

**О ПРИМЕНЕНИИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ В. М. ГЛУШКОВА
В МОДЕЛИРОВАНИИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ С
ТРАДИЦИОННЫМИ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ
ЭНЕРГИИ**

**THE APPLICATION OF V. M. GLUSHKOV'S INTEGRAL MODELS
IN SIMULATION OF DEVELOPMENT OF ENERGY SYSTEM BASED ON
TRADITIONAL AND RENEWABLE ENERGY SOURCES**

Немков Д. А., Щеклеин С. Е.
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,
xeqlol@gmail.com, s.e.shcheklein@urfu.ru

Nemkov D. A., Shcheklein S. E.
Ural Federal University, Ekaterinburg

Аннотация: В работе рассматриваются критерии применимости интегральных моделей В. М. Глушкова в моделировании развития крупных энергосистем, основанных на применении традиционной и возобновляемой энергетики.

Abstract: The paper discusses the criteria for applicability of V. M. Glushkov's integral models in the simulation of large-scale energy systems based on the use of traditional and renewable energy.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика; традиционная энергетика; моделирование; интегральные модели.

Key words: renewable energy sources; traditional energy sources; simulation; integral models.

Традиционно, интегральные модели (модели, основанные на применении интегральных уравнений) применяются в моделировании динамических систем. Они нашли обширное приложение в экономике, медицине, социологии, радиотехнике, геодезии. Основным преимуществом интегральных моделей перед другими моделями является то, что они могут учитывать не только текущие характеристики процесса, но и его предысторию.

Первые работы по применению аппарата интегральных уравнений в энергетике были предприняты А. С. Апарциным и А. М. Тришечкиным в приложении к прогнозированию ввода мощностей электроэнергетических систем (ЭЭС) в работе [1]. Авторами рассмотрена энергосистема, в которой функционируют шесть типов электростанций (базисные на угле, базисные на нефти, маневренные на газе, а также три типа атомных станций – с реакторами на тепловых нейтронах на уране, с реакторами на быстрых и тепловых нейтронах

на плутонии). Результаты показали, что интегральные модели дают хорошие результаты в случае, когда они применяются к системам, которые включают в себя большое количество единиц, производящих электроэнергию (электростанций), и на сроки, превышающие сроки службы оборудования в несколько раз.

Применение подобных моделей в построении оптимальной стратегии развития энергосистемы позволит не только найти оптимальный путь использования традиционной энергетики, но и отыскать подходящую стратегию развития промышленной возобновляемой энергетики, такой как: геотермальная энергетика, солнечная энергетика, ветровая энергетика, гидроэнергетика и т. д. Важно отметить, что специфика интегральных моделей позволяет произвести учет возобновляемых источников энергии только в том случае, когда они составляют как минимум несколько процентов по выработке электроэнергии от общего объема выработки электроэнергии всей системы целиком [2].

Интегральные модели В. М. Глушкова, рассматриваемые в данной работе, формулируются следующим образом. Они включают в себя интегральное уравнение Вольтерра I рода (1) и ряд граничных условий (2):

$$\int_{t-c(t)}^t \mathcal{R}(t,s)x(s)ds = p(t), t \in [t_0, T], \quad (1)$$

$$x(t) = x_0(t), t \in [t_0 - c(t_0), t_0], \quad (2)$$

где $x(t)$ – вводимая в момент времени t суммарная электрическая мощность, $c(t)$ – срок жизни самого старого в момент t энергоблока ЭЭС, $\mathcal{R}(t, s)$ – коэффициент интенсивности использования в момент t единицы мощности, введенной ранее в момент s , $p(t)$ – задаваемая динамика потребности в электрической мощности, $x_0(t)$ – известные вводы генерирующих мощностей в предыстории. Важно, что интервал $[t_0, T]$ должен, как минимум, в несколько раз превосходить среднюю величину $c(t)$. Этого требует устойчивость решения интегрального уравнения. Например, в работе [3], отношение полного интервала к средней величине срока службы составляет 5.

Модель, учитывающая традиционные (ТЭС, АЭС, большие ГЭС) и возобновляемые (солнечные электростанции, ветроэлектростанции, геотермальные электростанции, приливные электростанции и т. д.), формулируется следующим образом:

$$\sum_{i=1}^n \int_{t-c_i(t)}^t \mathcal{R}_i(t,s)x_i(s)ds \geq p(t), t \in [t_0, T], \quad (3)$$

$$\int_{t-c_j(t)}^t x_j(s) ds = \Omega_j(t) \sum_{i=1}^n \int_{t-c_i(t)}^t x_i(s) ds, \quad j = \overline{1, n}, \quad (4)$$

$$x_i(t) = x_i^0(t), \quad t \in [t_0 - c_i(t_0), t_0), \quad i = \overline{1, n}, \quad (5)$$

$$x_i(t) \geq 0, \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n \Omega_j(t) = 1, \quad (7)$$

где $\Omega_j(t)$ в (4) – доля от общего производства электроэнергии для i -го источника энергии, где i имеет следующее из значений: ТЭС, АЭС, ГЭС, СЭС, ВЭС, ГеоТЭС и т. д.; n – общее количество видов электростанций в энергосистеме, которое может варьироваться для каждой отдельной моделируемой энергосистемы. Граничные условия (5) и (6) описывают предысторию ввода мощностей и требование, что генерация не может быть отрицательной. Условие (7) показывает, что суммарные доли производства энергии, приходящиеся на каждый вид электростанции, равны единице (т. е. 100 %).

Численное интегрирование данной системы позволит вычислить функции $x_i(t)$, которые показывают, сколько мощности требуется ввести (построить новые электростанции) в момент времени t для i -го вида электростанций чтобы удовлетворить прогнозируемым потребностям в электроэнергии, которые отражены в функции $p(t)$.

Основным преимуществом приведенной модели является возможность учета предыстории развития энергосистемы и предыстории потребностей в электроэнергии для формулировки стратегии оптимального по затратам и удовлетворению потребностей в электроэнергии ввода генерирующих мощностей. Недостатком является то, что модель применима только в условиях большой энергетики ввиду жесткой привязанности к отношению среднего срока службы оборудования к полному интервалу моделирования.

Список использованных источников

1. Апарцин А. С. О применении различных квадратурных формул для приближенного решения интегральных уравнений Вольтерра I рода методом квадратурных сумм // Дифференц. и интегр. уравнения. Иркутск : Иркут. гос. ун-т, 1973. Вып. 2. С. 107–116.

2. Караулова И. В., Маркова Е. В., Труфанов В. В., Хамисов О. В. О моделировании развития электроэнергетических систем с помощью интегральных моделей // Методы исследования и моделирования технических, социальных и природных систем // Сб. науч. тр. Новосибирск : Наука, 2003. С. 85–100.

3. Апарцин А. С. Об одном классе уравнений Вольтерра I рода // Методы оптимизации и их приложения: тр. XI Международной Байкальской школы-семинара. Иркутск : ИСЭМ СО РАН, 1998. Т. 4. С. 24–27.