

УДК 62-83.004.15

Волошин А. И., Цыганаш В. Е.**ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ДСП-15**

При разработке современной системы управления мощного энергопотребителя ДСП-15 отдано предпочтение непосредственно решаемой задаче и учтены два взаимно дополняющих друг друга аспекта [1].

Во-первых, целевая направленность. Мощный энергопотребитель спроектирован как система в соответствии с ее применением и поставленными перед ней целями на основе самой современной элементной базы с программным управлением. При этом обеспечивается соответствующая более высокая универсальность, позволяющая регулировать расстояния между электродами, для достижения более равномерного распределения температуры жидкого металла в ковше. Однако этому решению препятствуют два фактора: хорошо отработанная реализация конструкции крепления электродов и сравнительно большие запаздывания при обработке входных воздействий. Поэтому при целевой направленности с учетом потребностей на универсальность разрабатываемой системы приходится накладывать ограничения и как в случае сложной системы осуществлять некоторый баланс.

Во-вторых, аспект, ориентированный на универсализацию. При этом разработан такой алгоритм управления для системы, при котором приоритетными являются общность и расширяемость. Эти два понятия взаимно дополняют друг друга [1]. Поэтому целью разработки можно выбрать синтез адаптивной системы управления, реализующей заданный технологический алгоритм.

Успешного сочетания этих аспектов можно добиться, если для мощного энергопотребителя выбрать в качестве целевой функции коэффициент использования мощности источника питания $K_n(t)$. С его помощью можно полнее характеризовать структуру энергопотребителя как системы, учесть взаимодействие источника питания и нагрузки, включая энергоперетоки между ними. Для одностадийного преобразования энергии его удобно представить в виде:

$$K_n(t) = \frac{P_n(t)}{P_n(t)} = \frac{P_n(t) - P_{nom}(I) - \Delta P_p(t)}{P_n(t)},$$

где $P_n(t) = UI$ – фактическая мощность источника питания, зависящая от тока I и напряжения U , которая подведена к нагрузке;

$P_{nom}(I)$ – мощность потерь, зависящая от тока I силовой цепи;

$P_n(t)$ – фактическая полезная мощность, выделяемая на нагрузке;

$\Delta P_p(t) = I\Delta U + U\Delta I$ – недоиспользованная мощность источника питания, возникающая в результате отклонения от оптимального режима по току на ΔI и по напряжению на ΔU ;

t – время.

Очень важным достоинством такой реализации целевой функции является то, что в ее основе находится уравнение баланса мощностей, позволяющее получать объективную информацию о процессе без запаздывания, а наличие в составе аддитивных и мультипликативных составляющих, представляющих частные критерии $P_n(t)$, $P_{nom}(I)$, $\Delta P_{nom}(t)$, позволяет просто формировать из числителя составной критерий как в дифференциальной, так и в интегральной форме. А это, в свою очередь, открывает перспективу не только получения со-

ставного критерия оптимального управления $K_n(t)$ для энергопотребителя в целом, но и дает основу для разработки математической модели системы [2]. Особенно он перспективен при решении задач динамики, так как при этом максимум функционала обеспечивается при максимуме подинтегральной функции.

Важной особенностью такого подхода является и то обстоятельство, что он хорошо подходит к задачам, имеющим очень высокий уровень неопределенности при получении информации о процессе. К этому типу задач относится и построение систем управления дугowymi сталеплавильными печами при использовании в их контуре управления трех регуляторов, работающих на один объект, и оптимизатора, в качестве которого может быть использован оператор (сталевар) – лицо, принимающее решения [3].

Таким образом, практическая необходимость исследований в этом направлении очевидна.

Целью настоящей работы являются вопросы анализа и синтеза, которые обеспечивают помимо минимума среднеквадратичного критерия качества также и стабильность замкнутой системы (т. е. сохранение устойчивости при малых отклонениях действительных значений параметров от расчетных), а также выполнение других практических требований к системе оптимального управления мощным энергопотребителем.

Обобщая рассмотренное в постановочной части статьи, отметим, что конечной целью разработки является синтез адаптивной системы управления, реализующей заданный технологический алгоритм и обеспечивающей стабильность ее работы.

В этом плане, как показывает практика, одним из наиболее эффективных критериев управления энергопотреблением может быть коэффициент использования мощности источника питания $K_n(t)$. Его связь с ключевыми параметрами технологического процесса открывает перспективу особо тесного взаимодействия с моделью.

Не менее важным является и то обстоятельство, что измерение и фильтрация, с одной стороны, и управление и регулирование, с другой стороны, находятся друг с другом в некоторой замечательной взаимосвязи, которая впервые была выяснена Калманом и сформулирована им как принцип двойственности [4].

Благодаря этому принципу по аналогии с механикой можно ввести относительную, абсолютную и переносную системы координат и для сигналов. Это открывает перспективу проведения декомпозиции для мощного энергопотребителя и представления его структуры в виде отдельных подсистем. Решение задачи декомпозиции может быть осуществлено по аналогии с ее решением для струйного насоса [5].

Такой подход значительно упрощает анализ системы в целом. В частности, это делает возможным и проведение анализа на устойчивость и стабильность такой системы, опираясь на ее модель, которая выполняет и функции анализатора для сигналов, характеризующих ток и напряжение энергопотребителя.

Ориентируясь на эти обстоятельства, проведем анализ структурных особенностей реализуемой системы управления для одноступенчатого преобразователя энергии. Начнем с наиболее доступных для точного измерения переменных – тока I и напряжения U . С их помощью можно охарактеризовать структуру энергопотребителя как систему, содержащую две подсистемы ИП – источник питания и Н – нагрузка. Математически их также можно

представить как преобразователи $\frac{U^2}{Z_1}$ и $I^2 Z_2$, где U , I – действующие значения напряже-

ния и тока в подсистемах ИП и Н соответственно, Z_1 , Z_2 – полные сопротивления подсистем ИП и Н. Чтобы при таком представлении структуры системы проще учитывать динамику процессов, происходящих в ней, проведем ее агрегирование [6] и перейдем к единой определяющей переменной, – мощности. Это позволит полнее охарактеризовать структуру энергопотребителя в целом, учесть взаимодействие подсистем ИП и Н между собой и уточнить представление о связи между математической моделью и физической реальностью.

Переход к новой определяющей переменной наряду с более полной характеристикой структуры энергопотребителя дает возможность учесть энергоперетоки между подсистемами. Этот переход подтверждает возможность единой математической декомпозиции системы на основе трех частных критериев $P_n(t)$, $P_{ном}(I)$, $\Delta P_p(t)$. А это в свою очередь, открывает перспективу получения составного критерия оптимального управления $K_n(t)$ для энергопотребителя в целом и дает основу для разработки математической модели системы.

Переход к $K_n(t)$ также позволяет произвести сочетание двух регуляторов в системе: оптимального и обычного, синтезированного исходя из заданных показателей качества системы регулирования.

Благодаря последней особенности для существенных отличий конечных значений $K_n(t)$ от его начальных значений используется оптимальный закон управления, а в области малых отклонений от цели управления система работает в режиме слежения. При дальнейшей детализации структуры естественно потребовать, чтобы система в процессе эксплуатации сама автоматически получала и использовала для синтеза желаемого регулирования недостающую информацию. При этом она приобретает новое качество – качество самонастройки.

Применение принципов самонастройки (адаптации) по сравнению с неадаптивным управлением позволяет вскрыть и реализовать целый ряд новых возможностей системы, поэтому остановимся на этом подробнее. Сами процессы адаптации удобно рассматривать отдельно для установившихся режимов и для динамики. Важной составляющей, которую иногда необходимо корректировать по ходу работы системы, являются потери мощности. При автоматическом поддержании $\Delta P_p(t) = 0$ это дает возможность формировать оптимальную программную траекторию работы системы. Если по ходу процесса возникает необходимость коррекции этой траектории, то эту операцию выполняет оптимизатор, функции которого возложены на оператора – лицо, принимающее решения (ЛПР). Необходимость такого вмешательства возникает при переходах с одного технологического или электрического режима работы энергопотребителя на другой. Обычно такая смена режима сопровождается значительными изменениями мощности, поступающей в систему, и обеспечивается изменением управляющего (задающего) воздействия и коррекцией выходных сигналов регуляторов объекта.

Характерной особенностью вносимых исправлений в работу системы управления мощным энергопотребителем является то, что они касаются только коррекции медленных движений в системе и поэтому не усложняют, а облегчают работу оптимизатора. Но их проведение оказывает влияние и на быстрые движения, источником которых в основном является контур самонастройки, внешние воздействия и возмущения.

В конечном счете, вмешательство оптимизатора (ЛПР) направлено на то, чтобы достигалось состояние устойчивого динамического равновесия между подсистемами ИП и Н. Математическим условием его достижения и поддержания является $K_n(t) \rightarrow \max$, $\Delta P_p(t) = 0$ при заданном оператором значении управляющего воздействия. Для этого состояния также характерно, что влияние внешних воздействий, изменений параметров и помех в таком режиме стремится к минимуму. Математически поддержание этого состояния означает такое разделение (декомпозиция) дифференциального уравнения на две подсистемы, при котором процессы, характеризующие «быстрые» движения себя практически не проявляют и ими можно пренебречь.

Физически это состояние означает, что относительное движение в системе сведено к минимуму, несмотря на наличие переносного и абсолютного движений в подсистемах ИП и Н.

Если рассматривать ИП как «окружающую среду», Н как объект в этой среде, то по аналогии с живой природой это состояние отвечает наилучшей приспособительной реакции живого организма на изменения в окружающей среде.

Экспериментальную проверку этих технических решений предполагается провести в два этапа. На первом этапе предлагается осуществить проверку эффективности самого принципа управления режимом работы печи непосредственно по мощности, а на втором – проверить эффективность системы управления в полном объеме.

Такой подход к управлению энергопотребителем позволяет: обеспечить работоспособность системы в условиях широкого изменения динамических свойств объекта, повысить надежность системы, унифицировать отдельные регуляторы или блоки регуляторов и приспособить их для работы с различными видами однотипных объектов.

ВЫВОДЫ

Экспериментальная проверка и внедрение предлагаемых технических решений в промышленных условиях наиболее полно были реализованы на дуговой сталеплавильной печи ДСП-12 [7]. Достоинства предлагаемой системы управления проявились в следующем:

1. Лицо, принимающее решения, (пультовщик) может принимать более обоснованные и своевременные решения по ходу плавки, так как в информационном потоке, поступающем на пульт управления в период расплавления шихты, значительно ослабляется влияние помех. Особенно заметно это проявляется, если в качестве шихты использовать металлолом.

2. Реализованная система предоставляет возможность выбора и поддержания оптимального положения рабочей точки в таком сложном трехфазном агрегате без нулевого провода, каким является ДСП.

3. Эффективность от внедрения модернизированной системы управления проявилась в том, что после внедрения системы удалось сократить расход электроэнергии на 10...15 тыс. кВт-час в месяц. Кроме того, в разы были сокращены поломки электродов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Системы: декомпозиция, оптимизация и управление / Сост. : М. Сингх, А. Тутли ; Сокр. пер. с англ. А. В. Запорожца. – М. : Машиностроение, 1986. – 496 с.
2. Цыганаиш В. Е. Анализ модели силовой электрической цепи мощной электротермической установки / В. Е. Цыганаиш // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія : Обчислювальна техніка та автоматизація. – Донецьк, 2003. – Вип. 58. – С. 130–135.
3. Цыганаиш В. Е. Анализ и решение задачи выбора предпочтительной инициативы при управлении мощной электротермической установкой / В. Е. Цыганаиш // Искусственный интеллект. – 2010. – № 2. – С. 164–168.
4. Браммер К. Фильтр Калмана-Бьюси / К. Браммер, Г. Зиффлинг ; пер. с нем. В. Б. Колмановского. – М. : Наука. 1982. – 200 с.
5. Цыганаиш В. Е. Постановка задачи оптимального управления процессом создания и поддержания вакуума с помощью струйного насоса / В. Е. Цыганаиш, А. И. Волошин // Вестник национального технического университета „ХПИ” „Новые решения в современных технологиях”: сб. науч. тр. – 2001. – Вып. 14. – С. 206–212.
6. Первозванский А. А. Декомпозиция, агрегирование и приближенная оптимизация / А. А. Первозванский, В. Г. Гайцгори. – М. : Наука, 1979. – 342 с.
7. Цыганаиш В. Е. Частотный метод оптимального управления мощными энергопотребителями / В. Е. Цыганаиш // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2009. – № 2. – С. 120–123.

Статья поступила в редакцию 11.05.2019 г.