

## Конференции и совещания

### Международный симпозиум по математическим моделям экономики секторов энергетики

С 17 по 21 сентября 1973 г. в Алма-Ате проходил Международный симпозиум по математическому моделированию в экономике секторов энергетики, организованный Европейской экономической комиссией ООН (ЕЭК) совместно с министерствами энергетики СССР и Казахской ССР. Около 250 делегатов симпозиума представляли более 20 европейских стран, а также США и ряд международных организаций: Европейское экономическое сообщество (Брюссель), Международный институт системного анализа (Вена) и др.

В рамках ЕЭК симпозиум на такую тему проводился впервые. Его необходимость связана с увеличивающейся сложностью изучения энергетического хозяйства и его отраслей, а также управления ими.

Было представлено 54 доклада, сгруппированных по четырем следующим секциям: обзор работ по математическому моделированию экономики секторов энергетики; описание моделей топливно-энергетического хозяйства как единого целого и его топливных секторов; описание моделей электроэнергетических систем и их развития; методические вопросы построения моделей топливно-энергетического хозяйства и прогнозирования его развития.

По каждому из разделов были сделаны генеральные доклады обзорного характера и короткие авторские сообщения по представленным докладам.

Доклады по математическим моделям экономики ядерной энергетики и месту этих моделей в иерархии моделей энергетического хозяйства были включены в четвертую секцию.

Генеральный доклад на первой секции был сделан А. С. Некрасовым (СССР). Отмечено, что в настоящее время имеется совершенно отчетливая тенденция разработки моделей, охватывающих весь топливно-энергетический комплекс страны, рассмотрение которого как единого целого объясняется взаимозаменяемостью энергоносителей. Создание таких моделей, носящих в социалистических странах оптимизационно-глобальный характер, является логическим развитием методов планирования энергетики, призванных обеспечить максимальный эффект использования энергетических ресурсов и видов энергии в народном хозяйстве стран. Создание комплексных моделей энергетики в странах рыночного хозяйства и смешанной экономики часто вызывается необходимостью разработки государственными органами мероприятий по стабилизации энергоснабжения своих стран, в то время как предложение и спрос на энергию регулируются системой цен.

На второй секции генеральный доклад сделал М. А. Рубин (СССР). Он рассмотрел модели разных

уровней: национальные общенергетические на уровне страны; специализированные фирменные отдельные секторов энергохозяйства; региональные общенергетические; энергетического хозяйства отдельных энергоемких предприятий и производственных объединений. Модели на уровне страны формируются для изучения процессов во времени. В зависимости от задачи исследования систем на глубину до 30 лет. Однако большая часть задач решается на общенергетических моделях страны, охватывающих периоды 10—15 лет, поскольку чем продолжительнее рассматриваемый период, тем менее достоверна и более неопределенна исходная информация, кроме того, при этом снижается степень детализации решений. Поэтому используются меняющиеся шкалы времени с расчетными интервалами 1—2 года в начале периода — 5 лет в конце периода.

В качестве основных критериев оптимальных решений принимается минимум суммарных затрат на всех стадиях процесса или максимум дохода при условии удовлетворения спроса. Высказывается мнение, что должны быть приняты и дополнительные критерии: минимум расхода энергии, трудовых ресурсов, инвестиций. Обязательное сочетание «вертикальных» и «горизонтальных» связей в процессе оптимального планирования развития секторов энергетики требует создания взаимоувязанных экономико-математических моделей для оптимизации энергохозяйства стран на разных уровнях иерархии моделей. В ряде докладов рассмотрены алгоритмы такой увязки.

В генеральном докладе по третьей секции (А. И. Зейлигер, Г. Н. Лялик, СССР) отмечалось, что задачи планирования и эксплуатации электроэнергетических систем (ЭЭС), последовательно решаемые на моделях, во всех странах примерно одинаковы: определяются оптимальная структура генерирующих мощностей и их размещение, обосновываются требования к новым видам энергооборудования, выбираются оптимальные параметры электростанций, сроки их строительства, планируются годовые, недельные и суточные режимы работы ЭЭС. Представленные доклады отражают опыт сравнительно небольшого числа стран из тех, в которых ведутся работы по созданию и применению моделей для ЭЭС; СССР, Франции, Великобритании и Турции.

Оптимизация структуры ЭЭС: — весьма сложная задача из-за ее динамического характера, дискретного развития элементов системы, большого числа варьируемых параметров и нелинейных связей между ними. Поскольку точное решение такой задачи пока невозможно, разрабатываются модели для приближенного

решения. Используются два пути. Первый — аппроксимация действительных характеристик ЭЭС во входящих в нее объектах в виде таких непрерывных функций, при использовании которых могут быть применены известные математические методы оптимизации (например, линейной и выпуклой программирование и др.). Этот путь позволяет создать оптимизационные модели, где варианты искомого решения формируются, перебираются и оцениваются автоматически с выдачей в качестве конечного результата одного или нескольких близких к оптимуму вариантов.

При использовании второго пути задача упрощается за счет задания проектировщикам вариантов искомого решения. В этом случае на моделях осуществляются экономическая оценка заданных вариантов и оптимизация их второстепенных параметров (например, затрат на горючее путем соответствующего распределения нагрузки между электростанциями).

В рассмотренных докладах предпочтение отдается сочетанию обоих типов моделей: на оптимизационных моделях предварительно определяется область оптимальных структур, а затем сравниваются варианты решений по выбору типа оборудования, типа и размещения генерирующих мощностей и т. п.

На четвертой секции в генеральном докладе (А. А. Макаров, Л. А. Мелентьев, СССР) подчеркивался характерный для методики математического моделирования топливно-энергетического хозяйства стран системный подход. Он объясняется важнейшей особенностью энергетики второй половины XX века — ее строгой комплексностью, обусловленной взаимозаменяемостью энергоносителей (электроэнергии, газа, нефтепродуктов, угля, атомной энергии).

Системы энергетики образуют между собой на всех иерархических уровнях сильные вертикальные (отраслевые) и горизонтальные (межотраслевые) связи. Иерархичность больших систем энергетики, по-видимому, следует считать основополагающим методическим понятием современного математического моделирования в экономике энергетики. Эконометрические модели в энергетике следовало бы строить в виде взаимосвязанной совокупности подмоделей, в наибольшей степени приближенной к иерархии реальных энергетических систем.

В ядерной энергетике дополнительно к комплексной оптимизации параметров АЭС при помощи математических моделей рационально изучение ядерно-энергетической системы как единого целого. Под такой системой понимается весь цикл от добычи, обогащения и переработки ядерного горючего до получения электрической энергии. Актуальность изучения этого процесса как единого целого определяется выявленной зависимостью эффективности развития ядерной энергетике от выбора методов наилучшего использования ядерного горючего, а также от сочетания темпов развития ядерных энергогенерирующих мощностей с выбором оптимальных соотношений между вводами мощностей на тепловых и быстрых реакторах.

Особенность ядерно-энергетической системы как элемента общенергетической системы проявляется, в первую очередь, в том, что при разных темпах развития ядерная энергетика вытесняет различные энергетические ресурсы и типы электростанций на органическом топливе. Поэтому в каждом календарном периоде существует некий оптимальный уровень развития суммарных мощностей АЭС. Он определяется тем, что вначале АЭС вытесняют наиболее дорогие органические виды топлива (например, уголь шахтной добычи),

а следовательно, базисные станции, работающие на нем, затем более дешевое топливо и, наконец, для данного периода времени развитие АЭС достигает такого масштаба, когда дальнейший прирост их мощностей уже не дает экономического эффекта или становится даже отрицательным.

Таким образом, тот или иной масштаб развития АЭС, обуславливая вытеснение органического топлива разной стоимости, влияет как на величину «закрывающих затрат» («теневых цен») на топливо, так и на собственную сравнительную экономичность АЭС. Эти важные прямые и обратные связи можно найти, оптимизируя масштаб развития ядерной энергетике в модели общенергетической системы. Таким образом, оптимальный масштаб развития АЭС может определяться лишь в рамках оптимизации общенергетической системы и уточненной оптимизации электротехнических систем данной страны или группы стран, имеющих энергетические связи. При оценке роли АЭС в системе энергохозяйства важно также выявить эффективность использования ядерного горючего для теплоснабжения, опреснения воды и замены технологического тепла и топлива в энергоемких отраслях промышленности.

В докладе советских авторов, прочитанном С. Я. Чернавским, описана система динамических математических моделей, разработанных как для исследования системы ядерной энергетике в общенергетической системе страны, так и для долгосрочного прогнозирования системы ядерной энергетике и оптимизации ее структуры по минимуму суммарных дисконтированных расчетных затрат и по минимуму потребности в природном уране.

Модель общенергетической системы позволяет исследовать сравнительную экономичность АЭС и ТЭС, а также (в первом приближении) экономичность размещения АЭС на территории страны в электротехнических системах и режимы их использования по годам (интервалам) расчетного периода, не превышающего обычно 20 лет.

Разработано несколько вариантов модели для долгосрочного (на глубину 25—30 лет) прогнозирования развития ядерной энергетике, различающихся степенью детализации, различными способами введения искомого переменных и описания связей между элементами системы.

Аналогичной теме был посвящен доклад В. Франковского (Польша). В нем были изложены задачи по прогнозированию использования ядерной энергетике в Польше, решаемые с помощью разработанных 11 программ ЭВМ для математического моделирования двухкомпонентных, замкнутых по балансу плутония ядерно-энергетических систем. При этом используются методы линейного (в основном) и нелинейного программирования. Принимаются во внимание такие факторы, как время задержки, дисконтирование роста мощностей АЭС и изменение изотопного состава плутония. Разработаны модели пуска быстрых реакторов на уране с постепенной заменой его плутонием по мере наработки в системе. Отсутствие в настоящее время в Польше действующих АЭС позволяет и требует с большой тщательностью изучать начальный этап развития ядерной энергетике в стране. Оптимизации этого этапа посвящен ряд работ по математическому моделированию.

О системном подходе к анализу долговременного развития ядерной энергетике рассказал также С. Айлиф (Великобритания). Описанная им модель и результаты расчета на ней касаются баланса производства и потреб-

ления плутония в ядерно-энергетической системе (с различной структурой АЭС) и экономической связи этой системы с общеэнергетической системой страны. При этом рассматривается экономика не только сбалансированной по плутонию, но и разомкнутой системы. В последнем случае дисбаланс плутония определяет реакцию системы в денежном выражении.

Результаты расчета модели на ЭВМ по программе DISCOUNT-G получают в виде печатной полной итоговой карты основных показателей системы по годам расчетного периода. К этим показателям относятся общее число и типы станций, вводимых в эксплуатацию, коэффициенты нагрузки, доля базовой нагрузки, запасы и минимальный уровень запасов плутония, максимально допустимые затраты (*ф. ст/ком*), денежные поступления, рыночная цена плутония, избыточный плутоний, экспорт и импорт его, вывод станций из эксплуатации и т. д.

Благодаря наглядному характеру результатов расчетов на модели она уже в течение нескольких лет используется Управлением по атомной энергии Великобритании для определения экономического эффекта, который могут дать различные направления разработок энергетических реакторов.

Таким образом, доклады и дискуссии указывают на следующие важнейшие проблемы математического моделирования экономики секторов энергетики:

1. Изучение влияния развития энергетики на окружающую среду. Для решения этой комплексной зада-

чи, находящейся на стыке техники, биологии и экономики, потребуются огромные усилия. По-видимому, необходимо создать специальные комплексные математические модели. Сейчас трудно сделать какие-либо оценки их сложности и результативности.

2. Создание полной и надежной системы информативных данных. В настоящее время исходная информация оставляет желать много лучшего, поэтому необходимо, в частности, развитие математических методов, позволяющих принимать оптимальные решения с учетом неопределенности исходной информации.

3. Проблема соответствия математических моделей задачам исследований на них. Далеко не всегда чем точнее модель, тем она лучше. По мнению генерального докладчика А. А. Макарова, по-видимому, нет смысла требовать от модели такой детализации, которая дает формальную точность решения большую, чем его вероятная погрешность, определяемая неполнотой и некачественностью исходной информации. Поэтому обоснованно применение линейных моделей для описания заведомо нелинейных систем.

Симпозиум показал быстрый прогресс и всевозрастающую результативность математического моделирования в энергетике вообще и ядерной энергетике в частности как наиболее совершенного современного инструмента исследования и управления этих сложных хозяйственных систем.

КОРЯКИН Ю. П.

## X Международный конгресс по обогащению полезных ископаемых

2—6 апреля 1973 г. в Лондоне проходил X Международный конгресс по обогащению полезных ископаемых. В состав делегации СССР, возглавляемой заместителем министра цветной металлургии И. А. Стрыгиным, входило 73 специалиста, представляющих министерства и предприятия цветной, черной, химической и угольной промышленности, министерства геологии и высшей школы, ГКАЭ СССР и другие организации.

Конгресс открыл Х. Чагавей. Затем с лекцией «Человек и минерал» выступил проф. Флеминг.

Заседания проходили по следующим секциям\*: дробление и измельчение (7), грохочение и классификация (3), гравитационное обогащение (3), электродинамическое и магнитное обогащение (4), флотационное обогащение (12), оценка процессов (3), проектирование и практика работы обогатительных фабрик (3), переработка тонких материалов (3), контроль, автоматика и применение ЭВМ (2), автоматическая сортировка руд (2), химическое обогащение (6).

На секции дробления и измельчения Г. Агар (Канада) и П. Самсударен (США) отметили, что изменение числа оборотов мельниц в зависимости от твердости и гранулометрического состава материала позволяет существенно увеличить производительность и снизить расход энергии на измельчение. В докладе В. Кована и Д. Роджерса (США) приведены результаты исследования по измельчению руд процессом Снайдера. Показана универсальность процесса: он одинаково пригоден для измельчения дерева, бумаги, рудных

и других материалов. Отмечена благоприятная гранулометрическая характеристика материалов, измельченных в этом процессе. В докладе Д. Хербста, Г. Гранди и Д. Фюрстенау (США) показано, что математическое моделирование процесса измельчения позволяет ответить на многие вопросы практики работы и проектирования измельчительной аппаратуры. В целом в докладах и дискуссии подчеркнута необходимость расширения исследований по измельчению и совершенствованию методов исследования измельчаемости руд.

Доклады, представленные на секции гравитационного обогащения, свидетельствуют о возросшем использовании методов обогащения в тяжелых суспензиях в барабанных сепараторах и гидроциклонах. Н. Частон в докладе «Суспензионное гидроциклонирование алмазосодержащих руд», представленном англо-американской корпорацией в Южной Африке, привел подробные данные об использовании суспензионного гидроциклонирования, а также характеристики гидроциклонных установок, введенных в эксплуатацию в 1955—1972 гг.

Производительность установок по питанию достигает 560 т/ч. Суммарная производительность описанных в докладе установок составляет 2300 т/ч, а крупность питания от  $-6+1$  до  $-30+0,5$  мм. Показан состав суспензоида (используемые соотношения магнетита и ферросилиция) и расход его на тонну руды (330—700 г/м). Извлечение алмазов составляет 97—99%. Р. Игнатович (Югославия) рассмотрел методику использования тяжелых жидкостей для разделения минералов. Показано, что применение

\* В скобках указано число докладов.