

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.332.01,

созданного на базе Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования «Московский
государственный технологический университет «СТАНКИН»

Министерства науки и высшего образования Российской Федерации,

ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 23 июня 2026 г. № 13

О присуждении Лиму Александру Аликовичу, гражданину Республики Узбекистан, ученой степени **кандидата технических наук**.

Диссертация на тему «Повышение эффективности технологических процессов сборки машиностроительных изделий на основе применения инструментов дополненной реальности», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 – «Технология машиностроения» принята к защите 21 апреля 2026 г, протокол № 9, диссертационным советом 24.2.332.01, созданным на базе ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 127055, г. Москва, Вадковский переулок, д. 3а, приказом от 01.04.2013 г. № 156/нк.

Соискатель, Лим Александр Аликович, 1998 года рождения, в 2022 году окончил с отличием федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва, Минобрнауки России по направлению 15.04.01 «Машиностроение» с присвоением квалификации МАГИСТР.

С 2022 года по настоящее время обучается в очной аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва по научной специальности «Технология машиностроения». Справка об обучении в

аспирантуре с указанием сведений о сдаче кандидатских экзаменов выдана в апреле 2026 года ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет».

В период подготовки диссертации соискатель Лим Александр Аликович работает в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет»: ассистентом (с сентября 2022 г. по июнь 2023 г.), преподавателем (с сентября 2023 г. по сентябрь 2025 г.) и старшим преподавателем кафедры кафедры цифровых и аддитивных технологий (с сентября 2025 г. по настоящее время), а также заведующим лаборатории цифровых и аддитивных технологий в машиностроении (с октября 2023 г. по настоящее время).

Диссертация выполнена на кафедре цифровых и аддитивных технологий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва.

Научный руководитель – **Кутин Андрей Анатольевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры цифровых и аддитивных технологий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва.

Официальные оппоненты:

Галиновский Андрей Леонидович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой СМ12 «Технологии ракетно-космического машиностроения» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва,

Семенов Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Инновационное машиностроение» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева», г. Рыбинск, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет», г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном Александровым Алексеем Владимировичем, кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой «Технологии и оборудование машиностроения», и Вартановым Михаилом Владимировичем, доктором технических наук, профессором, профессором кафедры «Технологии и оборудование машиностроения», и утвержденном Наливайко Антоном Юрьевичем, кандидатом технических наук, проректором по научной работе, указала, что диссертационная работа Лима Александра Аликовича «Повышение эффективности технологических процессов сборки машиностроительных изделий на основе применения инструментов дополненной реальности» является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основе выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований решена актуальная научно-техническая задача – повышение эффективности сборочных процессов в мелкосерийном машиностроении за счёт сокращения подготовительно-заключительного и вспомогательного времени на основе формализации процессов посредством динамических гиперграфов и применения инструментов дополненной реальности.

По своему содержанию, научной новизне, объёму выполненных исследований и практической значимости полученных результатов работа полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук (пп. 9–11, 13, 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.), а её автор, Лим Александр Аликович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 – «Технология машиностроения».

Соискатель имеет 12 научных работ (общий объем – 129 с., авторских – 79 с.), из них 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ (общий объем – 51 с., авторских – 34 с.); получено 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ (общий объем – 17 с., авторских – 9 с.).

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. **Лим А.А.**, Кутин А.А., Пирогов В.В. Разработка инструмента дополненной реальности для визуальной поддержки сборочных процессов в машиностроении // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2023. № 10. С. 435-440.

2. **Лим А.А.**, Кудрявцев И.В., Кутин А.А. Разработка инструмента смешанной реальности для реализации процесса сопряжения поверхностей деталей при сборке // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2024. № 7. С. 294-298.

3. **Лим А.А.**, Кутин А.А. Гиперграфовый подход к моделированию сборочных процессов: синтез с нодовыми системами и имплементация в среде смешанной реальности // Вестник МГТУ "СТАНКИН". 2025. № 2(73). С. 80-89.

4. **Лим А.А.** Динамические графы зависимостей для AR-сопровождения сборки FDM экструдеров // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2025. № 5. С. 39-43.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Федеральное государственное автономное учреждение науки Институт конструкторско-технологической информатики Российской академии наук (г. Москва). Отзыв подписал доктор технических наук, профессор Червяков Леонид Михайлович.

2. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (г. Москва). Отзыв подписал кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологий машиностроения Зайцев Александр Вячеславович.

3. Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Республики Крым «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова» (г. Симферополь). Отзыв подписал кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии машиностроения Джемилов Эшреб Шефикович.

4. Акционерное общество «Московский машиностроительный завод «Авангард» (г. Москва). Отзыв подписал кандидат технических наук, главный технолог Караваев Ярослав Сергеевич.

5. Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный ордена Трудового Красного знамени научно-исследовательский автомобильный и

автомоторный институт «НАМИ»» (г. Москва). Отзыв подписал кандидат физико-математических наук, доцент, начальник управления подготовки кадров высшей квалификации и дополнительного профессионального образования Зуев Сергей Михайлович.

6. Акционерное общество «Научно-производственное объединение «Центральный научно-исследовательский институт технологии машиностроения» (г. Москва). Отзыв подписал кандидат технических наук, доцент, научный руководитель по технологии машиностроения Института металлургии и машиностроения Клауч Дмитрий Николаевич.

7. Общество с ограниченной ответственностью «Инстэп» (г. Москва). Отзыв подписал генеральный директор Кругляков Алексей Юрьевич.

Все отзывы положительные, но имеются замечания:

1. Из автореферата не ясно, какие конкретно составляющие вспомогательного времени сборки были сокращены при использовании инструментов дополненной реальности и чем вызвано.

2. В автореферате не приведены типы ошибок (дефектов сборки), допускаемых операторами. Возможно, их число можно уменьшить более простыми организационно-техническими мероприятиями.

3. На стр. 15 автореферата указано, что ускорение процесса обучения составило с трех недель до пяти дней, а в общем выводе № 4, что с 21 (рабочего дня) до 5 рабочих дней, что составляет более 4 недель при 5 дневной рабочей неделе.

4. Заявленная точность позиционирования механизма фантомных объектов (порядка 1 см и 1°) в автореферате не соотнесена с требуемой точностью для конкретных классов сопрягаемых деталей; остаётся неясным, применима ли методика к прецизионной сборке.

5. Приведённые кривые обучения показывают выигрыш для операторов в период освоения, однако не отражено, сохраняется ли эффект AR-сопровождения после полной адаптации высококвалифицированного персонала.

6. Не охарактеризована вычислительная сложность модифицированного алгоритма Краскала для гиперграфов при большом числе компонентов, что важно для оценки применимости метода к сложным многокомпонентным изделиям.

7. Не рассмотрено влияние производственной среды (переменная освещённость, блики, запылённость) на устойчивость распознавания и работу AR-устройства в реальных цеховых условиях;

8. Отсутствуют данные об эргономике и утомляемости оператора при длительном использовании носимого устройства в течение рабочей смены;

9. Не оценена отказоустойчивость системы и порядок действий оператора при сбое AR-сопровождения в середине сборочного цикла.

10. Не рассмотрены вопросы эффективности применения разработанного автором метода к процессам сборки крупных и уникальных изделий типа паровых и газовых турбин, атомных и химических реакторов.

11. Не в полной мере, судя по автореферату, дана оценка ретроспективы решений проблемы повышения производительности сборочных процессов, а также методам и средствам ее разрешения предложенных в работах отечественных и зарубежных исследователей.

12. Не вызывает сомнения теоретическая перспективность изложенных автором решений, однако возможности их масштабирования на иные классы изделий машиностроения в автореферате не приводятся, что снижает потенциал разработки как категории научного исследования.

13. Анализ некоторых предложенных автором моделей с позиций формального представления и соответствующей экспликации не позволяют их однозначно интерпретировать. Например, из автореферата не вполне ясен признак, по которому на основе сборочного чертежа формируется ребро гиперграфа, что, на наш взгляд, определенным образом влияет на структуру самой модели изделия, а следовательно, и на выводы о природе предлагаемого видения сборочного процесса как целостной сущности.

Остальные замечания связаны либо с неточностью формулировок, либо носят редакционный характер (АО «ММЗ «Авангард», ИКТИ РАН).

Выбор официальных оппонентов обосновывается их высоким профессионализмом в области технологии машиностроения и автоматической сборки, научных публикаций в данном направлении исследований, а ведущей организации – способностью оценить научную новизну и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан метод формализации технологического процесса сборки на основе аппарата динамических гиперграфов с адаптивным изменением весовых коэффициентов в зависимости от выявляемых ошибок оператора, а также математическая модель штучно-калькуляционного времени сборки, учитывающая влияние инструмента дополненной реальности на подготовительно-заключительное и вспомогательное время;

предложены технические и технологические решения, направленные на повышение эффективности технологических процессов сборки машиностроительных изделий, – методика применения инструмента дополненной реальности, механизм фантомных объектов для позиционирования деталей и модифицированный алгоритм Краскала для гиперграфов, определяющий рациональную последовательность сборочных операций;

доказано на основе экспериментальных исследований и промышленной апробации, что применение разработанного инструмента дополненной реальности обеспечивает сокращение штучно-калькуляционного времени сборки, снижение числа ошибок оператора и ускорение подготовки персонала.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован аппарат динамических гиперграфов с адаптивными весовыми коэффициентами для формализованного описания технологического процесса сборки и корректировки операций по мере выявления ошибок;

изложены результаты установления временных связей в технологических процессах сборки изделия традиционным способом и с применением инструмента дополненной реальности, а также построения зависимости штучно-калькуляционного времени с учётом коэффициентов сокращения подготовительно-заключительного и вспомогательного времени;

раскрыты на основе экспериментальных исследований взаимосвязи между применением инструмента дополненной реальности, квалификацией оператора и показателями процесса сборки (временем выполнения, числом ошибок,

длительностью обучения), на основе которых получены зависимости, позволяющие оценивать эффект внедрения данного инструмента;

изучено влияние применения инструмента дополненной реальности на составляющие штучно-калькуляционного времени и на динамику освоения сборочных операций операторами различной квалификации;

проведена модернизация экспериментального стенда сборки за счёт его оснащения носимым устройством дополненной реальности Microsoft HoloLens 2 и программными средствами визуального сопровождения оператора.

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

разработаны и внедрены результаты диссертационного исследования на предприятиях ООО «Астрон Билдингс» и ООО «Инновационные технологии и дизайн», что позволило, в частности, сократить среднее время сборки экструдера на 38,4 %, уменьшить количество ошибок на 68,4 % и повысить скорость обучения операторов в 2,3 раза, а также в учебный процесс ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» при подготовке бакалавров по направлению 15.03.01 «Машиностроение» и магистрантов по направлению 15.04.01 «Машиностроение»;

определены рациональные условия применения инструмента дополненной реальности при сборке, обеспечивающие сокращение штучно-калькуляционного времени на 36–40 % за счёт уменьшения подготовительно-заключительного и вспомогательного времени;

создан экспериментальный стенд для сборки машиностроительных изделий с применением инструмента дополненной реальности на базе устройства Microsoft HoloLens 2 и механизма фантомных объектов;

представлены практические рекомендации и методика применения инструментов дополненной реальности при проектировании и реализации технологических процессов сборки машиностроительных изделий, а также программное обеспечение, зарегистрированное в установленном порядке (свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026619244 и № 2026617859).

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ использовано современное оборудование (промышленное устройство дополненной реальности Microsoft HoloLens 2, экспериментальный сборочный стенд), а полученные результаты воспроизводимы при участии операторов различной квалификации и при различных условиях проведения сборки;

теория построена на известных научных положениях технологии машиностроения, теории графов и гиперграфов, дискретной математики, методов топологической сортировки и комбинаторной оптимизации, теории планирования эксперимента и математической статистики;

идея базируется на том, что представление технологического процесса сборки динамическим гиперграфом с адаптивными весовыми коэффициентами и визуальное сопровождение оператора средствами дополненной реальности обеспечивают сокращение трудоёмкости и повышение качества сборки в сравнении с традиционным выполнением операций;

использованы методы теории планирования многофакторного эксперимента, дисперсионного и корреляционного анализа при обработке экспериментальных данных, обеспечившие статистическую значимость полученных зависимостей (коэффициент детерминации $R^2 = 0,894$);

установлено качественное и количественное согласование результатов автора с данными промышленной апробации и с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике.

Личный вклад соискателя состоит в формулировании цели и задач исследования, выборе и обосновании использованных методов и средств исследования, проведении аналитического обзора отечественной и зарубежной научно-технической литературы по теме работы, разработке метода формализации сборочного процесса на основе динамических гиперграфов с адаптивными весовыми коэффициентами, построении математической модели штучно-калькуляционного времени сборки с учётом применения инструмента дополненной реальности, разработке модифицированного алгоритма Краскала для гиперграфов и алгоритма преобразования гиперграфовой структуры в нодовую модель среды визуализации, создании механизма фантомных объектов и программного обеспечения для среды дополненной реальности, создании экспериментального

стенда и непосредственном проведении экспериментальных исследований и промышленной апробации, обработке и анализе полученных данных, формулировке выводов и положений, выносимых на защиту, а также в апробации результатов работы и подготовке публикаций.

В ходе защиты диссертации не были высказаны существенные критические замечания.

Соискатель Лим Александр Аликович ответил на заданные ему в ходе заседания вопросы, привел собственную аргументацию.

На заседании 23 июня 2026 года диссертационный совет принял решение за решение актуальной научно-технической задачи по повышению эффективности технологических процессов сборки машиностроительных изделий на основе формализации сборочных процессов посредством динамических гиперграфов и применения инструментов дополненной реальности, имеющей существенное значение для развития машиностроения, присудить Лиму Александру Аликовичу учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 7 докторов наук по специальности 2.5.6, участвовавших в заседании, из 29 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: «за» – 19, «против» – 1, «недействительных бюллетеней» – 0.

Исполняющий обязанности
председателя

диссертационного совета

Семен Романович Шехтман

Ученый секретарь

диссертационного совета

Екатерина Сергеевна Сотова

«23» июня 2026 г.



Шехтман С.Р.	удостоверяю
Сотова Е.С.	
Исполняющий обязанности Ученый секретарь диссертационного совета ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»	
Котельникова Е.В.	