

УДК 004.413

## ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ ЧУГУННЫХ ОТЛИВОК С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИНЦИПОВ ВСТРОЕННОГО КАЧЕСТВА

© 2022 Р.Д. Фарисов<sup>1</sup>, М.А. Иоффе<sup>2</sup>, В.Н. Козловский<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ПАО «КАМАЗ», г. Набережные Челны, Россия

<sup>2</sup> ООО «Литье-Сервис», г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 10.08.2022

Приведен пример совершенствования системы контроля свойств формовочной смеси с использованием датчика влажности в массовом литейном производстве чугуновых заготовок деталей автомобилестроения. Контроль параметров, основанный на принципах встроенного качества, способствует стабилизации физико-механических свойств формовочной смеси, что, в свою очередь, обеспечивает предупреждение возникновения дефектов и повышение качества отливок.

*Ключевые слова:* литейное производство, встроенное качество, дефект, смесеприготовление, свойства формовочной смеси, влажность, датчик, качество.

DOI: 10.37313/1990-5378-2022-24-4-22-28

В современных условиях рыночной экономики среди множества проблем, связанных с обеспечением выживания и нормального развития предприятий и организаций, главной и решающей является проблема качества продукции [1].

Литейное производство – это отрасль машиностроения, производящая заготовки фасонных деталей посредством заливки расплавленного металла в форму, полость которой имеет заданную разработчиком конфигурацию детали. В силу сложного характера производственных операций управление качеством занимает в нем особое место. Качество отливок формируется как обобщенный итог результатов целого ряда последовательных этапов производства изделий: проектирования конструкции отливок, выбора способа литья, проектирование технологии выплавки и заливки металла, процесса формообразования изделия, проектирование литейной оснастки, финишных операции и др. Кроме того, качество литья неразрывно связано с необходимостью повышения производительности, автоматизацией и механизацией технологических процессов, обеспечением роста экономических и экологических показателей.

В условиях жесткой конкуренции производителей отливок постоянно растут требования к качеству литья, основными из которых являются: прочностные и эксплуатационные характери-

сти, геометрическая и размерная точность, чистота поверхности, товарный вид, ресурсосберегающие и экологические показатели. Технологический процесс получения качественной отливки складывается из двух основных технологических подсистем: получение качественного расплава и изготовление литейной формы. Однако даже при нормативном выполнении этих технологических операции может возникать брак отливок.

Важнейшей причиной неудовлетворительного качества отливок считают нестабильность параметров смесей, применяемых при изготовлении формы [2]. При производстве отливок в сырых песчано-глинистых формах комплекс свойств смесей, их количественный уровень и стабильность в значительной степени определяют качество и точность литых заготовок и будущих деталей. Формовочная смесь представляет собой сложную пористую структуру с незамкнутыми порами в основном скелете смеси [3].

Так как большая часть брака форм и отливок обуславливается качеством формовочной смеси, вместе с ростом предъявляемых к отливкам требований растут требования и к уровню свойств и стабильности приготовляемой смеси.

Известно, что преимущественную долю мирового производства отливок потребляют отрасли машиностроения. При этом около 60% всех отливок изготавливается в формах из песчано-глинистых смесей (ПГС), что является бесспорной оценкой преимуществ этого способа при использовании автоматических формовочных линий высокой производительности в условиях массового производства отливок [4].

Основные технологические преимущества форм из ПГС состоят в следующем:

*Фарисов Рисунов Данилович, кандидат технических наук, главный специалист. E-mail: risun@mail.ru*

*Михаил Александрович Иоффе, доктор технических наук, профессор, технический директор. E-mail: risun@mail.ru*

*Владимир Николаевич Козловский, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая и общая электротехника». E-mail: Kozlovskiy-76@mail.ru*

- универсальность, т.е. возможность получения большинства отливок различной конфигурации из разных сплавов;
- высокая производительность при наличии автоматических линий;
- относительно низкие расходы на материалы (песок, бентонит, добавки); высокий коэффициент повторного применения оборотной ПГС (до 98%);
- максимальная возможность автоматизации процесса смесеприготовления, формовки, выбивки, контроля технологических параметров смеси, освежения добавками в замкнутом режиме и т.д. [5].

Для получения годных отливок ПГС должны отвечать следующим основным требованиям:

- соответствовать свойствам, предусмотренным при эксплуатации формовочных агрегатов;
- обеспечивать качество отливок;
- быть максимально стабильными по составу и свойствам.

Стабильность состава и свойств ПГС зависит от стабильности параметров и состава оборотной смеси, технологии её подготовки. Анализ формирования свойств ПГС при предварительной обработке освежающих добавок показал, что она имеют ограниченные возможности, так как единые ПГС на 90...98% состоят из оборотной смеси, многократно прошедшей производственный цикл по всем переделам (смесеприготовления, формообразования, нагревания залитым металлом, охлаждения и т.д.), в результате чего исходные компоненты существенно изменяют состояние и свойства [6].

Оборотная смесь в результате многократного прохождения производственного цикла изменяет свое состояние и свойства. Зерна песка покрываются оолитизированной оболочкой, укрупняются, могут растрескиваться, в смеси меняется соотношение активной и шамотизированной глины и т.д. При многономенклатурном массовом производстве, когда на одной и той же линии изготавливают отливки и без стержней, и со стержнями, полученными с применением различных связующих, состав оборотной смеси существенно меняется даже в течение одной смены.

Основной причиной нестабильности состава и свойств ПГС в многономенклатурном массовом производстве является переменный, меняющийся состав оборотной смеси по содержанию активного бентонита, неактивной мелочи, добавок и воды. Это обусловлено различием в интенсивности процесса «выгорания» этих компонентов при изменении металлоемкости форм и массы попадающих в смесь при выбивке стержневых остатков.

Вода – одна из важнейших составляющих ПГС, в значительной мере определяющая их

основные свойства: прочность, уплотняемость, формуемость, осыпаемость, газопроницаемость, текучесть, склонность к образованию многих дефектов отливок и др. Можно принять, что степень увлажнения – это соотношение между реальной влажностью смеси и влажностью, необходимой для достижения ПГС требуемой насыпной плотности (или уплотняемости) при фактическом ее составе. Влажность определяет уровень всех важнейших свойств смеси. Рациональное содержание воды в ПГС зависит от количества и марки глины (или бентонита), метода уплотнения, степени механизации и автоматизации, конфигурации модели. При низкой влажности уменьшается прочность смеси, затрудняется удаление модели и ремонт форм, возникает повышенная осыпаемость форм. Высокая (сверх рациональных значений) влажность снижает газопроницаемость, уменьшает текучесть, прочность и твердость форм, особенно в поднутрениях и глубоких карманах, обуславливает неравномерность свойств по сечению формы, низкое качество поверхности отливок, повышенную склонность к газовым раковинам и ужиминам.

Установлено [7], что точность чугунных отливок, изготавливаемых на автоматических линиях и конвейерах, имеет тесную статистическую связь со значениями свойств ПГС, в том числе, с влажностью: коэффициенты парной корреляции между отклонениями размеров и влажностью имели значения более 0,6.

На одном из автомобильных заводов технологической службой [8] массового литейного производства был проведен статистический анализ технологического процесса изготовления отливок. Технологический процесс был расчленен на отдельные операции, и каждую операцию рассматривали отдельно, учитывая, что каждый технологический процесс обладает определенной изменчивостью вследствие воздействия на него множества факторов, знание количественных взаимосвязей между которыми необходимо для снижения вариабельности и достижения целевых параметров.

С применением диаграммы Парето выявляли наиболее значимые и существенные факторы, влияющие на возникновение брака на отливках, установили приоритет действий, необходимых для решения проблем, отделили важные факторы от малозначимых и несущественных. Результаты статистического анализа показали, что наиболее важным и ключевым направлением для повышения качества отливок является совершенствование контроля и регулирования свойств ПГС.

Проблема качества формовочной смеси – это подверженное колебаниям и неравно-

мерное ее увлажнение в бегунах непрерывного действия. Выявлено, что на качество отливок существенное влияние оказывает неравномерное распределение водно-коллоидных пленок по поверхности зерен наполнителя, скапливание частиц бентонита в межзерновых пространствах. Этот показатель оказывает большое влияние на многие свойства формовочных смесей и, как следствие, на качество литейной формы [9]. Обеспечение необходимой степени увлажнения готовой смеси с учетом остаточной влажности оборотной смеси требует специальных способов контроля и регулирования. При многономенклатурном производстве отливок существенно усложняются требования к регулированию свойств формовочных смесей, выполнить которые в полном объеме без использования средств автоматического управления чрезвычайно трудно [10].

В традиционной структуре организации массового производства контроль качества формовочной смеси осуществляется на выходе формовочной смеси из смесителя. Рабочий при обнаружении некачественной формовочной смеси отправляет ее на доработку. Однако на практике многие дефекты обнаруживаются либо на контрольных операциях, либо уходят ещё дальше по потоку. Причиной этого является несовершенство системы контроля. Дальнейшее достижение положительного результата в процессе улучшения качества форм возможно было при совершенствовании системы контроля.

Любой дефект (отклонение по качеству) является в первую очередь результатом какой-то ошибки (сбоя) в процессе. Дефекты могут быть выявлены на слишком поздних стадиях производства или уже у потребителя. Самый дорогой дефект – выявленный потребителем, самый дешёвый – тот, который не произошёл. Именно поэтому необходимо внедрение встроенной системы контроля. Перенос места выявления дефекта к месту возникновения – это один из принципов встроенного качества. Дефект должен быть выявлен и изолирован во время или перед началом производственной операции.

Встроенное качество – система технических, организационных и логистических мер, которые направлены на недопущение выпуска некачественной продукции. Методы встроенного качества направлены на стабилизацию процессов с точки зрения качества: приведение его уровня к максимальному и предсказуемому значению. Принцип встраивания качества предполагает обеспечение возможностей наиболее раннего обнаружения дефекта. Принцип «не передавай брак» означает, что в случае возникновения брака он немедленно изолируется и не пере-

даётся дальше по потоку создания ценности. Первое, что должен сделать работник, который обнаруживает дефект – остановить процесс и изолировать некачественный продукт. Чтобы это условие всегда выполнялось, необходимо обеспечить условия для быстрого выявления дефекта, т.е. работник должен понимать, как выглядит дефект и на что обратить внимание, чтобы его быстро обнаружить.

Датчики являются эффективными средствами в системе контроля при встроенном качестве. Существует значительное число систем автоматизированного контроля свойств формовочных смесей в процессе их приготовления. Каждый из них имеет свою целесообразную область применения. По мере совершенствования технологий растут и требования к применению датчиков.

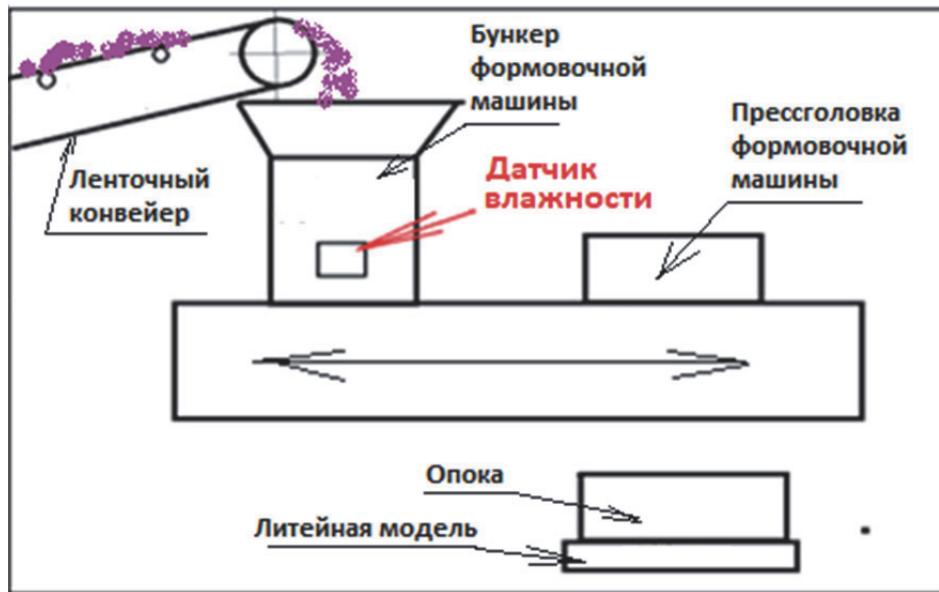
Обеспечение необходимой степени увлажнения готовой смеси требует контроля и регулирования. Контроль влажности формовочной смеси важен для получения анализа, следовательно, для получения минимального количества несоответствующей продукции по дефектам «песчаный засор», «пригар», «газовая раковина».

При существовавшей технологии контроль влажности формовочной смеси осуществлялся при выпуске её из смесеприготовительного агрегата. Работник не застрахован от ошибок и мог отправить формовочную смесь с несоответствующими параметрами для дальнейшего использования при изготовлении литейной формы.

С целью исключения роли человеческого фактора при контроле влажности формовочной смеси и совершенствования процесса изготовления форм в бункерах формовочных машин «низа» и «верха» на автоматической формовочной линии установили датчики влажности (рис. 1, 2).

При этом контроль влажности смеси как важнейшего параметра, определяющего качество литейной формы и будущей литой заготовки, осуществляется непосредственно перед началом операции формообразования, что гарантирует недопущение ПГС с несоответствующими параметрами для изготовления некачественной литейной формы и предупреждает опасность образования дефектов в будущей отливке.

Данный датчик предназначен для непрерывного измерения влажности. Измерение происходит на основе высокочастотного емкостного принципа. Используется различие диэлектрической проницаемости воды и контролируемых веществ. Полученный сигнал преобразуется электроникой датчика и выдается в виде измерительного сигнала. Для формовочной смеси потребовалась соответствующая настройка датчика при вводе в эксплуатацию. Датчики настра-

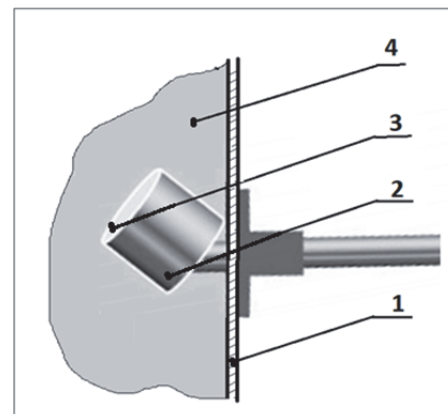


**Рис. 1.** Место установки датчика влажности в бункере формовочной машины автоматической формовочной линии

ивались в лабораторных условиях на предварительно приготовленных опытных формовочных смесях с разными точно определенными значениями влажности. (Перед началом настройки влажность опытных формовочных смесей определялась в лаборатории.)

Кроме настройки, монтажная позиция датчика является решающей для надежного измерения, так как в уплотненной формовочной смеси находятся существенно больше молекул воды в измерительном диапазоне датчика, чем в рыхлой формовочной смеси. Чем больше расстояние между измерительной площадкой датчика и формовочной смесью, тем меньше чувствительность датчика. Поэтому позицию датчика в бункерах выбрали с учетом наилучшего контакта со смесью, как показано на рисунке 2. Для гарантии от механических повреждений датчик вмонтирован в прочный корпус нержавеющей стали.

Проведя опытные работы, определили необходимые значения влажности формовочной смеси для каждой номенклатуры отливок и в программе установили красные и желтые границы, отражающие верхние и нижние пределы значений параметра влажности. Система контроля влажности формовочной смеси автоматической формовочной линии предполагает обеспечение раннего обнаружения отклонений значений параметра влажности от этих границ на основе принципа встроенного качества – использование системы оповещения о проблемах производственной линии. Для этой цели система контроля оснащена светодиодной индикацией с круговым обзором. «Красный» означает аварию, «желтый» – предупреждение, «зеленый» – «норму» (рис. 3). В дополнение к световым сиг-



**Рис. 2.** Датчик влажности, установленный в бункере формовочной машины:

- 1 – стенка бункера формовочной машины автоматической формовочной линии;
- 2 – прочный корпус из нержавеющей стали;
- 3 – датчик влажности;
- 4 – формовочная смесь

налам имеется звуковая сигнализация (сирена). С помощью кнопки аварийной остановки оператор может остановить всю автоматическую формовочную машину.

Описание работы системы контроля влажности формовочной смеси:

1. Система обрабатывает поступающие с датчика влажности следующие сигналы:

- «влажность формовочной смеси полуформы «верха», поступающий с датчика влажности, установленного в бункере формовочной машины «верха»;
- «влажность формовочной смеси полуформы «низа», поступающий с датчика влажности, установленного в бункере формовочной машины «низа».

2. При выходе любого параметра «влажность





**Рис. 3.** Светофор системы контроля влажности формовочной смеси автоматической формовочной линии:  
 1 – красный светодиод светофора;  
 2 – желтый светодиод светофора;  
 3 – зеленый светодиод светофора

формовочной смеси полуформы «верха» или «влажность формовочной смеси полуформы «низа» за пределы желтой границы система генерирует событие «предупреждение» – загорается желтый светодиод светофора.

3. При выходе любого параметра «влажность формовочной смеси полуформы «верха» или «влажность формовочной смеси полуформы «низа» за пределы красной границы система генерирует событие «авария» – подается звуковой сигнал, загорается красный светодиод светофора.

4. При нахождении любого параметра «влажность формовочной смеси полуформы «верха» или «влажность формовочной смеси полуформы «низа» в пределах желтой границы горит зеленый светодиод светофора.

5. Значения датчиков «влажность формовочной смеси полуформы «верха» и «влажность формовочной смеси полуформы «низа» фиксируются с обозначением номера смены, даты и времени формовки. Основной задачей мониторинга является регистрация и запись влажности формовочной смеси.

6. Система выводит значение датчиков «влажность формовочной смеси полуформы «верха» и «влажность формовочной смеси полуформы «низа» на светодиодные индикаторы, установленные на рабочих местах операторов автоматической формовочной линии.

Одним из основных принципов встроенного качества является возможность остановки конвейера работником при возникновении брака. В данном случае оператор формовочной машины по световым и звуковым сигналам светофора постоянно получает информацию о пригодности формовочной смеси по параметру «влажность». При получении отрицательной информации оператор имеет возможность не использовать формовочную смесь неудовлетворительного качества для изготовления форм. В этом случае бракованная формовочная смесь отправляется на доработку обратно в смесеприготовительную систему.



**Рис. 4.** График значений параметра «влажность» формовочной смеси автоматической формовочной линии

При реализации изложенного технического решения получены положительные результаты по качеству формовочной смеси. На рисунке 4 видно, что с установкой датчиков влажности в бункерах формовочных машин параметр формовочной смеси «влажность» стабилизировался, соответственно, выросло и качество отливок. На рисунке 4 приведены результаты систематических лабораторных испытаний влажности смеси для автоматической формовочной линии.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для эффективной регулировки и контроля параметров формовочной смеси в процессе ее использования и исключения влияния человеческого фактора необходимо совершенствование системы контроля, основанное на принципах встроенного качества. Контроль степени увлажнения формовочной смеси с использованием датчика влажности способствует повышению качества формообразования, стабилизации физико-механических свойств формовочной смеси и снижению дефектности чугунных отливок при их массовом производстве.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Швандар, В.А. Стандартизация и управление качеством продукции: учебник / В.А. Швандар [и др.]; под ред. проф. В.А. Швандара. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 487 с.
2. Евлампиев, АА. Общие положения и рекомендации при выборе процессов приготовления и составов формовочных смесей/ АА. Евлампиев // Литейное производство. – 2005. – № 8. – С. 10-13.
3. Борсук, П.А. Особенности структуры формовочных смесей / П.А. Борсук // Литейщик России. – 2015. – № 1. – С. 28-30.
4. Буданов, Е.Н. Заблуждения при оценке процессов песчаной формовки / Е.Н. Буданов // Литейное производство. – 2010. – № 5. – С. 25-28.
5. Смирнов, М.Ю. Линии горизонтальных безопочных форм как новый стандарт безопочной формовки по ПГС / М.Ю. Смирнов // Литейщик России. – 2016. – № 8. – С. 28-35.
6. Марков, В.А. Концепция механизма формирования свойств единых песчано-глинистых смесей в процессе перемешивания / В.А. Марков, К.Е. Нефедов, М.В. Пешков, А.А. Апполонов // Литейное производство. – 2004. – № 5. – С. 15-17.
7. Иоффе, М.А. Исследование точности отливок методами математической статистики / М.А. Иоффе, О.А. Корнюшкин, Е.В. Алимов, и др. // Технология электротехнического производства. – 1983. – № 7. – С. 1-2.
8. Фарисов, Р.Д. Анализ работы действующей системы производства массового чугунного литья, 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. Туманова, Л.П. О контроле влажности песчано-глинистых смесей / Л.П. Туманова, Ф. С. Кваша // Литейное производство. - 2003. - № 1. - С. 33-35.
10. Кваша, Ф.С. Возможности стабилизации качества единой формовочной смеси в литейных цехах. Часть 1 / Ф.С. Кваша, Л.П. Туманова, Д.В. Скарюкин // Литейное производство. – 2004. – № 5. – С.16-19.

### PREVENTION OF DEFECTS IN IRON CASTINGS USING BUILT-IN QUALITY PRINCIPLES

© 2022 R.D. Farisov<sup>1</sup>, M.A. Ioffe<sup>2</sup>, V.N. Kozlovskiy<sup>3</sup>

<sup>1</sup> PJSC KAMAZ, Naberezhnye Chelny, Russia

<sup>2</sup> Litye-Servis LLC, Saint Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Samara State Technical University, Samara, Russia

An example of improving the system for monitoring the properties of the molding sand using a moisture sensor in the mass foundry production of cast iron blanks for automotive parts is given. Parameter control, based on the principles of built-in quality, contributes to the stabilization of the physical and mechanical properties of the molding sand, which, in turn, ensures the prevention of defects and an increase in the quality of castings.

*Keywords:* foundry, built-in quality, defect, sand preparation, sand properties, humidity, sensor, quality.

DOI: 10.37313/1990-5378-2022-24-4-22-28

## REFERENCES

1. *Shvandar, V.A.* Standartizatsiya i upravlenie kachestvom produkcii: uchebnyk / V.A. SHvandar [i dr.]; pod red. prof. V.A. SHvandara. – M.: YUNITI-DANA, 2000. – 487 s.
2. *Evlampiev, AA.* Obshchie polozheniya i rekomendatsii pri vybore processov prigotovleniya i sostavov formovochnykh smesey/ AA. Evlampiev // Litejnoe proizvodstvo. – 2005. – № 8. – S. 10-13.
3. *Borsuk, P.A.* Osobennosti struktury formovochnykh smesey / P.A. Borsuk // Litejshchik Rossii. – 2015. – № 1. – S. 28-30.
4. *Budanov, E.N.* Zabluzhdeniya pri ocenke processov peschanoj formovki / E.N. Budanov // Litejnoe proizvodstvo. – 2010. – № 5. – S. 25-28.
5. *Smirnov, M.Yu.* Linii gorizontal'nykh bezopochnykh form kak novyj standart bezopochnoj formovki po PGS / M.Yu. Smirnov // Litejshchik Rossii. – 2016. – № 8. – S. 28-35.
6. *Markov, V.A.* Koncepciya mekhanizma formirovaniya svoystv edinykh peschano-glinistykh smesey v processe peremeshivaniya / V.A. Markov, K.E. Nefedov, M.V. Peshkov, A.A. Appolonov // Litejnoe proizvodstvo. – 2004. – № 5. – S. 15-17.
7. *Ioffe, M.A.* Issledovanie tochnosti otlivok metodami matematicheskoy statistiki / M.A. Ioffe, O.A. Korniyushkin, E.V. Alimov, i dr. // Tekhnologiya elektrotekhnicheskogo proizvodstva. – 1983. – № 7. – S. 1-2.
8. *Farisov, R.D.* Analiz raboty dejstvuyushchej sistemy proizvodstva massovogo chugunnogo lit'ya, vyyavlenie i ustranenie poter' na osnove principov berezhlivosti / R.D. Farisov, A.V. Bardanov, M.R. Hajrullin // Litejshchik Rossii. – 2019. – № 3. – S. 36-38.
9. *Tumanova, L.P.* O kontrole vlazhnosti peschano-glinistykh smesey / L.P. Tumanova, F. S. Kvasha // Litejnoe proizvodstvo. – 2003. – № 1. – S. 33-35.
10. *Kvasha, F.S.* Vozmozhnosti stabilizatsii kachestva edinoj formovochnoj smesi v litejnykh cekhah. Chast' 1 / F.S. Kvasha, L. P. Tumanova, D.V. Skaryukin // Litejnoe proizvodstvo. – 2004. – № 5. – S. 16-19.

---

*Risun Farisov, Candidate of Engineering Sciences, Chief Specialist. E-mail: risun@mail.ru*

*Mikhail Ioffe, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Technical Director. E-mail: risun@mail.ru*

*Vladimir Kozlovskiy, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Theoretical and General Electrotechnics. Kozlovskiy-76@mail.ru*