

УДК 621.74:669.131.7

**УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ СМЕСЕПРИГОТОВЛЕНИЯ И ФОРМООБРАЗОВАНИЯ  
НА ОСНОВЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ***канд. техн. наук, доц. В.М. КАРПЕНКО**(Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого)*

*Сформулированы общие принципы построения АСУ ТП формообразованием на базе реологических критериев. Эта система управления предусматривает одновременное взаимодействие трех потоков возмущающих воздействий на объект регулирования: компонентный состав формовочной смеси; параметры режима работы формовочного автомата; параметры литейной оснастки, в качестве же заданных показателей качества смеси – ее реологические свойства (упругость, вязкость, пластичность, насыпная масса). Таким образом, управляемые параметры рассматриваемой системы управления и регулирования – реологические свойства смеси, а управляющие – компонентный состав смеси (освежительная смесь, глинистая суспензия и другие добавки). Разработанный метод управления процессами смесеприготовления и формообразования, в отличие от существующих аналоговых систем стабилизации процесса смесеприготовления, позволяет строить системы, способные точно формировать управляющие воздействия по нескольким параметрам одновременно, что существенно повышает их точность. С другой стороны, преимущество этой системы также и в том, что она управляет одновременно двумя процессами: смесеприготовлением и формообразованием.*

**Введение.** Одна из важнейших задач экономического развития Республики Беларусь – всемерное ускорение научно-технического прогресса, которое должно быть достигнуто в результате широкого внедрения в народное хозяйство прогрессивных, принципиально новых технологий, позволяющих многократно повысить производительность труда, поднять экономическую эффективность использования материальных ресурсов, снизить энерго- и материалоемкость производства.

В литейном производстве решение этой задачи связано с дальнейшим совершенствованием существующих методов изготовления литейных форм, повышением технического уровня оборудования, обеспечивающего получение высококачественных, точных отливок, а также с разработкой новых технологических процессов на базе малоотходной технологии.

В настоящее время большую часть отливок получают в разовых песчаных формах. На формовочных машинах и автоматах выполняется одна из наиболее ответственных операций процесса получения отливок – изготовление форм. От качества формы зависит качество отливки: ее точность, состояние поверхности. Качество формы зависит, прежде всего, от метода ее уплотнения, поэтому в последние десятилетия большое внимание уделялось совершенствованию существующих и разработке новых способов формообразования.

По мере становления и развития рыночных отношений перед предприятиями все острее ставится вопрос о повышении прибыльности производства и основных путях ее обеспечения. И если в переходный период многие, пренебрегая инновациями, наращивали прибыль за счет роста цен, то уже в настоящее время обострились вопросы эффективного использования ресурсов, снижения материалоемкости продукции. Особенно актуальны эти проблемы для литейного производства. Возникает потребность в новом подходе к оценке качества песчано-глинистых формовочных смесей; требуется создание принципиально новых автоматизированных систем управления процессом формообразования на основе непрерывного контроля состава и реологических параметров формовочных смесей.

**Целью исследования** являлось повышение качества отливок, полученных в формах из песчано-глинистых формовочных смесей на основе реализации концепции о единстве системы «формовочная смесь – оснастка – режим уплотнения», на базе применения законов реологии.

Для решения проблемы получения качественной песчано-глинистой формы требуется создать такую систему, которая бы базировалась на едином научном подходе к решению трех, неразрывно связанных единым технологическим процессом подсистем: смесь, оснастка, режим формовочной машины (материал – инструмент – машина). До сих пор при создании формовочных машин проектировщики не заботились о том, чтобы в них регулировались режимы в зависимости от изменения свойств формовочной смеси. Конструкторы чаще всего не знали, что существует оптимальный режим работы формовочной машины для тех или иных формовочных смесей, отличающихся друг от друга деформативными (реологическими) свойствами.

Режим формовочной машины устанавливался только при наладке и не регулировался автоматически при изменении свойств смеси.

В научной литературе не известны методики нахождения соответствия (оптимума) между режимом и свойствами смеси, и тем более геометрией оснастки. В литературе не намечены даже подходы для решения этой проблемы.

Одним из путей решения этой проблемы может служить использование методик и показателей качества, основанных на применении реологических свойств формовочных смесей.

**Обоснование выделения реологических факторов в качестве основных при построении АСУ формообразованием.** Используемые в настоящее время смесеприготовительные системы осуществляют либо контроль по входным параметрам, либо контроль технологических и физико-механических свойств, который может иметь как непрерывный, так и периодический характер [1 – 3].

Все известные непрерывные автоматизированные системы контролируют преимущественно один параметр: либо влажность, либо уплотняемость, либо формуемость. Другой тип систем контроля – система периодического контроля. В этом случае контролируются самые различные технологические и физико-механические параметры.

Помимо указанных выше недостатков во всех системах отсутствует связь между свойствами смеси и режимами уплотнения, по этим системам невозможно научно подобрать рациональный режим уплотнения. Во-вторых, опыт показывает, что в данных системах имеет место слабая корреляция между компонентами состава смеси и отдельными физико-механическими показателями. В-третьих, низкая точность определения основных показателей (уплотняемости, формуемости и др.).

Так, один из основных параметров – «уплотняемость» – не имеет четкого теоретического обоснования, поэтому и способы определения уплотняемости отличаются разнообразием. В устройстве контроля фирмы GF уплотняемость определяли по уменьшению столба смеси в стандартной гильзе под воздействием прессующего давления  $10 \text{ кг/см}^2$ , а в других работах рекомендуется определять ее по величине осадки смеси под воздействием трех ударов копра. Точность определения влажности и формуемости современными методами имеет большую погрешность. Иными словами, контроль и регулирование свойств формовочных смесей, если руководствоваться только влажностью, уплотняемостью, формуемостью и прочностными показателями смеси, не может удовлетворять требованиям современного литейного производства.

Другая сторона проблемы управления качеством формы – это режимы работы формовочной машины. Например, режим работы импульсных, импульсно-фильтрационных формовочных машин регулируется только в пусконаладочном режиме. В остальных случаях эксплуатации режим остается постоянным, независимо от колебаний физико-механических свойств смеси (влажности, температуры и т.д.). Отсутствие процесса непрерывного регулирования режимов требует не только жестких параметров свойств смеси, но и соблюдения высокой организации производственного процесса в целом.

Таким образом, для получения качественной формы необходима система, обеспечивающая синтез трех взаимообуславливающих подсистем: 1) процесса смесеприготовления; 2) режима формообразования; 3) учета параметров опочной оснастки.

Для импульсного уплотнения важнейший параметр оснастки – высота уплотняемого столба смеси. Решение этой проблемы должно основываться на едином подходе к анализу свойств смеси и режимов работы формовочной машины. Одним из путей решения этой проблемы может служить использование методик и показателей качества, основанных на применении реологических свойств формовочных смесей. Реологическая концепция управления качеством литейной формы основана прежде всего на математических описаниях с помощью реологической модели формовочной смеси, процессов уплотнения литейных форм, оптимизации режимов нагружения (применительно к определенным составам формовочных смесей и, наоборот, оптимизация реологических свойств формовочных смесей применительно к определенным режимам нагружения).

Разработанная под руководством профессора И.В. Матвеевко концепция автоматизированного контроля формовочной смеси на основе контроля реологических параметров предполагает использование для периодического испытания смеси оригинального прибора – одометра [4]. Теоретическим базисом метода являются математические модели формовочной смеси как реологического тела, при объемном сжатии и при сдвиге [5 – 7].

Эти модели непосредственно не могут быть использованы для формирования корректирующего воздействия в процессе формообразования и смесеприготовления, так как не отражают связь с компонентами формовочной смеси (содержание связующего – бентонита  $B$  – с влажностью  $W$ ). Именно поэтому возникает объективная необходимость создания имитационных моделей формовочных смесей.

В общем виде имитационная модель формовочной смеси представляет собой функциональную зависимость прочностных ( $\tau_{cd}$ ) и деформационных ( $\epsilon$ ) характеристик от состава формовочной смеси (содержание бентонита и влажности).

Имитационная модель формовочной смеси – модель формовочной смеси, представленная в форме, удобной для моделирования процессов формообразования и смесеприготовления на ПК, изучения состояния смеси при изменении тех или иных параметров.

При построении имитационной модели были использованы методы математической статистики, из которых наиболее приемлемым является корреляционно-регрессионный анализ, позволяющий установить наличие или отсутствие связи между изучаемыми величинами, определить ее тесноту, описать зависимость с помощью математической функции и оценить ее точность.

Наиболее сложной задачей, обеспечивающей адекватность имитационных моделей, является выявление вида функциональной зависимости. Все известные исследования в этой области без доказательств (априори) принимали прямолинейный (простейший) вид зависимости. Проведенные эксперименты показали, что вид зависимости не является прямолинейным – это двухфакторная степенная зависимость:

- при сжатии:

$$\varepsilon = a_1^{\varepsilon} W^{a_2^{\varepsilon}} B^{a_3^{\varepsilon}}, \quad (1)$$

где  $a_1^{\varepsilon}$ ,  $a_2^{\varepsilon}$ ,  $a_3^{\varepsilon}$  – комплексные коэффициенты, показывающие взаимосвязь деформации сжатия с реологическими параметрами.

- при сдвиге:

$$\tau_{сд} = a_1^{\tau} W^{a_2^{\tau}} B^{a_3^{\tau}}, \quad (2)$$

где  $a_1^{\tau}$ ,  $a_2^{\tau}$ ,  $a_3^{\tau}$  – комплексные коэффициенты, показывающие взаимосвязь предела прочности на сдвиг с реологическими параметрами.

В экспериментах использовались песчано-глинистые смеси, близкие по составу к единой смеси, применяемой на линиях FDC и АЛИФ на РУП «Гомельский литейный завод «Центролит»».

Согласно технологическому процессу такая смесь содержит: обратную смесь – 92,5...87 %; свежий кварцевый песок – 5...10 %; суспензии – 1,16...1,22 %. Состав суспензии: вода – 60...65 %; бентонит – 23...25 %; хлорид кальция – 1,3...1,1 %; ЭКР – 0,8...1,0 %; молотый уголь – 5,8...6,0 %; лигносульфанат – 1,0...1,2 %.

В опытах применялась обратная смесь и свежий песок, один раз взятые из потока формовочных материалов, поэтому управляемыми оставались две независимые переменные: бентонит от 4,8 % до 6,2 % и влажность от 3,0 % до 3,7 %.

Для смеси такого состава имитационная модель имеет вид:

- при сжатии:

$$\varepsilon = 21,96 W^{0,961} B^{-0,714}; \quad (3)$$

- при сдвиге:

$$\tau_{сд} = 0,206 W^{0,107} B^{0,646}. \quad (4)$$

Исходя из вышеизложенного можно предположить, что в полученных имитационных моделях коэффициенты при  $W$  (влажности) и  $B$  (содержании бентонита в смеси) являются комплексными, т.е. они показывают совокупное влияние реологических параметров на деформацию и предел прочности на сдвиг, в частности: коэффициент  $a_2^{\varepsilon}$  отражает совокупное влияние на деформацию начального модуля упругости, коэффициента объемной вязкости и модуля упругости связующего; коэффициент  $a_3^{\varepsilon}$  отражает влияние начального модуля упругости на деформацию; коэффициент  $a_2^{\tau}$  отражает влияние модуля сдвига на предел прочности на сдвиг; коэффициент  $a_3^{\tau}$  отражает совокупное влияние на предел прочности на сдвиг коэффициента сдвиговой вязкости и модуля сдвига.

**Принципы построения АСУ ТП формообразованием на базе реологических критериев.** Современную автоматизированную систему управления технологическим процессом формообразования можно назвать системой управления качеством литейной формы (объект регулирования), так как она одновременно управляет и процессом смесеприготовления. Эта система управления предусматривает одновременное взаимодействие трех потоков возмущающих воздействий на объект регулирования: компонентного состава формовочной смеси; параметров режима работы формовочного автомата; параметров литейной оснастки, в качестве же заданных показателей качества смеси – ее реологические свойства (упругость, вязкость, пластичность, насыпная масса). Таким образом, управляемые параметры рассматриваемой системы управления и регулирования – реологические свойства смеси, а управляющие – компонентный состав смеси (освежительная смесь, глинистая суспензия и другие добавки). Реологические свойства формовочной смеси позволяют успешно управлять как компонентным составом смеси, так и параметрами процессов формовки и литейной оснастки. Можно утверждать, таким образом, что реологические свойства обладают неоспоримыми преимуществами перед комплексом физико-механических и технологических показателей качества смеси [8, 9].

На рисунке 1 представлена функциональная схема АСУ ТП формообразованием. Сигналы от соответствующих датчиков смесеприготовления и формообразования (от реологических приборов) поступают в устройство связи с объектом. По информации, поступившей от датчиков и программ, хранящихся в памяти управляющей ЭВМ, формируется состояние процесса, на основе чего выдается информация на устройство отображения для оператора и на устройства, осуществляющие управление технологическими процессами: одно из них – устройство управления смесеприготовлением, второе – устройство управления формообразованием.

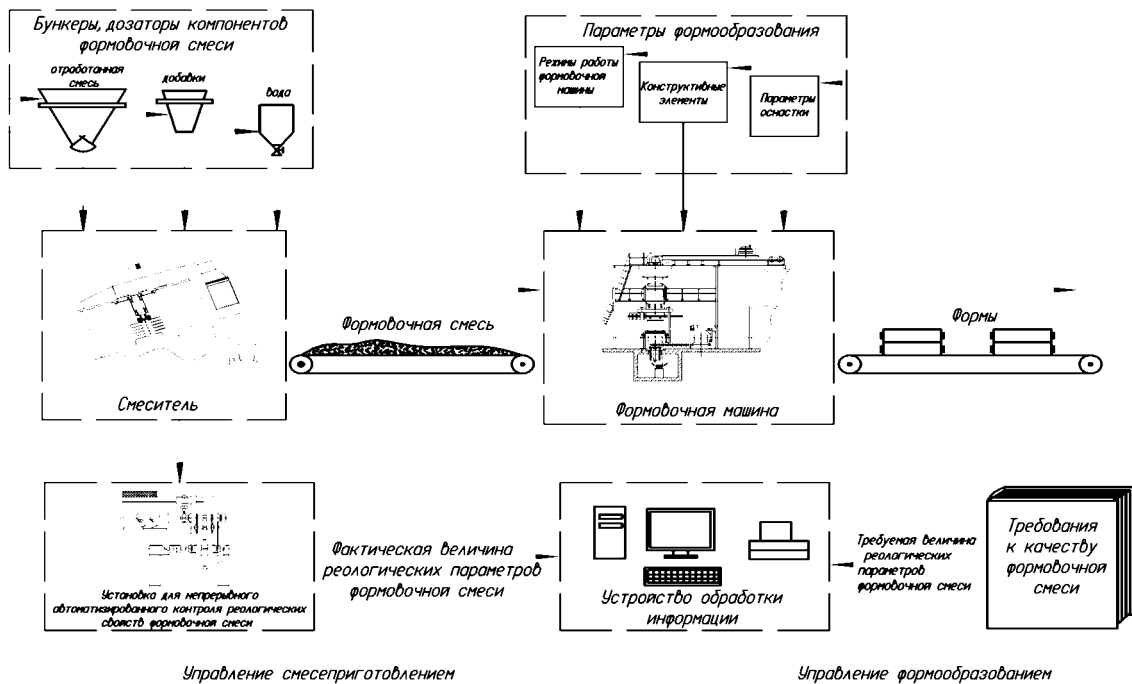


Рис. 1. Функциональная схема АСУ ТП формообразованием на основе реологических параметров

Для связи человека с управляющей вычислительной машиной используется устройство ввода-вывода, включающее видеотерминал (дисплей) с клавиатурой, через него производят ввод в ЭВМ управляющих программ и данных. Кроме того, программы и данные могут быть сведены с помощью внешних носителей информации. Отражение результатов контроля состояния объекта управления может производиться с ЭВМ с помощью видеотерминала, печатающего устройства или индикаторного табло.

В ЭВМ могут быть введены сведения о качестве исходных материалов, а также сведения о качестве отливок. Как уже отмечалось, для автоматического контроля и стабилизации свойств смеси необходимы представительная проба (примерно 0,3...0,6 % от общего расхода смеси), а также данные о корреляционной зависимости контролируемых свойств от компонентов смеси. Предлагаемая система имеет существенное отличие от ранее известных – контроль реологических параметров в ней осуществляется непрерывно с помощью разработанной установки для непрерывного автоматизированного контроля реологических свойств формовочной смеси (рис. 2).

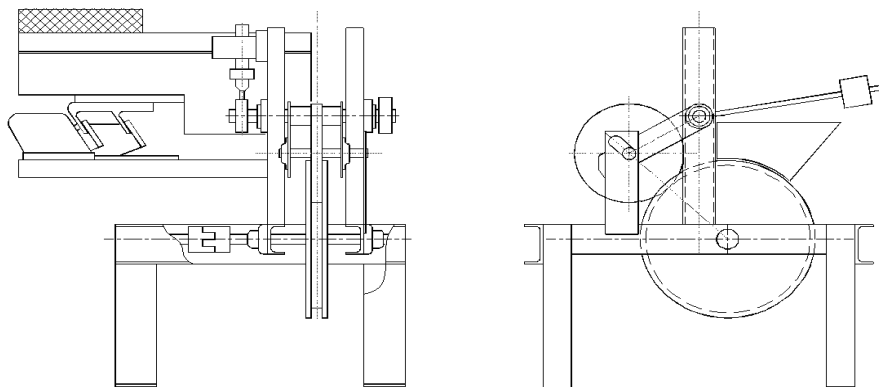


Рис. 2. Установка для непрерывного автоматизированного контроля реологических свойств формовочных смесей

Компоновочная схема (см. рис. 2) состоит из двух основных узлов: узла отбора смеси (оснащен устройством разрыхления и аэрации смеси); узла для непрерывного автоматизированного испытания формовочной смеси в двух вариантах конструкции: с роликом – для использования устройства в промышленных условиях; с ножом – для использования устройства в лабораторных условиях. Преимущественное отличие данного устройства заключается в том, что оно осуществляет непрерывный контроль свойств испытуемого материала, а также одновременный контроль деформаций сжатия и сдвига.

Аналоговые электрические сигналы от датчиков установки для непрерывного автоматизированного контроля реологических свойств формовочной смеси вначале усиливаются предварительными усилителями, а затем подаются в аналого-цифровые преобразователи, которые служат для преобразования аналоговых сигналов в код числа и где происходят два процесса: деление и кодирование. Весь диапазон изменения входного сигнала разбивается делением в АЦП на интервалы, которым присваиваются двоичные цифровые коды. Кодирование входного сигнала производится сравнением его значения со значениями выделенных интервалов, в результате чего входной сигнал заменяется цифровым машинным кодом для передачи в микроконтроллер, который управляет работой установки для непрерывного автоматизированного контроля реологических свойств формовочной смеси и одновременно производит расчет реологических параметров смеси. Устройство управления микроконтроллера управляет работой пневматической части установки для непрерывного автоматизированного контроля реологических свойств формовочной смеси, содержащей два регулятора давления, а также быстродействующий пневматический переключатель. Так осуществляется анализ реологических свойств смеси для автоматического управления процессами смесеприготовления и формообразования.

В ЭВМ также поступает информация от аналогичных датчиков, установленных на оборудовании для дозирования исходных материалов и в бегунах, для измерения температуры оборотной формовочной смеси, а также данные соответствующих установок и указаний от технолога и операторов, сведения о неисправностях и т.д. по определенной системе.

На основании всех этих данных ЭВМ самостоятельно или путем выдачи рекомендаций для технолога принимает решение о корректировке состава, внесения изменений в технологию смесеприготовления и формообразования.

**Выводы.** Разработанный метод управления процессами смесеприготовления и формообразования, в отличие от существующих аналоговых систем стабилизации процесса смесеприготовления, позволяет строить системы, способные точно формировать управляющие воздействия по нескольким параметрам одновременно, что существенно повышает их точность. С другой стороны, преимущество этой системы также и в том, что она управляет одновременно двумя процессами: смесеприготовлением и формообразованием, что также является отличием от известных в настоящее время систем и значительно увеличивает ее эффективность.

Результаты представленных исследований могут быть использованы: в качестве теоретической базы для построения методики нахождения соответствия (оптимума) между режимом работы формовочной машины и реологическими свойствами смеси, а также геометрией оснастки; в качестве теоретической базы для построения производственных номограмм, позволяющих определять величину и направление управляющего воздействия на процесс формообразования на основе реологических параметров.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Проспект фирмы «Lippke-System FSE-19». – Германия, 1999.
2. Проспект фирмы «Diter». – США, 1990.
3. Проспект фирмы «Eirich». – Германия, 2002.
4. Матвеевко, И.В. Реологические и математические основы динамических и импульсных методов уплотнения / И.В. Матвеевко, Н.С. Шеклеин, С.Б. Кузембаев. – М., 1986. – 100 с.
5. Матвеевко, И.В. Применение электронных моделей в реологии формовочных смесей / И.В. Матвеевко, В.С. Бельчук // Литейное производство. – 1988. – № 12. – С. 13 – 15.
6. Матвеевко, И.В. Реологические основы испытаний формовочных смесей и импульсного уплотнения / И.В. Матвеевко, В.С. Бельчук. – М.: МАСИ (ВТУЗ-ЗИЛ), 1991. – 87 с.
7. Карпенко, В.М. Непрерывный контроль реологических свойств и состава смесей в процессе их приготовления / В.М. Карпенко, И.В. Матвеевко // Литейное производство. – 1995. – № 4 – 5. – С. 30 – 31.
8. Карпенко, В.М. Использование методов реологии в системах управления смесеприготовлением / В.М. Карпенко // Литье и металлургия. – 2004. – № 2 (30). – С. 71 – 74.
9. Карпионов, Л.А. Развитие менеджмента качества на РУП «Гомельский завод литья и нормалей» / Л.А. Карпионов, В.М. Карпенко, С.Ю. Комков // Литье и металлургия. – 2006. – № 2. – Ч. 2. – С. 154 – 158.

Поступила 12.03.2007