

УДК 519.21:681.142

И.А. Глущенко, Л.А. Тимашова

Математическая постановка комплекса задач развития региональной энергетики

Рассмотрены проблемы построения планов развития энергетической отрасли в регионе и математическая постановка комплекса задач развития региональной энергетики на основе нетрадиционных и вторичных источников энергии с использованием системной оптимизации, методов финансирования программ и пути их решения.

The problem of building plans for development of the energy sector in the region and the mathematical formulation of the complex problems of regional energetics based on the alternative and secondary energy sources using the system of the optimization, methods of financing programmes and solutions is considered.

Розглянуто проблеми побудови планів розвитку енергетичної галузі в регіоні та математична постановка комплексу задач розвитку регіональної енергетики на основі нетрадиційних та вторинних джерел енергії з використанням системної оптимізації, методів фінансування програм та шляхи їх розв'язання.

Введение. В условиях современного развития общества и очень быстрых темпов наращивания производства возникает проблема уменьшения дефицита энергии в регионах. На смену традиционным источникам энергии приходят новые альтернативные виды, позволяющие получать энергию из собственных энергоресурсов в достаточном количестве, позволяют сократить импорт топлива и положительно влияют на сохранение окружающей среды. В Украине есть значительный потенциал нетрадиционных и вторичных источников энергии, но из-за недостаточного финансирования и несовершенного законодательного обеспечения доля их использования очень мала.

Постановка задачи

Проблема построения эффективных механизмов развития производства энергии из возобновляемых источников остается до сих пор открытой и требует новых исследований. Необходимо обращать особое внимание на исследования, направленные на создание информационных систем, позволяющих быстро реагировать на изменения, возникающие в экономической среде, и могут обеспечить удовле-

творительное функционирование уже существующих моделей.

Моделирование процессов развития отрасли энергетики в регионе путем использования нетрадиционных и вторичных источников энергии требует конкретных задач и поставленных целей, необходимых достижений результатов. Правильное определение критериев задачи позволит в дальнейшем сделать правильную оценку энергогенерирующего объекта при выборе его для строительства.

Цель статьи – решение проблемы моделирования процессов развития региональной энергетики благодаря использованию нетрадиционных и вторичных источников. К нетрадиционным относим такие источники, как биогаз, ветер, солнце, реки, тепло-насосные установки, геотермальная энергия, отходы переработки сельскохозяйственных культур, а к вторичным – попутный газ нефтяных и газовых месторождений, технологическое тепло промышленных предприятий, технологическое тепло сельскохозяйственного производства.

Для поставленных задач также необходимы алгоритмы для их решения и разработка соответствующего программного обеспечения, которое бы давало возможность быстро находить решение в ограниченных временем условиях. Рассматривается применение механизмов са-

Ключевые слова: региональное развитие, метод самофинансирования, метод ограничений, конкурсный механизм, системная оптимизация.

мофинансирования и постановки задач развития производства энергии на определенной территории.

Анализ исследований и публикаций

Исследования посвящены проблемам регионального развития и развитию отдельных отраслей производства на определенной территории. Ведутся научные разработки построения эффективных моделей функционирования сложных систем, информационных систем, позволяющих быстро достигать поставленных результатов или принимать продуктивные управленческие решения. Над вопросами сущности, принципов формирования и практической реализации аналитических стратегий работало много специалистов [1–3]. Ими рассмотрены основные принципы моделирования процессов, возникающих в экономике. Наиболее популярные проблемы – производство из-за ограниченности ресурсов, выбор эффективных программ или построение долгосрочных планов строительства. К сожалению, необходима современная надежная база, которая еще окончательно не сформирована в виде эффективных моделей и информационных технологий и соответствующих компьютерных систем для принятия решений.

Основной материал

Комплекс взаимосвязанных между собой задач состоит из четырех последовательно определенных задач, образующих задачу системной оптимизации, и строится с использованием механизмов финансирования программ развития, конкурсного механизма и механизма финансирования программ развития по принципу обратных приоритетов.

Сначала рассматриваем математическую постановку задачи определения энергогенерирующих объектов региона, которая дает возможность определить начальный план строительства. Но с первого раза почти невозможно найти решение задачи, которое удовлетворяло бы все требования по уменьшению дефицита энергии в регионе.

После определения состава энергогенерирующих объектов необходимо проверить фи-

нансово-экономическую возможность реализации плана по строительству энергогенерирующих объектов. Через ограниченность средств, выделяемых на реализацию планов к задаче вводим новые ограничения, с учетом работы механизма финансирования и конкурсного механизма финансирования развития энергетики в регионе. Вследствие чего возникает новая постановка задачи.

Если после решения первых двух задач невозможно найти оптимальное решение строим постановки задач сокращения и самофинансирования программ регионального развития с использованием механизма финансирования по принципу обратных приоритетов.

Такой подход к решению проблемы энергообеспечения регионов дает большие возможности для применения новых технологий производства энергии, перераспределения имеющихся ресурсов и получения желаемых и одновременно оптимальных результатов труда.

Рассмотрим постановку задач.

Задача 1. Математическая модель задачи определения энергогенерирующих объектов региона, которые используют нетрадиционные или вторичные источники энергии.

Выбираемым критерием для нахождения решения задачи определения энергогенерирующих объектов, использующих нетрадиционные или вторичные источники энергии есть дефицит энергии региона

$$\min((A_p^0 + A_s^0 + A_i^0) - (E^{in} + E^{tr} + E^{m} + E^s)),$$

где A_p^0 – объем энергии, который необходим для производственной сферы региона, A_s^0 – объем энергии, необходимый для сельскохозяйственной сферы, A_i^0 – объем энергии, необходимый для социальной сферы, E^{in} – объем энергии, получаемый от основных источников энергии, E^{tr} – объем энергии, получаемый от традиционных источников энергии, E^m – объем энергии, получаемой от нетрадиционных источников энергии, E^s – объем энергии, получаемый от вторичных источников энергии.

Считается, что переменные A_p^0 , A_s^0 , A_i^0 , E^{in} , E^{tr} есть постоянные величины, значения которых представляет регион. Поскольку необходимо минимизировать дефицит энергии региона путем использования нетрадиционных и вторичных источников энергии, следует максимизировать объемы производства энергии этих видов. Задача 1 делится на две подзадачи. *Подзадача 1* – для нетрадиционных источников энергии и *Подзадача 2* – для вторичных источников энергии, определения энергогенерирующих объектов, которые максимизируют объемы производства из нетрадиционных и вторичных источников энергии [1].

Подзадачи Задачи 1 заключаются в максимизации объемов полученной энергии из нетрадиционных или вторичных источников, при наличии ограниченных возможностей размещения оборудования и по объемам производства, в зависимости от используемых технологий.

Каждая подзадача Задачи 1 состоит из целевой функции, которая максимизирует объемы энергии, полученной из нетрадиционных (вторичных) источников энергии:

$$\sum_{i \in I^W} \sum_{j \in J_i^W} \sum_{p \in P_i^W} V_{ijp}^W x_{ijp}^W \rightarrow \max,$$

где под W – подразумевается нетрадиционный источник энергии для *Подзадачи 1* и вторичный источник энергии для *Подзадачи 2*, V_{ijp}^W – минимальный необходимый объем производства энергии по каждому из объектов, x_{ijp}^W – количество нетрадиционных (вторичных) источников энергии вида I^W , размещения J_i^W , марки P_i^W , где I^W – множество видов нетрадиционных (вторичных) источников энергии, J_i^W – множество возможного размещения в регионе нетрадиционных (вторичных) источников энергии i -го вида, P_i^W – множество марок оборудования использования нетрадиционных (вторичных) источников энергии i -го вида для производства электроэнергии.

Далее к подзадачам вводятся следующие ограничения:

- на объем энергии, получаемой от нетрадиционных (вторичных) источников энергии

$$E^{W(0)} + \sum_{i \in I^W} \sum_{j \in J_i^W} \sum_{p \in P_i^W} V_{ijp}^W x_{ijp}^W \geq E^W,$$

где $E^{W(0)}$ – существующий объем энергии, получаемой от нетрадиционных (вторичных) источников энергии;

- по объему производства в данном размещении оборудования

$$v_{ij}^W \leq \sum_{p \in P_i^W} V_{ip}^W x_{ijp}^W, i \in I^W, j \in J_i^W,$$

где v_{ij}^W – минимальный необходимый объем производства энергии на данном размещении, V_{ip}^W – минимальный необходимый объем производства энергии по каждому из объектов в зависимости от вида;

- по количеству объектов возможного размещения

$$\sum_{j \in J_i^W} x_{ijp}^W \geq 1, i \in I^W, p \in P_i^W, \quad \sum_{j \in J_i^W} x_{ijp}^W \leq K_{ip}^W, i \in I^W,$$

$p \in P_i^W, x_{ijp}^W \geq 0, i \in I^W, j \in J_i^W, p \in P_i^W$, где K_{ip}^W – количество возможных источников по каждому из видов нетрадиционных (вторичных) источников энергии.

Задача 2. Математическая постановка задачи проверки финансово-экономической возможности реализации плана по строительству энергогенерирующих объектов региона.

Следующий шаг – проверка финансово-экономической возможности реализации плана по строительству и введение энергогенерирующих объектов региона в работу. Для этого за основу считается принцип работы механизма финансирования программ развития нетрадиционных и вторичных источников энергии, а также используется тот же механизм по принципу обратных приоритетов для введения новых ограничений к Задаче 2 [2].

Пусть $x^{n(*)}$ – состав энергогенерирующих объектов региона, использующие нетрадиционные источники энергии. Множество $x^{n(*)}$ – решение *Подзадачи 1*.

Обозначим стоимость реализации плана по сооружению, эксплуатации объекта нетрадиционного источника энергии и транспортировки производимой энергии к потребителю – C_{ijp}^{nt} .

Имеющиеся финансовые ресурсы, которые могут быть использованы для реализации плана по строительству, эксплуатации объекта нетрадиционного источника энергии и транспортировки производимой энергии к потребителю – F_i^{nt} .

Пусть $x^{s(*)}$ – состав энергогенерирующих объектов региона, использующие вторичные источники энергии. Множество $x^{s(*)}$ есть решением *Подзадачи 2*.

Обозначим стоимость реализации плана по сооружению, эксплуатации объекта вторичного источника энергии и транспортировки производимой энергии к потребителю – C_{ijp}^s .

Имеющиеся финансовые ресурсы, которые могут быть использованы для реализации плана по строительству, эксплуатации объекта вторичного источника энергии и транспортировки производимой энергии к потребителю – F_i^s .

Проверяется новое ограничение для *Подзадачи 1*, введенное на основе механизма финансирования нетрадиционных источников энергии:

$$\sum_{j \in J_i^{nt}} \sum_{p \in P_i^{nt}} C_{ijp}^{nt} x_{ijp}^{nt(*)} \leq F_i^{nt}, i \in I^{nt},$$

и для *Подзадачи 2*, введенное в задачу на основе механизма финансирования вторичных источников энергии

$$\sum_{j \in J_i^s} \sum_{p \in P_i^s} C_{ijp}^s x_{ijp}^{s(*)} \leq F_i^s, i \in I^s.$$

Если ограничения выполняются, то мы можем начать реализацию плана, иначе необходимо перейти к анализу плана с учетом других требований.

Если данные ограничения не выполняются, то необходимо решить задачу системной оптимизации, добавив эти ограничения к условиям при решении *Подзадачи 1* и *Подзадачи 2* соответственно.

Предположим, что регион может дополнительно выделить или обеспечить поступление финансов в размере ΔF .

За основу возьмем механизм финансирования программ развития вторичных и нетрадиционных источников энергии по принципу обратных приоритетов, ΔF должно удовлетворять следующему условию

$$\sum \Delta F_i^{nt} + \sum \Delta F_i^s \leq \Delta F,$$

где ΔF_i^{nt} – средства, которых не хватает для реализации i -х планов нетрадиционных источников энергии, ΔF_i^s – средства, которых не хватает для реализации i -х планов вторичных источников энергии, ΔF – средства, которые регион может выделить дополнительно.

Если регион не может предоставить средства в размере ΔF , тогда местные органы управления могут способствовать развитию энергетики путем сокращения некоторых программ.

Задача 3. Математическая постановка задачи сокращения программ развития энергогенерирующих объектов региона.

Одной из возможностей проведения политики развития региона есть сокращение наименее эффективных программ. По этой политике местные органы власти должны провести финансирование только тех проектов, которые при заданных ресурсных ограничениях дадут максимальный прирост производства энергии.

Для этого решим задачу по каждому из видов энергии и найдем оптимальное решение и новое перераспределение ресурсов.

Выбираем критерием для нахождения решения задачи сокращения программ максимум энергии, которую можно получить от всех объектов нетрадиционных источников при данных условиях

$$\sum_{i \in I^{nt}} \sum_{j \in J_i^{nt}} \sum_{p \in P_i^{nt}} V_{ijp} x_{ijp}^{nt} \rightarrow \max,$$

где множество $x^{nt(**)}$ удовлетворяет условиям *Подзадачи 1*, а именно:

$$\sum_{j \in J_i^{nt}} x_{ijp}^{nt} \geq 1, i \in I^{nt}, p \in P_i^{nt}, \sum_{j \in J_i^{nt}} x_{ijp}^{nt} \leq K_{ip}^{nt}, i \in I^{nt},$$

$$p \in P_i^{nt}, x_{ijp}^{nt} \geq 0, i \in I^{nt}, j \in J_i^{nt}, p \in P_i^{nt},$$

а также

$$\sum_{j \in J_i^m} \sum_{p \in P_i^m} C_{ijp}^{nt} x_{ijp}^{nt(**)} \leq F_i^{nt}, i \in I^{nt} - \text{условию ограниченности финансовых ресурсов для выполнения планов нетрадиционных источников энергии.}$$

Аналогично решается задача программ сокращения для вторичных источников энергии.

После нахождения решений подзадач проверяется следующее условие:

$$\sum_{i \in I^s} \sum_{j \in J_i^s} \sum_{p \in P_i^s} V_{ijp} x_{ijp}^s + \sum_{i \in I^{nt}} \sum_{j \in J_i^{nt}} \sum_{p \in P_i^{nt}} V_{ijp} x_{ijp}^{nt} \geq v_{ij}^{nt} + v_{ij}^s,$$

где v_{ij}^{nt} – минимальный необходимый объем производства энергии из нетрадиционных источников на данном размещении, v_{ij}^s – минимальный необходимый объем производства энергии из вторичных источников на данном размещении.

Если данное условие выполняется, то можем начинать выполнение планов, которые получили в результате решения обеих задач. Иначе ничего не остается, как взять кредит, проводить политику самофинансирования.

Задача 4. Математическая постановка задачи самофинансирования энергогенерирующих объектов региона.

При условии отсутствия оборотных ресурсов местные органы управления не имеют возможности самостоятельно обеспечить выполнение планов, поэтому при получении кредита администрация региона может выступить в роли гаранта его возвращения. Этот механизм предусматривает, что регион имеет право самостоятельно выбирать порядок выполнения проектов, которое он реализует на принципах конкурсного механизма финансирования программ развития нетрадиционных и вторичных источников энергии.

Рассмотрим следующую модель активной системы, состоящую из управляющего органа, где в нашем случае выступает орган местного управления и управляемых элементов, выбранных в предыдущих задачах. Каждый управляемый элемент системы характеризуется набором данных $(C_{ijp}, D_{ijp}, \tau_{ijp})$, где C_{ijp} – затраты на выполнение i -го плана, D_{ijp} – доход, полу-

чаемый после завершения выполнения i -го плана, τ_{ijp} – время выполнения i -го плана, $i \in I = \{1, 2, \dots, n\}$ – множество выбранных энергогенерирующих объектов.

Механизм финансирования, в котором учитывается возможность вложения полученных средств для начала выполнения новых планов, получил название самофинансирования. Было доказано, что сначала нужно выполнять прибыльные планы (для которых $D_{ijp} \geq C_{ijp}$) в порядке увеличения расходов, а затем неприбыльные планы (для которых $D_{ijp} < C_{ijp}$) в порядке убывания доходов.

Итак, была рассмотрена модель, когда центр выступает в качестве гаранта возврата кредита. Условиями обеспечения кредита считалось резервирование средств центром в размере самого кредита.

Обозначим $\alpha 0$ – процентная ставка банка, за полученный кредит (за единицу времени), α_{ijp}^0 – рентабельность i -го плана, $\alpha_{ijp}^0 = (D_{ijp} - C_{ijp}) / C_{ijp}$, где α_{ijp} – приведена рентабельность i -го плана, $\alpha_{ijp} = (D_{ijp} - (1 - \alpha_{ijp}^0 \tau_{ijp})) / C_{ijp}$.

Интересы центра учитываются следующим образом. Предположим, что для выполнения каждого плана региона отсчитывается подоходный налог в размере P_{ijp} , где $P_{ijp} = \{\beta \alpha_{ijp} C_{ijp}\}$, β – единая ставка налога.

Центр обязан на время выполнения i -го плана зарезервировать средства в размере C_{ijp} . Если t_{ijp} – момент начала выполнения i -го плана, C_{ijp} – стоимость реализации плана по сооружению, эксплуатации объекта источника энергии и транспортировке производимой энергии к потребителю, то финансовый баланс центра можно записать в следующем виде:

$$f(t) = \beta \sum_{i \in Q} \alpha_{ijp} C_{ijp} I(t \geq t_{ijp} + \tau_{ijp}) - \sum_{i \in Q} C_{ijp} I(t \in [t_{ijp}; t_{ijp} + \tau_{ijp})), t \geq 0,$$

где $f(t)$ – финансовый баланс центра, зависящий от времени.

Время окончания всех работ определяется периодами $\{t_{ijp}\}$, T – время завершения всех работ, где $T = \max \{t_{ijp} + \tau_{ijp}\}$.

Понятно, что всегда будет выполняться следующее условие $\max_{i \in Q} \tau_{ijp} \leq T \leq \sum_{i \in Q} \tau_{ijp}$. Макси-

мальная величина резерва C определяется периодами $\{t_{ijp}\}$, как

$$C = \min\{C \geq 0 / \forall t \geq 0, f(t) \geq -C\},$$

где C – максимальная величина резерва финансов центра.

Зависимость резерва центра от времени выглядит

$$C(t) = \min\{0, f\{t\}\},$$

где $C(t)$ – зависимость резерва финансов от времени. Поэтому C можно определить, как $C = \max C(t)$.

Однако цели минимизации резервов центра и времени вступают в противоречие. Поэтому для определения множества рациональных вариантов уместно исследовать возможные комбинации времени и резервов. Экстремальные их оценки могут быть получены в результате решения следующих подзадач.

Подзадача 3. Найти множество последовательностей выполнения планов, на которых достигается минимум *величины резервов центра*, и из этого множества выбрать вариант, соответствующий минимальной длительности проекта.

Подзадача 4. Найти множество последовательностей выполнения планов, на которых достигается минимум *длительности проекта*, и из этого множества выбрать вариант, соответствующий минимальной величине резервов центра.

Отсюда можно записать следующие ограничения:

$$\sum \Delta F_i^{nt} \leq C^{nt}, i \in Q^{nt}, j \in J_i^{nt}, p \in P_i^{nt},$$

где Q^{nt} – множество i -х планов нетрадиционных источников энергии, которые будет финансировать регион, C^{nt} – минимальные средства, которые необходимо зарезервировать центру для выполнения планов нетрадиционных источников энергии и $\sum \Delta F_i^s \leq C^s, i \in Q^s, j \in J_i^s, p \in P_i^s,$

где Q^s – множество i -х планов вторичных источников энергии, которые будет финансировать регион, C^s – минимальные средства, которые необходимо зарезервировать центру для выполнения планов для вторичных источников энергии,

$$T \leq \sum_{i \in Q^{nt}} \tau_{ijp}^{nt}, i \in Q^{nt}, j \in J_i^{nt}, p \in P_i^{nt}, \tau_{ijp}^{nt} -$$

время выполнения i -го плана нетрадиционных источников энергии, $T \leq \sum_{i \in Q^s} \tau_{ijp}^s, i \in Q^s, j \in J_i^s,$

$p \in P_i^{ns}, \tau_{ijp}^s$ – время выполнения i -го плана вторичных источников энергии.

Отсюда вытекает формулировка задачи самофинансирования с новыми ограничениями нетрадиционных источников, имеющая следующие ограничения:

$$v_{ij}^{nt} \leq \sum_{p \in P_i^{nt}} V_{ip} x_{ijp}^{nt}, i \in I^{nt}, j \in J_i^{nt}, \sum_{j \in J_i^{nt}} x_{ijp}^{nt} \geq 1, i \in I^{nt},$$

$$p \in P_i^{nt}, \sum_{j \in J_i^{nt}} x_{ijp}^{nt} \leq K_{ip}^{nt}, i \in I^{nt}, p \in P_i^{nt}, x_{ijp}^{nt} \geq 0,$$

$$i \in I^{nt}, j \in J_i^{nt}, p \in P_i^{nt}, \sum_{i \in Q^{nt}} \Delta F_i^{nt} x_{ijp}^{nt} \leq C^{nt}, i \in Q^{nt},$$

$$j \in J_i^{nt}, p \in P_i^{nt}, T \leq \sum_{i \in Q^{nt}} \tau_{ijp}^{nt} x_{ijp}^{nt}, i \in Q^{nt}, j \in J_i^{nt},$$

$$p \in P_i^{nt}.$$

Аналогично формулируем задачу самофинансирования с новыми ограничениями для вторичных источников.

Если задача системной оптимизации будет иметь решение, то данный план можно начинать выполнять, иначе надо привлечь новых экспертов для усовершенствования математической модели развития [3].

Данный комплекс задач образует задачу системной оптимизации, позволяющую найти желаемое решение и получить множество планов для строительства энергогенерирующих объектов для развития региона.

Рассмотренная задача относится к ряду задач многокритериальной оптимизации линейного программирования. Это – типичная черта задач такого масштаба, поскольку в них охвачены многие интересы, которые центру необходимо

удовлетворить. Нахождение оптимального плана требует массы информации и особых математических подходов. Сегодня это не составляет большой проблемы, так как существует большое количество определенных алгоритмов для решения таких задач. В данном случае при решении многокритериальной задачи на каждом из этапов можно использовать метод ограничений [4].

Заключение. Увеличение объемов используемой энергии в мире порождает необходимость построения новых энергогенерирующих объектов и поиск путей их финансирования, требует системного подхода к решению проблем возникающих в силу ограниченности ресурсов. Рассмотренные взаимосвязанные задачи линейного программирования позволяют системно подойти к решению проблемы определения энергогенерирующих объектов региона с использованием нетрадиционных и вторичных источников энергии. Эти задачи поэтапно позволяют определить состав энергогенерирующих объектов региона, проверить финансово-экономическую возможность региона по реализации намеченных планов, а в случае отсутствия необходимых средств, проводить политику сокращения некоторых программ развития или использовать возможность само-

финансирования проектов, которое заключается в получении кредитов, когда гарантом выступает власть региона. Такой подход к решению проблемы энергообеспечения регионов дает большие возможности для применения новых технологий производства энергии, перераспределения имеющихся ресурсов и получения желаемых и одновременно оптимальных результатов.

1. Бурков В.Н., Джавахадзе Г.С. Экономико-математические модели управления развитием отраслевого производства. – М.: ИПУ РАН, 1998. – 86 с.
2. Бурков В., Квон О., Цитович Л. Модели и методы мультипроектного управления. – М., 1996. – 87 с. (Препр. / РАН Ин-т пробл. упр.).
3. Чаплінський Ю.П., Ширяєв А.О. Системна оптимізація як методологічна основа оцінки реалізуємості інвестиційних проектів // Економіко-математичне моделювання соціально-економічних систем: Зб. наук. пр. – К.: МННЦТіС. – 2003. – 7. – С. 70–84.
4. Бурков В.Н., Новиков Д.А., Щепкин А.В. Механизмы управления эколого-экономическими системами. – М.: Изд-во физ.-мат. лит., 2008. – 244 с.

Поступила 08.09.2014
Тел. для справок: +38 099 078-2042 (Киев)
E-mail: i.n.n.a.20@mail.ru
© И.А. Глущенко, Л.А. Тимашова, 2014

Внимание !

**Оформление подписки для желающих
опубликовать статьи в нашем журнале обязательно.**

В розничную продажу журнал не поступает.

Подписной индекс 71008