

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ХОЗЯЙСТВА

А. А. МАКАРОВ

(Иркутск)

Топливо-энергетическое хозяйство является единой отраслью материального производства, охватывающей сложнейшие процессы получения, преобразования, передачи и потребления всех видов топлива и энергии.

Оптимизация развития топливо-энергетического хозяйства определяет наиболее вероятные количественные сочетания в развитии объектов и связей, которые обеспечивают удовлетворение в течение заданного периода потребности народного хозяйства в топливе и энергии при минимуме общественных затрат. Как и многие экономические системы, топливо-энергетическое хозяйство представляет собой чрезвычайно сложный, не поддающийся конечному описанию комплекс развивающихся элементов с практически бесконечным числом взаимосвязей. Развитие топливо-энергетического хозяйства определяется действием объективных закономерностей и в таком понимании является детерминированным. Но вместе с тем оно обладает вероятностными свойствами, так как вследствие действия случайных факторов последующее состояние системы однозначно предсказать невозможно, даже если задано его предшествующее состояние и известна программа функционирования.

Топливо-энергетическому хозяйству присуще свойство экономической устойчивости, т. е. существует большое число вариантов развития системы, различия между которыми по основному критерию — народнохозяйственным затратам — находятся в пределах погрешности последних.

Перечисленные свойства, по нашему мнению, определяют основные положения теории и требования к методам оптимизации топливо-энергетического хозяйства.

ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ УЧЕТА СЛОЖНОСТИ

Противоречие между практически бесконечным числом элементов и связей топливо-энергетического хозяйства и необходимостью описывать их в конечных математических моделях в настоящее время можно преодолеть лишь на базе иерархичности управления.

Как показано в [1, 2], единая развивающаяся система топливо-энергетического хозяйства является комплексом ряда других входящих в нее сложных систем — электроэнергетической, газо- и нефтеснабжающей систем, угольной промышленности и т. д. Поэтому наряду с моделями для оптимизации общеэнергетической системы должны разрабатываться специализированные модели для исследования и оптимизации во всех деталях входящих в нее систем — Единой электроэнергетической, Единой газоснабжающей, нефте- и углеснабжающей, теплоснабжающих систем и т. п. В статье рассматриваются принципы и методы оптимизации наиболее общей системы в энергетике — системы развивающегося топливо-энергетического хозяйства.

Для целей оптимизации этой системы принципиально правильным является использование комплекса взаимосвязанных моделей, описывающих развитие различных участков топливно-энергетического хозяйства на том или ином этапе планового периода.

При формировании этого комплекса, во-первых, предусматривается деление единого процесса планирования по этапам планового периода. Принципиальная необходимость такого деления обусловлена различием задач планирования на срок до 5 лет, при долгосрочном планировании (от 5 до 10 лет) и прогнозировании на генеральную перспективу (свыше 10 лет). Неразрывность и преемственность процесса планирования обеспечивается увязкой на каждом этапе результатов расчета предыдущего этапа и относительной экономичности применяемых решений на последующих этапах планирования.

Во-вторых, планирование производится в территориальном разрезе: на каждом этапе применяется иерархия моделей на уровне страны, района и энергетического узла. Глобальный оптимум по топливно-энергетическому хозяйству достигается посредством учета на каждом уровне результатов расчета предыдущего уровня и эффективности принимаемых решений на последующих уровнях планирования.

В соответствии с этим должны существовать несколько модификаций моделей для оптимизации топливно-энергетического хозяйства на различных этапах и уровнях его развития. В СЭИ СО АН СССР разработаны три разновидности таких моделей — сокращенная модель, расширенная модель и система моделей.

Для оптимального прогнозирования развития топливно-энергетического хозяйства страны на перспективу 15—20 лет можно успешно использовать так называемую сокращенную математическую модель [3], построенную на основе распределительной задачи линейного программирования. Она позволяет в едином комплексе оптимизировать добычу топлива на основных месторождениях и бассейнах, межрайонные топливно-энергетические связи и в первом приближении выбирать вид топлива и энергии для различных категорий энергетических установок. Сокращенная математическая модель неоднократно использовалась различными организациями для оптимизации топливно-энергетического хозяйства страны и большинства экономических районов.

Этап планирования до 10 лет представляет наибольший интерес, поскольку соответствующая ему исходная информация гораздо точнее, чем на более удаленную перспективу, а сам десятилетний период достаточен для сооружения почти любого энергетического объекта. Поэтому возникает необходимость расширить круг описываемых энергетических связей, учесть развитие по годам планового периода, нелинейность энерго-экономических зависимостей и дискретность развития крупных объектов. Это привело к созданию в СЭИ системы математических моделей, каждая из которых описывает одну из входящих в топливно-энергетическое хозяйство отраслей промышленности. Она предназначена для комплексной оптимизации на уровне страны и района (области) развития основных топливных баз и топливоперерабатывающей промышленности, определения магистральных потоков топлива и электроэнергии и направлений их использования в каждом районе. На уровне страны система включает следующие динамические модели: угольной и углеперерабатывающей промышленности, системы газоснабжения, нефтяной и нефтеперерабатывающей промышленности, электроэнергетической системы и упрощенные подмодели районов (по числу рассматриваемых районов). Круг решаемых в каждой модели энергетических задач и математическая формулировка метода их взаимной увязки подробно описаны в [4, 4]. Его энергетическая сущность

состоит в том, что при оптимизации каждой модели ее функционал наряду с собственными затратами соответствующего участка топливно-энергетического хозяйства учитывает также экономию или перерасход затрат на всех смежных участках. Основным средством для этого служат замыкающие затраты на топливо и энергию, представляющие собой удельное изменение затрат на различных участках при изменении ресурсов (потребности) какого-либо вида топлива или энергии.

Расширенная математическая модель топливно-энергетического хозяйства [1] занимает промежуточное положение между сокращенной моделью и системой моделей по составу задач и принципам ее построения. Она представляет собой общую задачу линейного программирования и решается методом узкоблочного программирования.

Областью применения расширенной модели является, по-видимому, оптимизация топливно-энергетического хозяйства страны и района на перспективу от 5 до 10 лет.

Предлагаемый комплекс математических моделей должен служить средством решения задач централизованного планирования топливно-энергетического хозяйства. Полученные основные решения должны затем конкретизироваться и уточняться также в централизованном порядке в процессе оптимизации отдельных входящих в топливно-энергетическое хозяйство систем. Решение же относительно частных энергетических задач: выбор вида топлива и энергии для мелких установок и процессов; сопоставление вариантов строительства небольших энергетических объектов; оптимизация параметров энергетического оборудования и т. д. должны быть предметом децентрализованных расчетов.

В этих частных расчетах сравнительная экономичность вариантов должна соответствовать объективной экономичности, определяемой при комплексном учете их взаимосвязи с остальными участками топливно-энергетического хозяйства.

Средством сочетания локальных оптимумов с глобальным являются экономико-математические оценки или, в энерго-экономической интерпретации, — замыкающие затраты на топливо. СЭИ совместно с институтом Энергосетьпроект провели исследование этой категории показателей [1]. Исследование показало, что использование в частных энергетических расчетах замыкающих затрат, дифференцированных по видам топлива и по районам страны, позволяет получать оптимальные решения массовых энергетических задач.

НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К УЧЕТУ ВЕРОЯТНОСТНЫХ СВОЙСТВ

Вследствие действия ряда объективных и субъективных случайных факторов [2] закономерное в своей основе развитие топливно-энергетического хозяйства подвержено случайным колебаниям и в этом смысле является вероятностным.

Количественная оценка колебаний случайных факторов обычно может быть дана в виде интервала возможных изменений показателя с неизвестным законом распределения. С определенной условностью среднее значение интервала можно принять за математическое ожидание, а крайние считать абсолютной погрешностью. Поэтому результатом расчетов на модели должна быть совокупность оптимальных вариантов, соответствующих возможным сочетаниям случайных значений исходных данных. Конкретные рекомендации должны основываться на дополнительном анализе этих вариантов.

Для определения совокупности оптимальных вариантов используется следующий несколько упрощенный подход.

На основе энерго-экономического анализа и интуиции специалистов назначается несколько возможных альтернатив развития, для каждой из которых определяется оптимальный вариант топливно-энергетического хозяйства. Это позволяет получить приближенную оценку корреляционных зависимостей между различными категориями случайных исходных данных. Потребность и возможности добычи топливно-энергетических ресурсов (как и другие категории исходных данных) могут быть связаны весьма сложными корреляционными зависимостями, количественное выражение которых в настоящее время неизвестно. Накопленный опыт планирования обычно позволяет давать им хотя бы грубую оценку в виде значений потребности и ресурсов в каждом конкретном случае. Эти данные и используются для назначения возможных альтернатив развития топливно-энергетического хозяйства. Однако они не характеризуют все множество оптимальных вариантов, соответствующих возможным сочетаниям случайных исходных данных.

Для устранения этого недостатка на втором этапе осуществляется статистическое исследование оптимального решения, полученного ранее для каждой альтернативы. В результате выявляется достаточно большая совокупность вариантов, каждый из которых является оптимальным для нескольких сочетаний исходных данных (при их отклонении в пределах своей погрешности от принятых при составлении альтернативы). Исследование основано на использовании метода Монте-Карло в сочетании с ускоренным пересчетом оптимального решения [6] при изменении вектора ограничений и коэффициентов функционала задачи линейного программирования (приложение I). Это позволяет найти с заданной вероятностью (90—95%) совокупность оптимальных вариантов развития топливно-энергетического хозяйства и определить вероятность появления каждого варианта.

Полученное на модели решение целесообразно выдавать в виде перечня энергетических объектов, имеющих наибольшую вероятность попадания в оптимальное решение. Для этого при анализе выделяются: энергетические объекты, участвующие во всех оптимальных вариантах и, следовательно, имеющие вероятность реализации, равную единице; объекты, отсутствующие во всех вариантах; в течение данного периода они больше не рассматриваются; оставшиеся энергетические объекты группируются в цепочки их последовательного вытеснения друг другом так, чтобы суммарная вероятность цепочки равнялась единице. Тогда решение о целесообразности реализации объекта можно принять на основе его суммарной вероятности в цепочке или по неэкономическим мотивам.

Представление результатов расчета в виде формально несбалансированной совокупности энергетических объектов, каждый из которых имеет максимальную вероятность попадания в оптимальное решение, является целесообразным при наличии погрешности исходных данных. Он значительно облегчает плановым органам принятие решений с учетом различных внеэнергетических факторов и, в частности, определение первоочередных объектов.

НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К УЧЕТУ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Экономическая устойчивость топливно-энергетического хозяйства [2] вытекает, по-видимому, из двух рассмотренных свойств — сложности и вероятностного характера системы — и в некотором смысле является их синтезом. Совокупное действие этих факторов приводит к образованию зоны неопределенности развития топливно-энергетического хозяйства, включающей такие его варианты, которые по основному критерию — народнохозяйственным затратам — являются практически равноценными.

Как показали расчеты, даже существенное изменение условий развития топливно-энергетического хозяйства, как правило, не выводит систему за границы зоны неопределенности. Наличие у топливно-энергетического хозяйства свойства экономической устойчивости позволяет приближенно описывать в моделях его реальные связи и, следовательно, устанавливать оптимальную степень детализации моделей, при которой ее дальнейшее углубление не уменьшает погрешности решения, но усложняет расчет модели вследствие увеличения размерности. С другой стороны, меньшая детализация, излишне загрубляя описание действительных связей системы, ставит под сомнение правильность результатов расчета. Разработка методики определения рациональной степени детализации моделей и состава решаемых в них энергетических задач или, иными словами, принципов и способов построения эквивалентных моделей является одной из первоочередных задач теории оптимизации топливно-энергетического хозяйства [2].

Составление эквивалентной модели представляется целесообразным проводить в два этапа. На первом этапе, по-видимому, должен определяться рациональный состав решаемых в модели энергетических задач. При этом в модели должны решаться те энергетические задачи, влияние которых на замыкающие затраты на топливо и энергию (т. е. на экономико-математические оценки) больше влияния на них погрешности исходных данных. Ответ на этот вопрос (т. е. разграничение областей применения централизованных и децентрализованных расчетов) зависит от размеров зоны неопределенности численных значений замыкающих затрат, которая в свою очередь определяется погрешностью исходных данных. Далее возникает проблема определения рациональной степени агрегирования модели. Один из подходов к ее решению основывается на следующем положении: при одинаковом составе решаемых энергетических задач более рациональной является модель, имеющая меньшую погрешность функционала. Поэтому задачу можно сформулировать как определение такой детализации модели, при которой достигается минимальная погрешность функционала.

Простой приближенный способ определения погрешности оптимального значения функционала задачи линейного программирования при заданной погрешности исходных данных описан в приложении II. Исследование с его помощью влияния погрешности исходных данных на погрешность функционала позволило установить следующие ее важные свойства.

При неизменности относительной погрешности исходных данных и стабильности общей структуры модели погрешность функционала тем меньше, чем больше степень детализации (и, следовательно, размерность) модели. Так, при относительной погрешности исходных данных $\pm 10\%$ погрешность оптимального значения функционала модели топливно-энергетического хозяйства страны размерностью 60 уравнений составила $\pm 11\%$; дополнительная детализация той же модели с доведением ее размерности до 90 уравнений позволила снизить погрешность функционала до $\pm 6\%$.

При прочих равных условиях погрешность функционала тем меньше, чем равномернее влияние учитываемых в ней факторов. Например, при неизменной размерности упомянутой модели погрешность функционала снизилась с 11 до 9% за счет дополнительной детализации крупных районов и объединения мелких.

Стремиться к созданию детализированных моделей следует только при условии, что относительная погрешность исходных данных не зависит от степени детализации модели. В действительности же по мере детализации модели она увеличивается. Так, если на ближайшие годы планового периода потребность страны в топливе может быть определена с погрешностью $\pm 3-5\%$, то для района эта погрешность возрастает до $\pm 10-15\%$.

а для отдельного промышленного центра составляет $\pm 20\%$ и более. С учетом этой тенденции погрешности исходных данных относительная погрешность функционала по мере детализации модели вначале уменьшается, достигая минимума, а затем начинает возрастать. Ее минимальному значению соответствует теоретически оптимальная степень детализации модели.

Достижению этой степени детализации препятствует, во-первых, ограниченность вычислительных возможностей ЭВМ и, во-вторых, отсутствие необходимых исходных данных. Поэтому практически задача состоит в определении рациональной детализации модели при заданных ее предельных размерах. При этой предпосылке целесообразно детализировать грубо учтенные факторы и агрегировать излишне детализированные и тем самым уменьшить погрешность функционала без изменения размерности модели. Однако возникает вопрос, какие именно факторы следует детализировать, а какие допустимо агрегировать.

Ответ может быть получен на основе анализа средней абсолютной погрешности составляющих функционала $\bar{\epsilon}$. Составляющие функционала, для которых $\epsilon_{ij} > \epsilon$, нуждаются в детализации, а $\epsilon_{ij} < \epsilon$ — в агрегировании. Детализация и агрегирование должны производиться преимущественно изменением числа уравнений модели. В результате можно перейти к модели заданной предельной размерности с меньшей погрешностью функционала. Затем на ее основе следует построить «равноточную» модель, характеризующуюся примерно одинаковым влиянием учитываемых факторов и имеющую наименьшую (для этих условий) погрешность функционала. Соответствующую ей степень детализации можно считать наиболее рациональной.

Свойство экономической устойчивости топливно-энергетического хозяйства создает предпосылки не только для построения эквивалентных моделей, но и для объективного обоснования целесообразности применения математического моделирования, а также для сравнения между собой принципиально различных методов и моделей. Если замена сложного метода (или модели) более простым дает меньший перерасход суммарных затрат, чем ущерб от наличия погрешности исходных данных, то применение сложного метода нецелесообразно. Причина возникновения этого ущерба состоит в том, что рекомендуемый вариант развития топливно-энергетического хозяйства, являющийся оптимальным для какого-то определенного сочетания исходных данных, обычно оказывается неоптимальным при действительно реализованных условиях.

В каждом конкретном случае ущерб различен по величине и, в частности, может быть равен нулю. Вместе с тем объективно существует предельное значение ущерба λ_u , которое с заданной вероятностью (например, 0,95) превышено быть не может.

Для определения этого значения проводится следующий анализ. Расчет на модели определяется оптимальное решение $\bar{X} = \bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_j, \dots$, соответствующее математическим ожиданиям исходных данных. В дальнейшем оно рассматривается как рекомендуемый вариант развития.

Согласно приложению I определяется совокупность оптимальных решений, каждое из которых соответствует одному из случайных сочетаний коэффициентов функционала ($C_n = C_{n1}, C_{n2}, \dots, C_{nj}, \dots$) и характеризуется оптимальным значением функционала Z_{on} , если будет реализовано одно из этих сочетаний C_n , то затраты по рекомендуемому варианту Z_{pn} окажутся равными:

$$Z_{pn} = C_n \cdot \bar{X} = \sum_j C_{nj} \cdot \bar{x}_j,$$

а соответствующая величина экономического ущерба составит:

$$\Delta Z_n = Z_{pn} - Z_{on} = \sum_j C_{nj} \cdot x_j - Z_{on}.$$

Обработка совокупности величин ΔZ_n методами математической статистики [7] позволяет определить предельную величину экономического ущерба λ_y (при заданной расчетной обеспеченности), вызываемого погрешностью коэффициентов функционала.

При изменении в пределах погрешности компонент вектора ограниченной предельная величина ущерба вычисляется аналогично, но при этом затраты по рекомендуемому варианту Z_{pn} определяются как сумма произведений экономико-математических оценок, полученных при математических ожиданиях исходных данных, на компоненты случайного вектора ограничений. Подход к определению ущерба от наличия погрешности исходных данных в более общем виде изложен в [5].

При сравнении различных моделей и методов определяемый статистически перерасход затрат в упрощенных моделях λ_n должен сопоставляться с предельной величиной ущерба λ_y . Если $\lambda_n < \lambda_y$, то при оптимизации целесообразно использовать более простую из сравниваемых моделей, в противном случае — более сложную.

ВЫВОДЫ

1. Топливо-энергетическое хозяйство представляет собой чрезвычайно сложную, вероятностно-детерминированную систему, обладающую свойством экономической устойчивости.

2. Для учета большой сложности системы возможны два взаимосвязанных подхода. Во-первых, сочетание централизованной оптимизации топливо-энергетического хозяйства и образующих его систем с децентрализованным, изолированным решением всего многообразия частных энергетических задач. Во-вторых, построение аппарата централизованной оптимизации в виде комплекса взаимосвязанных моделей, описывающих различные участки топливо-энергетического хозяйства на том или ином этапе и уровне планирования. Средством согласования частных оптимумов с глобальным и в первом, и во втором случае являются замыкающие затраты на топливо и энергию, хотя способ их использования в децентрализованных расчетах и в комплексе моделей существенно различен.

3. Для учета при оптимизации вероятностных свойств топливо-энергетического хозяйства целесообразно, во-первых, наметить несколько возможных альтернатив развития топливо-энергетического хозяйства и, во-вторых, для каждой альтернативы определить совокупность оптимальных вариантов и вероятность появления каждого варианта. Рекомендуемый вариант развития топливо-энергетического хозяйства может определяться анализом полученной совокупности планов, как набор тех элементов (энергетических объектов), у которых вероятность попадания в оптимальный план наибольшая.

4. Свойство экономической устойчивости топливо-энергетического хозяйства создает принципиальную возможность построения моделей, эквивалентных моделируемой системе. Для этого необходимо найти, во-первых, состав решаемых в модели энергетических задач и, во-вторых, рациональную степень их детализации в технологическом, временном и территориальном разрезах. Основным фактором, определяющим решение этих задач, является погрешность исходных данных. Однако конкретные критерии эквивалентирования различны: в первом случае это, по-видимому, погрешность замыкающих затрат на топливо и энергию, во-втором —

погрешность функционала. Необходимо начать изучение условий и критериев достоверности экспериментов на моделях и сопоставимости различных типов моделей. При этом критерием сопоставимости различных методов и моделей, по-видимому, следует считать не погрешность функционала, а величину предельного экономического ущерба от наличия погрешности исходных данных λ_y .

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Один способ определения множества оптимальных решений задачи линейного программирования. 1. С помощью генератора случайных чисел формируется $N = 100 \div 150$ случайных векторов ограничений B_n и столько же строк коэффициентов функционала C_n общей задачи линейного программирования. Тем самым для каждого ограничения задачи и коэффициента целевой функции заготавливается 100—150 случайных значений, распределенных по нормальному закону* в пределах заданной погрешности этого показателя.

2. Определяется оптимальный план задачи линейного программирования при математических ожиданиях исходных данных. Умножением соответствующей обратной матрицы оптимального базиса u_0 на N случайных векторов ограничений находятся те из n_1 векторов, которые не вызывают изменения оптимального базиса, т. е. $x_n = u_0 \cdot B_n \geq 0$. Отношение n_1 / N приближенно характеризует вероятность появления первого оптимального базиса.

3. Любой из оставшихся $N - n_1$ векторов используется для получения нового оптимального базиса [6]. Умножением соответствующей ему обратной матрицы оптимального базиса u_1 на $N - n_1 - 1$ случайных векторов ограничений определяется число n_2 векторов, для которых $x_n = u_1 \cdot B_n \geq 0$. Отношение n_2 / N характеризует вероятность появления второго оптимального базиса.

4. Вычисления согласно п. 3 продолжаются до тех пор, пока не будут распределены между оптимальными базисами все N случайных векторов ограничений. При $N = 100-150$ вероятность существования оптимальных базисов, не выявленных в процессе такого расчета, не превышает 5—10% [7] (на данном этапе исследований это вполне достаточно).

5. Аналогично проводится вычисление множества оптимальных базисов, соответствующих заданной погрешности коэффициентов функционала, и дается оценка вероятности их появления.

ПРИЛОЖЕНИЕ II

Способ приближенного определения погрешности функционала общей задачи линейного программирования. Как известно [6], оптимальное значение функционала задачи линейного программирования определяется выражением:

$$\Phi = \sum_i \sum_j u_{ij} b_i c_{j_i} \quad (1)$$

т. е. равно сумме произведений коэффициентов обратной матрицы оптимального базиса u_{ij} на коэффициенты вектора ограничений b_i и целевой функции c_j .

Пусть случайные величины b_i и c_j имеют нормальный закон распределения, математические ожидания $\bar{b}_i$, $\bar{c}_j$ и относительные погрешности δb

* Поскольку используемые в экономико-математических моделях коэффициенты функционала и столбца ограничений обычно определяются как сумма большого числа независимых случайных величин, их можно считать распределенными по нормальному закону [7].

и $\delta_{c_j}^*$. Коэффициенты исходной (a_{ij}) и, следовательно, обратной (u_{ij}) матрицы будем считать детерминированными величинами. Предположим также независимость случайных величин b_i и c_j и неизменность коэффициентов u_{ij} при изменении b_i , c_j в пределах их погрешности (последнее предположение справедливо лишь при малых значениях относительной погрешности δ_{b_i} , δ_{c_j}).

При этих условиях, применяя к выражению (1) известные теоремы сложения и умножения вероятностей [7], получим следующее приближенное выражение для относительной погрешности функционала:

$$\delta_\Phi = \frac{1}{\Phi} \sqrt{\sum_i \sum_j u_{ij}^2 \bar{b}_i^2 \bar{c}_j^2 (\delta_{b_i}^2 + \delta_{c_j}^2)}, \quad (2)$$

где $\bar{\Phi}$ — оптимальное значение функционала задачи линейного программирования, полученное при математических ожиданиях величин b_i , c_j .

При выводе выражения (2) использовалось спорное предположение, что изменение коэффициентов u_{ij} вследствие колебаний b_i , c_j в пределах их погрешности несущественно сказывается на значении погрешности функционала. Экспериментальная проверка подтвердила правильность этого предположения: расчет по выражению (2) и статистическая обработка случайных изменений функционала (определенных согласно приложению I), дали значения погрешности функционала соответственно 4,6 и 4,5%. Для наших целей такое различие можно считать допустимым.

Как было упомянуто, для определения рациональной детализации модели необходимо знать абсолютные погрешности отдельных составляющих функционала и среднюю абсолютную погрешность его составляющих. Нетрудно показать, что при принятых предположениях они определяются следующими выражениями:

$$\varepsilon_{ij} = |u_{ij} \bar{b}_i \bar{c}_j (\delta_{b_i} + \delta_{c_j})| \text{ и } \bar{\varepsilon} = \sum_i \sum_j \varepsilon_{ij} / p, \quad (3)$$

где p — число слагаемых в числителе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методы математического моделирования в энергетике. Под ред. Л. А. Мелентьева, Л. С. Беляева. Иркутск, 1966.
2. Л. А. Мелентьев. Основные проблемы оптимизации сложных экономических систем. Экономика и мат. методы, 1967, т. III, вып. 4.
3. Ю. А. Кузнецов, Л. А. Мелентьев, А. П. Меренков, А. С. Некрасов. Определение оптимальной структуры перспективного энергетического баланса с использованием ЭВМ. Теплоэнергетика, 1962, № 5.
4. А. А. Макаров. Математическая модель для планирования развития топливно-энергетического хозяйства СССР. Известия АН СССР. Энергетика и транспорт, 1964, № 3.
5. Л. С. Беляев. Вопросы оптимизации больших систем в вероятностных ситуациях. Статья печатается в этом номере.
6. M. Courtillon. On varying all the parameters in linear programming problem. Opns Res., v. 10, № 4, 1962.
7. Е. С. Вентцель. Теория вероятностей. М., Физматиздат, 1962.

Поступила в редакцию
23 XII 1966

* При нормальном законе распределения относительная погрешность определяется из выражений [7]: $\delta_{b_i} = 1/b_i \Phi_p \sqrt{2D_{b_i}}$ и $\delta_{c_j} = 1/c_j \Phi_p \sqrt{2D_{c_j}}$, где: D_{b_i} , D_{c_j} — дисперсия случайных величин b_i и c_j ; Φ_p — функция Лапласа при заданной вероятности, с которой определяется величина относительной погрешности.

ВОПРОСЫ ОПТИМИЗАЦИИ БОЛЬШИХ СИСТЕМ В ВЕРОЯТНОСТНЫХ СИТУАЦИЯХ

Л. С. БЕЛЯЕВ

(Иркутск)

Практически все задачи оптимизации процесса развития или работы энергетических* систем приходится решать в условиях, когда часть исходной информации носит вероятностный характер. Если влияние случайных факторов бывает малосущественным, то путем ряда упрощений задачу удастся решать детерминированными методами. Однако в наиболее важных случаях пренебрегать вероятностными факторами уже нельзя, так как это может привести к значительному ущербу для народного хозяйства.

Применение вероятностных методов сдерживается в настоящее время по двум основным причинам. Первая состоит в том, что такие методы исключительно трудоемки и еще мало разработаны. Вторая заключается в трудности получения функций распределения вероятностей для некоторых случайных величин, и задачи оптимизации часто приходится решать в условиях неопределенности.

Некоторые пути решения состоят в получении хотя и приближенных, но более обоснованных решений, чем в случае пренебрежения вероятностным характером исходной информации.

Излагаемый ниже материал носит в основном постановочный характер, а ряд положений, развиваемых в статье, дискуссионен.

ОБЩИЕ УСЛОВИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ

При оптимизации больших систем с учетом вероятностного характера исходной информации необходимо уяснить: 1) цель решения данной конкретной задачи, т. е. что должно рассматриваться в качестве управлений или возможных наших действий; 2) характер исходной информации: какая ее часть может рассматриваться как объективно детерминированная и какая как вероятностная, с объективным математическим описанием или без него (в последнем случае информация может задаваться лишь диапазоном возможных значений соответствующих случайных величин без указания вероятностей каждого конкретного значения); 3) форму (конкретный вид) результатов расчетов и возможные математические методы решения.

Указанные три момента тесно связаны между собой. Рассмотрим это подробнее, главным образом на динамических задачах.

Процесс развития или работы больших энергетических систем, в принципе, является непрерывным во времени. Однако практически почти всегда можно предполагать, что состояние системы изменяется либо скачками, либо равномерно от интервала к интервалу, выбранным по условиям задачи. Например, при оптимизации структуры электроэнергетических систем длительность интервала (шага) может приниматься равной одному

* Статья основана на опыте решения энергетических задач.