

ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОТОКАМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СЕТЯХ С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ИХ АККУМУЛИРОВАНИЯ

Д.А. Шнайдер

В статье рассматривается подход к оперативному управлению потоками энергетических ресурсов в производственных сетях с учетом динамики их аккумулирования на основе использования математической модели. Приводится пример реализации предложенного подхода к управлению для системы пароснабжения крупного металлургического предприятия.

Ключевые слова: оперативное управление, энергетические ресурсы, производственные сети, аккумулирование ресурсов.

Современные сложные технические системы, к которым относятся, например, системы пароснабжения крупных производственных предприятий, представляют собой комплекс различных подсистем, выполняющих определенные функции и связанных между собой процессами динамического взаимодействия на основе аккумулирования и передачи энергией. Указанные системы являются нелинейными, многомерными и многосвязными, в которых протекают сложные переходные процессы и возникают критические и хаотические режимы. Поэтому задача оперативного управления потоками энергетических ресурсов в такого рода динамических системах является весьма актуальной, однако теоретически и практически крайне сложной.

Существующие теории и практика управления подобными системами используют в основном методы централизованного внешнего воздействия на различные объекты. Другим современным подходом к управлению сложными многосвязными системами является синергетическое управление, в основе которого лежит принцип самоорганизации систем. Однако независимо от используемых методов эффективное управление подобными системами требует получения достоверной прогнозной информации о состоянии системы, позволяющей формировать оперативные управляющие воздействия в соответствии с заданными критериями управления.

Решение данной задачи основано на создании в рамках традиционных АСУТП автоматизированных подсистем оперативного управления, позволяющих путем использования математических моделей, учитывающих динамику выработки, аккумулирования и потребления энергетических ресурсов в производственных сетях, осуществлять эффективное управление сложными многосвязными системами в режиме советчика диспетчерам.

Далее рассмотрим возможную реализацию указанного подхода к оперативному управлению

потоками энергетических ресурсов на примере системы пароснабжения промплощадки ККЦ ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

1. Структурная схема и особенности функционирования системы пароснабжения промплощадки ККЦ ОАО «ММК»

Укрупненная структурная схема системы пароснабжения промплощадки ККЦ ОАО «ММК» приведена на рис. 1. Система пароснабжения включает в себя: источники пара - ПЭВС-2, ЦЭС, котельная № 2, котлы ОКГ кислородных конвертеров; потребителей пара - вакууматор, электростанция ST-3, цеха ЛПЦ 6-8 и др. потребители; энергокорпус (ЭК) с пароаккумуляторами, пароперегревающую установку (ППУ), систему перераспределения пара (СПП) между вакууматором и другими потребителями и протяженные паровые сети, обладающие собственной аккумулирующей способностью.

Проблемным вопросом пароснабжения промплощадки ККЦ является обеспечение максимальной подачи пара на электростанцию ST-3 с целью увеличения выработки электроэнергии при полном удовлетворении снабжения паром технологических потребителей.

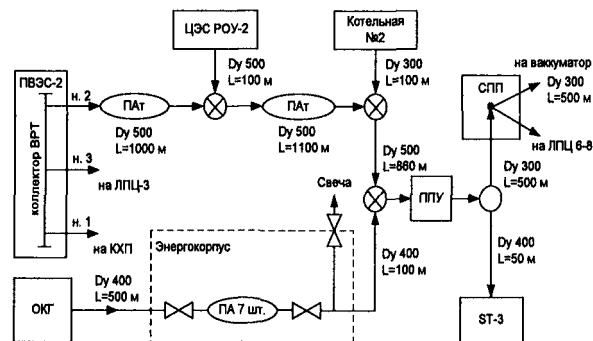


Рис. 1. Укрупненная структурная схема системы пароснабжения промплощадки ККЦ ОАО «ММК»

Основными возмущающими факторами в рассматриваемой системе пароснабжения, влияющими на пароснабжение станции ST-3, являются вакууматор и котлы ОКГ. Так, цикличность работы вакуу-

матора зависит от количества плавков стали и составляет около 15 включений в сутки, продолжительность включения 20-40 мин. При этом подача пара на вакууматор в пиковом режиме достигает 40-45 т/ч, что составляет до 30 % от общего расхода пара на входе ППУ (около 150 т/ч). Котлы ОКГ утилизируют тепло, образующееся при плавках в ККЦ. Во время плавки поступление пара от 1-го котла ОКГ может составлять от 150-300 т/ч. Средняя продолжительность плавки составляет 15 мин, среднее количество - 28 плавков в сутки.

Для демпфирования пиков работы вакууматора и котлов ОКГ используются пароаккумуляторы энергокорпуса (ПА), а также аккумулирующие способности паровых сетей (ПАт). Заряд ПА осуществляется паром от котлов ОКГ и сопровождается повышением температуры, давления и массы воды, накопленной в ПА. При разряде ПА происходит снижение давления в ПА и вторичное вскипание воды, в результате чего уровень воды в ПА снижается.

Однако объем производства пара от ОКГ является резко переменным и аккумулирующей способности ПА может быть недостаточно для аккумулирования всего пара. В этом случае оператор осуществляется вынужденный сброс пара в атмосферу через свечи в ЭК.

Графики, иллюстрирующие динамику режимов работы системы пароснабжения площадки ККЦ, приведены на рис. 2.

2. Математическое описание динамических процессов аккумулирования пара

Как уже отмечалось ранее, ключевым элементом демпфирования пиков выработки и потребления пара в системе пароснабжения промплощадки ККЦ являются паровые аккумуляторы энергокорпуса. Кроме того, протяженные паровые сети обладают собственной аккумулирующей способностью. В этой связи рассмотрим построение математической модели динамических режимов парового аккумулятора.

Принципиальная схема аккумулятора приведена на рис. 3. Как видно из рис. 3, 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. Поступая в воду, пар конденсируется, отдавая тепло воде и повышая ее температуру. В результате происходит увеличение температуры, давления 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 максимальным допустимым давлением (40 кгс/см²) и максимальным допустимым уровнем воды. При этом, чем больше уровень (а значит и масса) воды, тем выше заряд аккумулятора, т.е. выше накопленная в нем тепловая энергия. Из сказанного следует, что для эффективного заряда аккумулятора необходимо автоматически ограничивать давление пара до достижения максимального допустимого уровня воды в аккумуляторе.

Разряд парового аккумулятора происходит путем подачи пара с расходом $G_2(t)$, кг/с, 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 $G_n(t)$, кг/с.

В первом приближении в качестве базового уравнения моделирования течения пара может быть использовано уравнение состояния идеального газа Клапейрона-Менделеева [1, 2]

$$p/\rho = RT, \quad (1)$$

где $R = 0,411526$ – удельная газовая постоянная, кДж/(кг·К); p – давление, Па; ρ – плотность теплоносителя, кг/м³; T – температура теплоносителя, °С.

На основе использования уравнения (1) запишем систему уравнения описанных выше физических процессов в ПА:

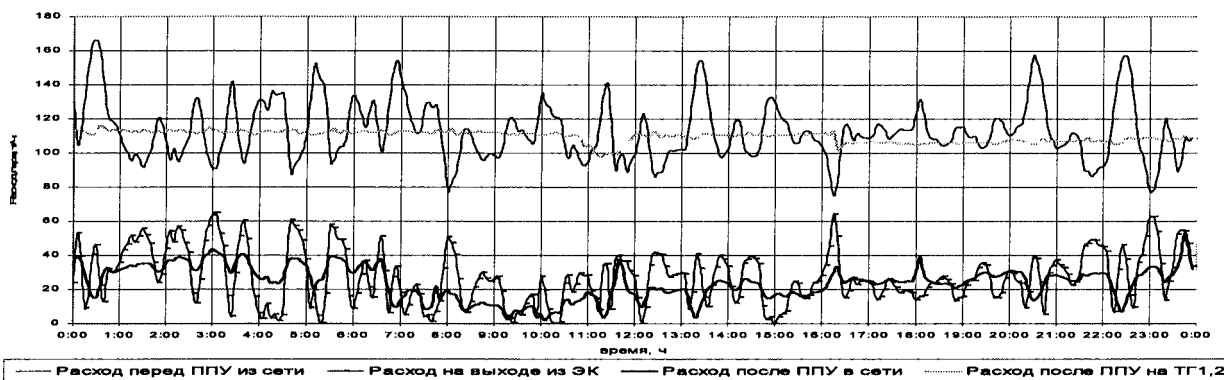


Рис. 2. Расходы пара в системе пароснабжения промплощадки ККЦ

$$\begin{cases}
 P_A(t) = RT_A(t)m_n(t)/V_n(t); \\
 V_n(t) = V_A - m_b(t)/\rho_b(T_A(t)); \\
 T_A(t) = f_n(P_A(t)); \\
 m_b(t) = \int_0^t (G_1(t) - G_2(t) + G_n(t))dt; \\
 E_A(t) = m_b(t)i_b(t) + m_n(t)i_n(t); \\
 E_A(t) = \int_0^t (Q_1(t) - Q_2(t) - Q_{nm}(t) + Q_n(t))dt; \\
 Q_1(t) = G_1(t)i_{n1}(t); \\
 Q_2(t) = G_2(t)i_{n2}(t); \\
 Q_{nm}(t) = k_n F_A (T_A(t) - T_n(t)); \\
 Q_n(t) = G_n(t)i_n(t),
 \end{cases} \quad (2)$$

где $P_A(t)$, $T_A(t)$ – давление, Па, и температура, °С, среды в паровом аккумуляторе; $m_n(t)$, $V_n(t)$ – масса, кг, и объем, м³, пара в аккумуляторе; $m_b(t)$ – масса воды в аккумуляторе, кг; $i_b(t)$, $i_{n1}(t)$, $i_{n2}(t)$, $i_n(t)$ – энтальпия, кДж/кг, воды в аккумуляторе, входящего и выходящего пара и питательной воды соответственно; $f_n(P_A(t))$ – функциональная зависимость температуры насыщенного пара, °С, от его давления, Па; $\rho_b(T_A(t))$ – функциональная зависимость плотности воды, кг/м³, от ее температуры, °С; $Q_1(t)$, $Q_2(t)$, $Q_{nm}(t)$, $Q_n(t)$ – тепловая мощность, кВт, входящего и выходящего пара, потерь в окружающую среду и подпитки соответственно; $E_A(t)$ – тепловая энергия, накопленная в аккумуляторе, кДж; V_A , F_A – объем, м³, и площадь, м² поверхности аккумулятора; k_n – коэффициент теплопередачи от поверхности бака в окружающую среду, кДж/(кг°С); $T_n(t)$ – температура наружного воздуха, °С.

3. Распределенная автоматизированная система управления пароснабжением на базе динамической программной модели

Для повышения эффективности демпфирования переменной нагрузки вакууматора и выработки пара котлами ОКГ разработана распределенная система автоматического управления пароснабжением, включающая локальные системы автоматического регулирования (САР) на источниках и потребителях пара.

При этом, так как локальные САР должны работать на единую цель – обеспечение инвариантности системы пароснабжения к переменной нагрузке вакууматора и выработке пара котлами ОКГ при максимальном повышении уровня пароснабжения станции СТ-3, возникла необходимость координации их работы.

Одним из способов координации данных систем является использование оперативного диспетчерского управления с использованием программы эффек-

тивного планирования пароснабжения промплощадки, основанной на математической модели паровой сети. С этой целью разработана математическая модель системы пароснабжения промплощадки ККЦ.

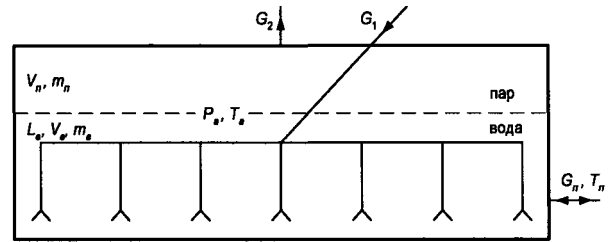


Рис. 3. Принципиальная схема парового аккумулятора

Отличительной особенностью разработанной модели является учет гидродинамики паровых потоков, связанных с аккумулярующей способностью труб и наличие пароаккумуляторов, что позволяет учитывать не только статические, но и динамические режимы пароснабжения при переменных нагрузках, а также регулирующих воздействиях от диспетчера и автоматических систем. Видеокадр моделирования режима пароснабжения рассматриваемой системы с использованием разработанной динамической модели представлен на рис. 4.

Анализ результатов моделирования режимов пароснабжения и фактических данных эксплуатации показал, что разработанная модель адекватно отражает процессы пароснабжения станции СТ-3 в различных режимах работы источников и потребителей пара с достаточной для практического использования точностью.

Реализация разработанного подхода к оперативному управлению пароснабжением промплощадки ККЦ предполагает установку на каждом источнике и основных потребителях пара автоматизированных рабочих мест (АРМ) диспетчеров с экранной формой, пример которой приведен на рис. 5.

В левой части экранной формы показаны выработки пара источниками, а именно ПВЭС н.2, ЦЭС, котельной № 2 и котлами ОКГ; в правой – потребление пара вакууматором, станцией СТ-3, ЛПЦ 6-8, сетевыми бойлерами и деаэраторами энергокорпуса. В центральной части расположен график изменения и прогноза ресурса пара в системе и пороговый уровень ресурса пара, поддержание которого необходимо для обеспечения требуемых параметров пара у потребителей. Ниже расположена фактические и прогнозные графики включения вакууматора и котлов ОКГ.

На основе использования программной модели в реальном времени рассчитывается ресурс пара в системе и его прогноз в зависимости от параметров и режимов источников и потребителей пара.

Программная модель использует в качестве исходных данных фактические значения параметров пара на источниках и потребителях, получаемые из существующей АСУ. Результаты расчетов по сети передаются на АРМ диспетчеров, включая

диспетчера, контролирующего работу вакууматора и котлов ОКГ. В результате каждый из диспетчеров получает возможность контролировать не только текущие значения параметров, но и прогнозируемые значения, полученные с помощью модели.

В итоге алгоритм управления системой пароснабжения может быть представлен следующим образом. Диспетчер вакууматора формирует упреждающий сигнал о начале плавки, который одновременно отображается на АРМ всех указанных источников и потребителей. Также формируется упреждающий сигнал, представляющий собой прогноз включения котлов ОКГ. На основании данных сигналов с помощью динамической модели рассчитываются прогнозные значения ресурса пара в системе, позволяющие другим источникам и потреби-

телям пара выполнить необходимые возможные действия по изменению режимов пароснабжения с тем, чтобы не допустить снижения ресурса пара в системе ниже минимального порогового уровня, обеспечивающего максимальную выработку электроэнергии на станции СТ-3.

Таким образом, реализуется распределенное оперативное управление пароснабжением, при котором каждый из элементов системы может видеть состояние системы в целом, состояние и влияние каждого элемента, в том числе свое влияние на работу системы в целом.

Заключение

Эффективное управление сложными техническими системами, например, системами пароснаб-

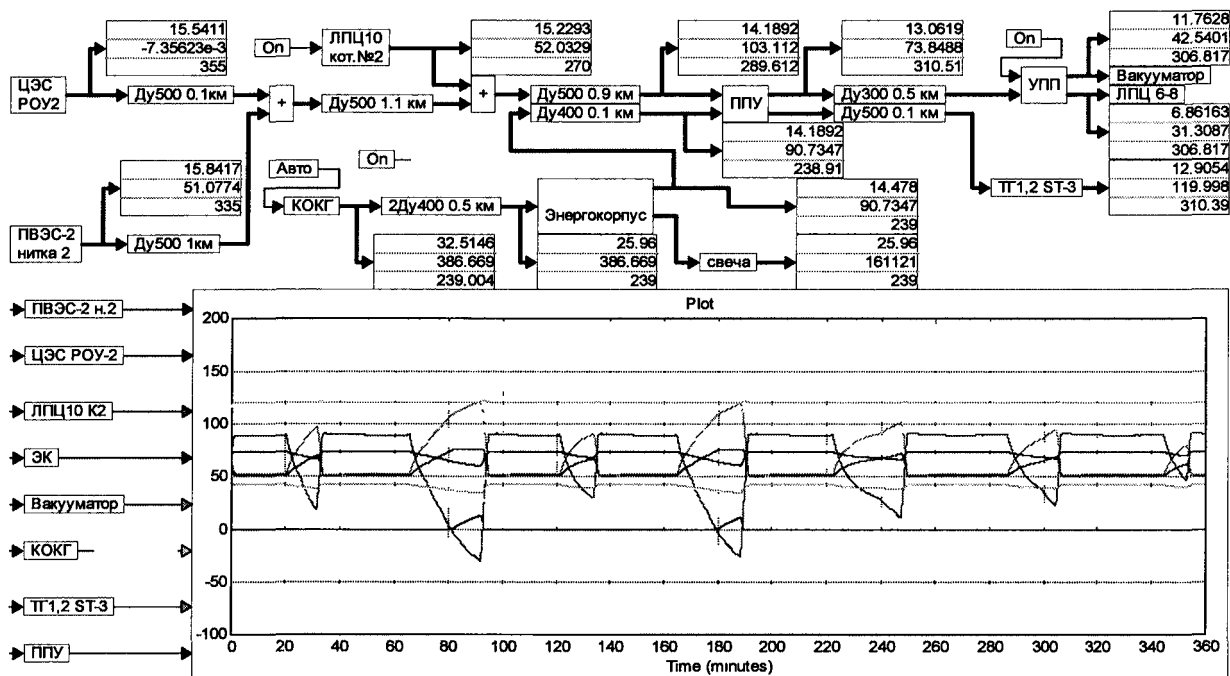


Рис. 4. Видеокادر моделирования пароснабжения промплощадки ККЦ



Рис. 5. Пример экранной формы АРМ диспетчеров пароснабжения промплощадки

жения крупных производственных предприятий, требует получения достоверной прогнозной информации о состоянии системы на основе использования динамической программной модели.

Для реализации оперативного управления системой пароснабжения промплощадки ККЦ ОАО «ММК» разработана математическая программная модель. Особенностью модели является учет гидродинамики паровых потоков, связанных с аккумулирующей способностью труб и паровых аккумуляторов, что позволяет учитывать не только статические, но и динамические режимы пароснабжения при переменных нагрузках, а также регулирующих воздействиях от диспетчера и автоматических систем. Апробация модели на базе данных диспетчерского управления показала целесообразность ее применения для целей анализа режимов и выбора оптимальных вариантов регулирования пароснабжения.

Предложенный подход к управлению пароснабжением промплощадки ККЦ ОАО «ММК», основанный на использовании динамической программной модели, может быть использован для оперативного управления потоками энергетических ресурсов в других производственных сетях с учетом динамики их выработки, аккумулирования и потребления.

Литература

- 1. Зингер, Н. М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем / Н.М. Зингер. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 250 с.*
- 2. Дейч, М. Е. Двухфазные течения в элементах теплоэнергетического оборудования / М. Е. Дейч, Г. А. Филиппов. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 328 с.*