



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-3-20-26>
УДК 621.74

Поступила 15.04.2022
Received 15.04.2022

ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЧУГУННЫХ ОТЛИВОК ПРИ МАССОВОМ БЕРЕЖЛИВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ С СИНЕРГЕТИЧЕСКИМ ПОДХОДОМ

*М. А. ИОФФЕ, ООО «Литье-Сервис», г. Санкт-Петербург, Россия, пр. Новочеркасский, 47.
E-mail: ima45@mail.ru*
*Р. Д. ФАРИСОВ, ПАО «КАМАЗ», г. Набережные Челны, Россия, б-р Главмосстроевцев, 1.
E-mail: risun@mail.ru*

С целью своевременного и полного выявления всех случаев возникновения брака в массовом чугунолитейном производстве предлагается применение статистического анализа всего технологического процесса с использованием инструментов качества, адаптированных к условиям массового чугунолитейного производства, основанных на принципах бережливости. Сложность и многоступенчатость технологических процессов массового производства литья, характеризующихся широкой номенклатурой исходных материалов, поступающих извне, разбросом их свойств, разнообразием оборудования, внешних энергоносителей, нестабильно сопутствующих факторов, обуславливают целесообразность рассмотрения массового чугунолитейного производства как сложной, открытой системы с позиции синергетики.

Ключевые слова. *Литейное производство, чугун, статистика, качество, отливка, бережливость, синергетика.*

Для цитирования. *Иоффе, М. А. Применение статистических методов управления качеством чугунных отливок при массовом бережливом производстве с синергетическим подходом / М. А. Иоффе, Р. Д. Фарисов // Литье и металлургия. 2022. № 3. С. 20–26. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-3-20-26>.*

APPLICATION OF STATISTICAL METHODS OF CAST IRON CASTINGS QUALITY MANAGEMENT IN MASS LEAN PRODUCTION WITH A SYNERGETIC APPROACH

M. A. IOFFE, LLC “Casting-Service”, St. Petersburg, Russia, 47, NovoCherkasski ave. E-mail: ima45@mail.ru
R. D. FARISOV, PTC “KAMAZ”, Naberezhnye Chelny, 1, Glavmosstroevcev bulvar, Russia.
E-mail: risun@mail.ru

In order to timely and fully identify all cases of defects in mass cast iron production it is proposed to use statistical analysis of the entire technological process using quality tools adapted to the conditions of mass cast iron production based on the principles of thrift. The complexity and multi-stage of the technological processes of mass casting production characterized by a wide range of raw materials coming from outside, the spread of their properties, a variety of equipment, external energy sources, unstable attendant factors, determine the expediency of considering mass cast iron production as a complex, open system from the perspective of synergetics.

Keywords. *Foundry, cast iron, statistics, quality, casting, thrift, synergetics.*

For citation. *Ioffe M.A., Farisov R.D. Application of statistical methods of cast iron castings quality management in mass lean production with a synergetic approach. Foundry production and metallurgy, 2022, no. 3, pp. 20–26. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-3-20-26>.*

Статистические методы являются одним из важнейших элементов системы обеспечения качества отливок, играют важную роль в объективной оценке количественных и качественных характеристик процесса изготовления отливок. Массовое чугунолитейное производство – сложное открытое производство, состоящее из подсистем, где непосредственно взаимодействуют плавильный, формовочный, стержневой, термообрубной цеха, ремонтные цеха обслуживания и технологические отделы. Специфика сложности заключается в том, что при отказе одной из имеющихся подсистем выходит из строя вся система. Открытость в литейном производстве в том, что имеет место обмен материальными, энергетическими, информационными и другими потоками с окружающей средой, т. е. с объектами, не входящими в рассматриваемую систему. Однако именно неучет этих обстоятельств может приводить к большим потерям [1].

На наш взгляд, наибольшего эффекта можно добиться, когда процесс внедрения статистических методов управления качеством отливок основан на принципах бережливого производства и синергетики. Процесс постоянного совершенствования заложен в самой концепции бережливого производства [2], а синергетический подход позволяет анализировать особенности функционирования системы, в первую очередь, с точки зрения взаимодействия с системой рынка отливок, так как через это взаимодействие формируются процессы совершенствования производства в условиях рынка [3].

Внедрение системы менеджмента качества на предприятиях и в организациях Российской Федерации осуществляется по требованиям стандартов ИСО 9000:2000, преобразованные в 2001 г. в Российские национальные стандарты¹. Так как на изменчивость показателя в массовом чугунолитейном производстве могут влиять самые разнообразные причины (колебание свойств исходного материала, погрешности оборудования, изменение параметров окружающей среды, состояние и опыт работника и т.п.), нужно уметь выявить их взаимосвязь и степень влияния на процесс. С учетом этих специфических обстоятельств для внедрения системы менеджмента качества в массовом чугунолитейном производстве предлагаются адаптированные к его условиям инструменты качества: метод определения главных причин брака на отливках – диаграмма Парето; метод выявления причинно-следственных связей, влияющих на качество отливок, – диаграмма Исикавы; контрольные карты Шухарта.

Диаграмма Парето используется в массовом чугунолитейном производстве как инструмент качества, позволяющий выявить именно те дефекты, с устранения которых необходимо начать работы по повышению качества отливок. Анализ и определение самых главных проблем осуществляются по принципу 20:80, т.е. за первые 20% устраненных причин достигаются 80% результатов, а остальные 20% результатов – за 80% устраненных причин. В системе менеджмента качества массового чугунолитейного производства применение этой диаграммы показывает, что значительное число несоответствий и дефектов возникает из-за ограниченного числа причин. При построении диаграммы данные по дефектам отливок заносятся в таблицу в порядке убывания их значений, и на основании этих данных строится столбиковая диаграмма, наглядно иллюстрирующая количество дефектов. В процессе построения диаграммы в таблицу добавляются колонки – накопленная сумма значений (нарастающий итог количества случаев) и накопленный процент. По данным таблицы проводятся кумулятивная кривая и прямая линия от 80%-ной оси на линию накопленных значений. Наиболее значимые дефекты, которым следует отдать приоритет, – это первые столбики слева. Остальные дефекты, находящиеся справа, в меньшей степени влияют на качество.

Диаграмма Исикавы применяется в массовом чугунолитейном производстве как инструмент контроля качества, позволяющая выявлять ключевые взаимосвязи между различными факторами и более точно понять исследуемый процесс изготовления отливок [4].

Работа с диаграммой причинно-следственных связей проводится в несколько этапов:

1-й этап. Выявление и сбор всех факторов и причин, каким-либо образом влияющих на исследуемый результат. Необходимо четко описать причину возникновения дефектов.

2-й этап. Группировка факторов по смысловым и причинно-следственным блокам. Определяются источники возможных причин дефектов. Их называют «большие кости» или причинами 1-го уровня.

3-й этап. Ранжирование этих факторов внутри каждого блока. Для каждой причины 1-го уровня выявляются возможные причины 2, 3 и 4-го уровней. На этом этапе целесообразно проводить «кружки качества». В основе «кружков качества» лежит личная заинтересованность каждого участника в улучшении качества отливок. Это не требует больших финансовых затрат и вложений. Задача «кружков качества» – постоянное совершенствование на основе принципов бережливости [5].

4-й этап. Анализ полученной картины. При анализе выявляются все факторы, влияющие на качество отливок, даже те, которые кажутся незначительными. Четко определенные критерии сбора данных позволяют выявлять невидимые причины рассматриваемой проблемы. На этом этапе необходимо помнить о том, что главный принцип эффективности успешного решения проблемы – это опора на факты, а не на предположения. При анализе следует учитывать такие критерии, как эффективность и ее влияние на дальнейшее развитие предприятия.

5-й этап. Определение причины проблемы. На данном этапе важно найти и рассмотреть все возможные варианты решения проблемы. Чем больше этих вариантов будет рассмотрено, тем лучше. После завершения обсуждения решают, что является наиболее вероятной главной причиной проблемы. Требуется

¹ ГОСТ Р ИСО 9000-2001. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь, 2001.

ГОСТ Р ИСО 9001-2001. Системы менеджмента качества. Требования, 2001.

ГОСТ Р ИСО 9004-2001. Системы менеджмента качества. Рекомендации по улучшению деятельности, 2001.

определимся с тем, какие из причин наиболее сильно влияют на проблему. Затем провести «освобождение» от малозначимых и непринципиальных факторов, на которые мы не можем влиять, путем их игнорирования. Задача данного этапа – выявить наиболее реалистичные альтернативные решения проблемы.

Типовая диаграмма причинно-следственных связей возможных факторов системных причин возникновения дефектов в массовом чугунолитейном производстве приведена на рис. 1.

С использованием перечисленных выше возможных факторов, влияющих на качество отливок, создается таблица проблем, где выставляется оценка для каждой причины. Причина с большими показателями имеет наивысший приоритет, с малыми – низкий.

Для анализа предлагается использование контрольных карт Шухарта для количественного признака [6], где для каждой подгруппы рассчитываются средние значения \bar{X} и размахи R ; вычисляются средний размах и среднее значение для процесса; рассчитываются контрольные границы; выполняется оценка стандартного отклонения индивидуальных значений; определяется полная изменчивость процесса; после проведенных работ по оценке статистической управляемости процесса рассчитываются показатели возможности процесса (индексы воспроизводимости процесса, индексы пригодности процесса).

Таким образом, инструменты качества (диаграмма Парето, диаграмма Исикавы, контрольные карты Шухарта), адаптированные для использования в массовом чугунолитейном производстве, являются неотъемлемой частью процесса постоянного улучшения эффективности и повышения качества отливок. Для того чтобы статистические методы управления качеством отливок стали наиболее эффективными, рекомендуется проводить их на основе принципов бережливости и синергетики.

К примеру, в массовом чугунолитейном производстве автомобильного завода статистические методы управления процессами изготовления отливок были адаптированы к условиям массового чугунолитейного производства и интегрированы с принципами бережливого производства и синергетики [7].

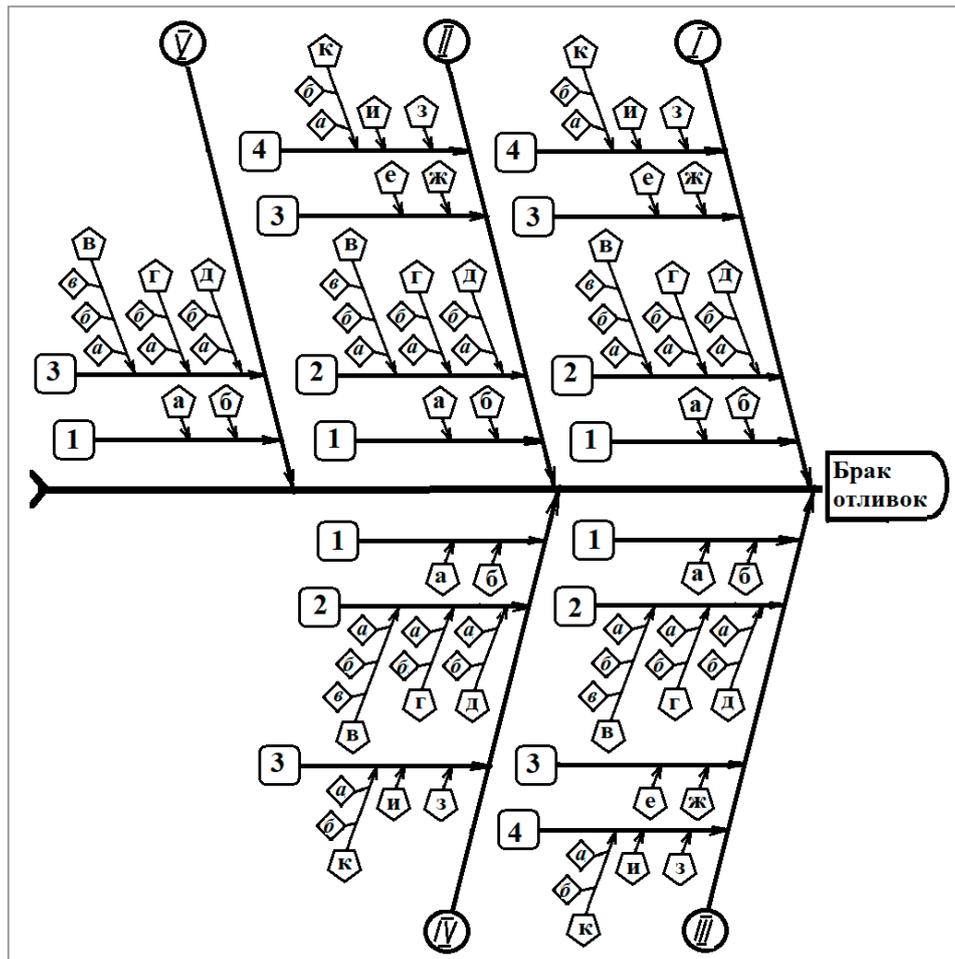


Рис. 1. Типовая диаграмма причинно-следственных связей возможных факторов системных причин возникновения дефектов в литейном производстве:

○ - причины 1-го уровня; □ – причины 2-го уровня; ⬠ – причины 3-го уровня; ⬡ – причины 4-го уровня

I – отклонения в системе приготовления формовочной смеси

- 1 – персонал
a – низкая мотивация;
b – нехватка навыков;
- 2 – оборудование
v – низкое качество обслуживания;
a – низкая мотивация;
b – нехватка опыта у рабочих;
v – устаревшее оборудование «моральный износ»;
z – низкое качество ремонта;
a – низкая мотивация;
b – нехватка навыков у ремонтного персонала;
d – износ деталей;
a – низкое качество комплектующих;
b – наличие на складе;
- 3 – материал
e – низкое качество сырья. В этой ячейке рассматриваются характеристики формовочных материалов, которые используются в процессе смесеприготовления;
ж – несвоевременное обеспечение, наличие на складе;
- 4 – технология и методы
z – устаревшие технологии;
и – отсутствие технологических карт, операционных карт;
к – недоработанные технологические процессы;
a – низкая мотивация;
b – нехватка опыта у технологов.

II – отклонения в системе приготовления металла

- 1 – персонал
a – низкая мотивация;
b – нехватка навыков;
- 2 – оборудование
v – низкое качество обслуживания;
a – низкая мотивация;
b – нехватка опыта у рабочих;
v – устаревшее оборудование «моральный износ»;
z – низкое качество ремонта;
a – низкая мотивация;
b – нехватка навыков у ремонтного персонала;
d – износ деталей;
a – низкое качество комплектующих;
b – наличие на складе;
- 3 – материал
e – низкое качество сырья. В этой ячейке рассматриваются характеристики шихтовых материалов, которые используются в процессе приготовления металла;
ж – несвоевременное обеспечение, наличие на складе;
- 4 – технология и методы
z – устаревшие технологии;
и – отсутствие технологических карт;
к – недоработанные технологические процессы;
a – низкая мотивация;
b – нехватка опыта у технологов.

III – отклонения в системе приготовления стержневой смеси

- 1 – персонал
a – низкая мотивация;
b – нехватка навыков;

- 2 – оборудование
v – низкое качество обслуживания;
a – низкая мотивация;
b – нехватка опыта у рабочих;
v – устаревшее оборудование «моральный износ»;
z – низкое качество ремонта;
a – низкая мотивация;
b – нехватка навыков у ремонтного персонала;
d – износ деталей;
a – низкое качество комплектующих;
b – наличие на складе;
- 3 – материал
e – низкое качество сырья. В этой ячейке рассматриваются характеристики стержневых материалов, которые используются в процессе изготовления стержней;
ж – несвоевременное обеспечение, наличие на складе;
- 4 – технология и методы
z – устаревшие технологии;
и – отсутствие технологических карт, операционных карт;
к – недоработанные технологические процессы;
a – низкая мотивация;
b – нехватка опыта у технологов.

IV – отклонения при приготовлении форм

- 1 – персонал
a – низкая мотивация;
b – нехватка навыков;
- 2 – оборудование
v – низкое качество обслуживания;
a – низкая мотивация;
b – нехватка опыта у рабочих;
v – устаревшее оборудование «моральный износ»;
z – низкое качество ремонта;
a – низкая мотивация;
b – нехватка навыков у ремонтного персонала;
d – износ деталей;
a – низкое качество комплектующих;
b – наличие на складе;
- 4 – технология и методы
z – устаревшие технологии;
и – отсутствие технологических карт, операционных карт;
к – недоработанные технологические процессы;
a – низкая мотивация;
b – нехватка опыта у технологов.

V – отклонения при термофинишных операциях

- 1 – персонал
a – низкая мотивация;
b – нехватка навыков;
- 2 – оборудование
v – низкое качество обслуживания;
a – низкая мотивация;
b – нехватка опыта у рабочих;
v – устаревшее оборудование «моральный износ»;
z – низкое качество ремонта;
a – низкая мотивация;
b – нехватка навыков у ремонтного персонала;
d – износ деталей;
a – качество комплектующих;
b – наличие на складе.

Производство чугуна является многофакторным производством. Технологический процесс приготовления жидкого чугуна начинается с приема шихтовых материалов и заканчивается подачей жидкого металла в автоматические заливочные установки формовочной линии. Технология формовки для изготовления отливок осуществляется на автоматических формовочных линиях. Смесеприготовительная система каждой линии оборудована смесителем, аэратором, магнитным сепаратором, магнитным барабаном, плоским вибрационным сито, сдвоенным охладителем непрерывного действия. Количество материала в смесителе и время его перемешивания регулируются путем автоматического контроля. В охладителе смесь непрерывно перемешивается с водой и продувается воздухом от нагнетающего вентилятора, одновременно проводится отсос воздуха вытяжным вентилятором.

В таких многообразных технологиях изготовления отливок немало сложностей теоретического и практического характера. Поэтому необходим глубокий анализ процесса с учетом всех обстоятельств. Уже на начальном этапе внедрения бережливой производственной системы была создана рабочая группа

из разных специалистов. Работа группой – это синергетический подход к решению проблем качества отливок. При решении проблем коллективным методом рассмотрение осуществляется с учетом различных точек зрения. Именно уход от привычных к формированию новых схем дает толчок для выработки полезных идей.

Технологической службой была разработана таблица базы статистических данных, отражающая информацию о техническом состоянии механизмов оборудования, технологических параметрах и получаемых результатах. Технологический процесс был разделен на отдельные операции, каждую операцию рассматривали отдельно, учитывая то, что каждый производственный или технологический процесс обладает определенной изменчивостью вследствие действия на него множества факторов, знание количественных взаимосвязей между которыми необходимо для снижения вариабельности и достижения целевых параметров.

Для определения первоочередных главных проблем, используя данные по дефектам из таблицы базы статистических данных, построили диаграмму Парето. Диаграмма визуализировала наиболее значимые дефекты, которым следует отдать приоритет, – «песчаный засор» и «смещение». Остальные дефекты и их причины, находящиеся правее на графике, в меньшей степени влияют на уровень качества (рис. 2).

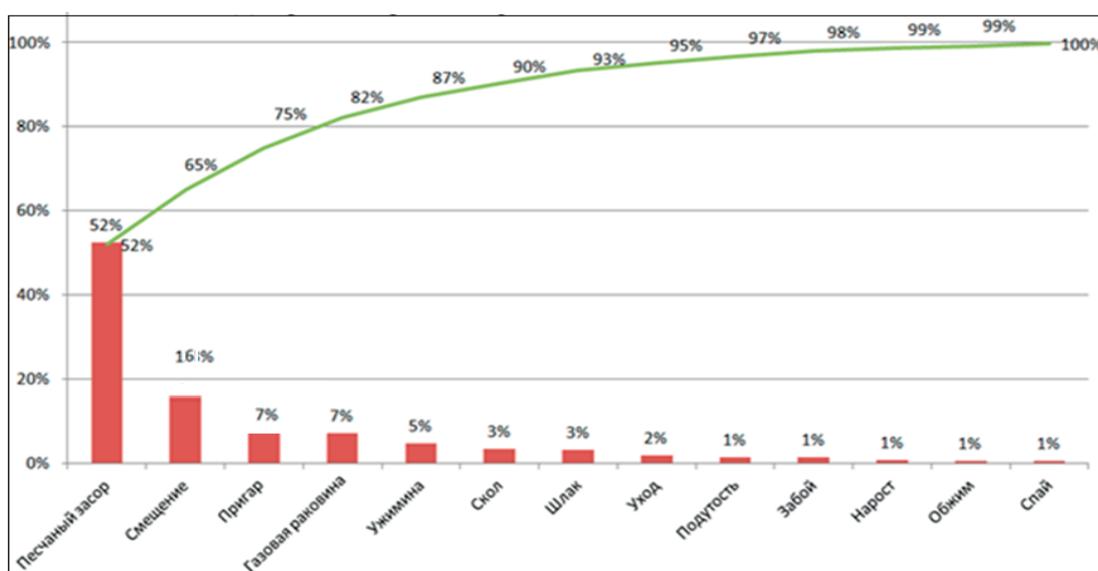


Рис. 2. Диаграмма Парето по дефектам отливки за 2014 г.

Чтобы понять основные причины возникновения проблем и устранить их, использовали причинно-следственную диаграмму – диаграмму Исикавы. Для этого вначале разработали таблицу источников возможных причин дефекта (см. таблицу). Так как факторы влияния изначально не имеют числового выражения, то для количественного определения значимости фактора применили оценочную шкалу с цифровым значением в баллах от 1 до 10, где 1 – низкое влияние, 10 – высокое влияние. Оценку проводили при командном обсуждении каждого фактора методом «мозгового штурма».

Применив типовую диаграмму причинно-следственных связей возможных факторов системных причин возникновения дефектов в массовом чугунолитейном производстве, определили источники возможных причин и проводили их ранжирование по значимости влияния на проблему. В результате были выявлены наиболее значимые и существенные факторы, влияющие на возникновение брака, установлены приоритетные действия, необходимые для решения проблемы. Результаты показывают, что наиболее важным ключевым направлением для повышения качества является совершенствование процесса смесеприготовления.

Для анализа и управления технологическим процессом смесеприготовления массового чугунолитейного производства применяли контрольные карты для количественного признака. С целью совершенствования смесеприготовительного оборудования была развернута работа по модернизации оборудования смесеприготовительной системы. Один из методов бережливого производства – система всеобщего обслуживания оборудования (TPM-Total Productive Maintenance) – комплекс мероприятий, направленных на то, чтобы технологическое оборудование постоянно находилось в рабочем состоянии, обеспечивался выпуск качественной продукции, выполнялись требования безопасной работы.

Источники возможных причин дефекта

Вид дефекта	Отклонения					Итого
	I	II	III	IV	V	
Нарост	2			8		10
Недолив		9		1		10
Спай		10				10
Уход				10		10
Песочный засор	8			2		10
Смещение				10		10
Ужимина	5			5		10
Забой				5	5	10
Усадка		10				10
Пригар	5	5				10
Шлак		10				10
Газовая раковина	5	5				10
Скол				5	5	10
Вскип	7	3				10
Обжим				10		10
Вылом				5	5	10
Заниженная твердость		10				10
Зарез					10	10
Подутость	3			7		10
Пористость	3	7				10

В работах [7–9] приведены данные, полученные авторами и подтверждающие, что в результате внедрения комплекса мероприятий, разработанных на основе принципов бережливости для конкретного массового чугунолитейного производства, определен синергетический эффект повышения качества чугунных отливок, существенно превышающий сумму эффектов отдельных мероприятий, что характеризуется высокими значениями коэффициента эмерджентности. Доказательством является повышение качества отливок массового чугунолитейного производства автомобильного завода и снижение брака в 2,5 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Иоффе, М. А.** О резервах повышения эффективности литейных производств с позиции синергетики / М. А. Иоффе, Р. Д. Фарисов // *Литейщик России*. 2019. № 2. С. 29–30.
2. **Вумек, Джеймс П.** Бережливое производство: Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании / Джеймс П. Вумек, Дэниел Т. Джонс / Пер. с англ. 2-е изд. М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. 473 с.
3. **Иоффе, М. А.** Принципы синергии и бережливости в массовом чугунолитейном производстве / М. А. Иоффе, Р. Д. Фарисов. Казань: Бук, 2020. 104 с.
4. Управление качеством продукции. Инструменты и методы менеджмента качества: учеб. пособ. / С. В. Пономарев, С. В. Мищенко, В. Я. Белобрагин и др. М.: РИА «Стандарты и качество». 2005. 248 с.
5. **Вялов, А. В.** Бережливое производство: учеб. пособ. / А. В. Вялов. Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2014. 100 с.
6. Статистические методы повышения качества / под ред. Хитоси Кумэ; пер. с англ. и доп. Ю. П. Адлера, Л. А. Конаревой. М.: Финансы и статистика, 1990. 304 с.
7. **Фарисов, Р. Д.** Статистические методы управления процессами изготовления отливок в производстве чугунолитейного литейного производства ПАО «КАМАЗ» / Р. Д. Фарисов, М. Р. Хайруллин, Б. М. Морозов, Э. В. Панфилов, И. Ф. Хакимов // Тр. XV Междунар. съезда литейщиков. М.: Российская ассоциация литейщиков, 2021. 386 с.
8. **Фарисов, Р. Д.** Анализ работы действующей системы производства массового чугунолитейного литейного производства, выявление и устранение потерь на основе принципов бережливости / Р. Д. Фарисов, А. В. Барданов, М. Р. Хайруллин // *Литейщик России*. 2019. № 3. С. 36–38.
9. **Иоффе, М. А.** Совершенствование процесса подготовки оборотных песчано-глинистых смесей / М. А. Иоффе, Р. Д. Фарисов, Д. А. Митяев, В. А. Громак // *Литейщик России*. 2020. № 1. С. 31–34.

REFERENCES

1. **Ioffe M. A., Farisov R. D.** O rezervah povysheniya jeffektivnosti litejnyh proizvodstv s pozicii sinergetiki [On the reserves for increasing the efficiency of foundry production from the standpoint of synergetics]. *Litejshhik Rossii = Russian Foundrymen*, 2019, no. 2, pp. 29–3.
2. **Vumek Dzhejms P., Dzhons Djeniel T.** *Berezhlivoe proizvodstvo: Kak izbavit'sja ot poter' i dobit'sja procvetaniya vashej kompanii* [Lean Manufacturing: How to get rid of waste and make your company prosper]. Moscow, Al'pina Biznes Buks Publ., 2005, 473 p.

3. **Ioffe M.A., Farisov R.D.** *Principy sinergii i berezhlivosti v massovom chugunolitejnomo proizvodstve* [Principles of synergy and frugality in mass iron foundries]. Kazan', Buk Publ., 2020, 104 p.
4. **Ponomarev S.V., Mishhenko S.V., Belobragin B. Ja., Samorodov V.A., Gerasimov B.I., Trofimov A.V., Pahomova C.A., Ponomareva O.S.** *Upravlenie kachestvom produkcii. Instrumenty i metody menedzhmenta kachestva* [Product quality management. Tools and methods of quality management.]. Moscow, RIA «Standarty i kachestvo» Publ., 2005, 248 p.
5. **Vjalov A.V.** *Berezhlivoe proizvodstvo* [Lean manufacturing]. Komsomol'sk-na-Amure, FGBOU VPO «KnAGTU» Publ., 2014, 100 p.
6. *Statisticheskie metody povyshenija kachestva* [Statistical Quality Improvement Methods]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 1990, 304 p.
7. **Farisov R.D., Hajrullin M.R., Morozov B.M., Panfilov Je.V., Hakimov I.F.** Statisticheskie metody upravlenija processami izgotovlenija otlivok v proizvodstve chugunnogo lit'ja PAO «KAMAZ» [Statistical methods for controlling the processes of casting production in the production of iron castings of PJSC "KAMAZ"]. *Trudy XV Mezhdunarodnogo s'ezda litejshhikov = Proceedings of the XV International Congress of foundry workers*. Moscow, Rossijskaja asociacija litejshhikov Publ., 2021, 386 p.
8. **Farisov R.D., Bardanov A.V., Hajrullin M.R.** Analiz raboty dejstvujushhej sistemy proizvodstva massovogo chugunnogo lit'ja, vyjavlenie i ustranenie poter' na osnove principov berezhlivosti [Analysis of the operation of the current system for the production of mass iron castings, identification and elimination of losses based on the principles of thrift]. *Litejshhik Rossii = Russian Foundrymen*, 2019, no. 3, pp. 36–38.
9. **Ioffe M.A., Farisov R.D., Mitjaev D.A., Gromak V.A.** Sovershenstvovanie processa podgotovki oborotnyh peschano-glinistyh smesej [Improving the process of preparing circulating sand-clay mixtures]. *Litejshhik Rossii = Russian Foundrymen*, 2020, no. 1, pp.31–34.