

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное учреждение науки
**ИНСТИТУТ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАТИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИКИ РАН)**

127055, Москва, а/я 24, ИКИ РАН ИНН 7707056890 тел. (499) 978-49-02, факс (499) 973-12-96

*Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования*
**«Московский государственный
технологический университет «СТАНКИН»**

В диссертационный совет 24.2.332.01

127055, г. Москва, Вадковский пер., д. 1.

О Т З Ы В

на автореферат диссертации

ЛИМА Александра Аликовича

Повышение эффективности технологических процессов сборки
машиностроительных изделий на основе применения инструментов дополненной
реальности,

*представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 2.5.6 «Технология машиностроения»*

Повышение производительности процессов изготовления различного рода изделий по-прежнему остается одной из основополагающих проблем машиностроения. Это особенно становится заметным в условиях мелкосерийного и единичного производств и, в частности, на сборочных операциях, где время, затрачиваемое на вспомогательные операции, порой соизмеримо с основным. В этой связи поиск обоснованных методов сокращения непроизводительных затрат времени на сборочные процессы с использованием современных цифровых технологий в том числе и технологий дополненной реальности (AR - Augmented Reality), представляется достаточно **актуальной** научно-практической задачей.

Для современного цифрового высокотехнологичного машиностроительного комплекса принципиально важно иметь в распоряжении метод, позволяющий адекватно моделировать собственно процесс сборки. Такой подход предопределил и стал основой **теоретической значимости** исследовательской работы, которая заключается в изучении временной взаимообусловленности сборочных процессов и разработке формальной предметно-ориентированной модели этого процесса. Автор

предлагает своеобразный подход к анализу сборочного процесса – по сути рассматривать его с формальной точки зрения аналогично идеям визуального программирования. Разработанные теоретические положения в целом имеют определенную внутреннюю логику и целостность, опираясь на теоретические основы технологии машиностроения и классические методы теории графов.

Следует указать, что предложенные автором решения позволяют проектировать рациональные последовательности сборки изделий машиностроения, что составляет **практическую значимость** исследования.

Корректный выбор известных математических моделей, применение их для формализации сборочных процессов, сведения о экспериментальном тестировании предложенных решений, позволяют сделать вывод о **достоверности и обоснованности** результатов исследования.

Вместе с тем, основываясь на содержании автореферата, возникает ряд вопросов и замечаний:

1. 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;

2. 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;

3. 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;

4. Автореферат недостаточно выверен с точки зрения синтаксического его оформления, что также осложняет восприятие смысла и собственно необходимость в некоторых модельных представлениях.

В тоже время, сказанное не влияет на общее положительное мнение относительно выполненной работы и научной квалификации ее исполнителя, что основано, главным образом, на представленных результатах, публичных выступлениях автора, приведенном составе публикаций, а также на всем комплексе проделанных научно-практических изысканий, которые направлены на развитие перспективного машиностроительного комплекса в формате Индустрия 4.0.

Отмеченное выше и представленное содержание автореферата, позволяет утверждать, что работа актуальна, приведенные научные положения, выводы и рекомендации в целом обоснованы, подтверждена их достоверность и новизна. Это дает основание полагать, что диссертация Лима А.А. «Повышение эффективности технологических процессов сборки машиностроительных изделий на основе применения инструментов дополненной реальности» является завершенной научно-квалифицированной работой, отвечает Положению ВАК «О порядке присуждения ученых степеней» в части требований, предъявляемым к кандидатским диссертациям, соответствует заявленному паспорту научной специальности (2.5.6 – «Технология машиностроения»), а ее автор, *Лим Александр Аликович* заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Я, Червяков Леонид Михайлович, даю согласие на включение моих персональных данных в документах, связанных с работой диссертационного совета.

Институт конструкторско-технологической информатики Российской академии наук (ИКТИ РАН), доктор технических наук, профессор

 Л.М. Червяков
(научная специальность 05.02.08)

«16» мая 2026г.

Контактная информация:

127055, г. Москва, пер. Вадковский, д. 18, стр. 1А
Тел.: +7 (499) 978-49-02
E-mail: ncmu@ikti.ru

Подпись доктора технических наук, профессора Червякова Леонида Михайловича - заверяю.

Ст. науч. сотр. с исполнением
обязанностей ученого секретаря





А.Н. Запольская
канд. социол. наук

«16» мая 2026г.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Лима Александра Аликовича на тему
«Повышение эффективности технологических процессов сборки
машиностроительных изделий на основе применения инструментов
дополненной реальности», представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
2.5.6 – «Технология машиностроения»

Работа Лима А.А. посвящена повышению производительности и качества технологических процессов сборки машиностроительных изделий за счет разработки и практической реализации математической модели процесса сборки с применением инструмента дополненной реальности.

В условиях активных работ по достижению технологического лидерства отечественные предприятия сталкиваются с необходимостью снижения трудоёмкости и затрат в первую очередь на финальных этапах изготовления изделий — технологических процессах сборки. Традиционные процессы сборки не всегда способны обеспечить современный уровень эффективности. Развитие и применение передовых технологий, а именно методов дополненной реальности, позволяет значительно сократить трудоёмкость сборки, в первую очередь — вспомогательного и подготовительно-заключительного времени. А при сборке сложных изделий, характеризующихся длительностью процесса и необходимостью обеспечения высокой точности, технологии дополненной реальности позволяют упростить выполнение сложных задач и уменьшить время обучения персонала. Сказанное показывает, что выбранная тема исследования является актуальной.

Научную новизну работы составляют установленные автором связи времени сборки изделия традиционным способом и с применением инструмента дополненной реальности. Также разработан метод формализации сборочных процессов на основе динамических гиперграфов с адаптивным изменением весовых коэффициентов и математическая модель процесса сборки машиностроительных изделий с применением инструмента дополненной реальности. Результаты исследования могут иметь важное значение для развития теории сборки в машиностроении.

Практический интерес представляет методика применения инструмента дополненной реальности для повышения эффективности технологических процессов сборки машиностроительных изделий. Применение указанной методики на технологическом процессе сборки экструдера FDM-системы позволило сократить трудоёмкость сборки на 38,4% при одновременном

снижении числа ошибок рабочих на 68,4%. При этом, длительность обучения новых рабочих сократилась более чем в 4 раза.

Замечания по работе:

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.

Указанные замечания не влияют на основные результаты работы, которые представляют научную ценность и практическую значимость.

В целом автореферат дает достаточно полное представление о диссертационной работе и соответствует требованиям ВАК РФ. Лим Александр Аликович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 – «Технология машиностроения».

Заведующий кафедрой технологий
машиностроения
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана»,
кандидат технических наук (05.02.08),
доцент



Зайцев
Александр
Вячеславович

05.06.2026

Адрес: 105005, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Басманный, ул.
2-я Бауманская, д. 5, с. 1

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский
университет)»

Тел.: +7 (499) 263 63 91

E-mail.: zaitsevav@bmstu.ru



«ВЕРНО»

СПЕЦИАЛИСТ ПО ПЕРСОНАЛУ
ПОВАЛЯЕВА И.О.

Отдел по организации работы
ЕДИНОЙ ПРИЁМНОЙ
УКСА
МГТУ им. Н.Э. БАУМАНА

В диссертационный совет 24.2.332.01
на базе ФГАОУ ВО «МГТУ
«СТАНКИН»
Ученому секретарю совета
Сотовой Е.С.
127055, г. Москва, ГСП-4,
Вадковский переулок, д. 1

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Лима Александра Аликовича** 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» (технические науки)

Цифровая трансформация машиностроительного производства затрагивает не только станочные, но и ручные сборочные операции, эффективность которых традиционно определяется квалификацией и опытом исполнителя. Снижение зависимости качества и трудоёмкости сборки от человеческого фактора — самостоятельная задача современной технологии машиностроения, особенно острая в единичном и мелкосерийном производстве, где роботизация экономически не оправдана. Предложенное соискателем применение инструментов дополненной реальности нацелено именно на эту задачу, что и определяет актуальность диссертации.

Принципиальным отличием подхода автора является не пассивная демонстрация инструкции, а представление сборочного процесса динамическим гиперграфом, веса которого перестраиваются по мере выявления ошибок оператора. Такое решение, дополненное механизмом фантомных объектов и автоматическим извлечением сборочной информации из 3D-модели изделия, переводит AR-сопровождение из разряда вспомогательных средств в инструмент управления последовательностью операций. Связь конструктивных параметров изделия, режима сборки и итоговых временных показателей формализована через математическую модель штучно-калькуляционного времени, что отличает работу от большинства известных эмпирических исследований в этой области.

Достоверность выводов подтверждается сопоставлением лабораторных данных с результатами промышленной апробации, а также статистической обработкой экспериментов с участием операторов разной квалификации.

Практическая ценность работы не вызывает сомнений. Предложенная методика не привязана к единственному изделию и может быть адаптирована к широкому кругу сборочных операций в приборо-, авиа- и

автомобилестроении, а также использована при подготовке производственного персонала. Существенно, что полученные результаты доведены до программной реализации и нашли применение как в производственных условиях, так и в учебном процессе, что свидетельствует о завершённости исследования и реальной применимости его результатов.

По автореферату имеются следующие замечания:

1. 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.

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

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

Указанные замечания не носят принципиального характера и не снижают общей положительной оценки работы.

В целом диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям «Положением о присуждении ученых степеней», а её автор, Лим Александр Аликович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 — «Технология машиностроения».

Заведующий кафедрой технологии машиностроения,
кандидат технических наук, доцент
(05.03.01 – Процессы механической
обработки, станки и инструменты)



Э.Ш. Джемилов

Почтовый адрес: 295015, Республика Крым, г. Симферополь, пер. Учебный, 8, Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Республики Крым «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова», кафедра технологии машиностроения.
Тел.: +7 (3652) 24-94-95(137) e-mail: tm@kipu-rc.ru

Подпись Джемилова Ошреба Шефиевича удостоверяю:
Ученый секретарь ГБОУ ВО РК
КИПУ имени Февзи Якубова



С.А. Феватов

08.06.2026



ММЗ
АВАНГАРД



АО «КОНЦЕРН ВКО «АЛМАЗ-АНТЕЙ»
АО «МОСКОВСКИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД «АВАНГАРД»
125130, г. Москва, ул. Клары Цеткин д. 33
Тел.: +7 (495) 450-97-55, +7 (495) 450-96-77, Факс: +7 (495) 450-11-47
ИНН/КПП: 7743065177/774550001
ОГРН: 1027743012890, ОКПО: 07512111

В диссертационный совет 24.2.332.01
на базе ФГАОУ ВО «МГТУ
«СТАНКИН»
Ученому секретарю совета
Сотовой Е.С.
127055, г. Москва, ГСП-4,
Вадковский переулок, д. 1

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Лима Александра Аликовича 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»

Сборочные операции остаются одним из главных источников брака и потерь рабочего времени, особенно при частой смене номенклатуры и низкой квалификации персонала, когда каждая ошибка оборачивается переборкой узла и порчей дорогостоящих деталей. Поэтому средства, позволяющие «вести» оператора и предупреждать ошибки в момент их совершения, имеют прямое производственное значение, чем и обусловлена актуальность работы.

Предложена не пассивная система подсказок, а механизм, реагирующий на действия исполнителя: при ошибке приоритет операций пересматривается и сценарий сборки перестраивается. Механизм фантомных объектов показывает положение и ориентацию устанавливаемой детали, а извлечение сборочной информации из 3D-модели снижает трудоёмкость подготовки. Подтверждённые на изделии результаты – сокращение времени сборки и числа ошибок, ускоренная подготовка работников – убедительны и практически значимы.

Достоверность результатов обеспечена корректной постановкой экспериментов с участием операторов различной квалификации и согласованием лабораторных данных с производственной апробацией.

По автореферату имеются следующие замечания:

1. В тексте автореферата встречаются отдельные опечатки и стилистические погрешности, не влияющие на содержание работы;
2. Часть рисунков и графиков автореферата выполнена мелким шрифтом, что затрудняет их восприятие.

Высказанные замечания имеют уточняющий характер и не влияют на положительную оценку работы.

Диссертационная работа отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям «Положением о присуждении ученых степеней», а её автор, Лим Александр Аликович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 – «Технология машиностроения».

Главный технолог АО «ММЗ
«АВАНГАРД», кандидат
технических наук
Караваев Ярослав Сергеевич


_____/Я.С. Караваев/

15.06.2026г.

В диссертационный совет 24.2.332.01
на базе ФГАОУ ВО «МГТУ
«СТАНКИН»
Ученому секретарю совета
Сотовой Е.С.
127055, г. Москва, ГСП-4,
Вадковский переулок, д. 1

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Лима Александра Аликовича 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»

Сборочные операции остаются одним из главных источников брака и потерь рабочего времени, особенно при частой смене номенклатуры и низкой квалификации персонала, когда каждая ошибка оборачивается переборкой узла и порчей дорогостоящих деталей. Поэтому средства, позволяющие «вести» оператора и предупреждать ошибки в момент их совершения, имеют прямое производственное значение, чем и обусловлена актуальность работы.

Предложена не пассивная система подсказок, а механизм, реагирующий на действия исполнителя: при ошибке приоритет операций пересматривается и сценарий сборки перестраивается. Механизм фантомных объектов показывает положение и ориентацию устанавливаемой детали, а извлечение сборочной информации из 3D-модели снижает трудоёмкость подготовки. Подтверждённые на изделии результаты – сокращение времени сборки и числа ошибок, ускоренная подготовка работников – убедительны и практически значимы.

Достоверность результатов обеспечена корректной постановкой экспериментов с участием операторов различной квалификации и согласованием лабораторных данных с производственной апробацией.

По автореферату имеются следующие замечания:

1. не рассмотрено влияние производственной среды (переменная освещённость, блики, запылённость) на устойчивость распознавания и работу AR-устройства в реальных цеховых условиях;
2. отсутствуют данные об эргономике и утомляемости оператора при длительном использовании носимого устройства в течение рабочей смены;
3. не оценена отказоустойчивость системы и порядок действий оператора при сбое AR-сопровождения в середине сборочного цикла.

Высказанные замечания имеют уточняющий характер и не влияют на положительную оценку работы.

Диссертационная работа отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям «Положением о присуждении ученых степеней», а её автор, Лим Александр Аликович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 – «Технология машиностроения».

Начальник управления подготовки кадров
(должность, наименование организации)
всех уровней квалификации и ДПО ГНЦ РЯРГРУП "НАМИ"

ученая степень, ученое звание к.ф.-м.н., профессор

Зуб | Зуб С.М. |
(подпись) (фамилия, инициалы)

« 17 » июня 2026 г.

Адрес: 125438, г. Москва, ул. Автомоторная, д. 2

Тел.: 89153275272 E-mail: sergey.zuev@nami.ru

Подпись ПОДПИСЬ РУКИ
ЗАВЕРЯЮ

заверяю.

Котикова Т.А.
17.06.2026



В диссертационный совет 24.2.332.01
на базе ФГАОУ ВО «МГТУ
«СТАНКИН»
Ученому секретарю совета
Сотовой Е.С.
127055, г. Москва, ГСП-4,
Вадковский переулок, д. 1

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Лима Александра Аликовича 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»

Сборочные операции остаются одним из главных источников брака и потерь рабочего времени, особенно при частой смене номенклатуры и низкой квалификации персонала, когда каждая ошибка оборачивается переборкой узла и порчей дорогостоящих деталей. Поэтому средства, позволяющие «вести» оператора и предупреждать ошибки в момент их совершения, имеют прямое производственное значение, чем и обусловлена актуальность работы.

Предложена не пассивная система подсказок, а механизм, реагирующий на действия исполнителя: при ошибке приоритет операций пересматривается, и сценарий сборки перестраивается. Механизм фантомных объектов показывает положение и ориентацию устанавливаемой детали, а извлечение сборочной информации из 3D-модели снижает трудоёмкость подготовки. Подтверждённые на изделии результаты – сокращение времени сборки и числа ошибок, ускоренная подготовка работников – убедительны и практически значимы.

Достоверность результатов обеспечена корректной постановкой экспериментов с участием операторов различной квалификации и согласованием лабораторных данных с производственной апробацией.

По автореферату имеются следующие замечания:

1. не рассмотрено влияние производственной среды (переменная освещённость, блики, запылённость) на устойчивость распознавания и работу AR-устройства в реальных цеховых условиях;
2. отсутствуют данные об эргономике и утомляемости оператора при длительном использовании носимого устройства в течение рабочей смены;
3. не оценена отказоустойчивость системы и порядок действий оператора при сбое AR-сопровождения в середине сборочного цикла;
4. не рассмотрены вопросы эффективности применения разработанного автором метода к процессам сборки крупных и уникальных изделий типа паровых и газовых турбин, атомных и химических реакторов.

Высказанные замечания имеют уточняющий характер и не влияют на положительную оценку работы.

Диссертационная работа отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.), а её автор, Лим Александр Аликович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 – «Технология машиностроения».

Согласен на включение в аттестационное дело и дальнейшую обработку моих персональных данных, необходимых для процедуры защиты диссертации Лима Александра Аликовича, в соответствии с нормативными документами Правительства РФ, Минобрнауки РФ и ВАК, а также на их

размещение в сети Интернет на сайте ВАК в единой информационной системе.

Научный руководитель по технологии
машиностроения Института
металлургии и машиностроения,
кандидат технических наук
(2.5.6 Технология машиностроения),
доцент

Клауч Дмитрий Николаевич

« 17 » 06 2026 г.



АО «НПО «ЦНИИТМАШ»,
115088 г. Москва, ул. Шарикоподшипниковская, д. 4, к. 1А,
тел: 8 (495) 675-83-05, e-mail: DNKlauch@cniitmash.com

Подпись Клауча Д.Н. заверяю.

Заместитель генерального
директора по управлению
персоналом



Маркова Лариса Викторовна

Исх. № 115 от 19.06.2026 г.

ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации Лима Александра Аликовича 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»**

Современный этап развития машиностроения характеризуется проникновением цифровых технологий в области, традиционно остававшиеся вне автоматизации, – прежде всего ручная сборка сложных изделий. Повышение её производительности и стабильности без дорогостоящего роботизированного оборудования представляет собой значимую задачу, особенно для единичного и мелкосерийного производства. Диссертация А.А. Лима, посвящённая её решению средствами дополненной реальности, отвечает этому направлению и является своевременной.

Сильной стороной работы является сочетание строгого математического аппарата с инженерной направленностью. Соискатель представил сборочный процесс динамическим гиперграфом, веса которого изменяются по ходу выполнения операций, построил на этой основе математическую модель штучно-калькуляционного времени и предложил алгоритм формирования рациональной последовательности сборки. Это позволило перейти от качественных рекомендаций к количественной оценке эффекта от применения дополненной реальности.

Особого внимания заслуживает завершённость исследования: теоретические положения доведены до программной реализации, прошли экспериментальную проверку и подтверждены апробацией на промышленном изделии. Полученные показатели – снижение трудоёмкости и числа ошибок сборки, сокращение сроков подготовки персонала – согласуются с расчётными и свидетельствуют о практической применимости результатов.

Диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям «Положением о присуждении ученых степеней», а её автор, Лим Александр Аликович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 – «Технология машиностроения».

Генеральный директор



А.Ю. Кругляков