

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПАРОВОГО АККУМУЛЯТОРА

Д.А. Шнайдер, П.Н. Дивнич (ЮУрГУ),

И.Е. Вахромеев (ОАО "Магнитогорский металлургический комбинат")

Рассматривается построение динамической математической модели пароводяного аккумулятора, предназначенного для сглаживания пиков, вызванных переменной работой промышленных источников потребителей пара. Приводятся результаты апробации модели на данных эксплуатации системы пароснабжения металлургического предприятия.

Ключевые слова: паровой аккумулятор, математическая модель, динамические режимы пароснабжения, автоматическое регулирование пароснабжения.

Паровые аккумуляторы широко используются в промышленных системах пароснабжения для сглаживания пиков, вызванных переменной работой источников и потребителей пара. Применительно к металлургическому производству такими источниками являются котлы ОКГ кислородных конвертеров, а потребителями – установки вакуумирования стали. Так, например, в кислородно-конвертерном цехе ОАО "Магнитогорский металлургический комбинат" (ММК) работают три котла ОКГ, утилизирующие тепло, образующееся при плавке стали. Средняя продолжительность плавки – 15 мин, в сутки происходит примерно 28 плавков. В нормальном режиме плавки осуществляются поочередно, но могут быть и параллельные включения котлов ОКГ. Во время плавки поступление пара от первого котла ОКГ может составлять 150...300 т/ч, между плавками выработка пара не производится. Пар, поступающий от котлов ОКГ, аккумулируется в паровых аккумуляторах и далее поступает к технологическим потребителям, наиболее приоритетными из которых являются турбинный участок паросилового цеха (ПСЦ) и вакууматор. Вакууматор работает циклически с интервалом 20...40 мин. Частота включений зависит от числа плавков стали и составляет в среднем около 5 раз в смену. При этом подача пара на вакууматор в пиковом режиме достигает 40...45 т/ч, что составляет до 30% от общей нагрузки остальных потребителей (около 150 т/ч). Тем самым работа вакууматора оказывает значительные возмущения на систему пароснабжения турбинного участка ПСЦ и обуславливает пониженные объемы выработки электроэнергии.

С учетом указанных выше особенностей работы котлов ОКГ и вакууматора существенным фактором повышения эффективности пароснабжения турбинного участка ПСЦ от паровых аккумуляторов является обеспечение эффективного регулирования заряд-

но/разрядных процессов за счет внедрения систем автоматизации. В основе решения данной задачи лежит разработка математической модели динамических режимов парового аккумулятора.

Методы математического моделирования гидравлических и тепловых режимов тепловых сетей приведены в работах [1, 2 и др.]. В работе [2] также приводится математическое описание основных теплогидравлических процессов в паровых аккумуляторах. Однако в литературных источниках задача моделирования динамических режимов паровых аккумуляторов не рассматривается, что и определяет актуальность данной работы.

Приступая к описанию математической модели парового аккумулятора, рассмотрим его устройство (рис. 1). Паровой аккумулятор представляет собой цилиндрический бак, более чем наполовину наполненный водой. Входной пар поступает в водяное пространство аккумулятора через форсунки. Отвод пара осуществляется через паропровод в верхней части бака. Для заполнения (опорожнения) бака водой, а также поддержания уровня воды в допустимых пределах при работе аккумулятора предусмотрены подпиточные трубопроводы.

Заряд аккумулятора осуществляется входным паром с массовым расходом $G_1(t)$, [кг/с], где t – текущее время. Поступая в воду, пар конденсируется, отдавая тепло воде и повышая ее температуру. В результате происходит увеличение температуры и массы воды в аккумуляторе. При достижении температурой воды точки кипения происходит ее вскипание, и в верхней части бака образуется пар. Процесс заряда аккумулятора ограничен сверху максимально допустимым давлением (4000 кПа) и максимальным допустимым уровнем воды. При этом, чем больше уровень (а значит и масса) воды, тем выше заряд аккумулятора, то есть выше накопленная в нем тепловая энергия.

Разряд парового аккумулятора происходит путем подачи пара с расходом $G_2(t)$, через разрядный паропровод. При этом вследствие снижения давления в аккумуляторе, происходит вторичное вскипание воды, в результате которого вновь образуется пар. Таким образом, разряд аккумулятора сопровождается снижением массы и уровня воды, а также температуры и давления вторичного пара. Поддержание уровня воды в аккумуляторе в допустимых пределах осуществляется путем подачи питательной воды $G_n(t)$. Воспользуемся уравне-

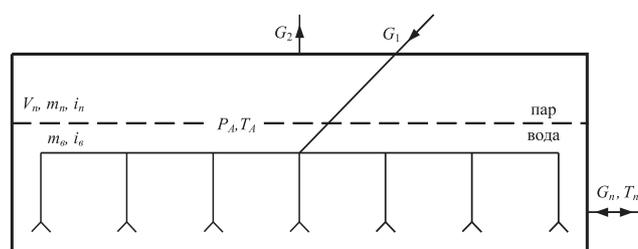


Рис. 1. Принципиальная схема парового аккумулятора

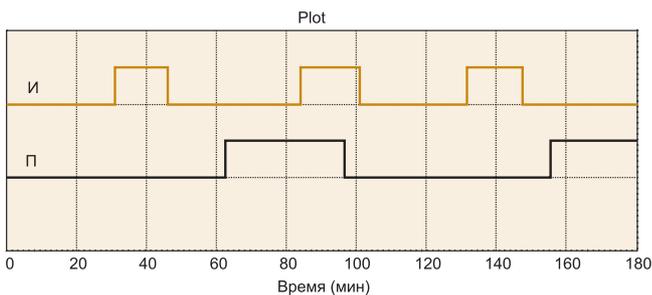


Рис. 2. Включение/отключение источника (И) и потребителя (П) пара

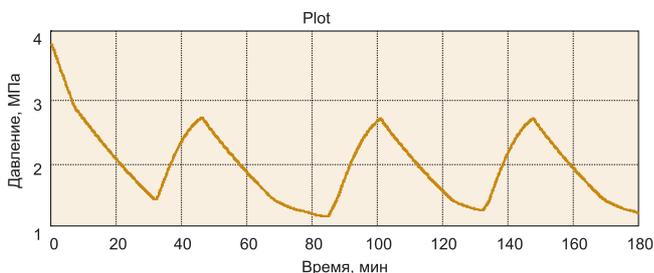


Рис. 4. Давление пара в паровом аккумуляторе

нием Клапейрона-Менделеева, приближенно описывающим связь между температурой, давлением и плотностью пара: $p = \rho RT$, где R – удельная газовая постоянная, $R = 0,411526$ кДж/(кг·К); p – давление теплоносителя, Па; ρ – плотность теплоносителя, кг/м³; T – температура теплоносителя, К. Отсюда уравнение, позволяющее приближенно рассчитать давление среды в пароводяном аккумуляторе $P_A(t)$ [Па], будет иметь вид:

$$P_A(t) = \frac{R \cdot T_A(t) \cdot m_n(t)}{V_n(t)}, \quad (1)$$

где $T_A(t)$ – температура [К] среды в паровом аккумуляторе; $m_n(t)$, $V_n(t)$ – масса [кг] и объем [м³] пара в аккумуляторе.

Температура $T_A(t)$ и давление $P_A(t)$ связаны между собой функциональной зависимостью температуры насыщенного пара от его давления:

$$T_A(t) = f_{нас}(P_A(t)). \quad (2)$$

Объем пара $V_n(t)$ может быть определен из выражения:

$$V_n(t) = V_A - \frac{m_w(t)}{\rho_w(T_A(t))}. \quad (3)$$

В формуле (3) V_A – объем пароводяного аккумулятора [м³], $\rho_w(T_A(t))$ – функциональная зависимость плотности воды [кг/м³] от ее температуры, $m_w(t)$ – масса воды в аккумуляторе [кг], определяемая в результате решения интегрального уравнения материального баланса:

$$m_w(t) = \int_0^t (G_1(t) - G_2(t) + G_n(t)) dt. \quad (4)$$

Интегральное уравнение энергетического баланса пароводяного аккумулятора будет иметь вид:

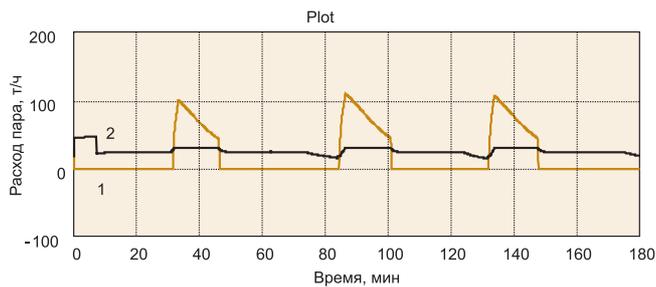


Рис. 3. Расход пара на входе (1) и выходе (2) парового аккумулятора

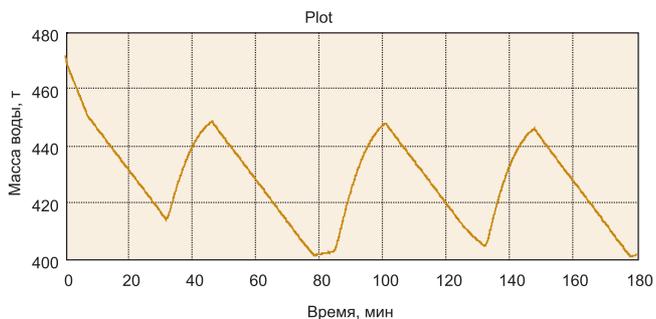


Рис. 5. Масса воды в паровом аккумуляторе

$$E_A(t) = \int_0^t (Q_1(t) - Q_2(t) - Q_{ном}(t) + Q_n(t)) dt, \quad (5)$$

где $E_A(t)$ – тепловая энергия [кДж], накопленная в аккумуляторе, $Q_1(t)$, $Q_2(t)$, $Q_{ном}(t)$, $Q_n(t)$ – тепловая мощность [кВт] входящего/выходящего пара, потерь в окружающую среду и подпитки соответственно.

Тепловые мощности $Q_1(t)$, $Q_2(t)$, $Q_n(t)$ определяются по следующим формулам:

$$Q_1(t) = G_1(t) \cdot i_{n1}(t), \quad (6)$$

$$Q_2(t) = G_2(t) \cdot i_{n2}(t), \quad (7)$$

$$Q_n(t) = G_n(t) \cdot i_{nn}(t), \quad (8)$$

где $i_{n1}(t)$, $i_{n2}(t)$, $i_{nn}(t)$ – энтальпия [кДж/кг] входящего, выходящего пара и питательной воды соответственно.

Мощность теплопотерь в окружающую среду $Q_{ном}(t)$ определяется по формуле:

$$Q_{ном}(t) = K_n \cdot F_A \cdot (T_A(t) - T_{нар}(t)), \quad (9)$$

где F_A – площадь [м²] поверхности аккумулятора; K_n – коэффициент теплопередачи от поверхности бака в окружающую среду [кДж/(кг К)]; $T_{нар}(t)$ – температура наружного воздуха [К].

Уравнения (1-9) представляют собой динамическую математическую модель пароводяного аккумулятора. Апробация разработанной динамической модели проводилась на данных эксплуатации системы пароснабжения ОАО "ММК". На рис. 2-5 приведены результаты моделирования режимов работы семи параллельно включенных паровых аккумуляторов энергокорпуса ПСЦ общим объемом 840 м³. Источником пара являются котлы ОКГ кислородно-конвертерного цеха. Потребители пара – турбинный участок ПСЦ, установка вакуумирования стали и производственные цеха.

Графики включения котлов ОКГ и вакууматора при моделировании приведены на рис. 2. При этом для максимального приближения к реальным условиям в модели был реализован автоматический регулятор расхода пара на выходе паровых аккумуляторов, настроенный на поддержание расхода на уровне 60 т/ч. Увеличение паровой нагрузки при включении вакууматора в значительной степени компенсировалось уменьшением подачи производственным цехом и увеличением подачи пара от дополнительных источников, подключенных к паровой сети.

На рис. 3 показаны графики расходов пара на входе/выходе паровых аккумуляторов. Графики изменения давления пара и массы воды приведены на рис. 4 и 5 соответственно.

Анализ графиков показывает, что при значительном изменении расхода пара на входе аккумуляторов (0...100 т/ч) расход пара на выходе в целом изменяется незначительно. При этом параметры пара (давление, температура), а также масса пара и воды в аккумуляторах

изменяются циклически, возрастая после включения источника пара, и уменьшаясь после его выключения.

Сопоставление результатов моделирования с данными эксплуатации показало, что разработанная модель в целом адекватно отражает динамику реальных режимов работы паровых аккумуляторов. На практике разработанную динамическую модель парового аккумулятора планируется использовать для отработки алгоритмов автоматического регулирования зарядно/разрядных процессов паровых аккумуляторов, а также в составе динамической модели системы пароснабжения промплощадки ОАО "ММК", предназначенной для оперативного анализа и диспетчерского управления пароснабжением.

Список литературы

1. *Зингер Н.М.* Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. 2-е изд. перераб. М.: Энергоатомиздат. 1986.
2. *Соколов Е.А.* Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. 5-е изд. перераб. М.: Энергоиздт, 1982.

Шнайдер Д.А. – канд. техн. наук, доцент каф. "Автоматика и управление",
Дивнич П.Н. – инженер ГОУ ВПО "Южно-Уральский государственный университет",
Вахромеев И.Е. – начальник паросилового цеха ОАО "Магнитогорский металлургический комбинат".
 Контактные телефоны: (351) 267-94-88, 795-63-19. E-mail: cikspb@gmail.com

Применение платформы PC/104 в авиационных испытательных системах

Материнская плата 104-1623CLDN является новой разработкой компании EVOC, которая идеально подходит для применения в авиации, на флоте и в других родственных сферах. Рассмотрим комплексное решение по испытанию противообледенительных авиационных систем на базе материнской платы 104-1623CLDN и периферийных плат сбора данных. Система тестирует большое число параметров (температура, сила тока, напряжение, давление и разность давлений) с высокой точностью и скоростью, обладает комплексной и многофункциональной структурой (рисунок).

Ядром системы сбора данных является материнская плата 104-1623CLDN на базе Pentium III компании EVOC, представляющая вместе с подключенными к

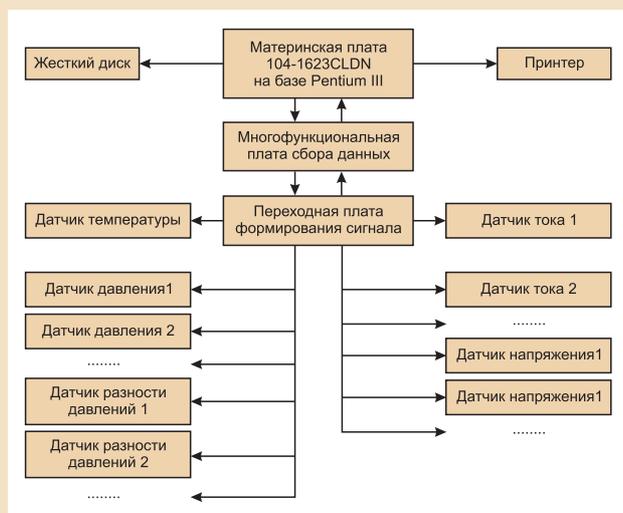
ней через шину PC/104 платами сбора данных интегрированное комплексное решение.

Материнская плата 104-1623CLDN оснащена чипсетом VIA VT8606+VT82C686B, встроенным процессором Celeron™ ULV 400/650 МГц, встроенной памятью SDRAM с максимальным объемом до 256 Мбайт, Ethernet-контроллером 10/100 Мбит/с, интерфейсами VGA/LCD/TFT, LAN, IDE, CompactFlash, двумя последовательными и одним параллельным портами, двумя USB-интерфейсами и двумя интерфейсами PC/104. Особенности этой встраиваемой промышленной платы на базе Pentium III являются низкое энергопотребление, многофункциональность, а также оптимальное соотношение цены и качества. Имеется источник питания 5 В и разъем для высокостабильного накопителя Disk-On-Chip.

В проекте используется многофункциональная плата сбора данных на базе аналого-цифрового преобразователя, имеющая 16-битный односторонний и 8-битный дифференциальный входной канал АЦП с частотой 12-битной выборки 100 кГц.

Для многоканального усиления и трансформации сигнала в системе использована переходная плата формирования сигнала 104-DAT1, отвечающая за предварительное формирование сигналов, поступающих к системе датчиков.

Представленное комплексное решение обладает высокой виброустойчивостью и ударопрочностью, а при бортовом применении обнаруживает высокую электромагнитную совместимость и устойчивость к электромагнитным помехам.



Контактный телефон (919) 962-87-68. <http://www.evocipc.ru> / www.evoc.com E-mail: oversea@evoc.com