

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Доктора технических наук **Одинокова Сергея Анатольевича**

на диссертационную работу **Галкиной Натальи Викторовны** «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 (технические науки)**

### Актуальность темы диссертации

Высокая конкуренция на рынке изделий из полимеров, изготавливаемых методом инжекционного литья, требует повышения качества получаемых изделий и эффективности производственных процессов. Номенклатура таких изделий варьируется от одноразовой упаковки до высокоточных деталей, поэтому требования к ним сильно различаются и требуют точного контроля технологических параметров, адаптированных под специфику продукции и ожидания потребителей.

Ключевым инструментом повышения качества на этапе конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП) – цифровые двойники процесса формообразования. Они позволяют прогнозировать качество на ранней стадии, выявлять возможные дефекты (усадку, коробление, недоливы) до изготовления физической оснастки, сокращать число дорогостоящих итераций изготовления и доработки опытных отливок и ускорять вывод изделий на рынок. При этом CAE-анализ даёт детальную картину процессов заполнения, охлаждения и выталкивания, но сам по себе не обеспечивает комплексной оценки качества отливки, поэтому необходимы методы верификации моделей и квалиметрические критерии для сопоставления прогнозов с экспериментом.

Актуальность диссертационного исследования определяется необходимостью разработать методику определения ключевых характеристик качества на этапе КТПП и методы их количественной оценки на основе имитационного моделирования. Интеграция цифровых двойников и методов их квалиметрической оценки качества в регламент КТПП позволит повысить предсказуемость, стабильность и экономичность производства литьевых полимерных изделий, снизив затраты времени, труда и количество изготовленных прототипов.

Входящий № **206-5079**  
Дата **09 ИЮН 2026**  
Самарский университет

### **Научная новизна диссертационной работы**

Научная новизна диссертационной работы связана с постановкой цели и задач исследования, содержит научные результаты в области управления качеством и включает следующие положения.

Методика оценки качества отливок при инъекционном литье, которая включает QFD-метод для построения ранжированной матрицы, служащей для связи потребительских свойств изделия с техническими параметрами процесса литья; выступающие в качестве целевых переменных при оптимизации с использованием имитационного моделирования.

Методика формирования интегральных характеристик качества изделий по цифровой модели инъекционного литья, позволяющая учитывать специфику потребительских свойств литых деталей.

Инструментарий многокритериальной оптимизации параметров инъекционного литья на базе имитационного моделирования, включающий методы статистического планирования экспериментов (Тагучи) и серого реляционного анализа, где в качестве критериев целевой функции используются интегральные показатели качества технологического процесса.

Модернизированная методика конструкторско-технологической подготовки производства полимерных изделий, полученных методом инъекционного литья, которая включает оптимизацию конструкции пресс-форм и технологических режимов на основе цифрового моделирования с учётом специфики потребительских свойств продукции.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов, сформулированных в диссертации**

Достоверность и обоснованность выводов и рекомендаций, представленных в диссертации, подтверждена теоретическими и практическими результатами внедрения. Теоретические исследования базируются на широком списке литературных источников, а также подтверждаются практическим применением. Выводы, представленные в диссертационной работе, основаны на проверенных методах и подтверждаются проверкой выдвинутых положений на практике.

Результаты исследований докладывались и были одобрены на научно-практических конференциях и опубликованы в научных изданиях, рекомендованных ВАК.

## **Значимость результатов, полученных в диссертации**

Научная ценность работы заключается в развитии инструментария совершенствования управления качеством изделий, полученных методом инъекционного литья, за счет использования имитационного моделирования и интегральных характеристик качества, учитывающих специфику потребительских свойств.

Предложенные научно-технические решения были реализованы на практике в ООО «Внедренческая фирма "Пладеп"» и ООО «ЮМЗ», что подтверждается актами внедрения. Использование результатов диссертационного исследования на практике ООО «Внедренческая фирма "Пладеп"» позволило сократить трудоемкость КТПП в среднем на 15%.

## **Оценка содержания диссертации и ее оформления**

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 90 наименований, 12 приложений. Работа изложена на 173 страницах, содержащих 46 рисунков и 15 таблиц.

Во введении приведена актуальность темы, сформулированы объект, предмет и методы исследований, приведены основные положения, выносимые на защиту. Отмечена новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

Первая глава посвящена описанию объекта исследования – процессу изготовления изделия методом инъекционного литья. Особое внимание уделено теоретическому анализу современного состояния управления качеством при подготовке производства изделий. Рассмотрены традиционные подходы к обеспечению качества отливок, приведены их недостатки, а также варианты современного преактивного подхода. Основным инструментом для прогнозирования возможных дефектов на этапе подготовки производства выбрана технология цифровых двойников. Однако отмечается отсутствие единого подхода к интерпретации результатов CAE-анализа, а также обоснована необходимость разработки квалиметрических критериев интегральной оценки качества отливки, поскольку имитационное моделирование даёт распределённые (полевые) значения параметров.

Во второй главе рассмотрена существующая практика конструкторско-технологической подготовки производства и выявлены её основные недостатки. Главным из них является цикличность процесса, выражающаяся в многочисленных итерациях доработки сначала одногнёздных, затем многогнёздных

пресс-форм. Это приводит к значительному росту затрат на изготовление и доработку оснастки и увеличению времени выхода изделия на рынок. В качестве решения автор предлагает усовершенствованную методику с включением этапа имитационного моделирования формообразования. Существенные особенности предложенного подхода: перевод требований потребителя в управляемые технологические параметры и конструктивные решения оснастки с использованием QFD-метода, а также введение квалиметрических показателей качества для количественной оценки результатов CAE-анализа.

В третьей главе приведены результаты отработки предложенной методики управления качеством на примере тонкостенной детали типа «Крышка тары». Установлено, что система охлаждения играет важную роль в сокращении времени производственного цикла и достижении требуемой точности получаемых отливок. В работе рассматриваются два типа системы охлаждения: традиционная сверлильная система и конформная система, изготовленная аддитивными методами. С помощью QFD-метода были выделены основные показатели качества литья для тонкостенной детали: однородность температуры при охлаждении, средняя скорость охлаждения, коэффициент деформации отливки и её неплоскостность. Дополнительно сравнивалась эффективность охлаждения по каждому каналу отдельно с учётом интенсивности теплообмена. По результатам сравнения установлено, что конформная система имеет более равномерное распределение температуры, тогда как традиционная демонстрирует значительные перепады (колебания до 25 градусов). Оценка гистограмма смещений для конформной системы методом Box plot показала меньшую область разброса значений, а также минимальное среднее значение, её форма близка к плавной параболической форме без провалов. Это позволяет сделать вывод о равномерности усадки. В противовес этому гистограмма для традиционной системы неравномерна и содержит провалы, свидетельствующие о зональной усадке. Максимальная неплоскостность при использовании конформного охлаждения почти в два раза ниже, чем при традиционном. Следовательно, конформная система охлаждения признана наиболее эффективной для обеспечения высокой точности и минимального коробления тонкостенных полимерных деталей.

В четвёртой главе описаны результаты отработки разработанной методики управления качеством на примере детали «шестерня». В работе делается упор на использование гибридной технологии для повышения точности и увеличению прочности получаемой отливки, которая состоит в использовании армирующего закладного элемента. На основании QFD-метода выделены восемь управляемых технологических факторов и

определены пять ключевых характеристик качества для сравнения результатов САЕ-моделирования. Для минимизации количества экспериментов в методике предложено использование статистического планирования (метод Тагучи). Поскольку пять выбранных ключевых характеристик для оценки результатов имитационного моделирования имеют разнонаправленный характер, то задача оптимизации становится многокритериальной. Для ее решения в разработанной методике предлагается использовать серый реляционный анализ. По его результатам рассчитаны интегральные оценки для каждого варианта эксперимента и выявлен оптимальный набор параметров (эксперимент №4). Для проверки эффективности гибридной технологии проведено сравнение армированной (с закладным элементом) и неармированной шестерен при работе на оптимальном режиме. Сопоставление интегральных оценок показало, что наличие закладного элемента существенно повышает точность размеров и стабилизирует геометрию изделия.

В заключении приведены основные результаты и выводы по диссертационной работы.

Основные результаты демонстрируют высокое качество выполнения диссертационной работы. Оформление диссертации соответствует предъявляемым требованиям к кандидатским диссертациям.

#### **Оценка степени завершенности диссертации, соответствия публикаций, автореферата основным положениям диссертации**

Представленная диссертационная работа Галкиной Н.В. является завершенной научно-квалификационной работой. Основные положения диссертационного исследования опубликованы в 4 научных работах, из которых 3 статьи опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК России. Материалы исследований доложены и одобрены на научно-практических конференциях. В опубликованных работах изложены основные результаты, как теоретических исследований, так и практического применения.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации, дает целостное представление о диссертационном исследовании.

#### **Соответствие содержания диссертационной работы паспорту специальности**

Области исследований рассматриваемой диссертационной работы соответствуют паспорту специальности 2.5.22 «Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства» по следующим пунктам:

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 и вопросы по диссертационной работе**

1. На рисунке 1.3 диссертации автор использует два вида зависимостей, обозначенные пунктирными и сплошными стрелками, без объяснения их отличия. Чем, в частности, отличаются зависимости, идущие от Требований к качеству литых изделий к Требованиям к конструкции изделий и Требованиям к материалу?

2. В основе работы заложен Дом качества, определяющий связь между требованиями к продукции и требованиями к характеристикам процесса. При этом автор использует для исследования два изделия: шестерни и тару. Насколько могут поменяться ход и результаты работы, если мы возьмем другие изделия, соответственно с другими требованиями заказчиков, что в свою очередь, отразится на построении Дома качества?

3. На рисунке 2.4 представлена модернизированная методика технологической подготовки. Хотелось бы уточнить, что именно автор понимает под индикаторами качества и почему их разработка осуществляется только перед виртуальным экспериментом по получению ключевых характеристик качества, а не ранее, например, перед подбором технологических режимов?

4. В диссертации имеются различные рисунки, имеющие одинаковые подрисуночные надписи, например, рисунки 3.9 и 3.14, а также рисунки 3.10 и 3.15.

5. Насколько выгодным оказался переход от гистограмм к диаграмме Box plot, если автора интересовало, в первую очередь, максимальное значение?

Отмеченные замечания не снижают значимости рассматриваемой диссертации Галкиной Н.В., выполненной на высоком научно-техническом уровне.

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

Диссертация Галкиной Натальи Викторовны является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком уровне. Полученные результаты полностью соответствуют целям и задачам исследования.

Диссертационная работа «Совершенствование инструментария обеспечения качества инъекционного литья изделий из термопластичных полимеров» соответствует требованиям, 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.

Официальный оппонент

доктор технических наук, доцент,  
профессор Образовательного центра  
Института №11, МАИ



ОДИНОКОВ Сергей  
Анатольевич

Подпись д.т.н., доцента, профессора Образовательного центра Института №11  
Одинокова С.А. заверяю:

Директор института №11 «Новые материалы  
и производственные технологии», МАИ  
к.т.н., доцент



А.В. Беспалов

Одиноков Сергей Анатольевич, докторская диссертация защищена по специальности 2.5.22 Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «ФГАОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», г. Москва»

125993, г. Москва, ул. Оршанская, д. 3, корп. «А», ауд.. 522

E-mail: mai@mai.ru

Телефон: +7 499 158-92-09