



УДК 678.033.3:66.063.8

© С. П. Захарычев, В. А. Иванов, В. А. Авдеев, 2006

СОЗДАНИЕ СМЕСИТЕЛЕЙ И ИССЛЕДОВАНИЕ СМЕШИВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПАУНДОВ

Захарычев С. П. – канд. техн. наук, доц. кафедры «Машины и оборудование лесного комплекса»; *Иванов В. А.* – завкафедрой «Машины и оборудование лесного комплекса» д-р техн. наук, проф.; *Авдеев В. А.* – ст. науч. сотр. (ТОГУ)

Процесс смешивания компаундов включает две основные операции – приготовление компаунда и смешивание компаунда с отвердителем. На первой стадии необходимо создать гомогенную суспензию, перемешав твердые сыпучие наполнители в вязкой жидкой полимерной матрице, а на второй необходимо получить эмульсию, смешав компаунд с отвердителем. Созданы конструкции смесителей компаундов и смесителей компаундов с отвердителями. Исследованы параметры процесса смешивания. Проведенные исследования позволили автоматизировать технологию приготовления компаундов.

The process of mixing compounds consists in two basic operations - compound preparation and mixing a compound with polymerizator. At the first stage it is necessary to create homogeneous suspension by mixing solid loose components in a viscous liquid polymeric matrix, and at the second - it is necessary to receive emulsion by mixing a compound with a polymerizator. The designs of compounds mixers and compounds mixers with polymerizators have been developed. The parameters of mixing process have been investigated. The research conducted allowed to automate compounds developing technology.

Стабильность эксплуатационных свойств деталей трения машин, изготовленных из антифрикционных полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе эпоксиэфторопластов, во многом определяется качеством подготовки исходных компаундов. Добиться этого возможно при использовании автоматизированных смесительных аппаратов.

При создании смесителей для перемешивания вязких полимерных компаундов невозможно применить преобразования теории гидродинамического подобия, когда используются зависимости коэффициента

мощности от модифицированного критерия Рейнольдса. Для неньютоновских жидкостей требуются специальные исследования процессов перемешивания при создании конструкций смесителей.

Получение нужного качества и количества ПКМ возможно с использованием комплексного технологического агрегата – дозирующе-смешивающего аппарата (ДСА), включающего два смесителя, дозирующие насосы и систему промывки конечного смесителя для освобождения от остатков композиции и подготовки к новому циклу работы (рис. 1). При крупносерийном производстве ДСА работает по полной схеме, а при единичном производстве целесообразно использовать только смеситель компаунда, выполняя операцию смешивания компаунда с отвердителем на отдельном миксере. В этом случае отпадает необходимость промывки конечного смесителя.

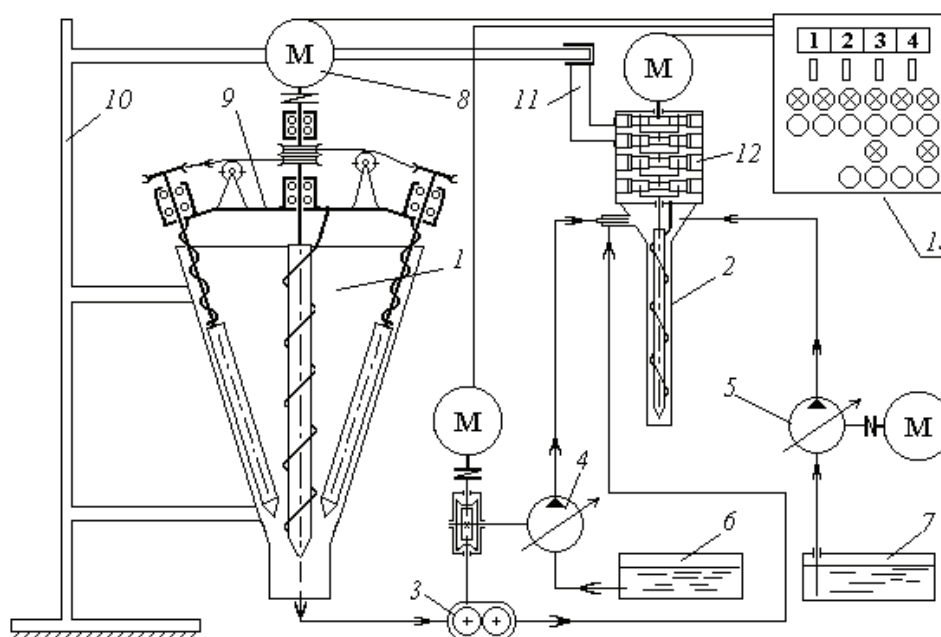


Рис. 1. Схема дозирующе-смешивающего аппарата (ДСА):

1 – смеситель компаунда; 2 – смеситель компаунда с отвердителем; 3 – насос подачи компаунда; 4 – насос подачи отвердителя; 5 – насос промывной системы; 6 – емкость отвердителя; 7 – емкость растворителя; 8 – двигатель смесителя компаунда; 9 – водило мешалок; 10 – рама; 11 – подвеска; 12 – планетарный редуктор; 13 – технологический контроллер



Опыт перемешивания небольших объемов полимерных компаундов «в пробирке» свидетельствует о возможности использования в качестве механических мешалок практически одного конструктивного решения – вращающегося стержня, очищаемого от налипающей на него массы охватывающей его спиралью круглого сечения. При увеличении требуемого объема компаунда, диаметр стержня со спиралью неизбежно будет иметь внешний диаметр, меньший, чем внутренний диаметр сосуда, в котором ведется перемешивание. Вдоль стенок сосуда могут сохраняться застойные зоны. Для выполнения равномерного перемешивания и диспергирования компаунда необходимо перемещать мешалку вдоль стенок сосуда. Тогда сдвигается пограничный слой и отрывается налипающий на стенки компаунд с одновременным диспергированием наполнителей. Для усиления вертикальной циркуляции и подачи компаунда из верхних слоев объема в нижние слои необходимо преодоление статического давления столба суспензии. Этому способствует спираль, охватывающая вращающийся стержень. Примыкающий к мешалке слой компаунда сдвигается вниз по винтовой линии, и возникает вертикальная циркуляция. Происходит интенсивное диспергирование слоя компаунда, примыкающего к стержню, вращающемуся с большой частотой. Для обеспечения выгрузки из сосуда необходимо использовать наиболее рациональную форму ванны смесителя – коническую, позволяющую выполнять постепенную выгрузку готового полуфабриката в трубопровод. Над корпусом размещено водило с подшипниковыми узлами, в которых базируются валы мешалок. Водило установлено с возможностью относительного вращения вокруг центрального вала. По краям водила располагаются дополнительные пристеночные валы, оси которых параллельны стенкам корпуса. Пристеночные валы установлены с возможностью вращения и связаны ременными приводами с центральным валом, соединенным с двигателем. Центральный и пристеночные валы снабжены спиралью круглого сечения, закрепленными на водиле. Центральный вал охвачен спиралью по всей длине, а пристеночные выполнены ступенчатыми, и их верхние части с меньшими диаметрами охвачены спиралью.

Конструкция смесителя компаунда с отвердителем – одношнековая, т. е. вал мешалки располагается по оси цилиндрического корпуса и охватывается спиралью круглого сечения, закрепленной в водиле последней ступени планетарного мотор-редуктора. Мешалка смесителя приводится во вращение от электродвигателя через планетарную многоступенчатую передачу, которая обеспечивает требуемое соотношение частот вращения вала и спирали и гарантирует качество перемешивания компаунда и отвердителя. Витки спирали по внешней поверхности примыкают к внутренней поверхности корпуса смесителя, очищая внутрен-

нюю поверхность корпуса от налипающей массы. Входной патрубок смесителя компаунда с отвердителем устроен по типу «труба в трубе». Компаунд подается коаксиально по внешней части, а отвердитель – по оси потока по внутренней трубке в требуемом соотношении с объемом компаунда. Конструкции смесителей защищены патентами России [1–2].

Для получения требуемых стабильных показателей компаунда необходимо изучить ряд взаимных зависимостей основных технологических параметров перемешивания, выбрать критерии для оценки качества получаемой композиции, определить величины параметров управления процессом смешивания. Практический интерес вызывает в первую очередь время перемешивания суспензии в смесителе компаунда, а также и время, затрачиваемое на подачу требуемого количества компаунда в смеситель компаунда с отвердителем.

Для этого была собрана измерительная система (рис. 2). Частоты вращения валов мешалок измерялись счетчиками импульсов СИ-8, сигнал на которые подавался от датчиков импульсов. Частота вращения водила фиксировалась магнитоконтактным (герконовым) датчиком, посылавшим импульсы на счетчик СИ-8 от двух ферромагнитов, которые были установлены на торцах водила. Частота вращения центрального вала измерялась при помощи индуктивного датчика Холла, установленного напротив муфты электродвигателя, фиксировавшего частоту вращения соединительных болтов муфты и подававшего сигналы на второй счетчик СИ-8. Температура корпуса и перемешиваемой массы компаунда замерялась термодатчиками ТХК («хромель-копель»), подававшими сигналы на цифровые термоизмерители 2ТРМ1. Одна термодатчика была установлена на корпусе смесителя и фиксировала температуру корпуса в его верхней части на высоте 50 мм от фланца корпуса с наружной стороны, а вторая термодатчика опускалась периодически в компаунд на глубину 50 мм от верхнего уровня массы вплотную к центральной мешалке. Распределение температурных полей не измерялось. Мощность асинхронного электродвигателя привода мешалок замерялась ваттметром К-50, фиксировался ток в обмотках электродвигателя амперметром, напряжение измерялось вольтметром. Параметры питания электродвигателя постоянного тока привода шестеренного насоса НШ-10 варьировались реостатом, напряжение измерялось вольтметром.

В зависимости от массы загрузки полуфабрикатов в смеситель при постоянной начальной температуре процесса построены графики изменения частоты вращения водила пристеночных мешалок за время перемешивания компаунда (рис. 3).

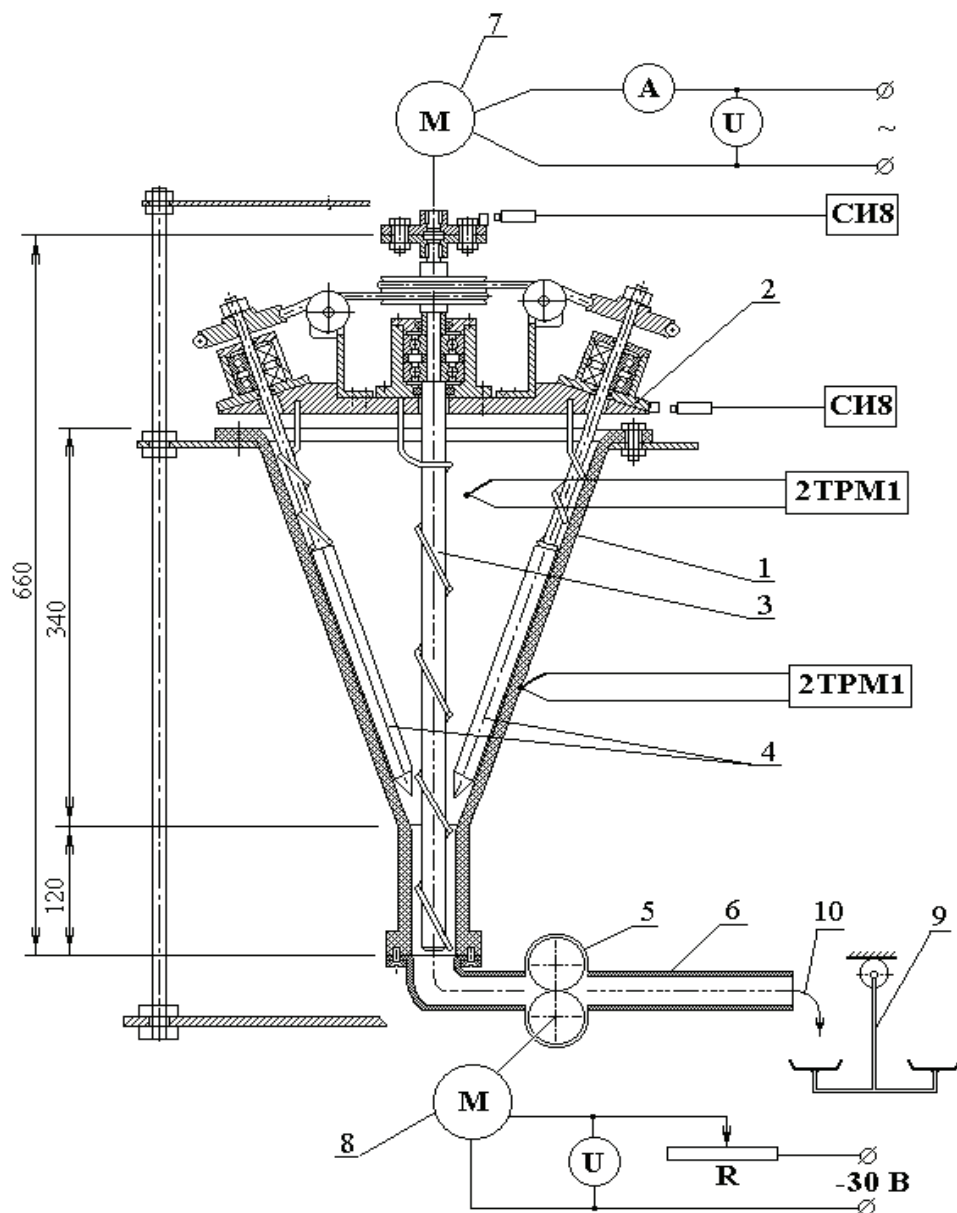


Рис. 2. Система измерений параметров смесителя компаунда:
1 – корпус; 2 – водило мешалок; 3, 4 – мешалки; 5 – насос;
6 – патрубок; 7, 8 – двигатели; 9 – весы; СИ8 – счетчики импульсов; 2ТРМ1 – цифровые термоизмерители; U – вольтметры;
A – амперметры; R – реостат

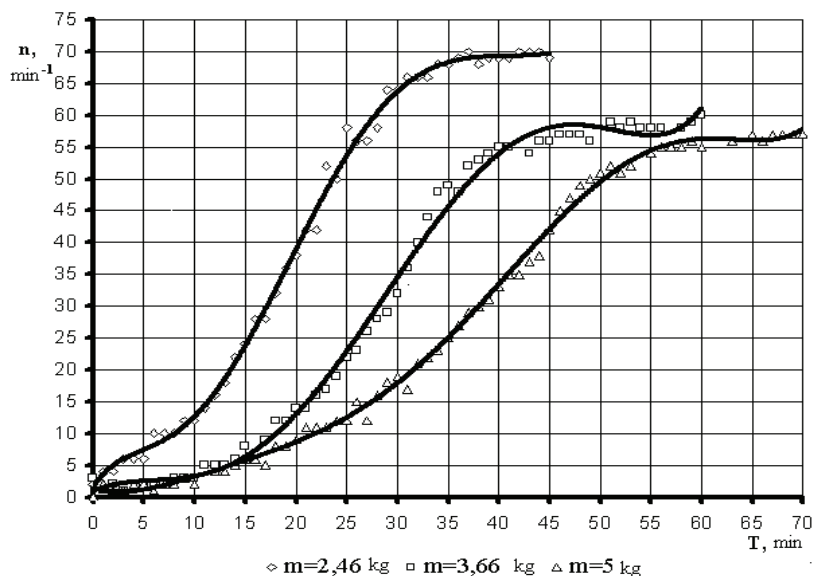


Рис. 3. Частоты вращения водила смесителя компаунда

Анализ полученных графиков показывает, что водило пристеночных мешалок плавно увеличивает частоту вращения до определенной величины, зависящей от величины загрузки ванны смесителя. Время перемешивания увеличивается при увеличении массы загрузки ($m=2,46$ кг; $3,66$ кг и 5 кг) и соответственно составляет $t = 35, 45$ и 60 мин. Дальнейшего увеличения времени перемешивания не требуется, т. к. частоты вращения водила остаются практически постоянными ($n = 70, 58-60, 56$ мин⁻¹), даже несмотря на некоторый прирост температуры. Это свидетельствует о выравнивании уровней сопротивления перемешиванию и достижении стабильности диспергированного состава в полученной суспензии композита.

В процессе перемешивания повышается температура компаунда. Так как в массу вводится кинетическая энергия от движения мешалок, происходит диспергирование суспензии, сопровождающееся внутренним трением дисперсионной среды (эпоксидной смолы), циркулирующей в корпусе. При этом часть тепла расходуется на нагрев корпуса и окружающей среды (рис. 4).

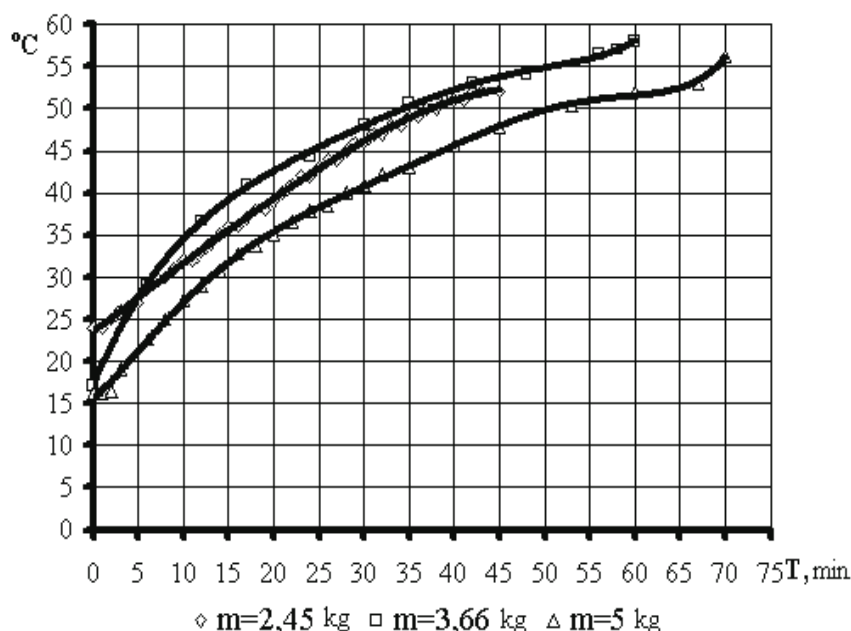


Рис. 4. Температуры компаундов в смесителе

Из рис. 4 следует, что процесс перемешивания – термодинамически не установившийся. По истечении отмеченного выше времени смешивания (35, 45 и 60 мин) температуры компаундов продолжают плавно увеличиваться и превышают величины, достигнутые в выделенных выше точках ($t > 51-55$ °C). Это свидетельствует о недостаточной интенсивности теплоотдачи от корпуса смесителя и поверхности массы по сравнению с интенсивностью смешивания. Однако определенные уровни температуры окончания смешивания позволяют в дальнейшем обеспечить контроль и управление технологическим процессом.

Для интенсификации перемешивания и сокращения времени процесса возможно применение дополнительного подогрева массы при помощи спирального электронагревателя, встроенного в стенки конусной ванны смесителя. В данной конструкции смесителя использовался нагреватель мощностью 1,4 кВт.

На рис. 5 представлены зависимости температуры компаунда от времени перемешивания при дополнительном подогреве корпуса смесителя. Практически уровень отмеченных выше конечных температур достигался за 8, 10 и 15 мин для исследованных объемов загрузки компаунда, что создает предпосылки к интенсификации и сокращению времени процесса перемешивания.

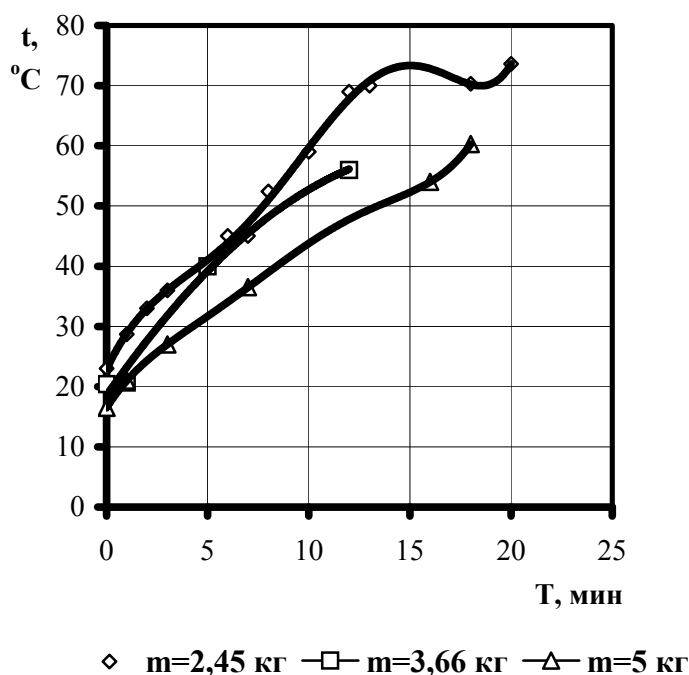


Рис. 5. Температуры компаундов при подогреве корпуса смесителя

из представленного следует, что проводить постоянный подогрев корпуса смесителя нет необходимости, т. к. в этом случае при коротком времени перемешивания можно не достигнуть требуемого уровня диспергации наполнителей и получить неоднородную по распределению наполнителей суспензию. Для данной конструкции и размеров смесителя подогрев следует применять на начальной стадии перемешивания до температуры 40 °C в течение 4,5 мин при загрузке 2,45 кг и 8 и 10 мин при большей загрузке (3,66 кг и 5 кг массы и наполнителей).

На рис. 6 приведены зависимости роста температуры корпуса смесителя при использовании принудительного подогрева. Связывая последние кривые с предыдущими (см. рис. 5), можно сделать вывод, что выключать подогрев следует при достижении температуры корпуса до 45 °C через 3 мин (для половинной загрузки) и ~7 мин (при загрузке в 2/3 объема и полной), т. е. в соответствии с объемом массы.

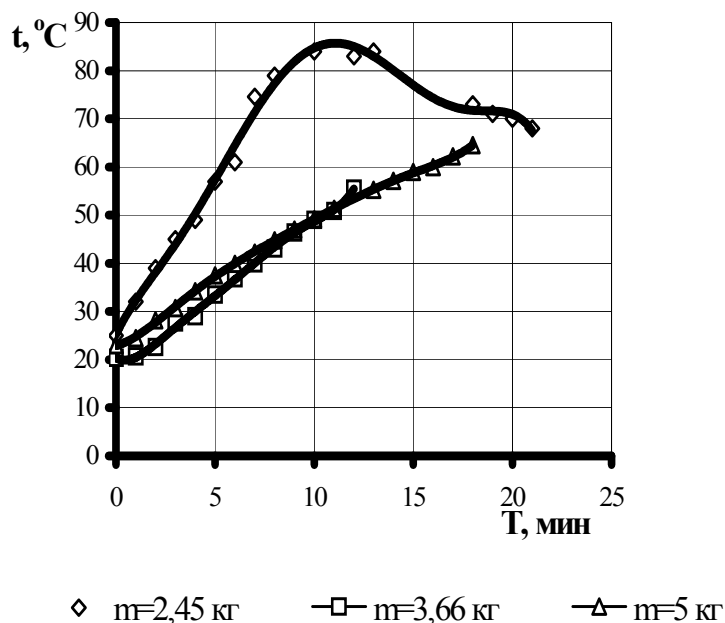
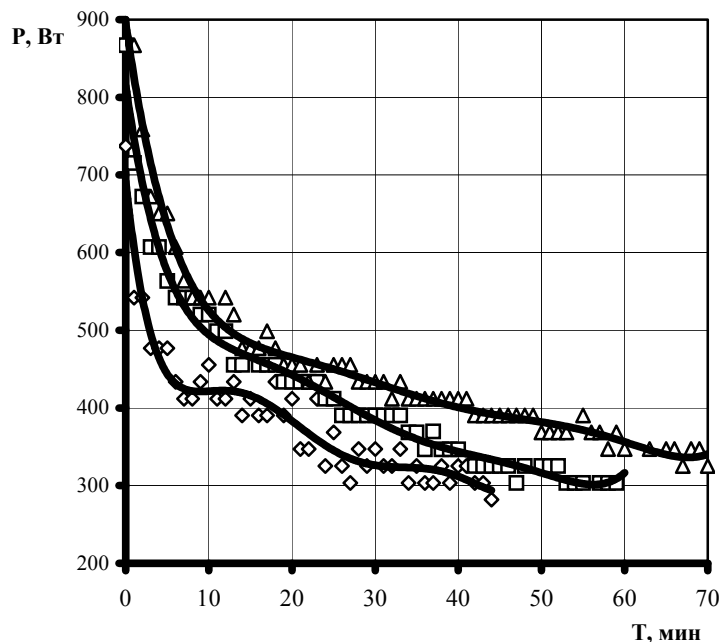


Рис. 6. Температуры корпуса смесителя при подогреве

На рис. 7 представлены зависимости мощности двигателя привода мешалок от времени перемешивания. Уровень затрат мощности с увеличением массы компаунда возрастает. В то же время, с увеличением продолжительности процесса затраты мощности закономерно снижаются, что связано с понижением сопротивления при перемещении мешалок (падением вязкости, выравниванием плотности). Затраты энергии можно оценить, сравнивая площади под графиками, т. к. произведение мощности на время процесса – это работа, затраченная на перемешивание. Даже ориентировочная оценка площадей, расположенных под графиками, свидетельствует о том, что свыше 30 % энергии затрачивается в течение первых 10 мин процесса. Используя принудительный подогрев корпуса, можно добиться уменьшения затрат мощности. Дальнейшие исследования показали, что период снижения пусковых мощностей при подогреве корпуса смесителя сократился до 5 мин, уровень затрат мощности к 10-й мин перемешивания значительно снижался по сравнению с работой смесителя без подогрева.

Поэтому принудительный подогрев корпуса следует использовать при работе смесителя компаунда для снижения затрат и сокращения времени приготовления полимерных компаундов.



◇ $m=2,45$ кг □ $m=3,66$ кг △ $m=5$ кг

Рис. 7. Мощность двигателя привода мешалок смесителя при работе без подогрева корпуса

Важную практическую ценность имеет изучение подачи компаунда из первичного смесителя на смеситель компаунда с отвердителем (рис. 8). Расход компаунда зависит не только от технологических параметров процесса перекачки (состава компаунда, его температуры и вязкости), но также и от линейных потерь и местных сопротивлений. Проведено исследование производительности шестеренного насоса НШ-10 при подаче компаунда с различной температурой от 20 до 60 °С при различных напряжениях питания двигателя привода. Использовался фторопластовый трубопровод постоянной длины и внутреннего диаметра. При различных температурах перекачиваемого компаунда подача насоса – массный расход – изменялся пропорционально величине напряжения питания двигателя (15, 20, 25 и 30 В).

Проведенные исследования позволили автоматизировать процесс перемешивания и дозирования компаундов с использованием специального управляющего технологического контроллера с цифровой индикацией (рис. 9).

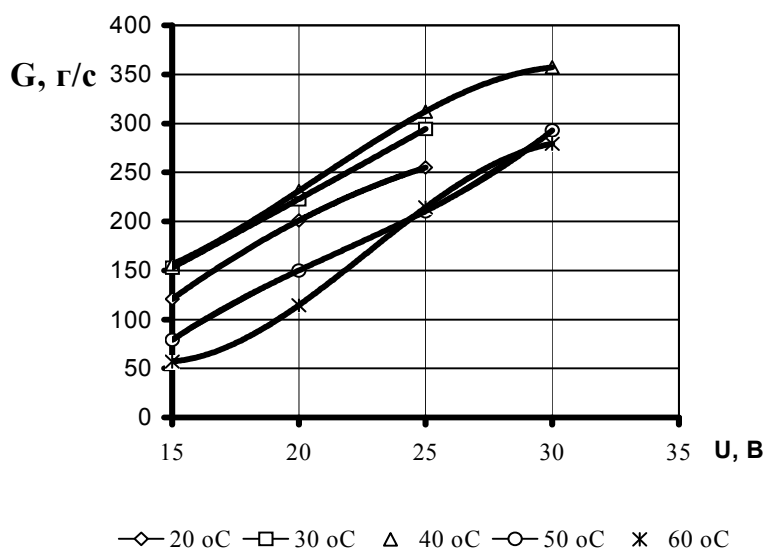


Рис. 8. Зависимость подачи насоса от температуры компаунда

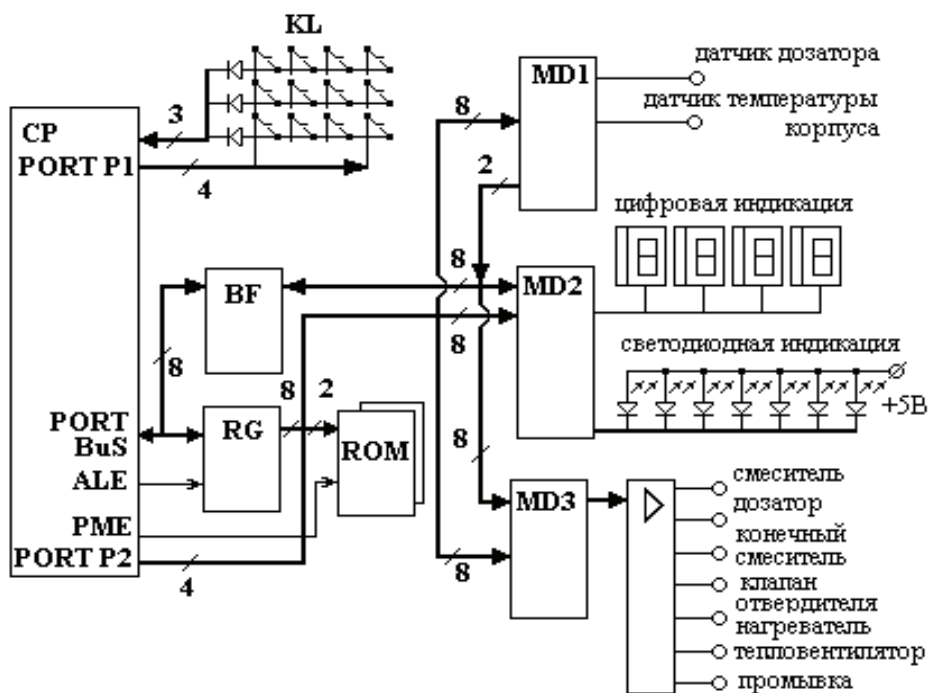


Рис. 9. Структурная схема контроллера ДСА

Основные функциональные узлы контроллера, представленные на рис. 9, включают в себя микроконтроллер СР, буферный ВФ-усилитель, регистр-защелку RG, память программ ROM, клавиатуру KL, модули управления индикацией MD2 и внешними устройствами MD3, модуль датчиков MD1.

Микроконтроллер СР не содержит на кристалле память программ, поэтому к нему подключено внешнее ПЗУ объемом памяти 4096 байт. Адрес любой ячейки памяти в пределах 4096 байт определяется 12-разрядным кодом, 8 разрядов формируются по шине данных на адресном регистре RG, а четыре младших разряда – портом P2.

Управление контроллером осуществляется от клавиатуры KL, которая имеет 12 клавиш. Клавиатура подключена к выводам порта P1. Сканирование клавиатуры осуществляется программно с помощью алгоритма «бегущего нуля». Дребезг контактов клавиатуры устраняется также программно.

Текущая информация отображается на светодиодных и цифровых индикаторах. Управление индикацией осуществляется через модуль MD2. Способ организации интерфейса микроконтроллера с цифровой индикацией – динамический. Для этой цели используется регистровый файл, который хранит коды символов. Регистровый файл доступен только для записи. Регенерация изображения символов на индикаторах производится путем выборки данных из регистрового файла с помощью устройства управления индикацией.

Сигналы от датчиков приведены к TTL-уровням в модуле MD1, запоминаются в регистре, а затем считываются микроконтроллером.

Модуль MD3 получает коды с шины данных, которые определяют последовательность включения и выключения исполнительных механизмов установки.

Использование контроллера позволяет оператору знать количество композиции, поступившей в форму, в любой момент времени, и задавать требуемые объемы перекачки компаунда, необходимого для дальнейшего формования изделий.

Исследование кинематических и термодинамических параметров смесителей выявило ряд закономерностей их изменения в течение перемешивания и явилось основой для автоматизации и управления работой узлов смешивания и дозирования композиций, создания дозирующе-смешивающих аппаратов, применяемых в технологии производства полимерных композиционных материалов.

Библиографические ссылки

1. Патент РФ № 1720867. МКИ В 29 7/38. Смеситель / В. А. Иванов, С. П. Захарычев, А. Т. Тарасенко. М., 1992.
2. Патент РФ № 1754465. МКИ В 29 7/10. Смеситель компаунда с отвердителем / В. А. Иванов, С. П. Захарычев, А. Т. Тарасенко. М., 1992.