

УДК 621.744.47

В. Л. Найдек, О. И. Шинский, П. В. Русаков

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ЭНЕРГОЧАСТОТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ ВИБРАЦИОННОЙ ФОРМОВКИ

С позиций оценки эффективности уплотнения формовочных гранулированных сред исследованы активные и пассивные модели управления процессами воспроизведения вибраций в системах «песчаная форма–вибрационная машина». Обосновано использование энергочастотных сигналов для управления процессами вибрационного уплотнения форм и для контроля процессов дилатансии формовочной среды. На примере построения управляемых вибрационных машин показано дальнейшее развитие интеллектуальных технологических систем литейного производства.

З позицій оцінки ефективності ущільнення гранульованих матеріалів досліджено активні і пасивні моделі управління процесами збудження вібрацій в системах «піщана форма-вібраційна машина». Обґрунтовано використання енергочастотних сигналів для управління процесами вібраційного ущільнення форм і для контролю процесів дилатансії гранульованих матеріалів. На прикладі побудови керованих вібраційних машин показаний подальший розвиток інтелектуальних технологічних систем ливарного виробництва.

From positions of estimation of efficiency of compression of granular environments active and passive case the machines of vibrations frames are explored. The use of power signals is grounded, for control of processes of compression of sand mixture. The construction of machines of vibrations further development of the intellectual technological systems of casting production is shown.

Ключевые слова: управление вибрационной формовкой, энергочастотный сигнал, гранулированная среда, дилатансия*.

Введение

При изготовлении отливок по газифицируемым моделям их качество зависит от выбранного режима уплотнения песчаных форм. Вибрационные устройства с центробежным возбуждением колебаний рабочей платформы используют в технологии литья для интенсификации технологических процессов уплотнения сухого песка на стадии подготовки форм перед заливкой жидким металлом.

Наложение вибрационных колебаний изменяет динамику движения песка вокруг уплотняемых моделей, в результате чего улучшаются качественные показатели технологических процессов формовки, снижаются энергетические затраты и сокращается время обработки.

Модели управления процессами формовки гранулированных сред

Существует два основных подхода к процессу моделирования при выборе и оптимизации режимов вибрационной формовки:

- пассивное моделирование параметров уплотнения на основе представления физических процессов, протекающих в песчаной форме [1-3];

* Дилатансия – изменение объема материала при сдвиговой деформации

- активное моделирование в замкнутых регулирующих системах, построенных по одно-, дву- и трехконтурным схемам подчиненного регулирования параметров вибрации [4-6].

Для реализации вибрационных технологий по первому типу моделей рассчитывают параметры оптимального управляющего воздействия по частоте и амплитуде вибрации в интервале заданного времени вибрационной обработки. Обозначим, что каждый рассчитанный режим определяется только для данной конкретной системы «форма-отливка» и теоретически его нельзя использовать, например, для другой по размерам модели в той же самой опоке. На практике это означает, что для однотипных моделей рассчитанные параметры вибрации усредняются, а время обработки увеличивают с коэффициентом запаса. Следует отметить, что данный подход не учитывает всех физических изменений, происходящих в динамике процессов формообразования, а также связанных с разбросом реологических свойств песка и различием в коэффициенте аналогичности применяемых моделей, что практически не способствует точному физико-аналитическому расчету параметров вибрационных колебаний и времени обработки.

Модели замкнутых регулирующих систем основываются на контроле физических процессов, протекающих в уплотняемой структуре формы, в частности, переход смеси в подвижное текучее состояние при вибрационной обработке и усадка песка при заполнении пустот в уплотняемых моделях. Предпосылки создания моделей замкнутых регулирующих систем были рассмотрены в работах [7, 8]. В основу их построения положены существующие представления о процессах изменения энергетических диссипативных характеристик в замкнутой управляемой системе «форма-вибрационный электропривод» [9, 10] при наложении механических колебаний. При этом получены аналитические выражения для энергетических управляющих сигналов и построена модель открытой механической диссипативной системы [11]. Система включает вязкопластичную среду - контейнер с песком и вибрационный электропривод, между которыми в процессе возбуждения вынужденных колебаний происходит обмен энергией при действии периодической возмущающей силы. Моделирование энергочастотных (ЭЧ) сигналов [10,11] с описанием различных сценариев выделения диссипативной составляющей позволило не только описать разнообразие реальных форм ЭЧ сигналов, но и установить закономерности их изменения в зависимости от характеристик процессов дилатансии, протекающих в сыпучем материале во время наложения на форму механических колебаний.

Можно отметить, что большинство реальных колебательных систем, определяющих механику литейного производства, являются диссипативными электромеханическими системами. Эти качества, показанные в работах [4-7, 11-13], были использованы при построении двухконтурных моделей вибрационных формовочных машин с инерционным электроприводом возбуждения вибрации. Моделирование процессов вибрационного уплотнения форм при изменении внешних условий позволило установить основные закономерности изменения формы и параметров регистрируемых ЭЧ сигналов. Рассматривались варианты с переменной массой опоки-контейнера, установленного на вибростол, вариациями реологических характеристик песчаной смеси, а также изучались временные последовательности режимов возбуждения виброкипящего состояния гранулированной смеси и динамическое состояние перехода в консолидированную массу. В то же время образование единой песчаной массы происходит по сценарию, развитие которого во времени определяется реологическими параметрами, присущими данной среде [11]. Поэтому несомненный интерес представляют моделирование закономерностей и кинетики протекания дилатансии в системах «форма-вибрационная машина» и построение систем отбора и обработки диссипативных ЭЧ сигналов для оптимизации процессов формовки.

Концепция построения систем отбора и обработки ЭЧ сигналов

Рассматривая концепцию построения аппаратных средств, используемых для управления и обработки ЭЧ сигналов, как для процессов вибрационной стабилизации размерной точности литых деталей, так и для процессов вибрационного уплотнения формовочных материалов, можно выделить три основных направления, используемых при их построении [4, 7-9]: аналоговое, аналого-цифровое и цифровое. Общими элементами для всех трех направлений являются энергочастотный и временной анализы параметров мощности и (или) момента на валу электродвигателя вибровозбудителя в виде электрических сигналов,

Проблемы технологии формы

регистрируемых на выходе первичных преобразователей. В дальнейшем используются различные подходы в обработке ЭЧ сигналов.

В аналоговом способе ЭЧ сигналы (после их усиления) поступают или непосредственно в блоки аналоговой обработки, или на вход электронного прибора, который используется для регистрации сигналов, а в дальнейшем - для графической интерпретации. При этом для получения какой-либо зависимости изменения регистрируемых параметров осуществляется жесткая аппаратная реализация вычислительного алгоритма. В то же время предусматривается некоторая свобода в регулировании исходных условий: изменение диапазона воспроизводимых частот в дорезонансной области вибрационной обработки, статического момента массы дебалансов, жесткости вибростола и других характеристик, но система не позволяет осуществлять принципиальные изменения самого алгоритма обработки.

При этом в качестве регистрирующей аппаратуры используются самопишущие приборы, рис. 1. Для расширения набора вычислительных алгоритмов используются блочные наращиваемые модули, примером которых являются БПФ анализатор 2260 Investigator с программным обеспечением BZ 7208 для БПФ анализа. Он позволяет получить спектр в частотном диапазоне от 0,1 Гц до 20 кГц. Этот спектр характеризуется качеством частотных полос, называемых БПФ линиями. 2260Н позволяет получить свыше 400 линий, что дает разрешение лучше, чем 50 Гц для диапазона до 20 кГц [14].

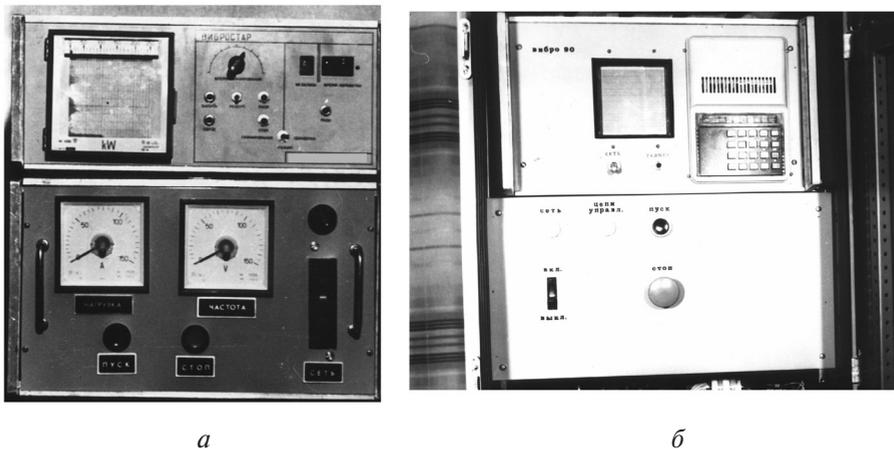


Рис. 1. Аппаратная реализация систем управления воспроизведением вибраций с аналоговым (а) и аналого-цифровым (б) принципами обработки ЭЧ сигналов

Обработка ЭЧ сигналов в аналого-цифровом способе осуществляется подобно аналоговому способу. Однако с выхода блоков аналоговой обработки информация поступает не только на регистрирующую аппаратуру, но и в блоки цифровых преобразований с последующей передачей цифровых кодов в компьютер. Фактически в компьютер вводятся цифровые значения аналоговых диаграмм изменения параметров ЭЧ сигналов с привязкой по времени и частоте. Это позволяет проводить автоматизацию сбора, накопление и статистическую обработку информации для установления корреляционных связей между параметрами импульсных потоков ЭЧ сигналов и кинетикой объемного деформирования гранулированной среды в песчаной форме.

Цифровой способ является еще более совершенным. Он затрагивает разработку принципов векторного, параметрического управления вибрационными возбудителями колебаний, создания жестких и гибких алгоритмов, а также программных продуктов для анализа и вывода информации. Полученная электронная информация используется для систем управления электроприводом вибровозбудителя и систем контроля и распознавания объекта, на который воздействует вибрация в соответствии с принятыми концепциями [4-6]. Первые прототипы таких устройств были разработаны в ФТИМС НАН Украины и успешно прошли испытания в процессах активного контроля снижения уровня остаточных напряжений в корпусных чугунных отливках и в процессах вибрационной обработки за-

твердевающих отливок. Следует отметить, что, несмотря на различия в характеристиках ЭЧ сигналов (импульсная последовательность или непрерывный сигнал), используются однотипные структурные схемы построения вибрационных устройств и одни и те же виды обработки регистрируемой информации. Такое состояние достигается тем, что с введением порога ограничения по воспроизводимому частотному диапазону производят трансформацию непрерывного ЭЧ сигнала, регистрируемого в процессе динамического нагружения в импульсную последовательность электрических сигналов. Указанный подход не искажает физические представления о механизме вибрационного уплотнения гранулированных сред и позволяет разрабатывать методы оперативного контроля процессов формовки с использованием дискретного представления вводимой информации.

Концепция построения вибрационных систем с оперативным контролем динамики уплотнения формовочных сред, которые строятся на средствах компьютерной техники и персональных компьютеров (ПК), позволяет максимально использовать возможности современных инструментальных средств Lab Card, а также Lab View* для программного управления воспроизведением вибраций, процессами измерения, обработки информации и представления ее результатов. Что касается технологии Lab Card [15], то ее применение базируется на использовании среды C++ Builder Borland C/C++, а технологии Lab View - на применении собственной программной оболочки (на графическом языке программирования «G») фирмы National Instruments (США).

Однако обе технологии используют одни и те же инструментальные средства - порты ввода-вывода (ПВВ) аналоговой и цифровой информации. Они располагаются на шине ПК. С учетом возможностей средств вычислительной техники (объем памяти, скорость ввода и обработки информации, графический экран вывода, цифровой обмен данными и другие) программное управление устройствами ПВВ и ПК позволяет строить информационно-измерительные системы (ИИС) с перераспределением функций между системой управления собственно для устройства воспроизведения вибраций и системой для отбора и обработки данных.

Приоритетность программного обеспечения и базовых элементов ИИС (ПК и ПВВ) обеспечивает минимизацию внешних электронных средств, не входящих в структуру самого ПК. При этом выбор одной из технологий (Lab Card или Lab View) для реализации ИИС основывается на представлении ее концептуальной части (рис. 2).

Как было отмечено выше, в отличие от импульсных ЭЧ сигналов, регистрируемых при ударно-волновых процессах нагружения, при вибрационной формовке результирующий во времени ЭЧ сигнал является непрерывным. Поэтому общий подход к преобразованию входного сигнала в цифровые коды, различия в длительности проводимых испытаний и в процессах изучения сигналов обуславливают применение различных принципов хранения ЭЧ сигналов и методов их обработки.



Рис. 2. Схема построения измерительной части систем для энергочастотного оптимального управления воспроизведением вибраций

* англ. Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench

В зависимости от длительности процессов ударно-волновой или вибрационной формовки допустимо использование физического или логического уровней хранения информации в ПК. При вибрационной формовке целесообразно использовать физический уровень устройств запоминания информации: например, если объем устройства запоминания (жесткого диска) составляет $10 \cdot 10^9$ байт, интервал дискретизации аналого-цифрового преобразователя – $1 \cdot 10^{-2}$ с, то время полного информативного накопления на физическом уровне построения устройства запоминания составит 30 ч. Такой объем хранилища исходных процессов формовки позволяет проводить выборку отдельных операций и неоднократную вторичную обработку полученной информации.

При вибрационной формовке обработка ЭЧ сигналов осуществляется параллельно с процессом их регистрации (рис. 2). Совершенно очевидным является то, что обработка параметров непрерывного ЭЧ сигнала должна проводиться с усреднением его значений. При этом условия формирования интервалов усреднения для коротких и длительных динамических нагрузений различаются между собой. В первом случае выбор интервала усреднения является гибким, а его минимальное значение будет определяться из соотношения объема записанной информации и максимального объема формируемого массива данных, который имеет определенные ограничения (определяется средой программирования). Во втором случае выбор интервала усреднения является жестким и будет определяться не только условиями испытаний (скорость прохождения частотного диапазона, время записи информации, максимально возможный объем формируемого массива данных и другие), но и условиями вывода зависимостей изменения параметров сигналов (параметрами графических окон вывода информации). Безусловно, что при использовании обработки с усреднением будут существовать ограничения и на количество анализируемых параметров ЭЧ сигналов.

Таким образом, измерительная часть обработки ЭЧ сигналов предполагает построение распределенных систем, структура и логика работы которых определяются условиями хранения и обработки информации — долговременное хранение входной информации с использованием физического уровня построения устройств запоминания и неоднократной ее обработкой, обработка входной информации в реальном масштабе времени.

Структура виброформовочных систем с диссипативным контролем

Условия хранения и обработки информации при динамических внешних воздействиях определяют выбор технологии реализации концептуальной части распределенных управляющих систем. Как было отмечено выше, при наличии единых инструментальных средств, устанавливаемых на шине ПК, технология Lab Card, использующая среду программирования C++, позволяет работать с устройствами ПК на физическом уровне их построения. Это обеспечивает реализацию направления долговременного хранения исходной информации с неоднократной вторичной ее обработкой. При этом в полной мере обеспечивается обработка ЭЧ сигналов в процессе поиска оптимального режима вибрационного нагружения и последующей работы на выбранных режимах формовки, то есть обработка сигналов в реальном масштабе времени. Следовательно, объединенная структура системы виброформовки состоит из трех основных частей (рис. 3): вибрационного стенда (ВС), электропривода управления вибрационным стендом (ЭП) и ПК.

Основное назначение ЭП — частотное управление электродвигателями инерционных вибровозбудителей. В состав ЭП входят преобразователь частоты, датчик мощности и микроконтроллер ЭП, который выполняет следующие функции:

- передачу и прием цифровой информации от ПК через порт COM 1;
- снятие электрического сигнала, пропорционального мощности потребляемой двигателями вибровозбудителя в замкнутой системе «песчаная форма-вибрационная машина»;
- преобразование ЭЧ сигналов в цифровые коды для проведения их обработки и представления результатов анализа;
- преобразование цифровых кодов в аналоговый задающий сигнал, поступающий на вход ПЧ.

Отметим, что электронная часть ЭП работает по жесткому и неизменному алгоритму, а основные операции выполняются в ПК с использованием гибких программных средств. Внутренняя часть ПК (рис. 3) состоит из порта ввода – вывода СОМ 1, оперативной памяти, магнитного диска, процессора, монитора.

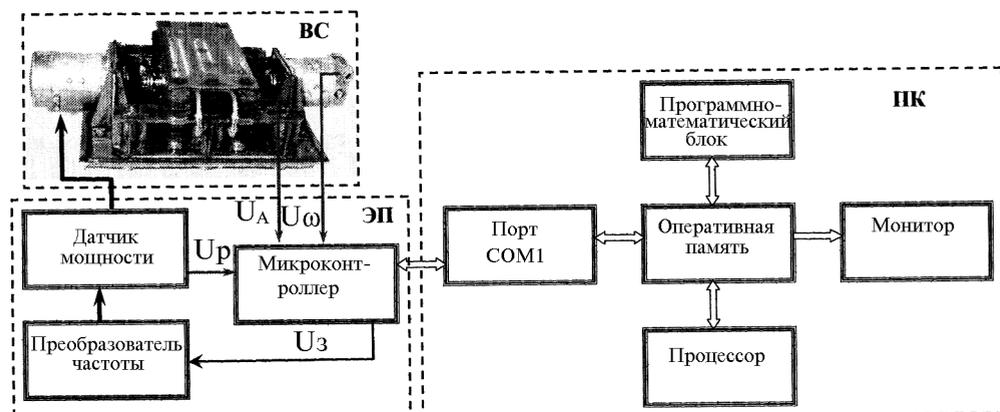


Рис. 3. Структура системы управления воспроизведением вибрации с компьютерной обработкой ЭЧ сигналов: ВС – вибрационный стенд, ЭП – электропривод управления вибрационным стендом; ПК – персональный компьютер; U_{ω} , U_A , U_P – электрические сигналы обратной связи по частоте, амплитуде вибрации и потребляемой мощности мотора вибростенда

Так как все элементы ПК являются программно доступными, то управление режимами их работы осуществляется с использованием гибких алгоритмов. Их модификация не требует изменения структуры внутренней части систем, а приводит только к видоизменению программных математических комплексов.

Логика управления процессом виброформовки

В основе логики управления с применением ЭЧ сигналов, включая и обработку данных, лежат синхронизированное с процессом вибронагружения формирование и передача информационных потоков (ИП). Потоки информации разделяют по назначению и направлению передачи и способам обработки. Исходя из этого, можно выделить три основные группы ИП: управляющие ИП; ИП измерительной информации; ИП контроля состояния.

Рассматриваемые группы ИП в различных сочетаниях формируются в программной среде систем при проведении контрольных испытаний самого вибростенда (рис. 4) и накапливаются при выполнении рабочих программ процессов виброформовки, рис. 5.

В условиях контрольных испытаний вибростендов определяют характеристики устойчивости системы при изменении задающей частоты вибрации и параметров развиваемой силы в зависимости от величины статического момента массы дебалансов. Параллельно проводят оценку активных энергетических потерь, связанных с резистивным нагревом элементов вибровозбудителя. На рис. 4 приведена номограмма контрольного тестирования установки «Вибростар» и последующей вибрационной обработки отливки блока СМД 60/72. Кривые 1 и 2, показанные на рисунке в первом квадранте, соответствуют энергочастотным образам отливки в первом и десятом циклах вибрационного нагружения с заданием частоты вибрации по линейному закону, соответствующему кривой 3, показанной в квадранте 4. Кривая 4 в квадранте 2 характеризует активные потери вибровозбудителя в элементах электропривода при номинальной массе дебалансов вибровозбудителя. Характеристики развиваемой вибровозбудителем силы в зависимости от величины установленной массы дебалансов приведены в квадранте 3, кривые 5–8.

Рассмотрим логику управления процессом виброформовки для создания режимов направленного вибрационного уплотнения гранулированной песчаной среды (в опоках - контейнерах) в соответствии с приведенными диаграммами на рис. 5. В соответствии с заданной программой обработки в начальной стадии предусмотрен период T_1 , необходимый для диссипативного тестирования электромеханической системы с целью определения

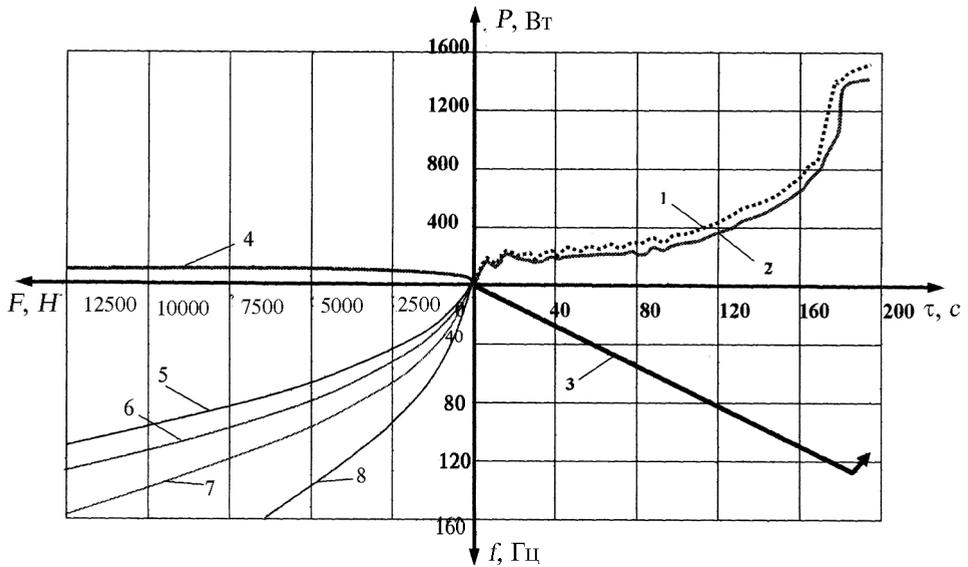


Рис. 4. Совмещенные кривые мощности (P) от частоты (f) при вибрации отливки блока СМД 60/72: 1 - кривая развиваемой мощности в 1-м цикле вибрации; 2 - кривая мощности в 10-м цикле; 3 - график задания частоты вибрации; 4 - характеристическая кривая потери мощности мотора вибратора на бесконечно массивной жесткой плите при номинальном статическом моменте массы дебаланса; 5-8 - кривые возбуждаемой силы вибратора при массах дебаланса 1; 0,75; 0,5; 0,25 q соответственно, где q - номинальная масса дебаланса установки «Вибростар»

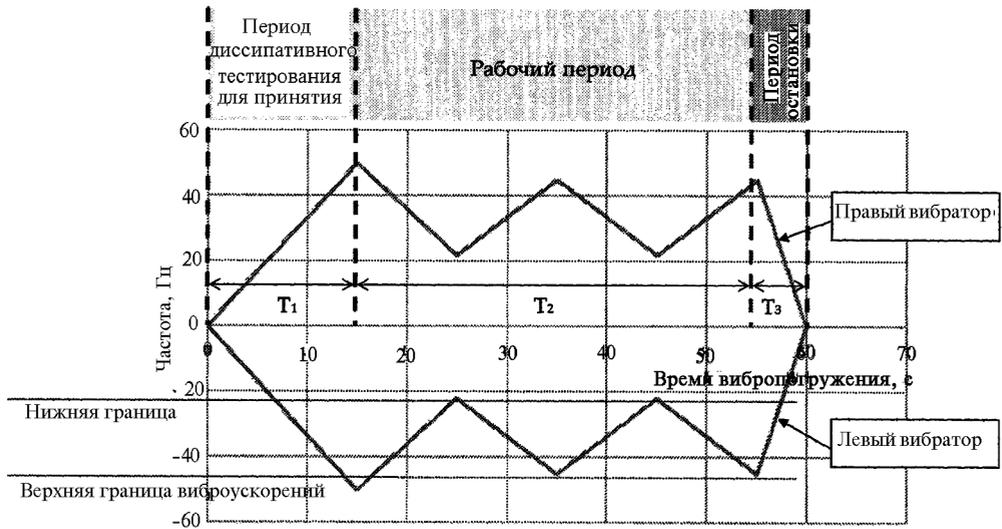


Рис. 5. Вариант реализации компьютерного управления для создания режимов направленного вибрационного уплотнения гранулированной песчаной среды в контейнерах с моделью замешаемой расплавом

оптимального диапазона рабочих частот вибрационных машин с учетом допустимых вибрационных ускорений, возникающих в формовочной среде.

По окончании периода T_1 включается скорректированная в период тестирования рабочая программа процесса виброформовки – период T_2 . Время окончания периода T_2 определяется моментом полной положительной дилатансии формовочной смеси, после чего включается в действие программа вывода вибровозбудителей из зоны рабочих частот и остановки - период T_3 .

Таким образом, обозначенные группы ИП в различных комбинациях формируются при выполнении практически всех операций в системе. После загрузки и выполнения команд управления создаются вторичные ИП. Они формируются и передаются в последовательности, которая определяется назначением выполняемых операций. Следовательно,

наличие единых базовых элементов систем позволяет формировать и единые принципы (логику) управления виброформовочными машинами.

Выводы

• В работе на примере построения управляемых виброформовочных машин показано дальнейшее развитие принципов построения интеллектуальных технологических систем литейного производства (ТС-ЛП).

• С позиций оценки эффективности уплотнения формовочных гранулированных сред исследованы активные и пассивные модели управления процессами воспроизведения вибраций в системах «песчаная форма–вибрационная машина».

• Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено использование энергочастотных сигналов, снимаемых с вибровозбудителей в качестве набора информативных признаков, для оптимального управления процессами вибрационного уплотнения форм и контроля процессов дилатансии формовочной среды.

• Предложены новые подходы построения вибрационных формовочных машин с информационными устройствами отбора и последующей обработкой энергетических сигналов для принятия решений о состоянии системы и с оперативным контролем динамики уплотнения формовочной среды.



Список литературы

1. Авдокушин В. П. Выбор оптимальных режимов виброуплотнения форм при литье по газифицируемым моделям // Литейн. пр-во. - 2001. - № 4. - С. 38-40.
2. Pat. Classification⁷: В30В; WO 0074930. Method for optimally designing a sand compaction apparatus.
3. Шуляк В. С. Литье по газифицируемым моделям. - М.: Професионал, 2007. - 408 с.
4. Русаков П. В., Горенко В. Г., Шинский О. И. Установка «Вибростард» для виброрезонансной обработки отливок // Автоматизация специальных способов литья. - Киев: Ин-т пробл. литья АН УССР, 1987. - С. 70-75.
5. Pat. 4784206 U.S. ECLA: В06В1/10; В06В1/16; В22С9/04. Sand vibration and compaction apparatus and method.
6. А. с.1230715 СССР, МКИ С 21D 1.04. Способ правки валов / П. В. Русаков, В. Г. Горенко, О. И. Шинский и др. - Оpubл. 15.05.86, Бюл. № 18.
7. Русаков П. В., Шинский О. И., Кравченко В. П. Концепция литейных машин с трехконтурным подчиненным регулированием параметров движения расплава // IV Международная научно-практическая конференция «ЛИТЬЕ – 2008» (25-27 марта, 2008 г.). - Запорожье, 2008. - С. 131-132.
8. Русаков П. В. Способ принудительно миграционного уплотнения форм с несвязанным наполнителем при синхронимпульсном управлении вибрацией и газовым разрежением // Там же. - Запорожье, 2008. - С. 133-134.
9. Русаков П. В. Выбор информативных параметров при виброобработке отливок // Интенсификация литейных технологий. - Киев: Ин-т пробл. литья АН УССР, 1989. - С. 70-72.
10. Шинский О. И., Русаков П. В. Опыт применения центробежных вибрационных машин при решении технологических задач литейного производства // Процессы литья. - 2000. - № 1. - С. 73-78.
11. Русаков П. В. Особенности моделирования виброформовочных машин с переменной присоединяемой массой // Там же. - 2009. - № 3. - С. 35-42.
12. Червяков А. А., Рыбин А. А. Современные методы комплексной оценки устойчивости материалов к высокоскоростным нагрузкам // Металлургия машиностроения. - 2008. - № 5. - С. 15-17.
13. Иващенко Ю. М., Солдатов В. Г. Взаимосвязь механических свойств с эксплуатационными характеристиками литых стальных деталей железнодорожного транспорта // Литейн. пр-во. - 2008. - № 6. - С. 15-17.
14. Версия интернет - файла http://www.z-it.ru/docs/techdoc_1.pdf в формате HTML.
15. Джаррод Холингворт, Боб Сворт, Марк Кэшман, Поль Густавсон. Borland C++ Builder 6. Руководство разработчика = Borland C++ Builder 6 Developer's Guide. — М.: Вильямс, 2004. - 976 с.

Поступила 27.10.08