

На протяжении последних десяти лет вопросам термостатирования литевых форм со стороны специалистов по литью под давлением уделяется возрастающее внимание. Оптимальным дополнением к регулируемым распределителям охлаждающей воды стали термостатирующие системы с регулируемой частотой вращения насосов. За счет их интегрирования в системы управления литевых машин достигается синергетический эффект, допускающий возможность не только снижения уровня дефектности продукции, но и относительно простого определения реально необходимого расхода, автоматической корректировки частоты вращения насоса и, как следствие, существенного сокращения энергопотребления.

Благодаря новым термостатам модели e-temp и их интегрированию в систему управления литевой машиной возникли новые возможности для дальнейшего снижения уровня дефектности продукции и энергопотребления
(все иллюстрации: ENGEL)



Интегрированное термостатирование форм для сокращения брака и энергопотребления

М. Шлегер, К. Балка, д-р, Й. Гиссауф, ENGEL Austria GmbH (г. Швертберг, Австрия)

В то время как на современных литевых машинах движения регулируются с точностью до сотых миллиметров, в борьбе за сокращение времени цикла счет идет на сотые доли секунды, а применение высокоэффективных приводных систем сводит потребление энергии к минимуму, некоторым другим важным факторам все еще не уделяется должного внимания. Речь идет среди прочего о термостатировании литевых форм. Как и 30 лет назад, расход охлаждающей воды во многих случаях настраивается с помощью поплавковых регуляторов (так называемых «водяных органов»), которые не позволяют осуществлять реальный контроль температуры и расхода. В результате плохо термостатируемая литевая форма быстро может стать причиной появления брака.

Наблюдающаяся в последние годы тенденция заключается в использовании электронных распределителей воды для контроля и регулирования параметров процесса термостатирования литевых форм. Даже настраиваемые вручную подобные системы обеспечи-

вают важные преимущества с точки зрения контроля и стабильности технологического процесса. В особой степени регулирование и протоколирование определяющих параметров режима литья под давлением необходимо в производстве продукции ответственного назначения, например, для медицины и автомобильной промышленности. Регулируемые системы термостатирования позволяют поддерживать расход охлаждающей воды на постоянном уровне даже при колебаниях давления в системе питания. Кроме того, выбранные настроечные параметры сохраняются в пакетах данных вместе с характеристиками изготавливаемых изделий.

Какая величина расхода является необходимой

При определении оптимальной величины расхода охлаждающей воды стремятся к достижению двух основных целей:

- создание турбулентного водяного потока в каналах системы термостатирования;

- обеспечение равномерного распределения температуры.

Как известно, турбулентный поток охлаждающей воды обеспечивает существенно более интенсивный теплообмен между нею и литевой формой по сравнению с ламинарным потоком. Турбулентность потока характеризуется числом Рейнольдса, при определении которого учитываются диаметр канала охлаждения, расход воды, а также ее плотность и вязкость [1]. Вместе с тем, в результате поглощения или отдачи тепла температура охлаждающей воды по длине канала изменяется. По этой причине температурные условия в зонах вблизи от входа потока в литевую форму и его выхода из формы не являются одинаковыми. Это различие в температурах необходимо минимизировать для того, чтобы свести до приемлемого уровня его влияние на качество изготавливаемых изделий.

Перепад температур ΔT охлаждающей жидкости (обычно – воды) можно определить путем измерения ее температуры на входе в канал охлаждения и на выходе из него. Этот параметр является мерой равномерности распределения температур в литевой форме и, таким образом – в противоположность расходу – важным косвенным параметром, обуславливающим качество литевых изделий. Из источника [2] известны ориентировочные значения рекомендуемого перепада между температурами охлаждающей воды на входе в литевую форму и выходе из нее, который составляет:

- для технических прецизионных изделий – от 1 до 3 °C;
- для стандартных изделий – от 3 до 5 °C.

Регулируемые системы водораспределения – такие, как ENGEL e-flow – позволяют осуществлять независимое регулирование либо расхода, либо перепада температур в каждом контуре. Преимущество регулирования параметра ΔT заключается в том, что последующая индивидуальная настройка расхода для каждого контура термостатирования выполняется автоматически.

Перепад температур является универсальным параметром, поскольку как для малых, так и для больших литевых форм может использоваться одно и то же установочное значение ΔT . Датчики температуры в системе термостатирования должны располагаться максимально близко к литевой форме, чтобы регистрировать реальный перепад температур именно в литевой форме, а не после того как вода охладится в длинных шлангах. Это означает, что измерение перепада температур в системе термостатирования является информативным только при определенных условиях. На практике рекомендуется выполнять измерения в распределителе воды, расположенном по возможности близко от литевой формы.

Как видно из представленных на рис. 1 результатов компьютерного моделирования температурного поля в термостатируемой литевой форме, охлаждающая вода постепенно нагревается по мере течения по контуру термостатирования, в соответствии с чем повышается и температура литевой формы. Этот эффект проявляется менее заметно при увеличении расхода воды. В зависимости от настройки параметров работы системы термостатирования в той или иной степени прояв-

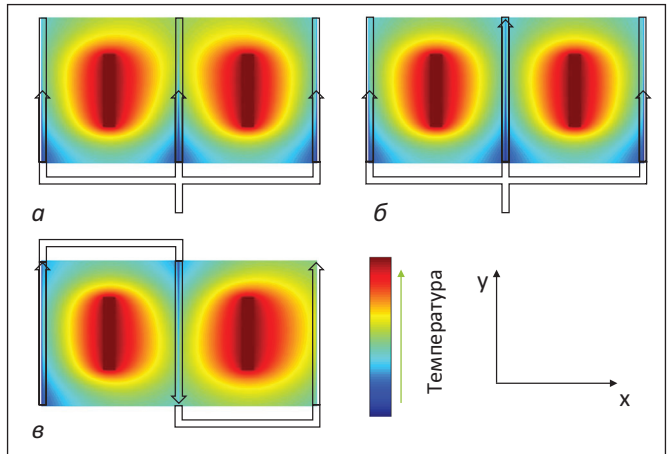


Рис. 1. Результаты моделирования распределения температур в литевой форме с двумя гнездами и тремя каналами охлаждения. Направления стрелок показывают направление движения охлаждающей воды, а их длина (условно) – величину расхода (другие пояснения – в тексте статьи)

ляются различия в распределении температур. Рассмотрим более подробно возможные варианты такой настройки на примере литевой формы с двумя оформляющими гнездами и тремя каналами охлаждения

Параллельное подключение трех контуров термостатирования с одинаковыми расходами – распространенный подход, при котором одинаковая настройка величины расхода должна вроде бы обеспечить одинаковые температурные условия, однако в реальности это не так. Дело в том, что вода нагревается в среднем (внутреннем) канале охлаждения в большей степени, чем в обоих внешних каналах, так как поглощает тепло от двух гнезд литевой формы. По этой причине температура изготавливаемых изделий в обоих гнездах формы вблизи от ее середины оказывается выше, чем на участках, находящихся вблизи от правого и левого краев (см. рис. 1, а).

Параллельное подключение трех контуров термостатирования с одинаковыми перепадами температур является оптимальным решением задачи, при котором расход воды в среднем термостатирующем канале автоматически увеличивается вдвое, обеспечивая тем самым требуемую эффективность отвода тепла. В результате оба гнезда литевой формы термостатируются в равной степени (см. рис. 1, б).

Последовательное подключение трех контуров термостатирования приводит к тому, что температура охлаждающей воды на входе во второй и третий каналы соответствует ее температуре на выходе предыдущего канала. Это обуславливает различные температуры вокруг гнезд литевой формы. Температурное поле при этом получается более неравномерным, чем при параллельном подключении. Эту неравномерность можно уменьшить только за счет увеличения расхода (см. рис. 1, в).

Для создания требуемого распределения охлаждающей воды по отдельным контурам термостатирования необходимо осуществлять индивидуальное дросселирование расхода воды в этих контурах. Насос термостата будет при этом работать с номинальной частотой вращения, обеспечивающей преодоление гидрав-

лического сопротивления распределителя воды. «Торможение» расхода предопределяет в этих случаях потери энергии. Такой режим можно сравнить с движением на автомобиле на полном газу, когда скорость регулируется нажатием на тормозную педаль.

Вместе, а не друг против друга

Устранить это недостаток и одновременно добиться экономии энергии позволяет применение термостатирующих устройств, оснащенных насосами с регулируемой частотой вращения двигателя и согласованными с распределителем воды системами управления насосами через литьевую машину.

Термостатирующие устройства с насосами с регулируемой частотой вращения двигателя уже на протяжении ряда лет предлагаются на рынке [3], однако регулировка частоты вращения при этом связана с определенными трудностями для оператора. Предлагаемые для упрощения работы вспомогательные средства предусматривают предварительный ввод расхода или перепада температур. Если в основе работы термостатирующей системы лежит регулирование перепада температур, то – как было отмечено выше – проявляется недостаток, связанный с длинными шлангами, ведущими к литьевой форме, и связанными с этим повышенными тепловыми потерями. В результате измерений получают значения температур, не в полной мере соответствующие реальным условиям технологического процесса.

При использовании установленного за регулятором распределителя воды регулирование перепада температур в термостатирующей системе является малоэффективным, так как на самом деле происходит регулирование усредненной температуры всех контуров термостатирования, и возможность получения достоверной информации о температурных условиях в отдельных контурах литьевой формы исключается.

Преимуществом термостатирующей системы компании ENGEL, состоящей из распределителя охлаждающей воды e-flow и предоставленного компанией HB-Therm термостата e-temp (см. фото у заголовка статьи), заключается в том, что взаимодействие этих обоих компонентов системы автоматически оптимизируется с помощью программы iQ flow control. Если распределитель в каком-либо режиме работы использует принцип регулирования потока и перепада температур, то система управления литьевой машины автоматически корректирует частоту вращения привода насоса, снижая ее до минимально возможного значения. Ключевое значение при этом имеет снижение гидравлического сопротивления в распределителе. Клапаны открываются в максимально возможной степени при одновременном уменьшении частоты вращения. В то же время величина потока в контурах литьевой формы благодаря такому «умному» регулированию остается без изменений. Уменьшенная частота вращения насоса предопределяет и меньшее потребление энергии.

На термостатирующие устройства, как правило, приходится значительная часть общего энергопотребления литьевой производственной ячейки. Это, чаще всего, обуславливается не требуемой нагревательной мощностью, которая при работе в диапазоне относи-

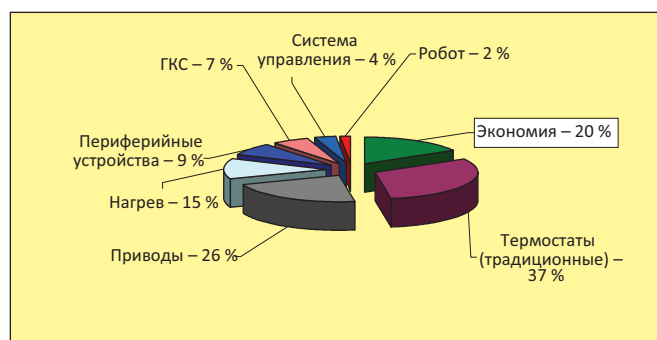


Рис. 2. Характерная структура потребления энергии различными компонентами литьевой производственной ячейки: благодаря системе автоматического регулирования частоты вращения двигателей насосов термостатов удалось снизить общее энергопотребление на 20 % (ГКС – горячеканальная система)

тельно низких температур формы ($< 70\text{--}80^\circ\text{C}$) востребована, главным образом, на пусковой стадии, а при водной мощностью, потребляемой насосом, работающим в традиционных системах с постоянной частотой вращения двигателя.

В качестве примера на рис. 2 приведено измеренное энергопотребление реальной литьевой производственной ячейки. На полностью электрической литьевой машине ENGEL e-motion 170/80TL с двумя интегрированными термостатами типа e-temp H8-100 изготавливались экспериментальные изделия из АБС-пластика с массой впрыска по 7,1 г. Время цикла составляло около 10 с, а температура воды на входе в литьевую форму – 50°C . При работе в традиционном режиме (с отключенной системой регулирования частоты вращения двигателя насоса) на термостатирующие устройства приходилось 37 % от общего количества потребляемой энергии. Включение системы iQ flow control позволило уменьшить энергопотребление термостатирующих устройств примерно наполовину без изменения расхода. Для производственной ячейки в целом это означало экономию до 20 % энергии при таких же производственных условиях.

Дуэт термостатирующего устройства и распределителя воды

В таблице приведены результаты измерения мощности насоса при работе с двумя контурами термостатирования, которые подключались индивидуально, параллельно и последовательно. Было установлено, что:

- минимальная суммарная мощность насоса была зарегистрирована в случае индивидуального подключения контуров термостатирования, однако при этом для каждого контура требуется отдельный термостат;
- параллельное подключение контуров термостатирования связано с незначительным увеличением мощности насоса, но в этом случае благодаря наличию распределителя воды достаточно одного термостата;
- при последовательном подключении контуров термостатирования для достижения требуемого перепада температур, равного 3°C , приходится в два раза увеличивать расход охлаждающей воды, так как тепло от обоих контуров термостатирования должно отводиться с помощью одной-единственной системы. По

Требуемая мощность насоса для термостатирования двух контуров охлаждения литейной формы с разным перепадом давления в зависимости от способа подключения

Подключение	Схема подключения	Контур	Расход, [л/мин]	Перепад давления, бар	Частота вращения, 1/мин	Мощность насоса, Вт
Индивидуальное		A	5	0,1	1000	151
		B	5	0,7	1390	188
Параллельное		A	5	0,7	2050	380
		B	5			
Последовательное		A+B	10	3,4	2950	802

причине вынужденного увеличения расхода и более длинного пути течения воды существенно возрастают потери давления.

Следует также отметить, что энергопотребление термостатирующего устройства при последовательном подключении контуров термостатирования более чем в два раза превышает энергопотребление при параллельном подключении.

Вся система на одном экране

Термостат и распределитель воды вместе образуют термостатирующую систему. Поэтому вполне логично рассматривать фактические результаты их работы в совокупности (рис. 3). Это облегчает пользователям обо-

рудования его настройку, контроль за работой и поиск причин нарушений.

Справа на общей странице экрана (см. рис. 3) представлены компоненты системы, находящиеся на неподвижной крепежной плите литейной машины, а слева – компоненты, расположенные на подвижной крепежной плите. Соответствующие термостаты показаны под распределителем. Контур термостатирования, распределитель и термостаты могут подключаться и отключаться. На страницу выведены также основные фактические значения параметров работы системы, а требуемые их значения могут вводиться напрямую. Если какой-либо из компонентов становится причиной сигнала тревоги, его можно определить с первого взгляда.

Компания ENGEL впервые продемонстрировала новый подход к термостатированию на выставке K-2016 в Дюссельдорфе. Термостатирующие устройства e-temp, включающие в себя насосы с регулируемой частотой вращения двигателя, были разработаны совместно с компанией HB-Therm. Они интегрируются в системы управления CC300 литейных машин компании ENGEL, оснащенных распределителями термостатирующей воды модели e-flo, через платформу OPC UA (рис. 4).

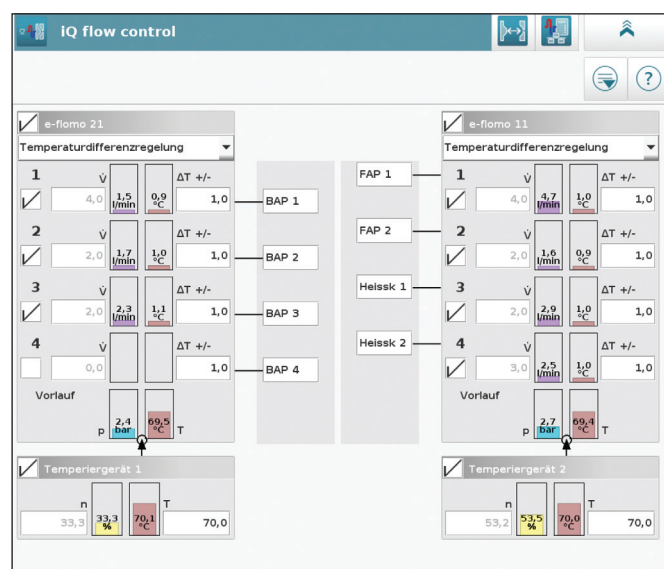


Рис. 3. Для более наглядного представления системы, состоящей из термостатирующего устройства и распределителя воды, был разработан новый пользовательский интерфейс. Все компоненты этой системы показаны на одной странице экрана панели управления. В центре находится символическое изображение литейной формы с ее контурами термостатирования (более подробно – в тексте статьи)

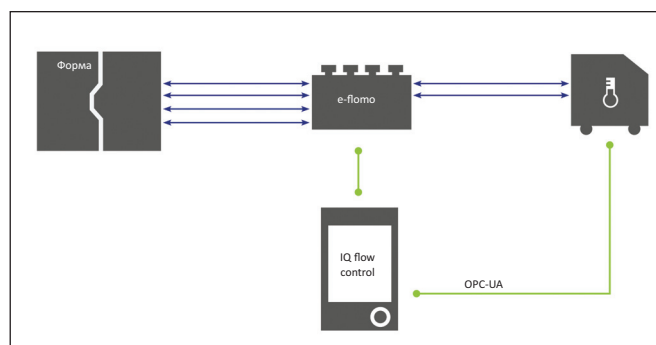


Рис. 4. Термостаты e-temp компании HB-Therm через платформу OPC UA интегрируются в системы управления CC300 литейных машин компании ENGEL. Платформа OPC UA все шире применяется в качестве стандартной системы коммуникации для «умных» заводов будущего

Заключение

В полимерной промышленности для коммуникации между объединенными в сетевую структуру литьевыми машинами, периферийными устройствами, датчиками и пользовательскими базами данных все шире применяется платформа OPC UA (Open Platform Communication Unified Architecture) [4]. Промышленная коммуникационная модель обеспечивает возможность независимого от конкретной платформы, высокоэффективного и гибкого взаимопонимания как на производственном уровне, так и с управляющими системами более высокого уровня – такими, как автоматизированные системы управления производством MES (Manufacturing Execution System) и планирования ресурсов предприятия ERP (Enterprise Resource Planning). Интеграция платформы OPC UA является важной составной частью реализации концепции inject 4.0 компании ENGEL и проявляется в результатах работы Euromar – Европейского комитета производителей оборудования для переработки пластмасс и каучуков, где содержатся рекомендации для применения принципов обмена информацией через платформу OPC UA (более подробно см. в ПМ № 3, 2017, с. 18–23. – *Прим. ред.*).

Для интегрирования термостатирующих устройств компания ENGEL совместно с компанией HB-Therm выбрала коммуникационную модель,

основанную на использовании всех функциональных возможностей платформы OPC UA. В дальнейшем предполагается предлагать эту модель и другим изготовителям термостатирующих устройств.

Литература

1. Raschke F., Giessauf J. Geregelte Verhaeltnisse sind gefragt // Kunststoffe. – 2014. – Nr. 9. – S. 110–113.
2. Geisser P. Temperiertechnik – Theorie und Praxis / HB-Therm AG. St. Gallen. Schweiz. 2016.
3. Spork F., Farrokhzad B., Ortegell H. Anleitung zum Energiesparen // Kunststoffe. – 2016. – Nr. 9. – S. 172–175.
4. Dimmler G., Fritz H., Froeschl D., Hoeglinger W., Kern A. Die smarte Fabrik spricht OPC UA // Kunststoffe. – 2016. – Nr. 9. – S. 154–159

Перевод А. П. Сергеевкова

Integrated Moulds Tempering for Reduction of Defects Level and Energy Consumption

M. Schlaeger, Ch. Balka, J. Giessauf

During the last ten years the increasing attention is paid to questions of injection moulds tempering. Tempering systems with adjustable rotating speed of pumps became optimum addition to adjustable distributors of the cooling water. Due to their integration in control systems of injection moulding machines the synergy effect allowing a possibility of rather simple determination of really necessary expenditure, automatic adjustment of rotating speed of the pump and, as a result, essential abbreviation of energy consumption is reached. ■