Петрова Д.Ю., изложившего основное содержание и результаты диссертационной работы и ответившего на все заданные при обсуждении вопросы.

По итогам доклада Петрова Д.Ю. и обсуждения докторской диссертации принято следующее заключение:

#### **Заключение**

по диссертации **Петрова Дмитрия Юрьевича** «Методическое и программно-информационное обеспечение автоматизированного управления энергоресурсоэффективностью многостадийного производства высококачественного листового стекла», представленной к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

### **Актуальность работы.**

Диссертационная работа Петрова Д.Ю. направлена на решение проблемы рационального использования сырья и топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), которая особенно важна для энергоемких промышленных производств, к которым относятся многостадийные производства высококачественного листового стекла (ВЛС), представляющие собой сложные химико-технологические системы (ХТС). Качество листового стекла (ЛС) определяется как режимами функционирования сложной ХТС, так и особенностью основных химико-технологических процессов (ХТП), протекающих во взаимосвязанных стадиях производства – подсистемах ХТС: стадия приготовления шихты, стадия варки стекла, стадия формования ленты стекла методом флоат-процесса (float glass process), стадия отжига ленты стекла.

Условия обеспечения технологического лидерства отечественного производства высококачественного листового стекла определяют необходимость расширения номенклатуры выпускаемой продукции, при нестабильности гранулометрических свойств и химического состава исходного сырья, требуют выполнения дорогостоящих экспериментальных исследований теплофизических и физико-химических свойств исходного сырья, в соответствии с которыми осуществляется изменение рецепта стекольной шихты и режимов функционирования ХТП – стадий производства ВЛС.

Применение методов инжиниринга передовых наукоемких энерго-ресурсосберегающих цифровизированных интеллектуальных технологий и роботизированных кибер-физических систем, использование информационных систем обработки больших массивов данных, методов машинного обучения и теории искусственного интеллекта (ИИ) имеет **актуальное значение** для повышения энергоресурсоэффективности отечественной стекольной промышленности и производств других строительных материалов.

### **Личный вклад автора в получении основных результатов диссертации.**

Все изложенные в диссертации положения и результаты получены непосредственно автором, либо под его руководством, или при его непосредственном участии. Автор принимал участие в написании всех статей по теме диссертации и постановке задач всех исследований. Автором диссертации были разработаны компьютерные модели, алгоритмы, программы для реализации предложенных в диссертации подходов и методик, получены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. В частности, автором:

в публикациях [1, 3, 4, 7, 8, 13, 30 – 32, 34, 35, 37, 38] выполнен системный анализ производства ВЛС как сложной ХТС; разработаны математические модели, алгоритмы;

в опубликованных статьях [2, 5, 10 – 12, 20] представлены разработанные автором процедура и программно-информационное

обеспечение для автоматизации диагностики дефектов ЛС;

разработанные автором компьютерные модели основных ХТП: приготовления шихты представлены в публикациях [14, 15, 21], формования ленты стекла, дополняя известные модели – в работах [17, 24];

разработанные математические модели и алгоритмы для автоматизации контроля качества стекольной шихты представлены в статье [21];

в статье [4] представлено разработанное методическое обеспечение автоматизированного инжиниринга пакетов прикладных программ АСУ многостадийными непрерывными производствами, разработана модель состояний этапов ЖЦ непрерывного производства [19, 36] и алгоритм анализа показателей надежности производства листового стекла [33];

в публикациях [9, 18, 26, 39] представлены разработанные компьютерные модели производства ВЛС и упаковки листов стекла [16, 40, 41] на основе анализа мехатронных систем [6, 22, 23, 28];

разработанные архитектура и режимы функционирования ППП: компьютеризированного проектирования АСУТП производства ВЛС описаны в публикациях [4, 29]; результаты диагностики точечных дефектов ЛС представлены в статьях [2, 12]; а описание применения цифрового тренажера обучения операторов цеха формования ВЛС изложено в работах [1, 24, 25].

**Тема и содержание диссертации полностью соответствуют паспорту специальности 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами и соответствуют следующим его пунктам:**

п. 2. Автоматизация контроля и испытаний.

п. 4. Теоретические основы и методы моделирования, формализованного описания, оптимального проектирования и управления технологическими процессами и производствами.

п. 7. Теоретические основы и методы моделирования и управления организационно-технологическими системами и киберфизическими производственными комплексами.

п. 12. Методы создания специального математического и программного обеспечения, пакетов прикладных программ и типовых модулей функциональных и обеспечивающих подсистем АСУТП, АСУЦ, АСТПП и др., включая управление исполнительными механизмами в реальном времени.

#### **Научная новизна диссертационного исследования.**

В диссертации представлены следующие обладающие новизной новые научно-обоснованные результаты по разработке методического и программно-информационного обеспечения автоматизированного управления энергоресурсоэффективностью многостадийного производства ВЛС:

**1. Разработана** нейро-сетевая модель АУ составом стекольной шихты, отличающаяся использованием многослойной искусственной нейронной сети (ИНС) с прямым распространением сигнала и обратным распространением

ошибки при автоматическом обучении, **что позволяет** обеспечить требуемый технологический режим работы дозирочно-смесительной линии при колебаниях химического и гранулометрического состава и влажности сырья.

**2. Разработана** математическая и компьютерная модели ХТП непрерывного формования ленты стекла, **отличающиеся** учетом влияния напряжения растягивающих усилий бортоформирующих машин на поток жидкого стекла, **что позволяет** анализировать различные штатные и аварийные режимы формования ленты стекла на расплаве олова и создать программное обеспечение цифрового тренажера для обучения персонала работе в штатных и аварийных ситуациях.

**3. Предложен** алгоритм автоматизированной диагностики точечных дефектов ЛС, **отличающийся** применением процедур анализа изображения ЛС на основе метода вейвлет-преобразования для локализации дефекта, использования для распознавания типа контура точечного дефекта и набора эвристических правил для классификации типа выявленного точечного дефекта, **что позволяет** автоматически формировать электронную карту дефектов ЛС, использование которой обеспечивает эффективное функционирование системы автоматического оптимального раскрытия ленты стекла в реальном времени.

**4. Предложен** вероятно-статистический алгоритм анализа этапов жизненного цикла (ЖЦ) многостадийного производства ВЛС, **отличающийся** использованием аппарата марковских процессов и графа состояний для этапов ЖЦ производства ВЛС разработанного на **основе дополненной классификации** уровней функционирования ХТП, **что позволяет** определять вероятности нахождения производства на каждом из этапов его ЖЦ, необходимые для автоматизированного расчета показателей надежности и показателей эффективности производства ВЛС.

**5. Разработаны** архитектура и режимы функционирования ППП компьютеризированного проектирования АСУТП производства ВЛС, **отличающегося** использованием компьютерных моделей прогнозирования показателей эффективности ХТП и процедур определения характеристик состояния оборудования, **что обеспечивает** уменьшение количества нерациональных проектных решений, сокращение сроков проектирования и ввода в эксплуатацию АСУ производства ВЛС.

**6. Разработана** архитектура и режимы функционирования ППП диагностики точечных дефектов ЛС, **отличающегося** использованием оптико-вейвлетного метода локализации дефектов в ЛС и нейро-эвристического алгоритма классификации типов дефектов, **что позволяет** на основе применения серийных аппаратных средств обеспечить автоматическую диагностику наиболее часто встречающихся точечных дефектов ЛС.

**7. Разработаны** архитектура и режимы функционирования пакета прикладных программ цифрового тренажера обучения персонала участка формования ленты стекла, **отличающегося** использованием методов системотехники для инжиниринга программного обеспечения и

компьютерной модели ХТП непрерывного формования ленты стекла, что обеспечивает повышение квалификации рабочего персонала производства ВЛС и его обучение работе в штатных и аварийных ситуациях.

### **Теоретическая и практическая значимость результатов.**

В диссертации получили развитие методологические основы автоматизированного управления энергоресурсоэффективностью многостадийного производства ВЛС на основе широкого использования современных методов теории автоматизированного управления энергоресурсоэффективностью сложных непрерывных производств, методов компьютерного моделирования ХТП, методов имитационного моделирования, теории искусственного интеллекта (ИИ) и цифровых инструментов «Индустрия 4.0».

Теоретические результаты проведенных научных исследований, представленные в диссертации, практически применены при разработке ряда проектов, при реализации мероприятий и стратегий повышения энергоресурсоэффективности как предприятий стекольной промышленности, так и ряда других непрерывных сложных многостадийных ХТС.

Разработаны и практически применены научно-обоснованные предложения и рекомендации по инжинирингу АСУ энергоресурсоэффективностью многостадийного производства ВЛС и по реализации цифровой трансформации с применением инструментов «Индустрия 4.0».

Результаты диссертации также использованы при выполнении научно-исследовательских работ по **10-ти хозяйственным договорам с промышленными предприятиями г. Саратова**, в том числе:

«Разработка программного обеспечения для обучения персонала выполнению штатных операций в различных режимах при варке стекла и его формовании методом флоат-процесса и действиям по устранению нештатных ситуаций и дефектов стекла» - с ОАО «Саратовстройстекло» (2006);

«Разработка единой информационной системы предприятия ОАО «Саратовстройстекло»» (2007);

«Создание программно-математического обеспечения экспериментальной системы автоматического управления» - с АО КБПА (2015);

«Разработка концепции создания высокотехнологичного производства с применением технологий Industry 4.0 (разработка АС)» - с АО КБПА (2021);

«Разработка организационной системы управления обслуживанием оборудования на основе системного анализа бизнес-процессов и использования отечественного программного обеспечения Business Studio» - с АО КБПА (2024).

### **Обоснованность и достоверность полученных результатов.**

**Обоснованность** научных результатов диссертационной работы подтверждается использованием общепринятых апробированных научных положений, методологии системного анализа, научных методов экспериментальных исследований; применением методов системного

анализа, методов имитационного моделирования, методов теории анализа и оптимизации ХТС, методов системной динамики; подтверждается согласованностью полученных новых научных результатов с известными теоретическими положениями.

**Достоверность** полученных автором новых теоретических научно-исследовательских результатов, научных положений, выводов и научно-технологических рекомендаций обусловлена совпадением п многочисленных вычислительных экспериментов с достоверными экспериментальными данными.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, изложенных в диссертации Петрова Д.Ю., подтверждается также их опубликованием в ведущих рецензируемых научных журналах категорий К1 и К2, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, а также в научных изданиях, входящих в международные базы данных WoS и Scopus.

Следует отметить, что существенная часть результатов научных исследований, представленных соискателем Петровым Д.Ю. в диссертации, выполнены и получены им в рамках научной школы Российского государственного химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева, успешно на протяжении многих лет развивающей новое научное направление **в междисциплинарной области** цифровизированных производств химического и нефтехимического комплекса «Теоретические основы инжиниринга и логистики энергоресурсоэффективных экологически безопасных химико-технологических систем производства высококачественной продукции и переработки отходов». Именно поэтому научные публикации соискателя Петрова Д.Ю., представленные преимущественно в рецензируемых ведущих научных изданиях, рекомендованных ВАК России для научной специальности 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, представлены также в ведущих научных журналах, отражающих специальность объекта исследования 2.6.14 Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов, т.е. многостадийное производство высококачественного листового стекла, представляющего собой сложную химико-технологическую систему, как объект автоматизированного управления.

#### **Апробация результатов исследования.**

Результаты диссертационной работы прошли широкую апробацию на следующих научных-технических международных и всероссийских конференциях: «Международный год стекла в России» (Санкт-Петербург, 2022); «Неорганическая химия - фундаментальная основа в материаловедении керамических, стеклообразных и композиционных материалов» (Санкт-Петербург, 2016); «Российская мультиконференция по проблемам управления» (Санкт-Петербург, 2008);

«Математические методы в технике и технологиях – ММТТ» (Псков, 2009; Волгоград, 2012; Нижний Новгород, 2013, 2023; Тамбов, 2014;

Ярославль, 2015, 2022; Санкт-Петербург, 2017, 2021; Казань, 2024; Самара, 2025);

«Логистика и экономика ресурсоэнергосбережения в промышленности – ЛЭРЭП» (Смоленск, 2015);

«Ресурсо- и энергосберегающие технологии в химической и нефтехимической промышленности» (Москва, 2013);

«International Congress on Information Technologies» (Саратов, 2012, 2016);

«Компьютерные науки и информационные технологии» (Саратов, 2021)

«Имитационное моделирование – ИММОД» (Казань, 2023);

«Кибер-системы: проектирование и моделирование» (Ярославль, 2022);

«Системный анализ, управление и навигация» (Евпатория, 2023) и др.

### **Публикации по теме исследования**

По теме диссертации опубликовано **124 научных работы** общим объемом **38,15 п.л.** (личный авторский вклад **23,72 п.л.**), из них

**9 статей в журналах из перечня рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки России по научной специальности 2.3.3, в том числе: категория К1 – 3 статьи, категория К2 – 6 статей (журналы К1: «Проблемы управления» (1), «Программные продукты и системы» (2); журналы К2: «Вестник Астраханского государственного ТУ Серия: Управление, вычислительная техника и информатика» (2), «Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (ТУ)» (2), «Автоматизация в промышленности» (2),**

**7 публикаций в изданиях, индексируемых в международных реферативных базах данных и системах цитирования Web of Science и Scopus, из них 3 статьи в отечественных журналах из перечня ВАК Минобрнауки России («Теоретические основы химической технологии» (2), «Известия Саратовского университета» (1),**

**7 статей в журналах из перечня рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК до 2021 года («Химическая технология» (2), «Современные проблемы науки и образования» (1), «Вестник Саратовского государственного технического университета» (4)),**

**а также 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ и 1 свидетельство на полезную модель.**

### **Основные публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ по специальности 2.3.3**

**1. Петров Д.Ю.** Инжиниринг цифрового тренажера для обучения операторов формования листового стекла / В.П. Мешалкин, Т.Б. Чистякова, Д.Ю. Петров // Программные продукты и системы. 2024. Т. 37. № 2. С. 561–566.

**2. Петров Д.Ю.** Модельно-управляемое проектирование автоматизированной системы идентификации дефектов листового стекла // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2023. № 4. С. 41–48.

**3. Петров Д.Ю.** Цифровые платформы для автоматизированного управления химико-технологическими системами / В.П. Мешалкин, А.А. Большаков, Д.Ю. Петров // Автоматизация в промышленности. 2023. № 8. С. 45-48.

**4. Петров Д.Ю.** Архитектура информационной системы управления жизненным циклом цифрового двойника для непрерывного производства // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2021. № 57 (83). С. 98-104.

**5. Петров Д.Ю.** Комплекс программ идентификации точечных дефектов листового стекла / В.П. Мешалкин, Д.Ю. Петров, В.А. Иващенко, И.В. Ефимов // Программные продукты и системы. 2014. № 3. С. 147-152.

**6. Петров Д.Ю.** Программный комплекс управления жизненным циклом мехатронных систем / А.А. Большаков, Д.Ю. Петров // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2012. № 2. С. 20-26.

**7. Петров Д.Ю.** Автоматизация поиска причин аварийных ситуаций при формировании листового стекла / В.С. Домнич, В.А. Иващенко, Д.Ю. Петров // Проблемы управления. 2011. № 5. С. 52-58.

**8. Петров Д.Ю.** Алгоритм оптимизации структур робототехнических сборочных комплексов / А. Ф. Резчиков, А. А. Большаков, Д.Ю. Петров, Д. Д. Яковлев // Автоматизация в промышленности. 2025. № 5. С. 3-10.

**9. Петров Д.Ю.** Оптимизация планирования выпуска партий многоассортиментного высококачественного листового стекла / В.П. Мешалкин А.А. Большаков, Д.Ю. Петров // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2025. № 9.

**Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ по специальности 05.13.07 до 2023 года**

**10.** Автоматизированная нейронно-эвристическая процедура распознавания точечных дефектов в листовом стекле / И.В. Ефимов, Д.Ю. Петров, В.А. Иващенко, В.П. Мешалкин // Химическая технология. 2014. Т. 15. № 8. С. 500-504.

**11.** Аппаратурно-техническое и алгоритмическое обеспечение автоматизированной системы локализации точечных дефектов в листовом стекле / И.В. Ефимов, Д.Ю. Петров, В.А. Иващенко, В.П. Мешалкин // Химическая технология. 2014. Т. 15. № 2. С. 122-128.

**12.** Алгоритмическое обеспечение классификации точечных дефектов листового стекла / И.В. Ефимов, В.А. Иващенко, Д.Ю. Петров, В.П. Мешалкин // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. С. 144.

**13.** Причинно-следственный подход для системного анализа производства листового стекла / В.С. Домнич, Ю.А. Аветисян, Д.Ю. Петров // Вестник Саратовского государственного технического университета, 2010. № 4 (50). С. 75-79.

14. Модели анализа качества стекольной шихты на основе искусственных нейронных сетей / О.А. Крайнов, П.А. Король, Д.Ю. Петров // Вестник Саратовского государственного технического университета, 2010 - № 4 (50). С. 79-82.

15. Построение автоматизированной системы управления производством шихты / О.А. Крайнов, Д.Ю. Петров // Вестник Саратовского государственного технического университета, 2009. №4 (43), Вып. 2. С. 105-108.

16. Петров, Д. Ю. Надежность манипуляционных роботов / Д. Ю. Петров // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2007. Т. 3, № 1(26). С. 71-82.

**Публикация в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ по смежной специальности 2.6.14**

17. Петров Д.Ю. Математическое моделирование процесса формования листового стекла как объекта автоматизированного управления // Химическая промышленность сегодня. 2024. № 2. С. 55-64. (К2)

**Публикации изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus**

18. Petrov D.Yu. A System Dynamics Model for Float Glass Production Management // Springer, Cham. Society 5.0. Studies in Systems, Decision and Control, 2023. vol. 437. p 227-240. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-35875-3\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-031-35875-3_18).

19. Petrov D.Yu. Assessment of the protection level of continuous production based on the markov life cycle model // Izvestiya of Saratov University. Mathematics. Mechanics. Informatics. 2022. Т. 22. № 3. С. 393-400. Специальность 2.3.1 Системный анализ

20. Petrov D.Yu. Wavelet-neuro-heuristics complex procedure of diagnostics of point defects of sheet glass / Meshalkin V.P., Petrov D.Yu. // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2014. Т. 48. № 3. pp. 301-305.

21. Petrov D.Yu. Algorithms and a set of programs for glass charge quality management using artificial neural networks / V.P. Meshalkin, A.A. Bolshakov, D.Yu. Petrov, O.A. Krainov // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2012. Т. 46. № 3. pp. 329.

22. Petrov D.Yu. Modeling the Operation of a Digital Twin of a Conveyor Line / Yakovlev, D., Petrov, D., Kosterev, A./ Studies in Systems, Decision and Control, 2024, 554, pp. 105–115

23. Petrov D.Yu. A Technique for Multicriteria Structural Optimization of a Complex Energy System Based on Decomposition and Aggregation / Mirgorodskaya, E., Mityashin, N., Tomashevskiy, Y., Petrov, D., Vasiliev, D. / Studies in Systems, Decision and Control, 2021, 337, pp. 194–208

### **Свидетельства о результатах интеллектуальной деятельности**

24. Программа для моделирования растекания расплава стекла при его формировании методом флоат-процесса / Ю.А. Захаров, **Д.Ю. Петров**, В.Ю. Мусатов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2023619943, 17.05.2023. Заявка № 2023618403 от 28.04.2023.

25. Программа для обучения персонала выполнению штатных операций в различных режимах при варке стекла и его формовании и действиям по устранению нештатных ситуаций и дефектов стекла / В.П. Мешалкин, А.Ф. Резчиков, **Д.Ю. Петров**, В.Ю. Мусатов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2023619944, 17.05.2023. Заявка № 2023618401 от 28.04.2023.

26. Программная модель системной динамики функционирования многостадийного производства листового стекла методом флоат-процесса / А.А. Большаков, **Д.Ю. Петров**, В.Ю. Мусатов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2023664748, 07.07.2023. Заявка № 2023663928 от 03.07.2023.

27. Система управления подготовкой котловой воды / Свидетельство на полезную модель № 29158. Заявка № 2003102173. Дата поступления 30.01.2003. Федонин В.Н., Бекасов Д. М., Подопригора С. П., **Петров Д.Ю.**

### **Монография**

28. **Петров Д.Ю.** Системы искусственного интеллекта в мехатронике / А. А. Большаков, М. Б. Бровкова, В. П. Глазков [и др.]. – Саратов: Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., 2014. – 252 с. – ISBN 978-5-7433-2690-7. (Петровым Д.Ю. разработан раздел 1.4.)

### **Публикации в других изданиях и материалах конференций**

29. Применение гибридной цифровой платформы для обработки больших массивов данных химических производств / Н. А. Куцевич, Д. Х. Михайлиди, **Д. Ю. Петров**, А. Г. Бубнов // Российский химический журнал. Russian Journal of General Chemistry – 2023. – Т. 67, № 3. – С.77-83. – DOI 10.6060/rcj.2023673.11. Специальность 2.6. Химическая технология.

30. Международный год стекла в России. Материалы научной конференции – СПб: АИР. 2022. 189 с., ил. ISBN 978-5-906224-14-9

31. Стратегия повышения техногенной безопасности на предприятиях с непрерывным производством/ Н.В. Лалыкин, А.Ф. Резчиков, **Д.Ю. Петров** // Высокие технологии - путь к прогрессу: Сб. науч. тр. – Саратов: «Научная книга», 2003. С. 133-135.

32. Разработка систем диспетчерского управления и сбора первичной информации для производства стекла / Р.С. Быков, В.П. Мешалкин, **Д.Ю. Петров** // В сборнике: Ресурсо- и энергосберегающие технологии в химической и нефтехимической промышленности. V Международная конференция Российского химического общества им. Д.И. Менделеева:

тезисы докладов. 2013. С. 62-63.

**33. Петров Д.Ю.** Анализ показателей надежности производства листового стекла // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. 2014. № 8 (67). С. 260-263.

**34. Петров Д.Ю.** Архитектура иерархической автоматизированной системы управления многостадийным производством высококачественного конструкционного стекла / В.П. Мешалкин, Д.Ю. Петров // В сборнике: Неорганическая химия - фундаментальная основа в материаловедении керамических, стеклообразных и композиционных материалов. материалы научной конференции. 2016. С. 143-146.

**35. Петров Д.Ю.** Системный анализ функционирования непрерывного производства // Математические методы в технологиях и технике. 2021. № 6. С. 113-118.

**36. Петров Д.Ю.** Разработка модели состояний жизненного цикла непрерывного производства // В сборнике: Компьютерные науки и информационные технологии. Материалы Международной научной конференции. Саратов, 2021. С. 108-110.

**37. Петров Д.Ю.** Стратегическая карта целей производства листового стекла // Математические методы в технологиях и технике. 2022. № 10. С. 133-139.

**38. Петров, Д. Ю.** Анализ проблем цифровизации непрерывных производств / Д. Ю. Петров // Системный анализ, управление и навигация: Тезисы докладов XXVII научной конференции, Евпатория, 02–09 июля 2023 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Буки Веди", 2023. – С. 63-65. – EDN TSXZVR.

**39. Петров Д. Ю.** Структура комплексной модели изменения режимов функционирования производства листового стекла / Д. Ю. Петров // Математические методы в технологиях и технике. – 2023. – № 8. – С. 82-85. – DOI 10.52348/2712-8873\_ММТТ\_2023\_8\_82. – EDN PJEIGE.

**40. Петров Д. Ю.** Оптимизация функционирования участка съёма листового стекла // Логистика и экономика ресурсоэнергосбережения в промышленности – МНПК «ЛЭРЭП-6-2012»: сб. науч. тр. VI Междунар. научн.-практ. конф.: Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2012. С. 205-207.

**41. Петров Д.Ю.** Оценка повторяемости позиционирования робота для съёма листов стекла // Математические методы в технологиях и технике. 2025. № 1. С. 7-12.

### **Общая оценка диссертации.**

На основе представленных материалов доклада **Петрова Д.Ю.** и с учетом результатов обсуждения и выступлений участников заседания, постановили что:

Диссертационная работа «Методическое и программно-информационное обеспечение автоматизированного управления энергоресурсоэффективностью многостадийного производства высококачественного листового стекла» направлена на создание методологического основ и

разработки программно-информационного обеспечения автоматизированного управления энергоресурсоэффективностью многостадийного производства ВЛС на основе широкого использования современных методов теории автоматизированного управления энергоресурсоэффективностью сложных непрерывных производств, методов компьютерного моделирования ХТП, методов имитационного моделирования, теории искусственного интеллекта (ИИ) и инструментов «Индустрия 4.0».

Автором убедительно обоснованы цель и задачи исследования, которые четко сформулированы и решены в процессе работы.

Для реализации поставленных задач автор использовал современные методы исследования. Обоснованность и достоверность результатов обеспечена применением методов многомасштабного математического и компьютерного моделирования ХТП; методов имитационного моделирования; методов теории ИНС; инструментов «Индустрии 4.0», алгоритмов и процедур принятия решений по управлению ХТП и бизнес-процессами функционирования сложных ХТС для повышения энергоресурсоэффективности производства и качества готовой многоассортиментной продукции. Выводы логически вытекают из результатов исследования, подтверждены результатами практического внедрения. Содержание диссертации соответствует цели исследования и имеют существенное практическое значение. Высказанные в ходе обсуждения диссертации незначительные замечания носили частный характер и по существу не затрагивали ее основных положений и полученных результатов.

Диссертационная работа выполнена на высоком уровне. Положения и основные результаты диссертационной работы полностью отражены в опубликованных статьях и материалах научных конференций. Диссертация удовлетворяет требованиям пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в действующей редакции).

Диссертация **Петрова Дмитрия Юрьевича**, выполненная на тему «Методическое и программно-информационное обеспечение автоматизированного управления энергоресурсоэффективностью многостадийного производства высококачественного листового стекла», рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Присутствовали на расширенном заседании лаборатории системного анализа и управления ИПТМУ РАН – ФИЦ СНЦ РАН 21 человек, из них с правом решающего голоса 7 докторов наук и 6 кандидатов наук по профилю диссертации, всего 13 человек. Результаты голосования: «за» - 13 чел., «против» - нет, воздержались – нет (протокол № 9 от «4» декабря 2025 года).


Заключение принято на расширенном заседании лаборатории системного анализа и управления Института проблем точной механики и управления РАН (ИПТМУ РАН) – обособленного структурного

подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр Российской академии наук» (ФИЦ СНЦ РАН).

Заведующий лабораторией системного анализа и управления Института проблем точной механики и управления - обособленного структурного подразделения ФГБУН Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр Российской академии наук», доктор технических наук, доцент

 А.С. Богомолов

Секретарь заседания, ученый секретарь ИПТМУ РАН – ФИЦ СНЦ РАН

 Е.С. Барышникова

Богомолов А.С и Барышникова Е.С согласны на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета по месту защиты Петрова Д.Ю., и их дальнейшую обработку.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Саратовский научный центр Российской академии наук»,

410028, Россия, г. Саратов, ул. Рабочая, 24,

www.sncran.pf

служ. тел. +7 (845-2) 27-14-36

e-mail:sncran@yandex.ru

Подписи:

Богомолова Алексея Сергеевича, Барышниковой Елены Сергеевны заверяю.

Заместитель директора ФИЦ СНЦ РАН,

к.э.н.



В.К. Брель

« 18 » 12 2025 г.

М.П.

«УТВЕРЖДАЮ»



Ректор РХТУ им. Д. И. Менделеева  
д.х.н., профессор С.Н. Филатов

*С.Н. Филатов*  
2026 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация на тему: «Методическое и программно-информационное обеспечение автоматизированного управления энергоресурсоэффективностью многостадийного производства высококачественного листового стекла» по научной специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами на соискание ученой степени доктора технических наук выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева» на кафедре логистики и экономической информатики и в лаборатории системного анализа и управления Института проблем точной механики и управления РАН (ИПТМУ РАН) – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр Российской академии наук» (ФИЦ СНЦ РАН).

В процессе подготовки диссертации Петров Дмитрий Юрьевич, 24 марта 1972 года рождения, работал в должности старшего преподавателя кафедры логистики и экономической информатики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева» и в должности старшего научного сотрудника лаборатории системного анализа и управления ИПТМУ РАН.

В 2000 году Петров Дмитрий Юрьевич защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему: «Интерактивная многокритериальная оптимизация структур роботизированных технологических комплексов дуговой сварки» по научной специальности 05.13.07 – Автоматизация технологических процессов и производств в диссертационном совете Д 063.58.05, созданном на базе Саратовского государственного технического университета.

Научный консультант – академик РАН, заслуженный деятель науки Российской Федерации, доктор технических наук по специальностям 05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий и 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования, директор Международного института Логистики ресурсосбережения и технологической инноватики (НОЦ) РХТУ им. Д.И. Менделеева, профессор кафедры логистики и экономической информатики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева» Мешалкин Валерий Павлович.

По результатам рассмотрения диссертации на тему: «Методическое и программно-информационное обеспечение автоматизированного управления энергоресурсоэффективностью многостадийного производства высококачественного листового стекла» принято следующее заключение.

**Актуальность темы диссертационной работы обусловлена тем, что:**

1. Проблема рационального использования сырья и топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) особенно важна для энергоемких промышленных производств, к которым относятся многостадийные производства высококачественного листового стекла (ВЛС), представляющие собой сложные химико-технологические системы (ХТС). Качество листового стекла (ЛС) определяется как режимами функционирования сложной ХТС, так и особенностью основных химико-технологических процессов (ХТП), протекающих в взаимосвязанных стадиях

производства – подсистемах ХТС: стадия приготовления шихты, стадия варки стекла, стадия формования ленты стекла методом флоат-процесса (float glass process), стадия отжига ленты стекла.

2. Условия обеспечения технологического лидерства РФ определяют необходимость расширения номенклатуры выпускаемого ВЛС. Нестабильность химического состава и физических свойств исходного сырья определяет необходимость выполнения затратных лабораторных исследований, в соответствии с результатами которых осуществляется изменение рецепта стекольной шихты и режимов функционирования ХТП – стадий производства ВЛС.

3. Применение методов инжиниринга передовых наукоемких энергоресурсосберегающих цифровизированных интеллектуальных технологий и роботизированных кибер-физических систем и использование информационных систем обработки больших массивов данных, методов машинного обучения и теории искусственного интеллекта (ИИ) имеет актуальное значение для повышения энергоресурсоэффективности отечественной стекольной промышленности и производств других строительных материалов, а также является важнейшим фактором обеспечения технологического суверенитета Российской Федерации.

4. Указанные актуальные направления научно-технологического развития РФ, включая повышение энергоресурсоэффективности и уровня цифровой трансформации российской стекольной промышленности, определены в следующих федеральных и региональных нормативно-правовых документах:

- Указ Президента РФ от 28 февраля 2024 г. № 145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» (п. 21а);
- Указ Президента РФ от 18 июня 2024 г. № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий» (п. 26);
- Указ Президента РФ от 21 июля 2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» (п. 2д);

— Распоряжение Правительства РФ от 06.06.2020 № 1512-р (ред. от 26.02.2026) «Об утверждении Сводной стратегии развития обрабатывающей промышленности Российской Федерации до 2030 года и на период до 2035 года»;

— Постановление Правительства РФ от 15.04.2023 N 603 (ред. от 06.11.2024) «Об утверждении приоритетных направлений проектов технологического суверенитета и проектов структурной адаптации экономики Российской Федерации и Положения об условиях отнесения проектов к проектам технологического суверенитета и проектам структурной адаптации экономики Российской Федерации, о представлении сведений о проектах технологического суверенитета и проектах структурной адаптации экономики Российской Федерации и ведении реестра указанных проектов, а также о требованиях к организациям, уполномоченным представлять заключения о соответствии проектов требованиям к проектам технологического суверенитета и проектам структурной адаптации экономики Российской Федерации" (приложение №1, п. 8.13);

— Постановление правительства Саратовской области от 17 августа 2015 г. № 412-П «О государственной программе Саратовской области «Развитие промышленности в Саратовской области» (с изменениями на 7 ноября 2024 г.).

В Федеральном проекте «Производительность труда», входящем в состав национального проекта «Эффективная и конкурентная экономика», определены основные показатели к 2030 году и меры государственной поддержки проектов, обеспечивающих за счет цифровой трансформации и повышения цифровой зрелости на основе использования цифровых технологий для автоматизации и управления энергоресурсоэффективностью производства повышение производительности труда – ключевого фактора экономического развития, обеспечения конкурентоспособности и технологического суверенитета и технологического лидерства России. Высокий уровень автоматизации как отдельного ХТП, так и энергоресурсоэффективных многостадийных ХТС производства ВЛС при использовании мер государственной поддержки для

цифровой трансформации таких предприятий способствует достижению целей этого Национального проекта.

На основании вышеизложенного, поставленная и решаемая в настоящей диссертационной работе **новая научная проблема** разработки методического и программно-информационного обеспечения автоматизированных систем управления (АСУ) энергоэффективностью многостадийного производства ВЛС как сложной ХТС **является актуальной** проблемой, успешное решение которой имеет важное экономическое значение для повышения эффективности и конкурентоспособности российской стекольной промышленности, для обеспечения технологического суверенитета Российской Федерации.

**Научная новизна.** В работе в соответствии с направлениями исследований паспорта научной специальности 2.3.3. «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» впервые:

**1. Разработана** нейросетевая модель АУ составом стекольной шихты, **отличающаяся** использованием многослойной искусственной нейронной сети (ИНС) с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки при автоматическом обучении, **что позволяет** обеспечить требуемый технологический режим работы дозирочно-смесительной линии при колебаниях химического и гранулометрического состава и влажности сырья (п. 4 области исследований).

**2. Разработана** математическая и компьютерная модели ХТП непрерывного формования ленты стекла, **отличающиеся** учетом влияния напряжения растягивающих усилий бортоформирующих машин на поток жидкого стекла, **что позволяет** анализировать различные штатные и аварийные режимы формования ленты стекла на расплаве олова и создать программное обеспечение цифрового тренажера для обучения персонала работе в штатных и аварийных ситуациях (п. 4 области исследований).

**3. Предложен** алгоритм автоматизированной диагностики точечных дефектов ЛС, **отличающийся** применением процедур анализа изображения

ЛС на основе метода вейвлет-преобразования для локализации дефекта, использованием искусственной нейронной сети для распознавания типа контура точечного дефекта и набора эвристических правил для классификации типа выявленного точечного дефекта, **что позволяет** автоматически формировать электронную карту дефектов ЛС, использование которой обеспечивает эффективное функционирование системы автоматического оптимального раскроя ленты стекла в реальном времени (п. 2 области исследований).

**4. Предложен** вероятностно-статистический алгоритм анализа этапов жизненного цикла (ЖЦ) многостадийного производства ВЛС, **отличающийся** использованием аппарата марковских процессов и графа состояний для этапов ЖЦ производства ВЛС, разработанного на **основе** **дополненной классификации** уровней функционирования ХТП, **что позволяет** определять вероятности нахождения производства на каждом из этапов его ЖЦ, необходимые для автоматизированного расчета показателей надежности и показателей эффективности производства ВЛС (п. 7 области исследований).

**5. Разработаны** архитектура и режимы функционирования ППП компьютеризированного проектирования АСУП производства ВЛС, **отличающегося** использованием компьютерных моделей прогнозирования показателей эффективности ХТП и процедур определения характеристик состояния оборудования, **что обеспечивает** уменьшение количества нерациональных проектных решений, сокращение сроков проектирования и ввода в эксплуатацию АСУ производства ВЛС (п. 12 области исследований).

**6. Разработана** архитектура и режимы функционирования ППП диагностики точечных дефектов ЛС, **отличающегося** использованием оптико-вейвлетного метода локализации дефектов в ЛС и нейро-эвристического алгоритма классификации типов дефектов, **что позволяет** на основе применения серийных аппаратных средств обеспечить

автоматическую диагностику наиболее часто встречающихся точечных дефектов ЛС (п. 12 области исследований).

**7. Разработаны** архитектура и режимы функционирования пакета прикладных программ цифрового тренажера обучения персонала участка формования ленты стекла, **отличающегося** использованием методов системотехники для инжиниринга программного обеспечения и компьютерной модели ХТП непрерывного формования ленты стекла, **что обеспечивает** повышение квалификации рабочего персонала производства ВЛС и его обучение работе в штатных и аварийных ситуациях (п. 12 области исследований).

**Теоретическая значимость работы.** Развита методологические основы автоматизированного управления энергоресурсоэффективностью многостадийного производства ВЛС на основе широкого использования современных методов теории автоматизированного управления энергоресурсоэффективностью сложных непрерывных производств, методов компьютерного моделирования ХТП, методов имитационного моделирования, теории искусственного интеллекта (ИИ) и инструментов «Индустрия 4.0».

Применительно к проблематике диссертации результативно, т.е. с получением новых научных результатов, использованы методология системного анализа, функционального моделирования, методы математического и компьютерного моделирования сложных ХТС, в том числе имитационного моделирования, логико-вероятностного анализа, методов вейвлет-анализа, теории ИНС, что обеспечивает достаточное научное обоснование актуальных для стекольной промышленности проектов повышения энергоресурсоэффективности в условиях цифровой трансформации обрабатывающих производств.

Разработаны математические и компьютерные модели ХТП приготовления шихты, формования ленты стекла, упаковки листов стекла, обеспечивающие повышение энергоресурсоэффективности производства

ВЛС (п. 4 области исследований).

Разработано интеллектуально-статистическое алгоритмическое обеспечение автоматизированной системы диагностики точечных дефектов высококачественного листового стекла (п. 2 области исследований).

Определены взаимосвязи иерархического автоматизированного управления энергоресурсоэффективностью при выполнении системного анализа функционирования многостадийного производства ВЛС, что позволило реализовать вероятностно-статистический алгоритм анализа этапов жизненного цикла (ЖЦ) для автоматизированного расчета показателей надежности и алгоритм планирования выпуска партий многоассортиментного ВЛС для определения показателей эффективности многостадийного производства ВЛС (п. 7 области исследований).

Обоснованы технологии компьютерного инжиниринга пакетов прикладных программ (ППП) компьютеризированного проектирования АСУТП производства ВЛС, диагностики точечных дефектов листового стекла, цифрового тренажера обучения персонала участка формования ленты стекла (п. 12 области исследований).

**Практическая значимость исследования.** Теоретические результаты проведенного научно-квалификационного исследования практически применены при разработке ряда проектов, при реализации мероприятий и стратегий повышения энергоресурсоэффективности как предприятий стекольной промышленности, так и ряда других непрерывных сложных многостадийных ХТС.

Прикладные исследования, разработки и расчеты выполнены с использованием достоверных данных и материалов стекольных предприятий Приволжского федерального округа. Разработаны и практически применены научно обоснованные предложения и рекомендации по инжинирингу АСУ энергоресурсоэффективностью многостадийного производства ВЛС и по реализации цифровой трансформации с применением инструментов «Индустрия 4.0».

Результаты диссертации использованы при выполнении научно-исследовательских работ по **10-ти хозяйственным договорам с промышленными предприятиями**, в том числе: «Разработка программного обеспечения для обучения персонала выполнению штатных операций в различных режимах при варке стекла и его формовании методом флоат-процесса и действиям по устранению нештатных ситуаций и дефектов стекла» ОАО «Саратовстройстекло» (2006); «Разработка единой информационной системы предприятия ОАО «Саратовстройстекло»» (2007); «Создание программно-математического обеспечения экспериментальной системы автоматического управления» АО КБПА (2015); «Разработка концепции создания высокотехнологичного производства с применением технологий Industry 4.0 (разработка АС)» АО КБПА (2021); «Разработка организационной системы управления обслуживанием оборудования на основе системного анализа бизнес-процессов и использования отечественного программного обеспечения Business Studio» АО КБПА (2024).

Оригинальность и техническая новизна ряда предложенных в работе технологических решений защищена свидетельствами о результатах интеллектуальной деятельности.

Работа характеризуется логичностью построения, аргументированностью основных научных положений и выводов, а также чёткостью изложения.

Основные положения диссертации получили полное отражение в 23 статьях, из них 5 статей – в изданиях, индексируемых в международной базе научного цитирования Scopus. Получены 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ и свидетельство на полезную модель. Опубликовано коллективная монография.

**Личный вклад автора.** Выполнен системный анализ производства ВЛС как сложной ХТС; разработаны математические модели, алгоритмы,

разработана процедура и программно-информационное обеспечение для автоматизации диагностики дефектов ЛС;

разработаны компьютерные модели основных ХТП: приготовления шихты, формования ленты стекла, дополняющая известные модели;

разработаны математические модели и алгоритмы для автоматизации контроля качества стекольной шихты;

разработано методическое обеспечение автоматизированного инжиниринга пакетов прикладных программ АСУ многостадийными непрерывными производствами, разработана модель состояний этапов ЖЦ непрерывного производства и алгоритм анализ показателей надежности производства листового стекла;

разработаны компьютерные модели производства ВЛС и упаковки листов стекла на основе анализа мехатронных систем;

разработаны архитектура и режимы функционирования ППП: компьютеризированного проектирования АСУТП производства ВЛС; диагностики точечных дефектов ЛС; цифрового тренажера обучения операторов цеха формования ВЛС.

Результаты диссертации представлены на международных и всероссийских конференциях, в том числе на: VI Международной научно-практической конференции «Логистика и экономика ресурсоэнергосбережения в промышленности (МНПК «ЛЭРЭП-6-2012»))» (Москва, 2012 г.); научной конференции «Международный год стекла в России» (Санкт-Петербург, 2022 г.); научной конференции «Неорганическая химия – фундаментальная основа в материаловедении керамических, стеклообразных и композиционных материалов» (Санкт-Петербург, 2016 г.); V Международной конференции Российского химического общества им. Д.И. Менделеева «Ресурсо- и энергосберегающие технологии в химической и нефтехимической промышленности» (Москва, 2013 г.); Международной научной конференции «Компьютерные науки и информационные технологии» (Саратов, 2021 г.); XXVII научной конференции «Системный

анализ, управление и навигация» (Евпатория, 2023 г.); на Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях – ММТТ» (Саратов, 2014 г.; Минск, 2022 г.; Нижний Новгород, 2023 г.; Гродно, 2025 г.) и других конференциях.

**Публикации в изданиях, индексируемых в международных базах данных:**

1. **Petrov D.Yu.** A System Dynamics Model for Float Glass Production Management // Society 5.0. Studies in Systems, Decision and Control. 2023. Vol. 437. P. 227-240. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-35875-3\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-031-35875-3_18) (**Scopus**)

2. **Petrov D.Yu.** Assessment of the protection level of continuous production based on the Markov life cycle model / D.Yu. Petrov // Izvestiya of Saratov University. Mathematics. Mechanics. Informatics. – 2022. – Vol. 22, No. 3. – P. 393-400. – DOI 10.18500/1816-9791-2022-22-3-393-400 (**Scopus**)

3. Meshalkin V.P. Wavelet-neuro-heuristics complex procedure of diagnostics of point defects of sheet glass / V.P. Meshalkin, **D.Yu. Petrov** // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2014. – Vol. 48, No. 3. – P. 301-305. – DOI 10.1134/S0040579514030129 (**Scopus**)

4. Meshalkin V.P. Algorithms and software system for controlling the quality batch using artificial neural networks / V.P. Meshalkin, A.A. Bolshakov, **D.Yu. Petrov**, O.A. Krainov // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2012. Vol. 46, No. 3. P. 284-287. – DOI 10.1134/S0040579512030062 (**Scopus**)

5. Yakovlev, D. Modeling the Operation of a Digital Twin of a Conveyor Line / D.Yakovlev, **D.Petrov**, A.Kosterev / Cyber-Physical Systems. Studies in Systems, Decision and Control. 2024. Vol. 554. P. 105-115. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-67685-7\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-031-67685-7_7) (**Scopus**)

**Публикации в рецензируемых изданиях:**

1. Мешалкин В.П. Инжиниринг цифрового тренажера для обучения операторов формования листового стекла / В.П. Мешалкин, Т.Б. Чистякова, **Д.Ю. Петров** // Программные продукты и системы. 2024. Т. 37. № 2. С. 213-220. – DOI 10.15827/0236-235X.146.213-220.

2. **Петров Д.Ю.** Модельно-управляемое проектирование автоматизированной системы идентификации дефектов листового стекла // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2023. № 4. С. 41-48. – DOI 10.24143/2072-9502-2023-4-41-48.

3. Мешалкин В.П. Цифровые платформы для автоматизированного управления химико-технологическими системами / В.П. Мешалкин, А.А. Большаков, **Д.Ю. Петров** // Автоматизация в промышленности. 2023. № 8. С. 45-48. – DOI 10.25728/avtprom.2023.08.09.

4. **Петров Д.Ю.** Архитектура информационной системы управления жизненным циклом цифрового двойника для непрерывного производства / **Д.Ю. Петров** // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2021. № 57 (83). С. 98-104. – DOI 10.36807/1998-9849-2020-57-83-98-104.

5. **Петров Д.Ю.** Комплекс программ идентификации точечных дефектов листового стекла / В.П. Мешалкин, **Д.Ю. Петров**, В.А. Иващенко, И.В. Ефимов // Программные продукты и системы. 2014. № 3. С. 147-152.

6. Большаков А.А. Программный комплекс управления жизненным циклом мехатронных систем / А.А. Большаков, **Д.Ю. Петров** // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2012. № 2. С. 20-26.

7. Домнич В.С. Автоматизация поиска причин аварийных ситуаций при формировании листового стекла / В.С. Домнич, В.А. Иващенко, **Д.Ю. Петров** // Проблемы управления. 2011. № 5. С. 52-58.

8. Резчиков А.Ф. Алгоритм оптимизации структур робототехнических сборочных комплексов / А. Ф. Резчиков, А. А. Большаков, **Д.Ю. Петров**, Д. Д. Яковлев // Автоматизация в промышленности. 2025. № 5. С. 3–10.

9. Мешалкин В.П. Оптимизация планирования выпуска партий многоассортиментного высококачественного листового стекла / В. П. Мешалкин, А. А. Большаков, **Д. Ю. Петров** // Известия Санкт-

Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2025. № 74. С. 66-72. – DOI 10.36807/1998-9849-2025-74-100-66-72.

10. Ефимов И.В. Автоматизированная нейронно-эвристическая процедура распознавания точечных дефектов в листовом стекле / И.В. Ефимов, **Д.Ю. Петров**, В.А. Иващенко, В.П. Мешалкин // Химическая технология. 2014. Т. 15. № 8. С. 500-504.

11. Ефимов И.В. Аппаратурно-техническое и алгоритмическое обеспечение автоматизированной системы локализации точечных дефектов в листовом стекле / И.В. Ефимов, **Д.Ю. Петров**, В.А. Иващенко, В.П. Мешалкин // Химическая технология. 2014. Т. 15. № 2. С. 122-128.

12. Ефимов И.В. Алгоритмическое обеспечение классификации точечных дефектов листового стекла / И.В. Ефимов, В.А. Иващенко, **Д.Ю. Петров**, В.П. Мешалкин // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. С. 1-6.

13. Причинно-следственный подход для системного анализа производства листового стекла / Ю.А. Аветисян, В.С. Домнич, **Д.Ю. Петров** // Вестник Саратовского государственного технического университета, 2010. N 4 (50). С. 75-79.

14. Крайнов О.А. Модели анализа качества стекольной шихты на основе искусственных нейронных сетей / О.А. Крайнов, **Д.Ю. Петров**, П.А. Король // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2010. № 4 (50). С. 79-82.

15. **Петров Д.Ю.** Построение автоматизированной системы управления производством шихты / О.А. Крайнов, **Д.Ю. Петров** // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2009. №4 (43). Вып. 2. С. 105-108.

16. **Петров Д. Ю.** Надежность манипуляционных роботов / Д. Ю. Петров // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2007.Т. 3, № 1(26). С. 71-82.

**Публикация в рецензируемом издании по специальности 2.6.14 –  
Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.**

1. **Петров Д.Ю.** Математическое моделирование процесса формования листового стекла как объекта автоматизированного управления // Химическая промышленность сегодня. 2024. № 2. С. 55-64.

**Публикация в прочих изданиях**

1. Применение гибридной цифровой платформы для обработки больших массивов данных химических производств / Н. А. Куцевич, Д. Х. Михайлиди, **Д. Ю. Петров**, А. Г. Бубнов // Российский химический журнал. 2023. Т. 67, № 3. С.77-83.

**Свидетельства о результатах интеллектуальной деятельности**

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023619943 Российская Федерация. Программа для моделирования растекания расплава стекла при его формировании методом флоат-процесса : № 2023618403 : заявл. 28.04.2023 : опубл. 17.05.2023 / Ю.А. Захаров, **Д.Ю. Петров**, В.Ю. Мусатов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.».

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023619944 Российская Федерация. Программа для обучения персонала выполнению штатных операций в различных режимах при варке стекла и его формировании и действиям по устранению нештатных ситуаций и дефектов стекла : №2023618401 : заявл. 28.04.2023 : опубл. 17.05.2023 / В.П. Мешалкин, А.Ф. Резчиков, **Д.Ю. Петров**, В.Ю. Мусатов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.».

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023664748 Российская Федерация. Программная модель системной динамики функционирования многостадийного производства листового

стекла методом флоат-процесса: № 2023663928: заявл. 03.07.2023: опубл. 07.07.2023 / А.А. Большаков, **Д.Ю. Петров**, В.Ю. Мусатов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

4. Патент на полезную модель № 29158 U1 Российская Федерация, МПК G05B 19/43, C02F 1/00, C02F 9/00. Система управления подготовкой котловой воды : № 2003102173/20: заявл. 30.01.2003 : опубл. 27.04.2003 / С.П. Подопригора, В.Н. Федонин, **Д.Ю. Петров**, Д.М. Бекасов.

### **Монография**

1. Системы искусственного интеллекта в мехатронике / А. А. Большаков, М. Б. Бровкова, В. П. Глазков [и др.]. – Саратов : Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., 2014. – 252 с. – ISBN 978-5-7433-2690-7 (личное участие **Петрова Д.Ю.** – раздел 1.4. Мобильные мехатронные комплексы и управление их жизненным циклом).

**Публичные доклады на всероссийских и международных научных мероприятиях (конференциях, съездах, симпозиумах, конгрессах):**

1. Мешалкин В.П. Энергоресурсоэффективные автоматизированные многостадийные производства высококачественного листового стекла с применением цифровых двойников / В.П. Мешалкин, **Д.Ю. Петров** // Международный год стекла в России. Материалы научной конференции – СПб.: АИР. 2022. – 189 с. – ISBN 978-5-906224-14-9 – С. 68-82.

2. Лалыкин Н.В. Стратегия повышения техногенной безопасности на предприятиях с непрерывным производством / Н.В. Лалыкин, А.Ф. Резчиков, **Д.Ю. Петров** // Высокие технологии – путь к прогрессу: Сборник научных трудов – Саратов: «Научная книга», 2003. – ISBN 5-93888-309-1. – С. 133-135.

3. Быков, Р. С. Разработка систем диспетчерского управления и сбора первичной информации для производства стекла / Р. С. Быков, В. П. Мешалкин, **Д. Ю. Петров** // Ресурсо- и энергосберегающие технологии

в химической и нефтехимической промышленности : V Международная конференция Российского химического общества им. Д.И. Менделеева : тезисы докладов, Москва, 29–30 октября 2013 года. – Москва: Общероссийская общественная организация "Российское химическое общество им. Д.И. Менделеева", 2013. С. 62-63.

4. **Петров Д.Ю.** Анализ показателей надежности производства листового стекла // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. 2014. № 8 (67). С. 260-263.

5. Мешалкин, В. П. Архитектура иерархической автоматизированной системы управления многостадийным производством высококачественного конструкционного стекла / В. П. Мешалкин, **Д. Ю. Петров** // Неорганическая химия – фундаментальная основа в материаловедении керамических, стеклообразных и композиционных материалов : материалы научной конференции, Санкт-Петербург, 04–05 марта 2016 года. – Санкт-Петербург: Издательство "Лема", 2016. С. 143-146.

6. **Петров Д. Ю.** Системный анализ функционирования непрерывного производства / Д. Ю. Петров // Математические методы в технологиях и технике. 2021. № 6. С. 113-118. DOI 10.52348/2712-8873\_ММТТ\_2021\_6\_113.

7. **Петров Д. Ю.** Разработка модели состояний жизненного цикла непрерывного производства / Д. Ю. Петров // Компьютерные науки и информационные технологии: Материалы Международной научной конференции, Саратов, 18–20 ноября 2021 года. Саратов: ООО "Издательство "Научная книга", 2021. С. 108-110.

8. **Петров Д. Ю.** Стратегическая карта целей производства листового стекла / Д. Ю. Петров // Математические методы в технологиях и технике. 2022. № 10. С. 133-139. DOI 10.52348/2712-8873\_ММТТ\_2022\_10\_133.

9. **Петров Д. Ю.** Анализ проблем цифровизации непрерывных производств / Д. Ю. Петров // Системный анализ, управление и навигация : Тезисы докладов XXVII научной конференции, Евпатория, 02–09 июля 2023 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Буки Веди",

2023. С. 63-65.

10. **Петров Д. Ю.** Структура комплексной модели изменения режимов функционирования производства листового стекла / Д. Ю. Петров // Математические методы в технологиях и технике. 2023. № 8. С. 82-85. – DOI 10.52348/2712-8873\_ММТТ\_2023\_8\_82.

11. **Петров Д. Ю.** Оптимизация функционирования участка съёма листового стекла // Логистика и экономика ресурсоэнергосбережения в промышленности (МНПК «ЛЭРЭП-6-2012»). Сборник научных трудов по материалам VI Международной научно-практической конференции, 11 – 13 декабря 2012 года / Отв. ред.: А.А. Большаков, В.П. Мешалкин. – Саратов: Саратовский государственный технический университет, 2012. С. 205-207.

12. **Петров Д. Ю.** Структура цифрового двойника предприятия непрерывного производства / Д. Ю. Петров // Математические методы в технологиях и технике. 2023. № 9. С. 102-105. DOI 10.52348/2712-8873\_ММТТ\_2023\_9\_102.

13. **Петров Д.Ю.** Оценка повторяемости позиционирования работа для съёма листов стекла // Математические методы в технологиях и технике. 2025. № 10. С. 67-71.

**По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами в части пунктов:**

п. 2. Автоматизация контроля и испытаний;

п. 4. Теоретические основы и методы моделирования, формализованного описания, оптимального проектирования и управления технологическими процессами и производствами;

п. 7. Теоретические основы и методы моделирования и управления организационно-технологическими системами и киберфизическими производственными комплексами;

п. 12. Методы создания специального математического и программного

обеспечения, пакетов прикладных программ и типовых модулей функциональных и обеспечивающих подсистем АСУТП, АСУП, АСТПП и др., включая управление исполнительными механизмами в реальном времени.

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Диссертация Петрова Дмитрия Юрьевича является завершённой научно-квалификационной работой, содержащей результаты, полученные на основании исследований, проведенных на высоком научном и техническом уровне с применением современных методов. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором, теоретически обоснованы и не вызывают сомнений. Представленные в работе результаты принадлежат Петрову Дмитрию Юрьевичу; они оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью.

С учётом научной зрелости автора, актуальности, научной новизны и практической значимости работы, а также ее соответствия требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», предъявляемым к подобным работам, диссертация на тему: «Методическое и программно-информационное обеспечение автоматизированного управления энергоэффективностью многостадийного производства высококачественного листового стекла» рекомендуется к защите на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Диссертация рассмотрена на заседании кафедры логистики и экономической информатики, состоявшемся «11» марта 2026 года, протокол № 7. В обсуждении приняли участие: заведующая кафедрой к.т.н., доцент Аверина Ю.М.; д.ф.-м.н., профессор Бутусов О.Б.; д.э.н., профессор Карзаева Н.Н.; академик РАН, д.т.н., профессор Мешалкин В.П.; д.т.н., профессор

Челноков В.В.; к.т.н., доцент Манюкова И.И.; к.т.н., доцент Богомолов Б.Б.; к.т.н. Потапов Г.Г.; к.б.н., доцент Приорова Е.М.; к.т.н., доцент Савинков С.В.; профессор кафедры кибернетики химико-технологических процессов, д.т.н., профессор Егоров А.Ф.; профессор кафедры кибернетики химико-технологических процессов, д.т.н., профессор Савицкая Т.В.

Принимало участие в голосовании 12 человек. Результаты голосования: «За» – 12 человек, «Против» – 0 человек, «Воздержались» – 0 человек, протокол №7 от «11» марта 2026 г.

Председатель заседания  
заведующий кафедрой  
логистики и экономической информатики  
к.т.н., доцент



Ю.М. Аверина

Секретарь заседания  
к.т.н., доцент



И.И. Манюкова