

И. Н. Фомин, канд. техн. наук, доц., ignik16@yandex.ru,
Т. Э. Шульга, д-р физ.-мат. наук, проф., shulga@sstu.ru,
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.,
В. А. Иващенко, д-р техн. наук, проф., iptmuran@san.ru,
Институт проблем точной механики и управления РАН, г. Саратов

Синтез алгоритма управления генерирующим оборудованием тепловых электростанций на основе моделей системной динамики

Рассматривается оригинальное решение по конструированию алгоритма подбора наиболее оптимальных технико-экономических показателей работы генерирующего оборудования тепловых электростанций с учетом требований оптового рынка электроэнергии, рынка на сутки вперед и балансирующего рынка. Для конструирования алгоритма управления генерирующим оборудованием деятельность генерирующей компании на оптовом рынке электроэнергии рассмотрена в терминах системной динамики. Предложенное решение позволило выбрать и интерпретировать переменные состояния модели, построить потоковые диаграммы, описывающие функционирование технико-экономической системы, визуализировать причинно-следственные отношения в форме структурированных функциональных зависимостей.

В соответствии с нормами отраслевого законодательства и ранее проведенными научными исследованиями были определены самые важные параметры, формирующие потоки динамической технико-экономической системы, являющиеся по сути критериями оптимизации. На основе этого была выполнена потоковая стратификация производственных процессов генерирующих компаний и разработан комплекс математических моделей системной динамики для определения и планирования финансовой эффективности работы тепловых электростанций и генерирующих компаний.

Определено множество системных связей и закономерностей функционирования абстрактных и реальных объектов рынка электроэнергии и генерирующих компаний, что позволило описать отраслевые особенности производственных процессов тепловых электростанций методом потоковой стратификации, визуализировать управляющие и управляемые воздействия на элементы системы, определить важнейшие критерии оптимальности с учетом требований энергетического рынка.

Математический аппарат и алгоритм его функционирования разработан на основе орграфа причинно-следственных связей между исследуемыми технико-экономическими показателями. На основе графа взаимосвязей системных переменных построена система нелинейных дифференциальных уравнений, позволяющих определить плановые показатели эффективности при изменении различных технических и экономических условий.

Новизной предложенного подхода является использование новых модельных решений, основанных на математическом аппарате системной динамики, для представления предложенной модели в системах имитационного моделирования, в отраслевых ERP- и MES-системах для разработки систем поддержки принятия решений.

Ключевые слова: системная динамика, математическая модель, технико-экономические показатели, тепловые электростанции

Введение

Оптимизация режимов работы энергогенерирующего оборудования тепловых электростанций (ТЭС) всегда являлась актуальной научно-технической многокритериальной задачей. Новая волна повышения интереса к исследованиям зависимостей технических и экономических показателей процесса генерации электроэнергии образовалась при переходе отрасли на рыночные механизмы и развитии оптового рынка электроэнергии и мощности (ОРЭМ).

Задачам оптимизации работы генерирующего оборудования ТЭС всегда уделялось большое внимание на разных этапах развития энергетики с точки зрения технологических, информационных и экономических процессов. В. А. Веников, В. Г. Журавлев и Т. А. Филиппова сформировали общие принципы оптимизации режимов электростанций и энергосистем, И. А. Ефремов, А. С. Таран обновили принципы повышения эффективности управления режимами работы электроэнергетических систем в условиях функционирования ОРЭМ,

Н. С. Иванов, В. И. Беспалов, Н. С. Лопатин предложили варианты математических моделей оптимизации режимов работы ТЭС в условиях конкурентного рынка. Над смежными задачами анализа и оптимизации режимов работы генерирующего оборудования работали В. А. Хрусталева, Д. Ю. Цыпулев, Э. К. Аракелян, А. М. Клер, М. М. Султанов. Все эти исследования сводились к задачам построения зависимостей расчетных значений расхода топлива в разных режимах работы оборудования, к задачам оптимального распределения тепловой и электрической энергии между агрегатами и к задачам оперативного планирования режимов энергогенерирующего оборудования при применении разных инструментов прогнозирования технико-экономических показателей (ТЭП), наблюдаемых в производственных процессах ТЭС. С развитием информационных технологий, когда человечество готовится вступить в эру искусственного интеллекта, предприятия электроэнергетики в период цифровой трансформации для разработки алгоритмов систем поддержки принятия решений (DSS-систем) стали применять принципы нейронечеткого и адаптивного управления [1].

Вышеперечисленные подходы не обладают необходимой гибкостью и имеют существенные ограничения на среду функционирования. Современные DSS-системы с использованием алгоритмов искусственного интеллекта дают многообещающие альтернативные решения, и многие приложения выигрывают от их использования [2]. Для применения приложений, основанных на искусственном интеллекте и принципах нейронечеткого и адаптивного управления, требуется структурировать причинно-следственные связи, действующие в процессе генерации тепловой и электрической энергии, и описать комплекс связанных математических моделей для анализа и определения зависимостей ТЭП.

Для решения задач системного анализа ТЭП, влияющих на экономическую эффективность ТЭС, в данной работе были применены методы системной динамики, что позволило выбрать и интерпретировать переменные состояния модели, построить потоковые диаграммы, описывающие функционирование технико-экономической системы, визуализировать причинно-следственные отношения между переменными состояния системы, описать эти отношения в форме структурированных функциональных зависимостей.

Постановка оптимизационной задачи и выбор критериев оптимальности

Основными документами, определяющими режимы работы генерирующего оборудования, являются Постановление Правительства РФ № 1172 от 27.12.2010 г. "Об утверждении Правил оптового рынка электрической энергии и мощности" и "Регламент проведения расчетов выбора состава генерирующего оборудования", утвержденный Системным оператором Единой энергетической системы (ЕЭС) России.

Согласно этим документам Системный оператор по результатам формирования планового почасового графика и с учетом прогнозируемых им почасовых объемов потребления электрической энергии планирует электроэнергетические режимы и режимы работы генерирующих объектов на каждый час суток, в течение которых осуществляется поставка электрической энергии [3].

Для определения оптимальной электрической мощности станции должны быть принципиально решены следующие задачи: построение характеристики относительного прироста расхода топлива станции для заданного состава работающего оборудования; нахождение зависимости предельных издержек станции для каждого периода; определение характеристики предельного дохода генерирующей компании (ГК); нахождение оптимальной электрической мощности и соответствующего значения заявленной цены на рынке [4]. Вышеперечисленные характеристики, в свою очередь, определяются множеством факторов, которые можно сгруппировать по критериям выбора состава используемого оборудования, состава используемого топлива и по экономическим критериям, определяющим стоимость реализованной энергии по сложившейся цене на рынке на сутки вперед (РСВ). Определение выгоднейшего режима эксплуатации оборудования в этих условиях — это подбор для каждого режима работы станции оптимального показателя эффективности, зависящего от набора изменяющихся взаимозависимых переменных [5]. Для всех этих показателей могут быть получены количественные оценки, определяемые измерительными приборами и расчетными методами. Эти показатели могут быть декомпозированы исходя из вышеперечисленных критериев оптимальности, веса или ценности того или иного критерия для лица, принимающего

го решение (ЛПР), в определенной ситуации, а также в зависимости от выбранной методики решения проблемы многокритериального выбора при неравноценности критериев.

Как правило, не все критерии участвуют во "взаимодействии" при их совместном рассмотрении. Они могут образовывать несколько групп, внутри которых происходит взаимное усиление ценностей, разное по интенсивности в разных группах в то время, как критерии из разных групп не взаимодействуют [6]. В этих условиях оптимизационной задачей является уравнивание предельных издержек и предельного дохода генерирующих компаний [7], ее критериями оптимальности являются выше перечисленные группы, а физический смысл состоит в том, что существенными элементами процесса производства энергии можно управлять и давать количественную оценку.

С экономической точки зрения финансовая эффективность ТЭС может быть описана выражением

$$X_1 = X_2 - X_3 - X_4 \rightarrow \max,$$

где X_1 — финансовая эффективность ТЭС; X_2 — стоимость реализованной электроэнергии на ОРЭМ; X_3 — стоимость используемого топлива; X_4 — стоимость закупленной электроэнергии на балансирующем рынке (БР). Все эти показатели зависят и влияют на объем вырабатываемой энергии W . В экономической трактовке, согласно работе [7], задача повышения финансовой эффективности сводится к задаче нахождения нуля производной

$$\frac{\partial X_1(t)}{\partial X_3 X_4} = 0,$$

которая зависит от предельной стоимости реализованной энергии X_2

$$MR(X_2) = f(X_2) + W \frac{\partial X_2}{\partial W}$$

и от предельных издержек $X_3 + X_4$:

$$C(X_3 + X_4) = f(X_3)f(X_4) + W \frac{\partial X_3 X_4}{\partial W}.$$

Таким образом, с экономической точки зрения критерием оптимизации является выражение $MR - C = 0$ или $MR = C$.

С технической точки зрения критерием оптимизации различных режимов работы генерирующего оборудования, согласно работе [4],

является простое отношение издержек к объему вырабатываемой энергии

$$\frac{\partial X_3 X_4}{\partial W} \rightarrow \min.$$

Приведенный набор зависимостей определяет математическую постановку задачи, заключающуюся в построении на основе концепции системной динамики единого комплекса связанных математических моделей для анализа и определения зависимостей ТЭП, для достижения оптимального режима работы генерирующего оборудования при ее максимальной экономической эффективности, а также в визуализации управляемых и управляющих воздействий.

Математические модели режимов работы ТЭС в терминах системной динамики

Разработанный комплекс математических моделей содержит взаимосвязанную совокупность системно-динамических и регрессионных моделей для определения финансовой эффективности работы генерирующего оборудования.

Модели системной динамики позволяют получить отсутствующую в настоящее время комплексную оценку степени влияния причинно-следственных связей на тот или иной ТЭП для планирования режимов работы ТЭС и для использования их в отраслевых системах поддержки принятия решений.

Математическую основу методов системной динамики составляют дифференциальные модели, включающие в себя уравнения состояний системы и уравнения входов этой системы. Для составления дифференциальных моделей выбираются переменные состояний системы и устанавливаются функциональные связи между ними.

Если представить в виде технико-экономической системы комплекс генерирующего оборудования ТЭС, технические режимы которого изменяются для достижения неких экстремальных экономических показателей, то уравнение состояния этой системы можно записать в виде

$$\frac{\partial \mathbf{X}(t)}{\partial t} = F(\mathbf{X}(t), \mathbf{U}(t)), \quad (1)$$

где $\mathbf{X}(t) = (X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t))$ — вектор состояний технико-экономической системы; $\mathbf{U}(t) = (U_1(t), U_2(t), \dots, U_n(t))$ — вектор входных воздействий на систему, t — текущее время. В этих

обозначениях уравнения выходов этой системы имеют вид

$$Y(t) = H(X(t), U(t)),$$

где $Y(t) = (Y_1(t), Y_2(t), \dots, Y_m(t))$ — вектор выходов системы. Для такой технико-экономической системы фазовое пространство переменных состояний определено ограничениями

$$X_i^{\min} \leq X_i \leq X_i^{\max}; X_i \in [0, 1]; i = \overline{1, n},$$

где $X_i^{\min}$ и $X_i^{\max}$ — некоторые нормированные максимальные и минимальные значения, которые могут принимать переменные состояния системы.

В соответствии с работами [3, 4] авторами были выбраны самые важные параметры, определяющие потоки динамической технико-экономической системы, являющиеся по сути критериями оптимизации: X_1 — финансовая эффективность ТЭС; X_2 — стоимость реализованной электроэнергии на ОРЭМ; X_3 — стоимость используемого топлива; X_4 — стоимость закупленной электроэнергии на БР; X_5 — объем и состав используемого топлива; X_6 — располагаемая мощность на ТЭС; X_7 — состав используемого оборудования.

Опишем и проиллюстрируем процедуры построения модели системной динамики технико-экономической системы ТЭС. Финансовая эффективность работы генерирующего оборудования (X_1), которую в ГК называют "маржинальной прибылью", зависит от предельных доходов, которые, в свою очередь, зависят от стоимости реализованной электроэнергии на ОРЭМ (X_2) и предельных издержек, складывающихся из стоимости используемого топлива (X_3) и стоимости закупленной электроэнергии на БР (X_4). Темп изменения переменной X_1 можно описать графом взаимосвязей факторов (рис. 1).

Чем больше стоимость электроэнергии, реализуемой ГК на оптовом рынке, тем выше ее финансовая эффективность. Чем больше стоимость используемого при этом топлива, и чем больше приходится закупать недопоставленной по обязательствам энергии на БР, тем финансовая эффективность ниже на заданном интервале времени.

Для каждого момента времени может существовать специфическая последовательность вы-

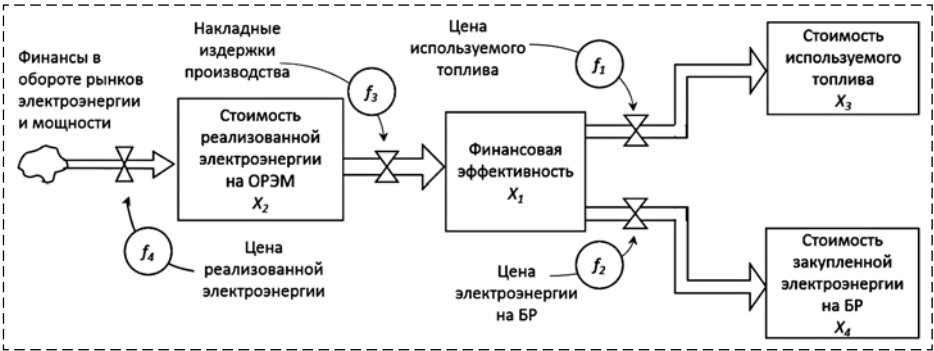


Рис. 1. Граф взаимосвязей факторов, влияющих на темпы изменения переменной X_1
Fig. 1. Relationships graph of factors affecting the rate of change of variable X_1

числений, определяемая характером системы уравнений. Разные значения уравнений рассчитываются на конец интервала, и по ним определяются новые темпы (решения) для следующего временного интервала [8]. Дифференциальное уравнение (1) для переменной X_1 будет иметь вид:

$$\frac{\partial X_1(t)}{\partial t} = X_1(t)(f_3(X_2) - f_1(X_3)f_2(X_4)). \quad (2)$$

Чем больше объем и состав используемого топлива X_5 , тем больше темп его расхода и тем больше темп его поставок (рис. 2). Располагаемая мощность X_6 формирует поток поставляемой энергии на ОРЭМ и может быть увеличена объемом докупаемой энергии на БР (рис. 3).

Состав используемого оборудования X_7 зависит от объема вводимого в эксплуатацию оборудования и выводимого из эксплуатации генерирующего оборудования, которое может закупать, продавать, ремонтировать, реконструировать, а также может вводить и выводить из состава работающих Системный оператор ЕЭС России (рис. 4).

Идентификация и учет функциональных зависимостей $f_1, f_2, \dots, f_n$ в генерирующих компаниях зависит от опыта реализации аналогичных проек-

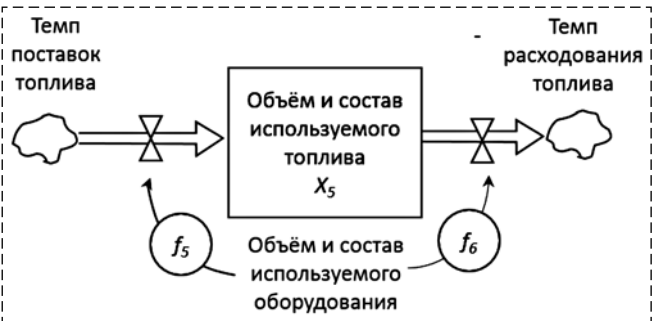


Рис. 2. Граф взаимосвязей факторов, влияющих на темпы изменения переменной X_5
Fig. 2. Relationships graph of factors influencing the rate of change of variable X_5

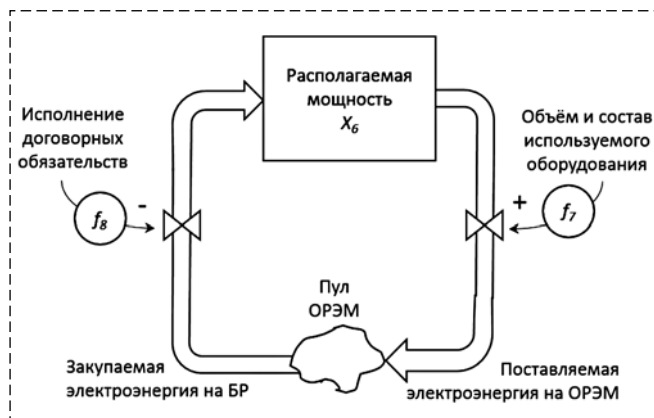


Рис. 3. Граф взаимосвязей факторов, влияющих на темпы изменения переменной X_6
 Fig. 3. Relationships graph of factors influencing the rate of change of variable X_6

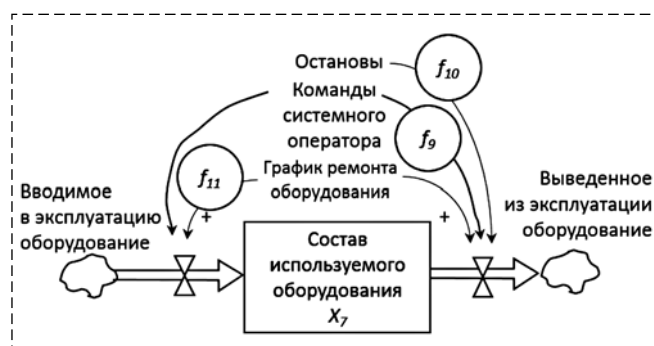


Рис. 4. Граф взаимосвязей факторов, влияющих на темпы изменения переменной X_7
 Fig. 4. Relationships graph of factors influencing the rate of change of variable X_7

тов аналитиками данных компаний, от особенностей технологического процесса генерации тепла и электроэнергии, целей моделирования и других факторов, существенно влияющих на производственное и финансовое планирование компании.

Для построения математической модели режимов работы ТЭС в терминах системной динамики построим орграф, отражающий все основные ее системные переменные и функциональные зависимости. На рис. 5 приведен орграф, в котором определены все функциональные зависимости $f_1, \dots, f_{13}$ параметров $X_1, \dots, X_7$.

Такая графовая модель позволяет построить математическую модель ТЭС с помощью следующей системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial X_1(t)}{\partial t} = f_3(X_2) - f_1(X_3) - f_2(X_4); \\ \frac{\partial X_2(t)}{\partial t} = f_{11}(X_6) + f_4(MR) - Cf_3(X_3); \\ \frac{\partial X_3(t)}{\partial t} = f_1(X_5) + f_7(X_5); \\ \frac{\partial X_4(t)}{\partial t} = Cf_2(X_6) + f_4(MR); \\ \frac{\partial X_5(t)}{\partial t} = f_5(X_7) - f_6(X_7) - f_{12}(X_6); \\ \frac{\partial X_6(t)}{\partial t} = f_8(X_7) + f_5(X_7) + f_6(X_7) + f_{13}(W); \\ \frac{\partial X_7(t)}{\partial t} = f_3(X_2) + f_8(X_7) + f_9(X_7) + f_{10}(X_7). \end{cases} \quad (3)$$

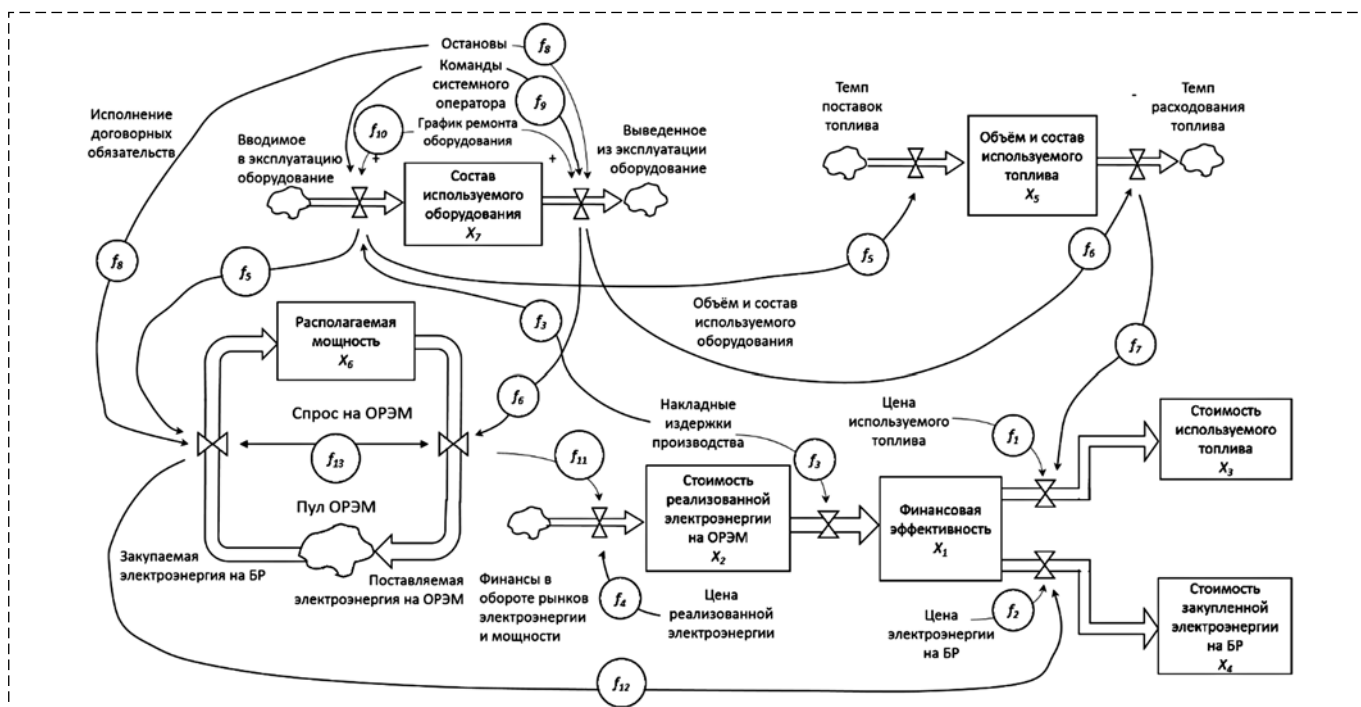


Рис. 5 Орграф взаимосвязей системных переменных $X_1, \dots, X_7$
 Fig. 5. Digraph of interconnections of system variables $X_1, \dots, X_7$

В генерирующих компаниях ведется учет и хранение данных различных ТЭП, к которым относятся показатели $\frac{\partial \mathbf{X}(t)}{\partial t}$, а также значения различных функциональных зависимостей для выбора оптимального режима работы генерирующего оборудования. Следовательно, для проверки адекватности полученной математической модели можно использовать уравнения регрессии, построенные по этим сохраненным данным.

Смоделированные таким образом технологические процессы генерации электроэнергии позволяют определить типовые функциональные зависимости с точностью, достаточной для однозначного представления моделей в системах имитационного моделирования, таких

как AnyLogic, для проектирования отраслевых BPMS-, ERP- и MES-систем [5]. Кроме того, разработанные математические модели могут найти применение во вновь разрабатываемых системах поддержки принятия решений, а также для разработки оригинальных алгоритмов работы DSS-систем.

Алгоритм работы DSS-системы на основе предложенной математической модели

Информационная система, оснащенная предложенным математическим обеспечением, призвана способствовать ЛПР, облегчить выбор режима работы генерирующего оборудования и обеспечить максимальную финансовую эффективность в заданных технических условиях. Такого рода модели наглядны и удобны для ЛПР, имеют выразительную способность, близкую к естественному языку, и широко используются при создании банков знаний, а также интеллектуальных систем управления сложными производственными процессами [9].

Работа алгоритма должна начинаться с выбора оперативным персоналом ТЭС интервала моделирования изменения переменных $X_1, \dots, X_7$. Как правило, это делается ежедневно при подаче ценовых заявок на РСВ. При определении данных, подаваемых Коммерческому оператору ЕЭС, требуется ввести параметры, необходимые для определения значений переменных $X_1, \dots, X_7$ по модели (3), и оценить достоверность этих данных. Если были обнаружены ошибки или отсутствие каких-либо данных, то их необходимо откорректировать и рассчитать значения переменных $X_1, \dots, X_7$ по предложенной модели (3). Результаты расчетов требуется сравнить с сохраненными статистическими данными. Если выходные данные недостоверны, отличаются от статистических или от целевых показателей, то потребуются вновь изменить параметры, определяющие $X_1, \dots, X_7$, или изменить саму математическую модель, добавив необходимые показатели помимо MR , MC и W или функциональные зависимости $f_1, f_2, \dots, f_n$. В результате ЛПР получает информацию о значениях переменных $X_1, \dots, X_7$ на выбранном ин-

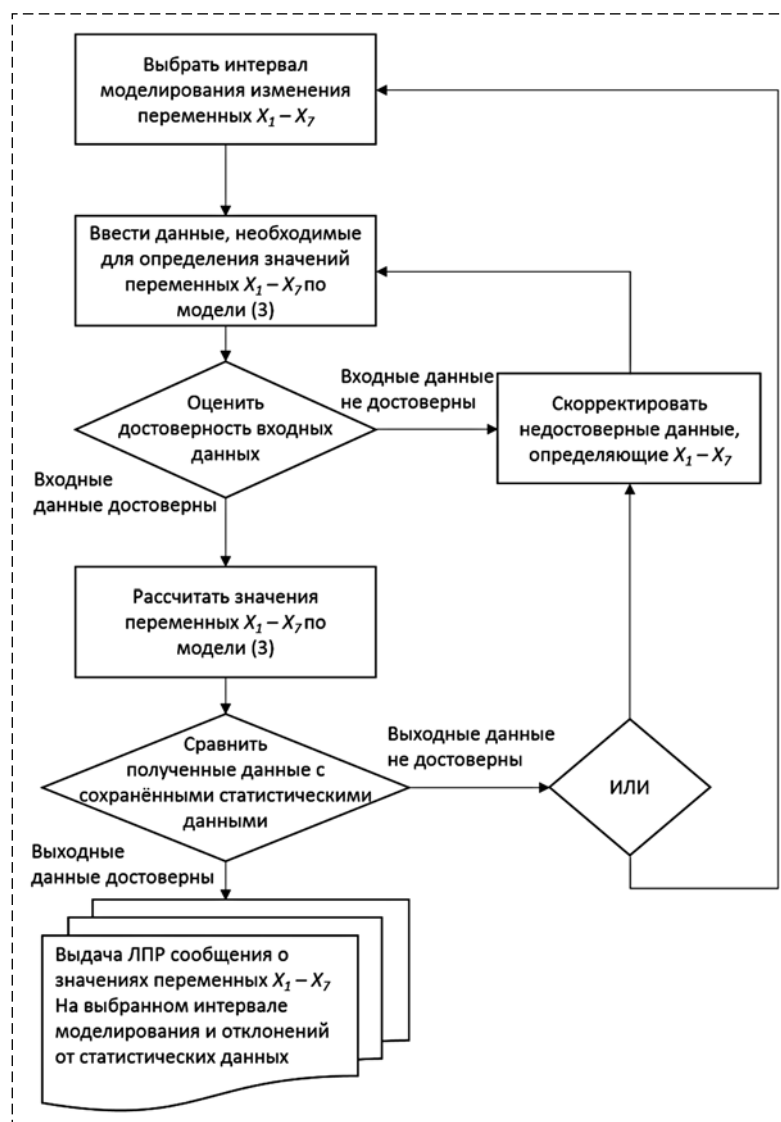


Рис. 6. Алгоритм применения математической модели (3) в составе DSS-системы

Fig. 6. Algorithm for applying the mathematical model (3) as part of the DSS-system

тервале моделирования. Блок-схема алгоритма применения математического обеспечения (3) представлена на рис. 6. Действия ЛПП в таких условиях легко можно переложить на DSS-систему на основе искусственного интеллекта, поскольку для нее четко классифицированы все системные переменные и их функциональные зависимости.

Заключение

В данной статье предложен подход к анализу ТЭС с использованием методов системной динамики, который аналогично может использоваться при выборе режимов работы генерирующего оборудования гидро- и атомных электростанций.

Проведенные теоретические и прикладные исследования дали возможность формализовать множество системных связей и закономерностей функционирования абстрактных и реальных объектов прикладной области, а также позволили описать отраслевые особенности производственных процессов методом потоковой стратификации. В результате были наглядно визуализированы управляющие и управляемые воздействия на элементы системы, определены важнейшие критерии оптимальности, связанные с требованиями ОРЭМ, предъявляемыми к описанной технической системе.

Уникальность предложенного подхода заключается в использовании новых модельных решений, основанных на математическом аппарате системной динамики, для однозначного представления моделей в системах имитацион-

ного моделирования, таких как AnyLogic, для проектирования отраслевых информационных системах (BPMS, ERP, MES и DSS).

Список литературы

1. Рутковский Л. Методы и технологии искусственного интеллекта: Пер. с польск. М.: Горячая линия—Телеком, 2010. 520 с.
2. Егупов Н. Д. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: Учебник / Под ред. Н. Д. Егупова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 744 с.
3. Правительство РФ, Постановление № 1172 от 27.12.2010 г., Об утверждении Правил оптового рынка электрической энергии и мощности и О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам организации функционирования оптового рынка электрической энергии и мощности // Собрание законодательства РФ, 04.04.2011. № 14. С. 1916.
4. Карманов В. С., Мошкин Б. Н., Секретарев Ю. А., Чекалина Т. В. Управление функционированием генерирующей компании с целью повышения энергоэффективности // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. 2013. № 4. С. 2—7.
5. Фомин И. Н., Ивашенко В. А., Шульга Т. Э. Математическая модель и алгоритм оперативного управления генерирующим оборудованием ТЭС // Прикладная информатика. 2018. Т. 13, № 3 (75). С. 24—34.
6. Резчиков А. Ф., Митяшин Н. П., Кузьмиченко Б. М., Рябов О. Н., Карпук Р. В. Многокритериальный выбор оборудования на основе нечеткой меры ценности критериев // Мехатроника, автоматизация и управление. 2010. № 1. С. 54—58.
7. Карманов В. С., Мошкин Б. Н., Секретарев Ю. А., Чекалина Т. В., Яковченко К. Н. Повышение энергетической эффективности генерирующей компании за счет выбора оптимальных режимов функционирования по критерию максимизации прибыли // Надежность и безопасность энергетики, 2013. № 20. С. 35—40.
8. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия (индустриальная динамика). М.: Прогресс, 1971. 325 с.
9. Ивашенко В. А. Аппаратно-программные средства построения систем автоматизированного управления электропотреблением промышленных предприятий // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2007. № 4 (26). С. 75—84.

Synthesis of the Algorithm for Control of the Thermal Power Plant Generating Equipment Based on System Dynamics Models

I. N. Fomin, ignik16@yandex.ru, T. E. Shulga, shulga@sstu.ru,

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov (SSTU), Saratov, 410054, Russian Federation,

V. A. Ivaschenko, iptmuran@san.ru,

Institute of Precision Mechanics and Control of RAS, Saratov, 410028, Russian Federation

Corresponding author: Fomin Igor N., PhD, Associate Professor,
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov (SSTU), Saratov, 410054, Russian Federation,
e-mail: ignik16@yandex.ru

Accepted on September 7, 2020

Abstract

The article discusses an original solution for designing an algorithm for selecting the most optimal technical and economic indicators for the operation of generating equipment of thermal power plants, taking into account the requirements of the wholesale electricity market, the day-ahead market and the balancing market. To design an algorithm for controlling generating equipment, the activity of a generating company in the wholesale electricity market was considered in terms

of system dynamics. The proposed solution made it possible to select and interpret the state variables of the model, build flow diagrams describing the functioning of a technical-economic system, and visualize cause-and-effect relationships in the form of structured functional dependencies. In this work according to the norms of industry legislation and previously conducted scientific research the most important parameters were identified that form the flows of a dynamic technical and economic system, which are optimization criteria in fact. On the basis of this data, a stream stratification of the production processes of generating companies was carried out and a complex of mathematical models of system dynamics was developed to determine and plan the financial efficiency of the operation of thermal power plants and generating companies. The mathematical apparatus and the algorithm of its functioning are developed on the basis of the digraph of cause-and-effect relationships between the investigated technical and economic indicators. On the basis of the graph of interrelationships of system variables, a system of nonlinear differential equations has been built, which makes it possible to determine planned performance indicators when various technical and economic conditions change. The novelty of the proposed approach is the use of new model solutions based on the mathematical apparatus of system dynamics to represent the proposed model in simulation systems, in industry ERP and MES systems, for the development of DDS.

Keywords: system dynamics, mathematical model, technical and economic indicators, thermal power plant

For citation:

Fomin I. N., Shulga T. E., Ivaschenko V. A. Synthesis of the Algorithm for Control of the Thermal Power Plant Generating Equipment Based on System Dynamics Models, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2021, vol. 22, no. 1, pp. 20–27.

DOI 10.17587/mau.22.20-27

References

1. **Rutkovskij L.** Methods and technologies of artificial intelligence, Moscow, Goryachaya liniya—Telekom, 2010, 520 p. (in Russian).
2. **Egupov N. D.** Robust, Methods of Neuro-Fuzzy and Adaptive Control: A Textbook, Moscow, MG TU, 2002, 744 p. (in Russian).
3. **The Government** of the Russian Federation, Resolution No. 1172. December 27, 2010, On Approval of the Rules for the Wholesale Electricity and Capacity Market and on Amending Certain Acts of the Government of the Russian Federation on the Organization of the Operation of the Wholesale Electricity and Capacity Market, *Sobranie zakonodatel'stva RF*, 04.04.2011, no. 14, 744 p. (in Russian).

4. **Karmanov V. S., Moshkin B. N.** Management of the operation of a generating company in order to improve energy efficiency, *Elektro. Elektrotexnika, elektroenergetika, elektrotexnicheskaya promyshlennost*, 2013, no. 4, pp. 2–7 (in Russian).
5. **Fomin I. N., Shulga T. E., Ivaschenko V. A.** The Mathematical models and algorithms operational, control for equipment TPP, *Prikladnaya informatika, Sinergiya*, 2018, vol. 13, no. 3 (75), pp. 24–34 (in Russian).
6. **Rezchikov A. F., Mityashin N. P., Kuzmichenko B. M., Ryabov O. N., Karpuk R. V.** Multi-criteria selection of equipment based on a fuzzy measure of criteria value, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2010, no. 1, pp. 54–58 (in Russian).
7. **Karmanov V. S., Moshkin B. N., Sekretarev Yu. A., Chekalina T. V., Yakovchenko K. N.** Increasing the energy efficiency of a generating company by choosing optimal operating modes by the criterion of profit maximization, *Nadezhnost i Bezopasnost Energetiki*, 2013, no. 20, pp. 35–40 (in Russian).
8. **Forrester J.** Fundamentals of Enterprise Cybernetics (Industrial Dynamics), Moscow, Proress, 1971, 325 p. (in Russian).
9. **Ivashchenko V. A.** Hardware and software for building automated power management systems for industrial enterprises, *Vestnik Saratov State Technical University*, 2007, no. 4 (26), pp. 75–84 (in Russian).



31 мая – 02 июня 2021 г.

в Санкт-Петербурге
на базе ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»
СОСТОИТСЯ



XXVIII Санкт-Петербургская Международная конференция по интегрированным навигационным системам

Тематика конференции

- Инерциальные датчики, системы навигации и ориентации
- Интегрированные системы навигации и управления движением
- Глобальные навигационные спутниковые системы
- Средства гравиметрической поддержки навигации

В рамках каждого направления рассматриваются:

- схемы построения и конструктивные особенности;
- методы и алгоритмы;
- особенности разработки и применения для различных подвижных объектов и условий движения (аэрокосмические, морские, наземные, подземные);
- испытания и метрология.

Контактная информация:

Тел.: +7 (812) 499 82 10 +7 (812) 499 81 57

Факс: +7 (812) 232 33 76 E-mail: icins@eprib.ru