

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ И ПЕРСПЕКТИВА ОПТИМАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Л.В. Куликова, А.М. Худоногов, А.В. Григорьев

В статье выполнен анализ проблем и обоснована перспектива оптимального использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии для сельскохозяйственных потребителей, представлены методы формирования оптимизационных алгоритмов комплексной электрификации агропромышленных районов.

Ключевые слова: нетрадиционные и возобновляемые источники энергии, оптимизационные алгоритмы.

В настоящее время наблюдается динамичное развитие сельского хозяйства в Алтайском крае. Однако это развитие регионального агропромышленного комплекса сдерживается не только ограниченным финансированием, но и недостаточным уровнем электрификации этих районов. Этому имеются и объективные и субъективные причины. Вторые достаточно подробно обсуждаются в научной и периодической печати; а к первым следует, прежде всего, отнести специфические условия сельскохозяйственных районов Алтайского края и республики Алтай: горная и степная местность, удаленность от системных электрических сетей потребителей небольшой единичной мощности, связанные с этим трудности в доставке топлива для получения электрической энергии, негативные экологические и экономические последствия при использовании дизельных электростанций и пр. Наиболее реальным и эффективным в этом случае является повсеместное применение нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Однако, в регионе, да и в целом в стране, существенно отстает от мирового уровня практика создания и внедрения источников получения электроэнергии, основанная на использовании восстанавливаемых природных носителей (воды, солнца, ветра и др.). Теоретические и практические методы комплексной электрификации агропромышленного сектора на базе использования такого рода источников до настоящего времени не отработаны. В то же время имеются достаточно развитые основы для формирования теоретической базы такой комплексной разработки: проведены многолетние исследования по формированию солнечного, водного и ветрового кадастров; про-

анализированы наиболее вероятные типы источников электроэнергии, которые могут быть использованы в условиях региона; проводятся исследования новых типов нетрадиционных источников энергии и пр. Необходимо сделать новый шаг в сторону систематизации этих исследований и разработки новых методических подходов к формированию системы поиска требуемых типов нетрадиционных источников энергии, методологии оптимального их размещения, способов определения потребности в тех или иных типах источников и т. д. Кроме того, возникает ряд новых, ранее не ставившихся задач по обеспечению надежности этого рода источников при существенной вариативности параметров природных носителей энергии. Без решения этих задач комплексная электрификация рассматриваемых районов становится неосуществимой из-за резкого возрастания затрат, вызванных принятием неоптимальных решений. Решение такого рода задач требует привлечения и обработки больших баз данных и может быть найдено только при условии применения методов математического моделирования и прогнозирования, современной теории оптимизации принятия решений. В условиях дефицита материальных и энергетических ресурсов необходимо особенно тщательно подходить к принятию различных решений в области развития сельскохозяйственного производства. Внедрение в практику неоптимальных решений по развитию электрификации приводит не только к резкому увеличению затрат, но и довольно часто оказывает негативное воздействие на экологическую обстановку в районах сельскохозяйственного производства. Следовательно, необходимо разработать теоретические, мето-

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ И ПЕРСПЕКТИВА ОПТИМАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

дические и практические основы формирования системы комплексной электрификации агропромышленного сектора региона Алтайского края, позволяющие оперативно корректировать имеющиеся схемы электрификации, совершенствовать всю систему распределения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, вырабатывать оптимальные планы разработок новых конструкций этих источников и формировать прогнозы такого рода разработок.

Основными факторами, влияющими на комплексную электрификацию, является возможность обеспечения электроэнергией потребителей, зависящая от наличия электрифицированных машин и аппаратов. Однако электрификация сельскохозяйственного производства сдерживается за счет разрозненности и раздробленности структуры сельскохозяйственной системы. Следовательно, необходим новый подход к формированию системы электрификации сельскохозяйственного производства в таких регионах. Системный анализ существующих приемов в теории управления и развития электроэнергетических систем позволил предположить, что использование современной методики принятия оптимальных решений позволит создать основы для формирования теоретической, методической и практической базы комплексной электрификации агропромышленных районов. Систематизация исследований и разработка новых методических подходов к формированию системы требуемых типов нетрадиционных источников энергии, методология их оптимального размещения, способы определения потребностей в тех или иных типах источников позволяет не только разработать теоретическую базу комплексной электрификации сельскохозяйственных районов, но и построить алгоритмы принятия решений по оптимизационным моделям и выполнить программную реализацию предложенных способов. Особое внимание следует обратить на нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Возможности использования этих природных источников энергии во многом определяются уровнем изыскательских работ по формированию соответствующих солнечных, ветровых и водных кадастров. Следует отметить, что для Алтайского края разработаны названные кадастры. Именно это обстоятельство и позволяет надеяться на успех при формировании общетеоретических подходов к построению оптимальных схем комплексной электрифи-

кации регионального агропромышленного сектора.

На базе существующих исследований по формированию солнечного, водного и ветрового кадастров для Алтайского региона, на основе используемых и разрабатываемых типов нетрадиционных источников необходимо создать обобщенную базу данных, которая послужит основой для формирования оптимизационных алгоритмов. Непосредственная работа в конкретном регионе позволит провести сбор информации по различным сельскохозяйственным районам и далее на основе системно-аналитического обзора и математической обработки экспериментальных данных будет сформирована требуемая база данных. Данные о природных (климатических, ландшафтных) условиях размещения и функционирования предполагаемых источников энергии позволяют получить классификационные наборы условий. Далее от этих условий можно перейти к типам источников, наиболее пригодных для работы в данных условиях. Потребности потребителя электрической энергии можно тоже отнести к условиям. Все это позволит определить затраты на формирование системы «источник-потребитель» для конкретных условий реализации данной работы (или вида работ). Далее, все источники необходимо объединить в группу однородных источников. При таком подходе к формированию исходного набора условий можно построить некоторую матрицу затрат, которая и опишет процесс формирования типоразмерного ряда в группе однородных источников. Если такая матрица сформирована, можно переходить к формированию обоснованных требований на разработку источников применительно к задачам конкретного региона и математическому моделированию исследуемых процессов с последующим решением оптимизационных задач. Построение оптимизационных алгоритмов выполняется на методологии дискретной оптимизации полученных математических моделей типоразмерного ряда нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. После чего необходимо разработать программное обеспечение для решения поставленных задач.

Результатом выполнения данной работы являются оптимизационные схемы, алгоритмы и программные средства, тогда при достаточно широкой пропаганде такого подхода к организации системы электроснабжения сельскохозяйственных районов можно осуществить внедрение полученных материалов

в различные сельскохозяйственные регионы. Основной успех внедрения результатов предложенного проекта заключается в социально-экологическом эффекте: разработка и внедрение предложенных оптимизационных схем электроснабжения на экологически чистых источниках энергии позволит осуществить электроснабжение в отдаленных и труднодоступных районах. Кроме того, принятие оптимальных решений повышает эффективность используемых приемов по самым скромным оценкам на 20%, что естественно приводит к экономии используемых ресурсов.

Рассмотрим основные предпосылки для построения комплексных моделей и разработки оптимизационных алгоритмов.

Приведенный выше анализ позволяет перейти к комплексным моделям, описывающим оптимизационные схемы электроснабжения сельскохозяйственных районов. Комплексные модели должны включать в себя технические и технологические параметры, кроме того эти модели должны учитывать место расположения как потребителя электрической энергии, так и расположение источника энергии, в том числе нетрадиционных и возобновляемых.

Для описания теоретических вопросов формирования оптимизационных алгоритмов комплексной электрификации агропромышленных районов (на примере Алтайского края) ведем понятие схемы электрификации.

Под схемой электрификации будем понимать определенную структуру, содержащую наименование источников электроснабжения, их типаж, количество, место установки, параметры потребителя и связи между источником, потребителем и другими источниками, в том числе и системными (сетевыми или государственными).

Задача оптимизации представляется в следующей постановке:

Рассматривается задача оптимизации с квазивогнутой матрицей затрат. Как известно из теории оптимизации, матрица затрат C является квазिवыпуклой (квазивогнутой), если существует такая перестановка строк

$$i_1 < i_2 < \dots < i_m,$$

что для любого столбца $j = \overline{1, n}$ и каждой упорядоченной тройки строк $x < y < z$ выполнены неравенства

$$C_{xy} \leq \max\{C_{xz}, C_{yz}\} \quad (C_{xy} \geq \min\{C_{xz}, C_{yz}\}).$$

Матрица затрат C является квазिवыпукло-вогнутой, если ее множество столбцов можно

разбить на два подмножества $D = D_1 \cup D_2$: на подмножество D_1 – подматрица C_1 – квазिवыпуклая, на подмножество D_2 – подматрица C_2 – квазивогнутая и существует равенство $C = C_1/C_2$.

Квазिवыпуклость матрицы затрат означает, что любое значение затрат на поддержание выполняемых с применением данного источника электрифицированных работ на заданном качественном уровне всегда меньше некоторого уровня, принимаемого за максимальный (например, максимум затрат будет при отказе источников и перерыве электроснабжения).

Квазивогнутость матрицы затрат означает, что любое значение затрат всегда меньше некоторого уровня, принимаемого за минимальный (например, минимум затрат будет иметь место при сезонном максимуме водостока при использовании микро-ГЭС и пр.).

Квазिवыпукло-вогнутость матрицы затрат означает, что ее множество элементов может быть представлено в виде двух подмножеств – подматриц, одна из которых – квазिवыпуклая, другая – квазивогнутая.

Таким образом, если установлен тип матрицы затрат в задаче оптимизации, то представляется возможным определить оптимальный типоразмерный ряд источников для соответствующей группы однородных источников. Так, если матрица затрат квазивогнутая, то существует оптимальное решение задачи для источников электроэнергии с заранее определенной мощностью. Действительно, когда $\alpha' = \{i_1, i_2, \dots, i_t\}$ – оптимальное решение задачи с квазивогнутой матрицей затрат C и $|\alpha'| > b$. По решению

α' строится оптимальное решение $\alpha^b = \{i_1, i_t\}$ с необходимым свойством. Из определения квазивогнутости вытекает, что $\min_{i \in \alpha'} C_{ij} = \min_{i \in \alpha^b} C_{ij}, \forall j \in D$. Поэтому:

$$\begin{aligned} p(\alpha') &= \sum_{i \in \alpha'} r_i + \sum_{j \in I} \min_{i \in \alpha'} C_{ij} \geq \sum_{i \in \alpha^b} r_i + \sum_{j \in I} \min_{i \in \alpha^b} C_{ij} = \\ &= p(\alpha^b). \end{aligned}$$

Следовательно, α^b – оптимальное решение задачи с квазивогнутой матрицей текущих затрат.

Из доказанного вытекает, что оптимальное решение такого вида задачи необходимо искать в подмножестве 1, мощность которых

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ И ПЕРСПЕКТИВА ОПТИМАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

имеет заранее определенное значение. Так как $|I| = m$, то количество таких подмножеств равно $B(m^b)$.

В такой постановке задачи необходимо использовать треугольную матрицу затрат, так как это соответствует специфике формирования экономических исходных данных о затратах на электрификацию в условиях исследуемого региона.

При учете сложности получения исходных экономических данных о применении источников, даже принадлежащих к одной группе однородных источников, любой алгоритм, не рассчитанный за полный перебор, может не дать желаемого результата – оптимального размещения источников из условия минимизации суммарных затрат на обеспечение сельскохозяйственных работ анализируемого субрегиона (зоны) электроэнергией. Поэтому необходимо рассматривать алгоритм полного перебора (так называемый π -алгоритм). Перебор осуществляется по всем подмножествам с заранее определенной мощностью и типоразмера. Полный перебор вполне возможен при относительно небольшом исходном множестве источников (типоразмеров), применяемых для исходного набора сельскохозяйственных потребителей. Однако при формировании обобщенной схемы электрификации для определенного региона приходится решать очень сложную задачу при большом объеме данных и временных изменениях. В этом плане предлагается использовать регуляризирующие оптимизационные алгоритмы

Эти оптимизационные алгоритмы применяются в задачах, так или иначе сводимых к задаче дискретной оптимизации. Суть задач этого класса заключается в том, что решением задачи оптимизации может быть не любое число в назначенных граничных условиях, а лишь такое число, которое входит в набор возможных вариантов значений данной искомой переменной или переменных. Такого рода задачи могут быть сформулированы применительно к проблемам комплексной электрификации региона при априорно заданном множестве источников энергии. Именно в такой постановке наиболее приемлема разработка оптимизирующих алгоритмов для задач комплексной электрификации региона с выявленными специфическими свойствами, характеризующегося разнообразием источников энергии, с одной стороны, и трудностями в их практическом использовании, с другой стороны. К тому же, как показывает опыт

электрификации, часто применение автономных генераторов электроэнергии оказывается наиболее приемлемым для решения целого комплекса задач, в частности, задач электроснабжения сельскохозяйственного производства в отдаленных и труднодоступных районах.

Задача дискретной оптимизации для описанного круга проблем поставлена следующим образом:

$$P(\eta) \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\eta \in N,$$

где N – некоторое конечное множество.

В таком виде может быть сформулировано большинство дискретных оптимизационных задач. Практически любая задача вида (1) задает множество задач, отличающихся лишь значениями числовых параметров. Именно это обстоятельство является признаком приемлемости такого рода подхода к формированию системы оптимизации планов комплексной электрификации региона с вариативными характеристиками источников энергии. Множество числовых параметров задачи далее определяются как исходные данные. Здесь исходными данными являются элементы матрицы, определяющие расстояния между параметрами «источник энергии – потребитель».

В задаче (1) нас интересуют только те исходные данные, которые задают целевую функцию $P(\eta)$. Пусть A – есть массив числовых параметров, определяющих целевую функцию $P(\eta)$. В задачах комплексной электрификации исходные данные принимают не любые значения, а только значения из некоторого интервала, задаваемого на основании паспортных данных на источник энергии или на установки у потребителя. Если через ΔA можно обозначить область определения параметров A , то для задачи оптимизации $A = \{\bar{r} = (r_1, \dots, r_m), C = \|C_{ij}\| m \times n\}$

будем иметь:

$$\Delta A = \{A = \|r_i \geq 0, i = \overline{1, m}, C_{ij} \geq 0, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}\}$$

Дополним формулировку задачи (1) условием $A \in \Delta A$.

Сущность регуляризирующих оптимизационных алгоритмов состоит в использовании частных особенностей поставленной задачи. При этом из частных особенностей задачи выбирают такие, которые наиболее эффективны при решении данной оптимизационной задачи. Регуляризирующий оптимизационный

алгоритм отображает ту ситуацию, в которой решающий задачу предпринимает меры по достижению ее приемлемого решения, выбирая в исходных данных те значения, при которых искомое решение достижимо. Для задачи (1) частный случай определяется областью изменения исходных данных $A: A \in \Delta A^*, \Delta A^* \subseteq \Delta A$. Но тогда частный случай может отличаться от общего. Аналогичная ситуация имеет место, например, при отличии теоретически рассчитанной мощности источника от аналога, имеющегося на рынке. Для отличия частного случая от общей задачи (1) обозначим частную задачу таким образом:

$$P^*(\eta) \rightarrow \min_{\omega}; A^* \in \Delta A^*; \eta \in N. \quad (2)$$

Пусть $\alpha \in N$ – есть оптимальное решение задачи (1) и $\alpha^* \in N$ – оптимальное решение задачи (2). Тогда близость исходных данных A и A^* представленных пар задач гарантирует и близость оптимальных значений функционалов $P(\alpha)$ и $P^*(\alpha^*)$. Это утверждение можно сформулировать, если $\rho(A, A^*) \leq \varepsilon$, то $|P(\alpha) - P^*(\alpha^*)| \leq \varepsilon$, где $\rho(A, A^*)$ является некоторой функцией от исходных данных пар представленных выше задач – общей и частной. В качестве функции $\rho(A, A^*)$ берутся известные функции расстояния между массивами числовых данных A и A^* . При этом не требуется выполнения аксиом расстояния для функции $\rho(A, A^*)$. Поэтому функция $\rho(A, A^*)$ называется мерой близости исходных данных A и A^* .

Сказанное может быть принято за основу для формулировки более общего подхода и в частном случае, представленном выше. В самом деле, массивы A и A^* формируются всегда на одной и той же содержательной основе. В задаче оптимизации планов комплексной электрификации такая основа создается практикой электрификации и содержит: данные об имеющихся энергетических ресурсах региона (зоны в регионе), перечни потребителей электроэнергии с указанием требуемой мощности поставляемой энергии, номенклатура возможных реализаций генерирования электроэнергии (способы преобразования ресурсов в энергию) и т. д. Возможно разбиение набора исходных данных (в общей и частной задачах) на идентичные подгруппы. Тогда выше сказанное может

быть сформулировано на базе многогрупповой системы исходных данных в следующем виде: если имеется групп $k (k = \overline{1, k})$ исходных данных (1), (2) и $\rho(A_k, A_k^*) \leq \varepsilon_k$ то

$$|P(\alpha_k) - P^*(\alpha_k^*)| \leq \varepsilon_k$$

для $\Delta A_k^* \subseteq \Delta A_k, k = \overline{1, k}$.

В приложении к задачам электрификации в качестве мер близости предлагаются следующие функции:

$$\rho_1(A_k, A_k^*) = \sum_{i=1}^m |r_{ik} - r_{ik}^*| + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |c_{ijk} - c_{ijk}^*|,$$

$$\rho_2(A_k, A_k^*) = \sum_{i=1}^m |r_{ik} - r_{ik}^*| + \sum_{j=1}^n \max_{i=\overline{1, m}} |c_{ijk} - c_{ijk}^*|,$$

где r_{ik}, r_{ik}^* – мощности источников энергии, c_{ijk}, c_{ijk}^* – затраты на приобретение и монтаж источников энергии для общего и частного случаев, соответственно: $i = (\overline{1, m})$ – индекс места установки источника энергии, $j = (\overline{1, n})$ – индекс места потребления энергии, а $k = \overline{1, k}$.

При этом естественно необходимо строить функцию $\rho(A_k, A_k^*)$, определяющую оценку сверху модуля разности целевых функций обеих задач $|P(\eta) - P_k^*(\eta)|$ такую, чтобы неравенство:

$$|P_k(\eta) - P_k^*(\eta)| \leq \rho(A_k, A_k^*), \quad k = \overline{1, k}$$

выполнялось для любого $\eta \in N$. Функция $\rho(A_k, A_k^*)$ и есть мера близости исходных данных A_k, A_k^* .

Такая задача оптимизации плана комплексной электрификации на базе применения регуляризирующих алгоритмов решается в следующих этапах:

1. Необходимо аппроксимировать исходные данные A_k исходными данными A_k^* ;
2. Полученная аппроксимирующая функция с исходными данными A_k^* решается известным эффективным алгоритмом;
3. Точность получаемого при этом решения оценивается погрешностью аппроксимации исходных данных $\rho(A_k, A_k^*)$ для каждой группы. При этом точное решение аппроксимированной задачи принимается за приближенное решение исходной задачи.

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ И ПЕРСПЕКТИВА ОПТИМАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Такие задачи для формирования схем оптимальной электрификации региона, решаемые с применением регуляризирующих алгоритмов, могут оказаться легко опровергаемыми, если через некоторое время после получения результата из-за изменения внешних условий (исходных данных) возникает необходимость в получении новых значений мест размещения источников и выбора их типоразмеров. Такое положение определяется степенью устойчивости полученных решений. Устойчивость, в свою очередь, определяется чувствительностью решений к вариациям исходных данных.

Кроме того, необходимо помимо оценки чувствительности использовать метод порядковых топологий, сущность которого заключается в следующем:

Предположим, что для задачи размещения источников найден некоторый алгоритм, такой, что возможно получить вариант структуры электрификации с достижением глобального экстремума (минимума) текущих затрат на реализацию соответствующих работ. Если этот экстремум обозначить через Z . При этом предположим, что допустимые решения являются комбинаторными объектами, которые описываются неметризованными отношениями частного порядка, невзвешенными ориентированными графами. Тогда для заданного набора исходных данных $A = (a_1, \dots, a_k)$ имеется поднабор $Z \subseteq A$, на котором реализуется оптимальное решение x_0 . Если набор A соответствует некоторому точному (среднему) значению вектора исходных данных, каждая координата a_i которого определяется интервалом

$$a_i \in [a_i^0 - \underline{\sigma}(a_i^0), a_i^0 + \overline{\sigma}(a_i^0)],$$

где $\underline{\sigma}(a_i^0), \overline{\sigma}(a_i^0)$ – нижнее и верхнее значения погрешности $\sigma(a_i^0) = [\underline{\sigma}(a_i^0), \overline{\sigma}(a_i^0)]$ по координате a_i . Такой способ задания погрешностей называется интервальным. Чаще всего интервал погрешностей по некоторому входному параметру a_i задается симметричными относительно нуля значениями $[-\sigma^0(t), +\sigma^0(t)]$, а реализация возмущенного вектора исходных данных $A(\sigma) = A + \sigma$, где $\sigma = (\sigma(1), \dots, \sigma(n))$ – вектор погрешностей, который принадлежит области изменения погрешностей δ , имеющей вид параллеле-

пипеда. В результате оптимизирующей процедуры получим оптимальное решение $x_0(\sigma)$ с поднабором исходных данных $\Psi(\sigma) \subseteq A(\sigma)$, на котором и реализуется оптимальное решение $x_0(\sigma)$.

Под вектором (точкой) погрешности $\sigma(t) \neq 0$ понимается вектор σ , у которого хотя бы одна координата не равна нулю, т.е. $\sigma(t) \neq 0$ тогда и только тогда, когда существует $t \in [1, n]$ такое, что $\sigma(t) \neq 0$.

Решение $x_0(\sigma)$ над вектором $A(\sigma)$ назовем σ – устойчивым в точке $\sigma(t) \neq 0$, если $x_0(\sigma) = x_0(\Psi)$. Совокупность точек $\Theta = \{\sigma \neq 0 | x_0(\sigma) = x_0(\Psi)\}$ назовем областью Θ – устойчивости семейства задачи оптимизации.

Множество решений

$x_0(\sigma), \forall \sigma \in \Lambda, \sigma \neq 0$ назовем σ – устойчивым, если

$$\delta = \bigcap_{\sigma \in \Lambda} \text{Sig}[\Psi(\sigma)] \neq \emptyset,$$

а саму δ – ядром устойчивости. Здесь $\text{Sig}[\Psi(\sigma)]$ – сигнум-функция для подвектора $\Psi(\sigma)$, каждая координата которого равна единице, если значение соответствующей координаты подвектора $\Psi(\sigma)$ не равно нулю и равно нулю, в противном случае; операция выполняется по координатам для наборов $\text{Sig}[\Psi(\sigma)]$.

Определение σ – устойчивости имеет следующее толкование для задачи оптимизации. Оно показывает, для какого множества погрешностей $\sigma \in Z$ оптимальный типоразмерный ряд (глобальный оптимум задачи не меняется). Практически, если в задаче оптимизации область разброса погрешностей исходных данных (входных параметров) Z , полученная в результате прогноза (подготовки данных), является Θ – областью, то соответствующий типоразмерный ряд α можно считать достаточно устойчивым, иначе говоря, типоразмерный ряд α нечувствителен к изменениям исходных данных с погрешностью σ для их реализации $A(\sigma)$ из области Θ . В противном случае область разброса погрешностей исходных данных Z следует уточнить за счет проведения повторного прогноза или определения исходных данных. Такой про-

гноз требует проведения дополнительных исследований, связанных с расчетом исходных данных, постановкой и проведением экспериментов (в том числе и натурных и вычислительных). Все это в свою очередь требует дополнительных затрат на получение и уточнение исходных данных, поэтому далее рассматриваемая базовая модель задачи оптимизации с учетом затрат на получение и уточнение исходных данных, которая позволяет найти оптимальное решение при оптимальном уровне погрешностей в исходных данных поставленной задачи.

Определение δ – ядра устойчивости применительно к задаче оптимизации отвечает на вопрос: существуют ли общие типоразмеры (непустое множество σ – устойчивости) у семейства рядов, получающихся при варьировании погрешностей исходных данных в области Λ . Прикладной характер определения ядра δ – устойчивости в задаче унификации состоит в том, что типоразмеры, содержащиеся в ядре, могут быть стандартизированы, так как каждый из оптимальных типоразмерных рядов при изменении $\sigma \in \Lambda$ обязательно содержит в себе типоразмеры из ядра.

Аналогичные толкования имеют приведенные выше определения для задачи установления оптимальной последовательности работ по определению структуры и параметров схемы электрификации с учетом комплексности решения задач электроснабжения соответствующих сельскохозяйственных работ в агропромышленном комплексе. При этом важно то, что такого рода задачи могут формулироваться в виде задачи оптимизации с регуляризирующим алгоритмом. Действительно, определение σ – устойчивости позволяет в данной задаче выделить такую область Θ , для которой оптимальная последовательность (циклическая перестановка) сохраняется при изменении погрешностей в области Θ . Определение δ – ядра устойчивости указывает на существование общих подпутей в циклической перестановке, которая может быть построена за счет уточнения области разброса погрешностей. Для данных задач подпути из ядра δ – устойчивости могут быть стандартизованы.

Идея метода порядковых топологий основана на определении локального минимума в задаче в терминах порядковых топологий. На множестве допустимых решений задачи определено отношение частичного по-

рядка $\subseteq \Psi$. В качестве изоморфной модели действия отношения частичного порядка можно рассматривать булеву структуру (булевы переменные). Решение $x_0 \in \Psi$ называется локальным минимумом, если множество решений, сравнимых с решением x^0 , удовлетворяет системе неравенств:

$$f(x^0) \leq f(x), \quad x \in Y(x^0), \quad (3)$$

где $Y(x^0) = \{x | x \subseteq x^0\}$ или

$x \supseteq x^0, \{\rho(x, x^0) \leq a\}$ – окрестность решения x^0 , $\rho(x, x^0)$ – мера близости между решениями x и x^0 , a – неотрицательное действительное число. Очевидно, что всякий глобальный минимум x_0 в задаче является локальным и, следовательно, для него справедлива система неравенств (3). Выберем конкретное решение $x_i \in Y(x_0)$ и соответствующее ему неравенство

$$f(x_0) \leq f(x_i).$$

Предположим, что погрешности σ действуют на исходные данные так, что последнее неравенство принимает вид

$$f(x_0) + V(x_0, \sigma) \leq f(x_i) - V(x_i, \sigma), \quad (4)$$

где $V(x, \sigma)$ – неотрицательная функция, определенная для всех $x \in \Psi$ и всех $\sigma \in \Lambda$ и измеренная в той же шкале, что и целевая функция $f(x)$. Учет погрешностей в виде (4) является гарантированным в том смысле, что если погрешности реализуются на исходных данных иначе, чем в (4), то это приведет только к усилению, неравенства (4), т.е.:

$$f(x_0) + V(x_0, \sigma) \leq f(x_i) + V(x_i, \sigma),$$

$$f(x_0) - V(x_0, \sigma) \leq f(x_i) - V(x_i, \sigma),$$

$$f(x_0) - V(x_0, \sigma) \leq f(x_i) + V(x_i, \sigma).$$

Обозначим

$$f(x_i) - V(x_0, \sigma) - a_t, \quad t = \overline{1, T}, \quad T = |Y(x_0)|.$$

Тогда (4) можно записать в виде

$$V(x_0, \sigma) + V(x_i, \sigma) \leq a_t, \quad t = \overline{1, T}.$$

Решая эту систему неравенств относительно σ , получим некоторую область $\Theta' \supseteq \Theta$.

В тех случаях, когда T остается большим, альтернативной методу порядковых топологий может служить комбинаторный метод анализа устойчивости задачи оптимизации.

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ И ПЕРСПЕКТИВА ОПТИМАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

С точки зрения метода порядковых топологий комбинаторный метод основан на порождении в процессе решения задачи унификации системы неравенств, описывающих глобальный экстремум x_0 . В последнем смысле комбинаторный метод является более общим методом, чем метод порядковых топологий. Понятно, что комбинаторный метод следует применять всегда, когда количество неравенств, показывающих глобальность экстремума x_0 , меньше числа T , фигурирующего в методе порядковых топологий при оценке мощности окрестности локального (глобального) экстремума x_0 .

В итоге указанных приемов при решении поставленных выше задач получает альтернативные основания для принятия решений при формировании схемы электрификации в данной области условий на базе экономических критериев, к которым, в принципе, могут быть сведены все условия, которые имеют место при формировании планов электрификации: затраты, трудности с доставкой, рельеф, наличие (отсутствие) местных материалов и пр. Метод основан на проведении комплексной оценки, формировании комплексного показателя качества принимаемого решения (при этом учитывается эффект той сельскохозяйственной работы, которая проводится с использованием данного источника энергии). Коэффициенты весовостей определяются из условия минимизации дисперсии комплексного показателя качества схемы электрификации. При этом функция распределения показателей качества может быть известной или неизвестной.

Если функция распределения показателей качества (в частности дисперсия и коэффициенты корреляции) неизвестна, то значения коэффициентов весовостей могут быть определены на основе статистических данных.

Таким образом, использование теории оптимизации с регуляризирующими алгорит-

мами позволяет определить типоразмерный ряд нетрадиционных источников энергии, требуемых для комплексной электрификации конкретного региона и оптимизировать схемы размещения объектов по потребителям, разработать единую систему математических моделей, алгоритмов и программ, сформировать организационно-технические основы системы планирования, проектирования и реализации комплексной электрификации агропромышленных регионов Алтайского края. Полученные модели можно так же широко применять для других регионов, используя соответствующую базу данных.

Внедрение этих приемов позволяет позитивно рассматривать вопросы по повышению уровня электрификации отдаленных сельскохозяйственных потребителей при минимально возможных технико-экономических затратах и четко соответствовать требованиям экологической безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куликова, Л.В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Текст]: учеб. пособие / Л. В. Куликова, Ю. А. Меновщиков – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. аграрн. ун-та, 2007. – 356 с.
2. Сухарев, А.Г. Минимаксные алгоритмы в задачах численного анализа [Текст]: Серия: оптимизация и исследование операций, вып. 22 / А. Г. Сухарев – М.: Наука, 1989. – 287 с.
3. Гилл, Ф. Практическая оптимизация [Текст]: / Ф. Гилл, У. Мюррей, М. Райт. – М.: Мир, 1985. – 462 с.

Куликова Л.В., профессор кафедры «Электрификация производства и быта», д.т.н., АлтГТУ им И.И. Ползунова, тел.: 8(3852) 36-71-29, E-mail: elnis@inbox.ru;

Худоногов А.М., д.т.н., профессор кафедры «Электроподвижной состав», Иркутский государственный университет путей сообщения, тел.: 8(3952) 63-83-06, E-mail: amh@irgups.ru;

Григорьев А.В., директор, Алтайский центр энергосбережения, тел.: 8(3852) 34-23-22, E-mail: main@altcen.ru