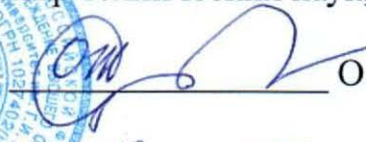


«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной
и инновационной работе

ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»
доктор технических наук, профессор





О.Н. Тулупов

« 18 » 05 2026 г.

ОТЗЫВ

**ведущей организации ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
на диссертационную работу Галкиной Натальи Викторовны
на тему: Совершенствование инструментария обеспечения качества
инжекционного литья изделий из термопластичных полимеров,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических
наук по специальности 2.5.22. Управление качеством продукции.
Стандартизация. Организация производства**

Актуальность проблемы

Высокая конкуренция на рынке полимерных изделий, производимых методом инжекционного литья, требует повышения качества и эффективности процессов. Номенклатура производимых изделий из полимеров методом инжекционного литья достаточно широка: от простой одноразовой упаковки до высокоточных деталей ответственного назначения, в связи с чем сильно варьируются и требования к ним. Это подразумевает обеспечение точного контроля технологических параметров производства, адаптированных под специфику каждой продукции и ожидания потребителей по отношению к ней.

В настоящее время разработка цифровых моделей инжекционного литья играет ключевую роль в обеспечении качества производимой продукции. Они позволяют заранее прогнозировать качество продукции на этапе подготовки производства, моделируя условия протекания технологического процесса в целом и каждой операции в отдельности. Такой подход позволяет определить возможные дефекты до запуска продукции в производство, минимизируя затраты времени, труда и количество прототипов, которые необходимы для оценки возможностей производства. В условиях интенсивного развития техники и технологий цифровые модели позволяют оптимизировать производственные процессы, повышают их предсказуемость и стабильность, а также обеспечивают оперативную корректировку режимов операций. Методы квалиметрической оценки качества на основе этих моделей приобретают особую значимость для эффективной подготов-

Входящий № 206-4663
Дата 25 МАЙ 2026
Самарский университет

ки производства и выпуска изделий в строгом соответствии с требованиями потребителей.

Актуальность диссертации обусловлена необходимостью определять ключевые характеристики качества на этапе конструкторско-технологической подготовки производства изделий методами инъекционного литья в зависимости от потребительских нужд и разрабатывать методы их оценки с использованием имитационного моделирования данного вида производства. Использование такого подхода позволит повысить качество литых изделий.

Оценка содержания и оформления диссертационной работы

Диссертационная работа Н.В. Галкиной изложена на 133 страницах машинописного текста, содержит введение, четыре главы, основные выводы по работе, библиографический список из 90 наименований, имеется 12 приложений на 39 страницах.

В первой главе представлен обзор технологии инъекционного литья и традиционных методов управления качеством отливок, подтверждены ключевые преимущества рассматриваемой технологии (массовость, возможность изготовления изделий сложных форм, низкая себестоимость), а также выявлены ограничения статистических методов на предпроектной стадии. Проанализированы типичные несоответствия в отливках, их причины и зависимости от типа изделия и требований заказчика, что обосновало применение QFD-метода для преобразования требований заказчика в управляемые параметры процесса и конструктивные особенности оснастки. Оценены возможности использования имитационного моделирования (Moldflow, Moldex3D) для диагностики дефектов на этапе подготовки производства с разделением на диагностируемые и недиагностируемые, что подчеркнуло роль использования цифровых двойников для оптимизации.

Во второй главе проведён анализ традиционной практики подготовки производства изделий из термопластичных полимеров методом инъекционного литья, выявлены ее ключевые недостатки: инерционность, высокая стоимость из-за циклических физических итераций и отсутствие диагностики возникающих дефектов в отливке на ранних стадиях жизненного цикла изделия. Разработана функциональная модель процесса и предложена инновационная методика конструкторско-технологической подготовки производства с использованием QFD-метода для преобразования требований заказчика в управляемые параметры процесса и получения интегральных характеристик качества отливки на этапе имитационного моделирования процесса инъекционного литья, CAE-моделирования (Moldex3D) и статистических методов планирования эксперимента (метод Тагучи). Предложенная методика включает шесть основных этапов, начиная от анализа требований до верификации имитационной модели, разработки и утверждения проектной документации, что обеспечивает переход к проактивному управлению качеством получаемых отливок, сокращению сроков и затрат с первого серийного запуска.

В **третьей главе** проведена апробация разработанной методики управления качеством инъекционного литья на примере тонкостенной детали типа «крышка тары». Особое внимание уделено роли системы охлаждения в сокращении времени цикла (на 10–20%) и минимизации дефектов — коробления, остаточных напряжений и неточностей размеров. С помощью QFD-метода определены ключевые характеристики качества (равномерность охлаждения по градиенту температуры, средняя скорость охлаждения, коэффициент искажения формы, неплоскостность, теплосъем каналов), используемые при анализе результатов имитационного моделирования для получения объективной оценки. В CAE-системе Moldex3D выполнено построение, расчет и сравнение двух систем охлаждения при идентичных режимах литья — конформная (зигзагообразная спираль) и традиционная системы охлаждения. Результаты сравнения показали, что конформная система обеспечивает меньшие температурные колебания (10–15°C), равномерную усадку, неплоскостность 0,7 мм (против 1,3 мм), что повышает эффективность на 20%, подтверждая её превосходство. Построенный «Дом качества» (QFD-метод) для преобразования требований потребителя к изделию в управляемые параметры процесса и новые конструктивные решения, а также использование цифрового двойника процесса позволяют прогнозировать дефекты до физического изготовления оснастки.

В **четвёртой главе** представлены результаты апробации разработанной методики на примере нагруженной шестерни, изготовленной в 16-гнёздной пресс-форме. Для обеспечения требуемой точности при изготовлении использовался армирующий закладной элемент, произведённый методом селективного лазерного сплавления. С использованием QFD-метода выделены пять критериев качества: результирующее смещение, максимальные остаточные напряжения по Мизесу, эффект ориентации волокон, объемная усадка, воздушные ловушки. Для оптимизации и минимизации количества виртуальных экспериментов с помощью метода Тагучи был получен план (ортогональный массив L_{12} , 8 факторов на 2 уровнях), который является основанием для имитационного моделирования процесса формообразования в Moldex3D. Для выявления оптимального режима при большом разнонаправленном массиве данных имитационного моделирования использовали серый реляционный анализ. Для подтверждения легитимности использования технологии применения армирующего закладного элемента было проведено сравнение армированной и неармированной шестерен на выбранном оптимальном режиме. Сравнение подтвердило превосходство использования гибридной технологии по точности размеров, минимизации коробления и стабильности геометрии под нагрузкой, что доказывается интегральной оценкой по всем параметрам (армированная — 0,8, неармированная — 0,533).

В **основных выводах** приводятся результаты исследования, соответствующие целям и задачам диссертации.

В **Приложениях** приведены акты, демонстрирующие результаты имитационного моделирования, а также доказывающие внедрение результатов диссертационных исследований в ряде производственных компаний, учебный процесс Самарского университета и научно-исследовательских работах НОЦ ГДИ-29 в рамках исполнения государственного задания в сфере научной деятельности (код проекта FSSS-2024-2017).

Научная новизна исследований и полученных результатов

Теоретическая значимость работы состоит в разработке научно обоснованного подхода для предварительной оценки потребительских свойств изделий, полученных инжекционным литьем, заключающийся в создании ранжированных матриц соответствия между параметрами процесса формообразования и требованиями потребителей, что позволяет определять характеристики качества, а также оптимизировать проектные решения и технологические параметры.

Научную новизну диссертационной работы Н.В. Глакиной имеют следующие результаты исследования:

- разработана ранжированная матрица, связывающая потребительские показатели качества с параметрами формообразования при инжекционном литье, что позволяет научно обосновать приоритетные параметры процесса с учетом назначения изделия, обеспечивая эффективный переход от требований потребителя к технологическим режимам;

- на основе цифровой модели инжекционного литья предложена система показателей качества изделий различного назначения, позволяющих переводить анализ от распределённых полей процесса, полученных в каждой конкретной точке отливки, к количественным метрикам ее качества, что имеет существенное значение для принятия обоснованных решений на этапе подготовки производства;

- разработаны методические принципы многокритериальной оптимизации параметров инжекционного литья по цифровой модели, позволяющие выбрать оптимальные технологические режимы процесса для получения высококачественных изделий с учетом их конструктивных особенностей.

Значимость полученных результатов для практики

Практическую ценность имеют следующие результаты диссертационного исследования:

- проведён всесторонний анализ существующих методов обеспечения качества отливок, получаемых инжекционным литьем, позволивший определить фрагментарность CAE-моделирования, отсутствие приемов интеграции цифровых двойников в конструкторско-технологическую подготовку производства, а также недостаточную степень использования комплексных квалиметрических оценок на основе виртуального моделирования, что явилось обоснованием необходимости разработки единого научно

обоснованного подхода, объединяющего существующие методы оценки качества и практику проектирования технологических процессов;

- разработан регламент подготовки производства для получения изделий методом инъекционного литья, включающий этап цифрового моделирования процесса литья и контроль качества отливок на цифровых моделях с использованием параметров качества, научно обоснованных на основе анализа требований потребителей к изделиям;

- разработана и успешно протестирована инновационная методика количественного сравнительного анализа эффективности систем охлаждения пресс-форм для инъекционного литья полимерных материалов, позволяющая определить практическую целесообразность применения существующих конструкций системы охлаждения для получения качественных отливок;

- создана цифровая модель процесса инъекционного литья шестерни из полимерных композиционных материалов, использование которой позволяет установить технологические особенности инъекционного литья изделий сложной формы, обеспечивающие высокую точность отливок благодаря применению закладных армирующих элементов, которые предотвращают объемную усадку получаемых отливок;

- разработана и внедрена методика конструкторско-технологической подготовки производства полимерных изделий методом инъекционного литья, состоящая из этапов CAE-моделирования, планирования Тагучи и серого реляционного анализа, что позволяет заменить физические итерации виртуальными. Это исключает 2–3 доводки пресс-форм, сокращая трудоёмкость на 15% и время вывода готовых изделий на рынок.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Решение поставленных в диссертационной работе задач осуществлялось с применением аналитических методов и имитационного моделирования. В качестве инструментария для выполнения CAE-анализа использовался программный пакет Moldex3D.

Все основные положения, выносимые на защиту, являются обоснованными. Это подтверждается соответствием математической модели имитационного моделирования инъекционного литья сравнением с результатами экспериментальных исследований. Достоверность, обоснованность и представительность результатов работы обеспечивается применением общепринятых методов аналитических исследований, существующих методик определения качества изделий, применением сертифицированных программных комплексов.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные положения, выводы и рекомендации, представленные в диссертации, носят обоснованный характер. Подтверждением этому является

подробный обзор особенностей обеспечения качества литых изделий, получаемых методом инжекционного литья, на этапе конструкторско-технологической подготовки производства, корректное использование теории квалиметрии, математического и вероятностно-статистического аппарата для обработки количественных результатов исследований. Теоретические исследования проводились с использованием методов оптимизации и дисперсионного анализа.

Достоверность научных положений, результатов и выводов проведенных исследований подтверждается публикациями в рецензируемых научных изданиях и обсуждением основных положений и выводов исследования в рамках всероссийских и международных научно-технических конференций.

Результаты диссертационной работы внедрены в ООО «Внедренческая фирма «Пладеп» (г. Самара), АО «Криогенмаш» (г. Балашиха) и в ООО «ЮМЗ» (г. Кувандык), что подтверждено соответствующими актами внедрения. Также материалы диссертационной работы нашли применение в учебном процессе ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» и были использованы при выполнении государственного задания по проекту №FSSS-2024-0017.

Подтверждение опубликованных основных результатов диссертации в научной печати

Основные результаты диссертационной работы докладывались на следующих конференциях: Международная научно-техническая конференция имени Н.Д. Кузнецова «Перспективы развития двигателестроения» (г. Самара, 2023 г. и 2025 г.), Всероссийский научно-технический форум по двигателям и энергетическим установкам имени Н.Д. Кузнецова (г. Самара, 2022 и 2024 г.).

Диссертация и автореферат написаны технически грамотным языком. Содержание автореферата отражает основные положения и выводы диссертации.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Полученные в диссертационной работе результаты отражают современный уровень исследований в области управления качеством продукции и имеют практическую значимость для предприятий с различным типом организационной модели для эффективного внедрения метода инжекционного литья для получения полимерных изделий различного назначения.

Результаты диссертационных исследований рекомендуются к внедрению на предприятиях, производящих изделия из полимеров, а именно ООО «СПБПЛАСТ» (г. Санкт-Петербург), МетроПласт Инжиниринг (МПИ) (г. Москва), ООО «Пластмасса-Пермь» (г. Пермь), ООО «Интекрон» (г. Йошкар-Ола) и др., а также предложенные решения могут быть полезны научно-исследовательским институтам и проектным организаци-

ям, которые специализируются на разработке технологических процессов производства полимерных изделий различными методами.

Соответствие паспорту специальности

Тема и содержание диссертации соответствуют следующим пунктам паспорта специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства: п.5. Методы оценки качества объектов, стандартизации и процессов управления качеством; п.9. Разработка и совершенствование научных инструментов оценки, мониторинга и прогнозирования качества продукции и процессов; п.13. Научные основы цифровых, автоматизированных комплексных систем управления производством и качеством работ на базе технических регламентов и стандартов.

Замечания

1. В диссертации не приведены данные о сравнении результатов имитационного моделирования процесса инъекционного литья с натурными экспериментами для подтверждения адекватности предложенных цифровых моделей.

2. В Главе 2 на рисунке 2.4 (стр. 69) приведена модернизированная методика технологической подготовки производства изделий из полимерных материалов. Схема имеет вид последовательно осуществляемых этапов. Однако, не представлен вариант развития событий, если на каком-либо этапе не будет достигнут желаемый результат.

3. Автором предложен подход к интерпретации результатов численного моделирования инъекционного литья: посредством анализа полевых характеристик процесса в объеме отливки (таких как распределение температуры, напряжений и других теплофизических параметров) формируются обобщённые интегральные показатели качества процесса. Для этого выводятся соответствующие зависимости. Вместе с тем, эти зависимости являются специфическими только для определённого узкого класса изделий и при отсутствии дополнительной экспериментальной или теоретической валидации не могут быть широко распространены на другие виды продукции, что ограничивает область их применения. Для расширения границ применения и определения их надёжности необходимо разработать и подтвердить методику такой валидации, которая в диссертации отсутствует.

4. В Главе 3 п. 3.1 представлен математический аппарат, обосновывающий выбор критериев оценки качества инъекционного литья и эффективности системы охлаждения пресс-формы. Однако, не совсем понятно, каким образом в разработанной модели учитываются свойства полимерного материала и их изменение в процессе охлаждения.

5. В Главе 4 п. 4.1 приведены результаты теоретических исследований с использованием планирования эксперимента. В диссертации не обоснованы значения уровней управляемых и дестабилизирующих параметров процесса инъекционного литья, представленные в таблице 4.2 (стр. 107 текста диссертации).

6. В диссертации отсутствуют конкретные показатели экономической эффективности (расчет снижения брака, экономия ресурсов, сокращение времени цикла) разработанных технических решений.

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным
Положением о присуждении ученых степеней**

В результате проведенного Н.В. Галкиной исследования была решена актуальная научно-техническая задача повышения качества изделий из полимерных материалов, получаемых методом инжекционного литья, за счет совершенствования этапа подготовки производства на основе цифрового моделирования процесса литья и расчета показателей качества получаемых отливок с использованием ранжированных матриц потребительских требований к изделиям. Дальнейшее направление исследований связано с адаптацией и применением полученных научных результатов для изделий различной номенклатуры для обеспечения необходимых функциональных свойств.

Диссертация написана технически и научно грамотным языком, все ее главы логично связаны между собой, новые научные результаты и положения доказаны и научно обоснованы. Автореферат диссертации и публикации автора отражают основные выводы и результаты работы.

По значимости поставленных и решенных задач диссертационная работа Н.В. Галкиной является законченной научно-квалификационной работой, в которой разработаны новые технические решения по обеспечению качества отливок, получаемых инжекционным литьем, на основе взаимобусловленности потребительских показателей качества и параметров формообразования, внедрение которых имеет существенное значение для получения высокоточных изделий различного назначения.

Диссертация «Совершенствование инструментария обеспечения качества инжекционного литья изделий из термопластичных полимеров» по своему содержанию, объему, актуальности, научной и практической значимости полностью соответствует критериям пп. 9-11 и п. 14 «Положение о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Галкина Наталья Викторовна - заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства.

Отзыв подготовлен доктором технических наук, профессором кафедры Обработки материалов давлением имени М.И. Бояршинова МГТУ им. Г.И. Носова Поляковой Мариной Андреевной.

Диссертация, автореферат и отзыв рассмотрены и одобрены на расширенном заседании кафедры Обработки материалов давлением имени М.И. Бояршинова федерального государственного бюджетного образовательного

учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

Результаты голосования: За – 26 человек, против – нет, воздержались – нет.
Протокол заседания кафедры № 10 от 06 мая 2026 г.

Отзыв составлен:

Заведующий кафедрой Обработки материалов давлением имени М.И. Бояршинова, д-р техн. наук, проф.



А.Б. Моллер

(докторская диссертация защищена по специальности 05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции)

Ученый секретарь кафедры Обработки материалов давлением имени М.И. Бояршинова
д-р техн. наук, доц.



Д.Н. Чикишев

(докторская диссертация защищена по специальности 05.16.05 – Обработка металлов давлением)

Профессор кафедры Обработки материалов давлением имени М.И. Бояршинова, д-р техн. наук, доц.



Э.М. Голубчик

(докторская диссертация защищена по специальности 05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции)

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Адрес: Россия, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.

телефон: +7 (800) 100-1934

E-mail: mgtu@mgtu.ru

Web-сайт: <https://www.mgtu.ru>



ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ

Начальник отдела делопроизводства
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»



Д.Г. Семенова