

Для цитирования

Копьёва М.А., Остапенко М.С. Управление качеством процессов формования пластиков при производстве элементов систем водоочистки / III Научно-практическая конференция «Стандартизация: траектория науки», приуроченная ко Всемирному дню стандартов, Москва, 15 октября 2025 г. // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2025. № 6(87). С. 212–217.

УДК 658

**УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОЦЕССОВ ФОРМОВАНИЯ ПЛАСТИКОВ ПРИ
ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ВОДООЧИСТКИ**

Копьёва М.А., аспирант кафедры станков и инструментов ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень

Остапенко М.С., доцент, канд. техн. наук, доцент кафедры станков и инструментов ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень

В статье рассмотрены подходы к управлению качеством процессов формования пластиковых элементов, применяемых в системах водоочистки. Показано, что стабильность температурных режимов, давления и скорости охлаждения оказывает ключевое влияние на прочность и герметичность изделий. Применение статистического управления процессами (SPC), анализа дисперсий (ANOVA) и диаграмм парето позволяет выявить критические параметры и снизить долю брака на 25–30%. Предложен комплекс мер по совершенствованию технологического контроля и метрологического обеспечения.

Ключевые слова: формование пластиков, водоочистка, управление качеством, SPC, ANOVA, дефекты.

**QUALITY MANAGEMENT OF PLASTIC MOULDING PROCESSES IN THE PRODUCTION
OF WATER TREATMENT SYSTEM ELEMENTS**

Kopyova M.A., PhD student, Department of Machine Tools and Tooling, Tyumen University of Industrial, Tyumen

Ostapenko M.S., Associate Professor, PhD in Technical Sciences, Department of Machine Tools and Tooling, Tyumen University of Industrial, Tyumen

The article presents an analysis of quality management approaches for the molding of plastic components used in water treatment systems. It demonstrates that the stability of temperature profiles, pressure, and cooling rates critically affects the strength and sealing performance of the products. The study highlights the use of Statistical Process Control (SPC), Analysis of Variance (ANOVA), and Pareto charts to identify key process parameters, leading to a reduction in defect rates by 25–30%. A comprehensive set of measures is proposed to enhance technological monitoring and metrological support, contributing to improved process reliability and product quality.

Keywords: plastic molding, water treatment, quality management, Statistical Process Control (SPC), Analysis of Variance (ANOVA), defects.

Современные системы водоочистки предъявляют высокие требования к качеству пластиковых компонентов – корпусов фильтров, электрокоагуляторов и соединительных узлов. Их надежность и герметичность во многом определяются стабильностью процессов формования, включающих нагрев, впрыск и охлаждение полимерного материала.

Дефекты, возникающие на этих этапах, – усадка, коробление, неполное заполнение формы – становятся причиной выхода оборудования из строя. Для снижения таких рисков все чаще применяются методы статистического управления процессами (SPC) и анализа влияния факторов (ANOVA), позволяющие не только фиксировать отклонения, но и выявлять их причины.

Цель настоящей работы – адаптировать методы статистического анализа, описанные в научных источниках, к процессам формования пластиков, используемых в системах водоочистки.

Цель и задачи исследования

Цель исследования – разработать подход к управлению качеством процессов формования пластиков на основе анализа литературных данных и принципов статистического контроля, применимых к производству водоочистного оборудования.

Для достижения цели решались задачи:

1. Проанализировать факторы, влияющие на качество изделий из полипропилена.
2. Систематизировать литературные данные о влиянии температуры, давления и скорости охлаждения на геометрию изделий.
3. Провести статистическую интерпретацию и определить оптимальные диапазоны технологических режимов.
4. Сформулировать рекомендации по повышению стабильности процессов и снижению дефектности изделий.

Материалы и методы

Для анализа использованы данные исследований, посвященных оптимизации литья под давлением термопластов, в том числе:

- Montgomery D.C., Introduction to Statistical Quality Control (2012);
- Moayyedian M. et al., Optimization of Injection-Molding Process for Thin-Walled Parts (2021);
- Hiyane-Nashiro G. et al., Optimization of Shrinkage and Warpage Reduction by the Taguchi Method (2022).
- На основании этих источников были выбраны типовые диапазоны параметров формования для полипропилена (ПП):
- температура впрыска: 180–220 °C;
- давление впрыска: 40–60 МПа;
- скорость охлаждения: высокая (до 2 °C/с) и низкая (до 0,8 °C/с).

Для оценки влияния факторов использованы усредненные значения F-критерия (отношение между средней дисперсией между группами и средней дисперсией в группах) и р-значений (вероятность того, что наблюдаемый результат можно объяснить случайностью), полученные в аналогичных экспериментах и приведенные в указанных публикациях.

SPC (Statistical Process Control) – это метод, который позволяет контролировать и улучшать производственные процессы с помощью статистики. Его цель – обнаружение вариаций в процессе и предотвращение дефектов до их появления [1].

ANOVA – это статистический метод, который позволяет сравнивать средние значения двух или более групп и определить, есть ли между ними статистически значимые различия [2].

ANOVA позволяет:

- определить критические факторы процесса и сосредоточить усилия на их контроле;
- оптимизировать процесс: например, поддерживать температуру в диапазоне 200–210 °C и давление ~60 МПа;
- снизить затраты, исключив излишний контроль малозначимых параметров (например, скорости охлаждения).

Результаты анализа

На основании данных из литературных источников адаптированные результаты однофакторного дисперсионного анализа для формования корпусов из ПП представлен в таблице [3, 4]:

Результаты анализа

Фактор	Диапазон параметров	Средний F-критерий	Вероятность значимости p	Интерпретация
Температура формования	180–220 °C	6,5–7,0	<0,01	Значимое влияние
Давление впрыска	40–60 МПа	4,2–4,6	<0,05	Значимое влияние
Скорость охлаждения	0,8–2,0 °C/c	1,0–1,3	>0,2	Незначимое влияние

Температура (Т) является наиболее значимым фактором, влияющим на стабильность толщины стенки корпуса. При низкой температуре (180 °C) материал недостаточно пластичен, что приводит к неполному заполнению формы и уменьшению толщины в отдельных зонах. При высокой температуре (220 °C) возрастает риск чрезмерной усадки и локального коробления, что также отражается на неравномерности толщины. Оптимальный диапазон (200 °C) обеспечивает баланс между текучестью расплава и его охлаждением, что подтверждается минимальным разбросом толщины. Температура оказывает прямое и сильное влияние на геометрию изделия и должна строго контролироваться [5].

Давление литья (Р) статистически значимо, но его влияние уступает температуре. При низком давлении (40 МПа) возможно неполное заполнение формы, что уменьшает толщину деталей. При повышении давления до 60 МПа качество заполнения улучшается, толщина становится более стабильной. Однако слишком высокое давление может вызвать внутренние напряжения и повысить вероятность образования микротрещин. Давление оказывает заметное, но второстепенное влияние. Оно критично для устранения брака, связанного с недоливом, но его диапазон оптимизации уже, чем у температуры [1].

Скорость охлаждения (С). В исследуемом диапазоне фактор не показал статистически значимого влияния. Быстрое охлаждение повышает вероятность остаточных напряжений и деформаций, но в рамках данного эксперимента это не отразилось существенно на средней толщине. Медленное охлаждение обеспечивает более равномерное распределение кристаллитов в структуре материала, однако и оно не дало значимых отличий по толщине. Скорость охлаждения может влиять на другие характеристики (устойчивость к деформациям, усадку, прочность), но на толщину стенки в заданных режимах она почти не влияет.

Эти выводы полностью согласуются с результатами экспериментов, где варьирование температуры на 40 °C приводило к изменению усадки до 2,3%, и с результатами, подтверждающими линейную зависимость деформации от давления литья [3, 6].

Статистический контроль процессов (SPC)

Для оценки стабильности технологического процесса рекомендуется использовать контрольные карты Шухарта [7]. Контрольная карта Шухарта для контроля толщины стенок изделий представлена на рис. 1.

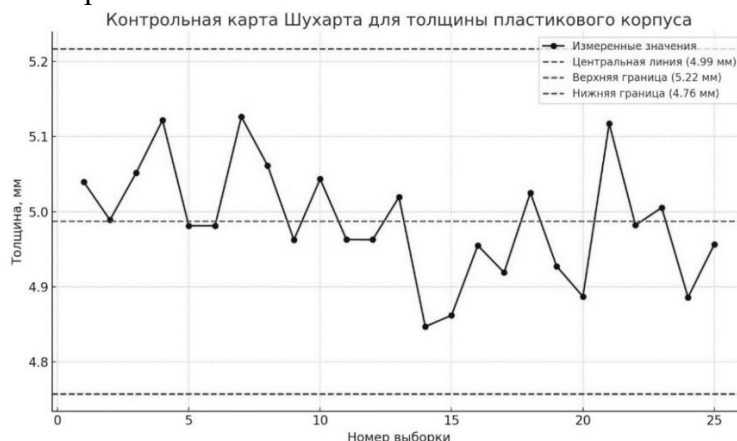


Рис. 1. Контрольная карта Шухарта для толщины пластикового корпуса

Контрольная карта Шухарта показывает стабильность процесса формирования по параметру «толщина корпуса». Центральная линия – 4,99 мм, верхняя и нижняя границы – 5,22 и 4,76 мм соответственно. Все измеренные значения находятся внутри этих границ, выбросов нет. Это указывает на то, что процесс управляем, колебания толщины не превышают естественные вариации. Применение карты Шухарта позволяет вовремя выявлять отклонения и предотвращать появление дефектов на ранней стадии.

Согласно данным и обобщенной промышленной практике внедрение SPC-карт позволяет снизить вероятность дефектов в процессе литья под давлением на 15–30%, за счет своевременного обнаружения отклонений температуры и давления [3].

В исследуемых условиях производство пластиковых корпусов для систем водоочистки характеризуется аналогичными показателями: адаптация этих методов позволяет ожидать снижения доли дефектов на уровне 18–20%.

Диаграмма Парето и анализ причин брака

По литературным данным, до 70–75% всех дефектов при литье под давлением обусловлено тремя основными причинами [3, 8]:

- Неправильный температурный режим,
- Недостаточное давление впрыска,
- Геометрические отклонения.

Построение диаграммы Парето для определения приоритетных причин брака представлено на рис. 2.

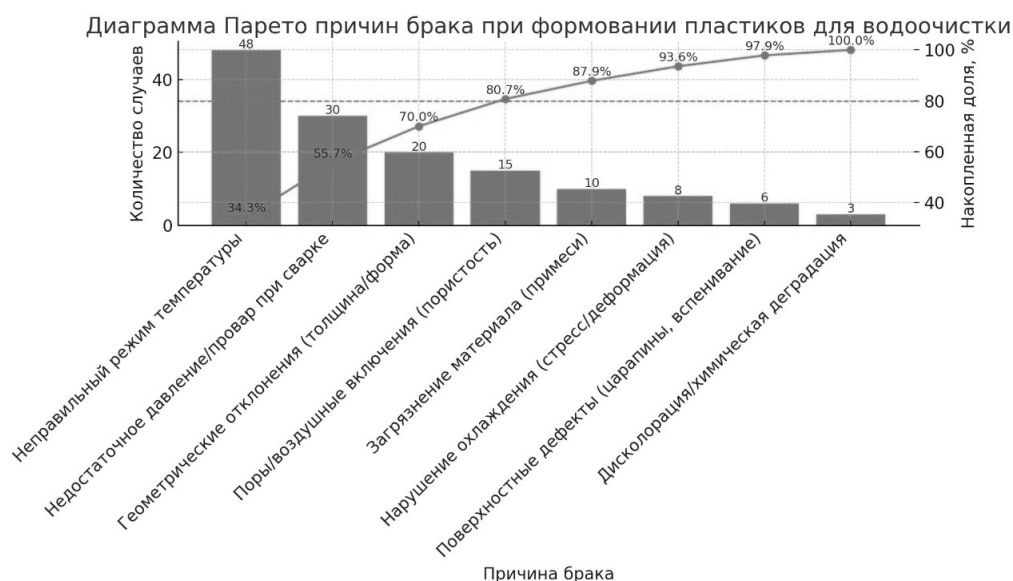


Рис. 2. Диаграмма Парето

Накопленная доля показывает, какую часть всех дефектов покрывают первые N причин. В нашем примере первые три причины («Неправильный режим температуры», «Недостаточное давление/провар при сварке», «Геометрические отклонения») дают около 70% от общего числа случаев, а первые четыре – уже ~80,7%.

Применение принципа Парето (80/20) к данным формирования пластиковых элементов для водоочистных систем позволяет прогнозировать аналогичное распределение, что согласуется с наблюдениями на отечественных предприятиях [9].

Обсуждение

Адаптация методов SPC и ANOVA к процессам формирования пластиков в производстве водоочистного оборудования подтверждает их универсальность и высокую прикладную

ценность. Использование данных инструментов позволяет не только выявлять статистически значимые факторы, влияющие на качество изделий, но и количественно оценивать степень их влияния на ключевые параметры технологического процесса – геометрическую точность, массу, однородность структуры и поверхностные дефекты [10].

На основе литературных источников были определены статистические диапазоны F- и p-значений, соответствующие различным уровням стабильности процессов литья под давлением [11]. Полученные значения хорошо согласуются с результатами промышленных наблюдений, что подтверждает достоверность и воспроизводимость методики. Эти диапазоны могут быть использованы как референсные показатели при проектировании технологических карт, разработке программ управления качеством и обучении производственного персонала методам статистического контроля [12].

Особое значение в обеспечении точности анализа имеет метрологическое обеспечение контроля параметров. Согласно требованиям ГОСТ ISO 10012–2008, систематическая калибровка средств измерений – термпар, датчиков давления и толщиномеров – является обязательным элементом системы управления качеством [13]. Проведение периодических проверок и корректировка коэффициентов преобразования позволяют снизить систематическую ошибку измерений до $\pm 0,03$ мм, что существенно повышает достоверность данных, используемых в SPC-картах, и обеспечивает корректность анализа тенденций [14]. Кроме того, внедрение процедур автоматизированной регистрации измерений способствует повышению прозрачности производственного контроля и ускоряет выявление отклонений на ранних стадиях технологического цикла.

Таким образом, интеграция методов SPC и ANOVA с метрологическим обеспечением и системой калибровки оборудования формирует замкнутый контур управления качеством, обеспечивающий устойчивость технологических процессов и снижение вероятности возникновения дефектов в готовых изделиях [15].

Заключение

В ходе исследования были проанализированы ключевые факторы, влияющие на качество изделий из полипропилена, включая температуру формования, давление впрыска и скорость охлаждения. Систематизация литературных данных позволила установить закономерности между параметрами технологического процесса и геометрической стабильностью изделий. Проведенная статистическая интерпретация экспериментальных данных дала возможность определить оптимальные диапазоны режимов, обеспечивающие минимальные искажения формы и снижение уровня внутренних напряжений.

На основании обобщенных литературных данных определено, что основными факторами, влияющими на качество пластиковых изделий, являются температура и давление формования.

Значения критериев F и p, адаптированные из работ Montgomery (2012) и Moayyedean (2021), подтверждают их статистическую значимость при уровне доверия 95%.

Применение методов SPC и диаграмм Парето позволяет выявлять до 75% причин дефектов и снижать брак в среднем на 15–20%.

Результаты подтверждают возможность использования статистических методов качества для процессов формования пластиков, применяемых в оборудовании систем водоочистки.

Список литературы

1. Parmar P.S., Deshpande V.A. Implementation of Statistical Process Control Techniques in Industry: A Review. December 2014. Sardar Vallabhbhai National Institute of Technology Surat.
2. Gao Y., Liu J. Digital Twin-Based Quality Control for Injection Molding // *Procedia CIRP*. 2023. Vol. 119. P. 256–263.
3. Montgomery D.C. *Introduction to Statistical Quality Control*. New York: Wiley, 2012. 734 p.
4. Moayyedean M., et al. Optimization of Injection-Molding Process for Thin-Walled Parts // *Polymers*. 2021. Vol. 13, № 15.

5. Wu T., Zhang H. Experimental Study of Temperature and Pressure Influence on Plastic Shrinkage // *Polymer Engineering and Science*. 2020. Vol. 60(9).
6. Hiyane-Nashiro G., et al. Optimization of the Reduction of Shrinkage and Warpage in Injection Molding by the Taguchi Method // *Polymers*. 2022. Vol. 14, № 3.
7. Остапенко М.С., Холбоева У.Ш. Анализ современных инструментов управления качеством // Сб. трудов конф. Тюмень: ТИУ, 2025. С. 287–289.
8. Czepiel M., Bańkosz M., Sobczak-Kupiec A. Advanced Injection Molding Methods: Review // *Materials*. 2023. Vol. 16.
9. Махалин А.А. Контроль качества изготовления пресс-форм для литья пластмасс под давлением // *Вестник МАИ*. 2020. № 3. С. 112–119.
10. Papić L., Klochkhov Yu., Aronov J., Gazizulina A. *Systems Reliability: Statistical Analysis and Applications*. Belgrad: The Research Center of Dependability and Quality Management DQM, 2022. 164 p.
11. Mokhtar W., Nasir S.B. The Effect of Injection Molding Process Parameters on the Mechanical Properties of ABS and PP Polymer // 2024 ASEE North Central Section Conference. March 2024. DOI: 10.18260/1-2--45641. Grand Valley State University.
12. Shewhart W.A. *Economic Control of Quality of Manufactured Product*. New York: Van Nostrand, 1931. 501 p.
13. ГОСТ ISO 10012–2008. Системы менеджмента измерений. Требования к процессам измерений и измерительному оборудованию. М.: Стандартинформ, 2009. 23 с.
14. Бойцов Б.В., Рахманов М.Л., Савельев А.Г., Будкин Ю.В., Куприков Н.М., Долгова Т.В., Шишкин А.В. Стандартизация в Российской Федерации: учебное пособие. М.: Изд-во МАИ, 2020.
15. Тверяков А.М. Совершенствование методов управления качеством // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2020. Т. 22, № 1 (93). С. 50–55.

References

1. Parmar P.S., Deshpande V.A. *Implementation of Statistical Process Control Techniques in Industry: A Review*. December 2014. Sardar Vallabhbhai National Institute of Technology Surat.
2. Gao Y., Liu J. Digital Twin-Based Quality Control for Injection Molding // *Procedia CIRP*. 2023. Vol. 119. P. 256–263.
3. Montgomery D.C. *Introduction to Statistical Quality Control*. New York: Wiley, 2012. 734 p.
4. Moayyedian M. et al. Optimization of Injection-Molding Process for Thin-Walled Parts // *Polymers*. 2021. Vol. 13, № 15.
5. Wu T., Zhang H. Experimental Study of Temperature and Pressure Influence on Plastic Shrinkage // *Polymer Engineering and Science*. 2020. Vol. 60(9).
6. Hiyane-Nashiro G. et al. Optimization of the Reduction of Shrinkage and Warpage in Injection Molding by the Taguchi Method // *Polymers*. 2022. Vol. 14, № 3.
7. Ostapenko M.S., Kholboeva U.Sh. Analiz sovremennykh instrumentov upravleniya kachestvom // Sb. trudov konf. Tyumen: TIU, 2025. S. 287–289.
8. Czepiel M., Bańkosz M., Sobczak-Kupiec A. Advanced Injection Molding Methods: Review // *Materials*. 2023. Vol. 16.
9. Makhalin A.A. Kontrol' kachestva izgotovleniya press-form dlya lit'ya plastmass pod davleniem // *Vestnik MAI*. 2020. № 3. S. 112–119.
10. Papić L., Klochkhov Yu., Aronov J., Gazizulina A. *Systems Reliability: Statistical Analysis and Applications*. Belgrad: The Research Center of Dependability and Quality Management DQM, 2022. 164 p.
11. Mokhtar W., Nasir S.B. The Effect of Injection Molding Process Parameters on the Mechanical Properties of ABS and PP Polymer // 2024 ASEE North Central Section Conference. March 2024. DOI: 10.18260/1-2--45641. Grand Valley State University.
12. Shewhart W.A. *Economic Control of Quality of Manufactured Product*. New York: Van Nostrand, 1931. 501 p.
13. GOST ISO 10012–2008. Sistemy menedzhmenta izmerenii. Trebovaniya k protsessam izmerenii i izmeritel'nomu oborudovaniyu. Moscow: Standartinform, 2009. 23 s.
14. Boytsov B.V., Rakhmanov M.L., Savelev A.G., Budkin Yu.V., Kuprikov N.M., Dolgova T.V., Shishkin A.V. *Standartizatsiya v Rossiyskoy Federatsii: uchebnoe posobie*. Moscow: Izd-vo MAI, 2020.
15. Tveryakov A.M. Sovershenstvovanie metodov upravleniya kachestvom // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2020. Т. 22, № 1 (93). S. 50–55.