

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. Г. М. КРЖИЖАНОВСКОГО

*На правах рукописи*

Н. А. КАРАУЛОВ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
МЕСТНОЙ СИСТЕМЫ  
С ПРЕОБЛАДАЮЩЕЙ РОЛЬЮ  
ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

*(Теория энергетической системы  
с вынужденным режимом источников  
энергии)*

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Москва — 1954 г.

72459

ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ  
 БИБЛИОТЕКА  
 А. Н. Мургисской ССР

Советский народ, руководимый Коммунистической партией Советского Союза, успешно построил социализм в нашей стране. Впервые создано социалистическое государство, основным экономическим законом которого является обеспечение максимального удовлетворения постоянно растущих материальных и культурных потребностей всего общества путем непрерывного роста и совершенствования социалистического производства на базе высшей техники.

В процессе созидания материально-технической базы первой в мире страны социализма советские люди досрочно выполнили исторический план ГОЭЛРО и затем, в последующие годы, претворили в жизнь планы четырех пятилеток.

Необходимым условием коммунистического общества является электрификация всей страны, всех отраслей народного хозяйства, в том числе и сельского хозяйства.

Широкая электрификация самого передового в мире социалистического сельского хозяйства, питание электрической энергией все большего числа колхозов, МТС и совхозов при переводе на базу электроэнергии трудоемких производственных процессов, — резко повышает производительность труда и облегчает труд колхозников. Электроэнергия содействует дальнейшему расцвету культуры и быта советской деревни, способствует сглаживанию существенных различий между городом и деревней.

Электрификация сельскохозяйственного производства становится в настоящее время объективной необходимостью на пути общего подъема социалистического сельского хозяйства, создания в стране достатка, а затем обилия всех видов продуктов питания для народа и всех видов сырья для легкой промышленности.

Существуют два возможных вида источников электроснабжения сельских районов: — небольшие и средние электростанции, создаваемые на базе местных ресурсов энергии, и крупные государственные энергетические системы и энергоузлы.

Всемерное развитие электрификации на основе местных энергоресурсов — особенно на базе основного возобновляемого их вида, на гидроэнергии, — является одной из главных особенностей технической политики социалистического государства в области электроэнергетики.

На обширных сельскохозяйственных территориях страны, особенно в районах, находящихся вне пределов влияния государственных энергосистем, широко сооружаются сельские электростанции, с привлечением к строительству станций и сетей строительных и промышленных министерств и ведомств.

Наряду с созданием местных гидравлических и тепловых электростанций предстоит значительное расширение применения ветродвигателей и ветроэлектрических станций для механизации трудоемких процессов в сельском хозяйстве.

Путь централизованного снабжения электроэнергией сельских потребителей позволяет в целом обеспечить существенно повышенные темпы электрификации сельскохозяйственного производства, что в настоящее время имеет первостепенное значение. Только путем применения централизованного электроснабжения представляется возможным широко электрифицировать сельское хозяйство в районах страны, характеризующихся дефицитом местных энергоресурсов.

В речи на пятой сессии Верховного Совета СССР 8 августа 1953 года председатель Совета Министров СССР Г. М. Маленков отметил, что в числе новых дополнительных мер по значительному улучшению дела механизации и электрификации сельского хозяйства предусматривается «...расширение работ по электрификации сельского хозяйства, как за счет строительства новых сельских электростанций, так и путем присоединения МТС, колхозов и совхозов к государственным энергосистемам».

В числе источников централизованного питания энергией сельскохозяйственных потребителей в дальнейшем были указаны также промышленные и коммунальные электростанции.

Проведенные теоретические исследования и опыт проектирования показывают, что наиболее эффективное решение лежит на пути правильного сочетания названных двух направлений сельской электрификации: — на основе местных энергоресурсов и государственных энергосистем. Только такое решение позволяет в короткий срок осуществить электрификацию всех сельских районов страны при достаточно благоприятных технических и экономических показателях.

По мере внедрения электроэнергии в производственную жизнь колхозов и совхозов, особенно с развитием электрификации животноводства (в недалеком будущем также и мобильных процессов полеводства) растет потребление электроэнергии и повышаются требования к качеству и, в том числе, в отношении надежности электроснабжения.

Возрастание единичной мощности сельскохозяйственных электродвигателей (двигатели электротрактора мощностью в 40—50 квт и другие) требует существенного укрупнения источников сельского электроснабжения.

Выполненные исследования показали, что растущие требования всего разнообразного круга сельских потребителей в условиях электро-

снабжения их от источников энергии местного значения, могут быть удовлетворены только на основе организации сельских или местных электроэнергетических систем (МЭЭС) соответствующего вида и структуры, с преобладающим участием сельских электростанций укрупненной мощности, от 100—200 квт до 5—10 тыс. квт. Местная электроэнергетическая (энергетическая) система понимается здесь как объединение высоковольтной электрической сетью нескольких электростанций небольшой и средней мощности различных энергетических типов в закономерном наиболее выгодном их сочетании, работающих параллельно на общий график электрической нагрузки сельского района и располагающих общим резервом.

Преимущества местных энергосистем убедительно подтверждены практическим опытом эксплуатации первых созданных и успешно действующих энергосистем этого вида и назначения, а также ответственно обоснованы рядом выполненных научно-исследовательских работ.

В нашей стране, на основе проведенных плановых и проектных проработок, намечена организация в недалеком будущем многих сотен сельских энергосистем, суммарная мощность которых измеряется миллионами киловатт.

Учение о местных энергетических системах создано в Энергетическом институте АН СССР и базируется на основных положениях социалистической электроэнергетики, выдвинутых академиком Г. М. Кржижановским в его трудах. Отдельные вопросы сельских энергосистем, отправляясь от разработанной общей теории последних, в дальнейшем были развиты в ВИЭСХ'е МСХ СССР, в ряде филиалов АН СССР и в некоторых научно-исследовательских институтах Академий наук Союзных Республик.

Начиная с 1944 г. в ЭНИИ'е, в Отделе общей энергетики, под научным руководством чл. корр. АН СССР В. И. Вейца, был выполнен цикл исследований, составивших в итоге теоретические основы местных энергетических систем. Одним из важных разделов этих работ явилось создание теории сложного вида энергетических систем с преобладающим участием гидроэлектростанций.

В 1944 г. автором, на основе проведенного исследования, были сформулированы некоторые теоретические положения и практические выводы, касающиеся объединения сельских ГЭС в местные энергетические системы.

В 1947 г. была завершена теоретическая работа доктора технических наук А. Г. Захарина, содержащая: классификацию сельскохозяйственных районов по условиям их обеспеченности местными энергоресурсами и по их структуре, рассмотрение вопросов сельских энергосистем и вопросов распределения электроэнергии в районах с низкой плотностью нагрузки; в этой работе вопросы теории МЭЭС получили значительное развитие.

В 1948 г. и 1949 г. нами были подробно разработаны теоретические основы проектирования МЭЭС, характеризующихся вынужденным

режимом источников энергии, где изложена теория местных систем с преобладанием ГЭС, а также рассмотрены теоретические вопросы энергосистем с дублированием мощности.

Помимо названных работ следует отметить ряд других специальных исследований по вопросам энергетики сельских систем, выполненных в ЭНИН'е АН СССР В. И. Вейдем, А. Г. Захариним, Н. А. Карауловым, П. Я. Пирхавка и, кроме того, Ф. Т. Марковским, Ю. В. Скобельцыным, Ю. Я. Мазурсом и другими авторами.

Исследования в области местных энергосистем с преобладающим участием ГЭС представлены рядом опубликованных научных статей и несколькими выпусками методических руководящих пособий, которыми пользуются в своей практической деятельности проектные институты. На основе теории сельских энергетических систем разработана методика, которая была положена в основу составления Генеральных схем электрификации сельского хозяйства республик и областей Советского Союза.

В работе приведен список использованной литературы, среди которой в связи с рассматриваемыми вопросами следует отметить труды В. Г. Айвазяна, В. В. Болотова, И. А. Будзко, Г. Г. Горбунова, Ф. Ф. Губина, И. В. Егиазарова, Т. Л. Золотарева, С. Н. Крицкого, В. А. Куценова, П. П. Лаупмана, П. Н. Листова, Н. В. Мостицкого, М. Ф. Менкеля, А. А. Морозова, М. А. Мосткова, М. П. Фельдмана, С. В. Щурова и Б. Л. Эрлихмана.

#### ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЕГО НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ.

Цель настоящего исследования состоит в разработке вопросов общей теории электроэнергетических систем, характеризующихся вынужденным режимом источников энергии.

Непосредственно предметом рассмотрения, в рамках названной общей задачи, являются теоретические основы, а также методика энергетического анализа и проектирования важного и перспективного вида таких систем — сельской или местной энергетической системы, отличающейся преобладанием в ней по мощности незарегулированных или отчасти зарегулированных ГЭС.

Местная энергетическая система, — объединяющая сельские электростанции различных типов и мощностей, — становится той основной формой использования местных энергетических ресурсов, которая в необходимой степени полно отвечает современным повышенным требованиям надежности и экономичности электроснабжения МТС, колхозов и совхозов.

Важность создания местных систем отмечена в правительственном постановлении о сельской электрификации, указывающем на необходимость развивать строительство гидроэлектростанций укрупненных мощностей (межколхозных) как более экономичных и надежных в работе, предусматривая возможность создания местных

энергосистем, объединяющих сельские гидроэлектростанции и тепловые электростанции.

В работе показано, что сельские энергосистемы по ряду принципиальных энергетических признаков, по своим задачам и техническому оснащению в значительной степени отличаются от крупных государственных энергетических систем.

Весьма существенно различаются для них параметры графиков электрической нагрузки, режимные характеристики, типы и параметры механического и электрического оборудования, принципиальные схемы электрических соединений. Сельскохозяйственные графики электрической нагрузки характеризуются особой, значительной изменчивостью, причем количественные различия с государственными энергосистемами переходят в отличия качественные, принципиальные.

Особые свойства местных систем определяются иной их масштабностью по мощности и по признаку территориального охвата потребителей, наивысшим применяемым напряжением, а также принципиально иным относительным размещением потребителей электроэнергии и электрогенерирующих средств в условиях, когда питаемые линии одновременно используются как распределительные.

Важная отличительная особенность местных систем состоит также в преимущественном ориентировании их на местные виды энергетических ресурсов, отчего возникает особое требование о соблюдении условия замкнутого энергобаланса.

Существенно, что для сельских энергосистем характерно значительно большее количество переменных параметров и возможных энергетических вариантов принципиального характера, нежели для мощных энергетических систем.

Из всего этого следует, что теоретические основы местных энергосистем, представленные своими особыми научными проблемами, должны рассматриваться во многих отношениях с принципиально иных позиций, нежели это делается применительно к мощным районным энергосистемам и их объединениям.

Основная энергетическая особенность местной системы с преобладанием гидроэлектростанций /МГЭС/ состоит в том, что вследствие неравномерного режима стока рек, а, следовательно, переменного, вынужденного режима работы ГЭС, выработка электроэнергии в МГЭС изменяется во времени, в общем случае не совпадает с режимом электропотребления, часто лишь в недостаточной степени поддается регулированию, что приводит в итоге к неполноте удовлетворения графиков электрической нагрузки.

В соответствии с этим, настоящее исследование представляет собою опыт разработки и научного обоснования такого рода методики энергетического проектирования, которая позволила бы, отправляясь от некоторого вынужденного режима сельских гидроэлектростанций, путем применения объективного графо-аналитического анализа, определять наивыгоднейшую структуру генерирующих мощностей системы, ее размеры, параметры отдельных электростанций и

другие главные и определяющие параметры и показатели системы. Одновременно метод должен представлять возможность с количественной стороны оценивать в процессе проектирования масштаб, форму и структуру сельскохозяйственных графиков электрической нагрузки, резко и относительно закономерно меняющихся по сезонам года, и вместе с тем, допускающих известное регулирование в соответствии с требованием электроснабжения; следовательно метод должен всесторонне отвечать условиям особого режима сельскохозяйственного электропотребления.

В процессе исследования рассмотрены функциональные зависимости, связывающие между собою главные энергетические параметры и показатели местной энергетической системы с преобладающей ролью гидроэлектростанций (МГЭС) и выявлен характер влияния вида этих зависимостей на выбор основных расчетных параметров системы.

В числе основных энергетических показателей системы следует назвать:  $f$  — показатель установленной мощности гидроэлектростанции, иначе мощность ГЭС, выраженная в долях средней мощности потока —  $\bar{K}$ ;  $X_r^N$  — гидроэлектрический коэффициент системы;  $p_w$  — расчетный показатель степени удовлетворения спроса потребителей по энергии;  $h$  — показатель использования энергии потока для года в целом.

Энергетическое проектирование МГЭС на базе рассматриваемой методики одновременно представляет собою необходимую основу для приложения в этой области исследования экономического анализа\*. Вместе с тем по ходу изложения вопроса, там, где это требовалось, учитывалось влияние экономического фактора на выбор параметров энергетической системы.

Особенности научного метода, примененного в исследовании, определяются рядом принятых отправных положений и посылок. Весьма существенно, что метод позволяет для сравниваемых вариантов сельского электроснабжения рассматривать степень удовлетворения спроса потребителей одновременно по времени, по энергии и по мощности ( $p_t$ ,  $p_w$  и  $p_N$ ), иными словами оценивать обеспечение потребителей более полно и значительно разностороннее, чем это представляется возможным при других методах энергетического проектирования систем.

В работе обосновано, что расчетный коэффициент (критерий) обеспечения сельских потребителей по энергии  $p_w$  — следует рассматривать в качестве одного из основных показателей гидроэнергетической системы. Показатель  $p_w$  отражает обычно имеющиеся объективные возможности регулирования расчетных графиков электрической нагрузки сельской системы, с учетом при этом степени изменчивости стока реки и структуры генерирующих мощностей системы —  $X_r^N$ .

\* Н. А. Караулов. Энерго-экономические основы местной гидроэлектрической системы. Труды Московского инженерно-экономического института им. С. Орджоникидзе, Энергетика, вып. I, 1953 г.

В условиях МГЭС, проектируемых на основе рассматриваемой здесь теории, открываются реальные возможности для того, чтобы достигнуть весьма высоких значений расчетного коэффициента обеспечения сельских потребителей —  $p_w \geq 0,85 \dots 0,95$ . При этом, путем умеренного регулирования сельскохозяйственного электропотребления в приемлемых для этого вида производства границах, в действительности возможно обеспечить практически полное удовлетворение потребителей местной системы по мощности и по энергии ( $p_w \cong 1$ ).

Рассматриваемый метод энергетического анализа МГЭС позволяет показать, что для одиночных гидроэлектростанций, обычно работающих на незарегулированном стоке реки, показатель обеспечения потребителей по энергии недопустимо низок, практически весьма редко может превышать значения  $p_w = 0,6 \dots 0,7$ ; вследствие этого неизбежны значительные периодические недоотпуски энергии потребителям, отрицательно сказывающиеся на сельскохозяйственном производстве\*.

В исследовании показано, что в условиях сельских энергосистем, при наличии потребителей регуляторов, по экономическим соображениям нет оснований ставить задачу дальнейшего повышения расчетного значения показателя  $p_w$  с доведением его до единицы.

Выполнение этого последнего условия сделало бы возможным исключение небольшого и обычно приемлемого для сельскохозяйственного производства регулирования электропотребления, то-есть позволило бы достигнуть лишь сравнительно менее значительного дальнейшего улучшения электроснабжения потребителей. Вместе с тем соблюдение названного требования неизбежно приводило бы к резкому, — на десятки процентов, — снижению использования мощности и энергии водотока, следовательно — к соответствующему сужению круга сельских потребителей, электрифицируемых за счет местных видов энергоресурсов. Одновременно существенно снизилась бы экономичность электроснабжения; в отдельных случаях поэтому оказалось бы необходимым вообще отказаться от использования энергии небольших рек.

Соблюдение баланса мощностей применительно к МГЭС также обязательно, но по ряду причин имеет иное содержание, чем в отношении крупных энергосистем.

Разработанный метод дает возможность с количественной стороны точно оценивать влияние переменного характера электропотребления в течение суток и изменения графиков электрической нагрузки системы от сезона к сезону на протяжении года. Эта задача осуществлена путем приложения графо-аналитического метода исследования с применением интегральных кривых энергии вида  $W = \int_{N_1}^{N_2} tdN$ .

\* Повышение  $p_w$  в этом случае возможно лишь ценой снижения коэффициента  $h$ , при резком ухудшении экономических показателей ГЭС.

В частности в исследовании применен метод совместного рассмотрения сопряженных: интегральной кривой энергии для суточного графика электрической нагрузки системы (принимаемого постоянным на протяжении каждого из сезонов года), с одной стороны, и кривых обеспеченности и интегральной для энергии потока за тот же рассматриваемый сезон, с другой стороны.

Такого рода построение дает возможность производить рассмотрение не только баланса энергии системы, но и баланса мощности, позволяет оценивать гарантированную мощность системы для каждого из сравниваемых вариантов ее структуры.

В исследовании предложены базирующиеся на указанных положениях, научно-методические основы исследования и проектирования энергобаланса для ряда главных принципиальных вариантов сложных гидроэнергетических систем.

При увеличении или при уменьшении электрической нагрузки местной системы путем присоединения или отключения сравнительно небольшой части сельских потребителей энергии, в условиях проектирования принималось, что максимум нагрузки системы ( $K_c$ ) соответственно (пропорционально) изменяется, причем относительные параметры (конфигурация) графиков нагрузки сохраняются постоянными.

Местные гидроэнергетические системы исследованы в условиях как отсутствия дублирования мощности — в общих случаях рассмотрения ( $K_c = \Sigma K_{гг} + \Sigma K_{гт}$ ), так и при дублировании генерирующих мощностей в системе ( $K_c < \Sigma K_{гг} + \Sigma K_{гт}$ ). Показано, что рационально построенная сельская энергосистема без дублирования мощности представляет собою значительно более эффективное решение, сравнительно со схемой — гидроэлектростанция с тепловым резервом.

Все рассматриваемые в работе параметры МГЭС выражены в относительных единицах, в долях средних годовых или средних многолетних ( $\bar{K}$ ) и средних сезонных ( $\bar{K}_{сез}$ ) значений мощности используемого перепада, что позволяет упростить процесс исследования, повысить его наглядность. Значения  $\bar{K}_{сез}$  и  $\bar{K}$  определяются с учетом переменного напора ГЭС, а также в процессе более точных расчетов, с оценкой изменения к. п. д. гидротурбин.

Подставив вместо символа  $\bar{K}$  конкретное значение средней многолетней (или средней годичной) мощности перепада, легко получить все параметры энергии водотока и потребителей энергосистемы, однозначно выраженные численными величинами.

#### ОСНОВНЫЕ ВИДЫ МЕСТНЫХ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕГУЛИРУЮЩЕЙ ЭНЕРГИИ.

В исследовании показано, что для объединенной в систему группы небольших незарегулированных сельских ГЭС обычно возможно значительно повысить показатель обеспечения энергией потребителей ( $p_w$ ) и коэффициент использования располагаемой энергии

потока ( $h$ ) путем подачи в образованную таким образом гидроэнергетическую систему некоторого количества регулирующей энергии в виде:

— ввода в местную чисто гидроэнергетическую систему одной или нескольких небольших тепловых электростанций /ТЭС/,

— сезонного регулирования каскадов небольших и средних ГЭС и

— присоединения местной гидроэнергетической системы к подстанции крупной государственной энергосистемы несоизмеримой с ней мощности.

Наиболее эффективный вариант подачи в МГЭС регулирующей энергии в каждом случае определяется сочетанием локальных энергетических и экономических факторов, меняющихся при переходе от энергетического района одного типа к району другого типа\*.

В ряде случаев наивысший энерго-экономический эффект создается при подаче в МГЭС одновременно нескольких видов регулирующей энергии.

Исследованы теоретические основы и метод энергетического проектирования для вариантов ввода в МГЭС тепловой электростанции. Этот случай характеризуется относительно меньшими первоначальными вложениями, однако, как правило, несколько более высокой себестоимостью регулирующей энергии, сравнительно с вариантом водного регулирования сельских гидроэлектростанций.

Из энергетического анализа, выполненного графо-аналитическим методом применительно к рассматриваемому случаю, следует, что показатели полезного использования потенциальной энергии перепада для расчетных сезонов —  $h_{сез}$  и для года в целом —  $h$  соответственно могут быть представлены уравнениями:

$$h_{сез.} = \frac{\int_0^{K_{тр. г. сез.}} tdK_p}{T_{сез.} \cdot \bar{K}_{сез.}}$$

и

$$h = \frac{\sum_1^n h_{сез.} \bar{K}_{сез.} T_{сез.}}{\bar{K} T}$$

Соответственно выражение для сезона показателя обеспечения потребителей  $p_w-сез.$  имеет вид:

$$p_w-сез. = Y_{сез.-1}^T + \frac{\int_0^{K'_{тр. г. сез.}} tdK_p}{T_{сез.} K_{с. сез. ср.}}$$

\* Н. А. Караулов. Местная электроэнергетическая система с преобладанием гидроэлектростанций. Известия АН СССР, ОТН № 12, 1949 г.

Отсюда обеспечение потребителей для года в целом  $P_w$  характеризуется показателем:

$$P_w = \frac{\sum_1^n P_{w-сез.} a_{сез.} T_{сез.}}{aT}$$

Определив  $K_{тр. г. сез.}$  и пользуясь сезонными интегральными кривыми энергии перепада (потока) нетрудно найти соответствующие значения  $h_{сез.}$ .

Здесь:

$\bar{K}_{сез.} = C_{сез.} \bar{K}$  — средняя мощность перепада за некоторый сезон года;

$K_p$  — некоторое значение переменной мощности используемого потока;

$t$  — время;

$K_{тр. г. сез.}$  — часть площади суточного графика электрической нагрузки для некоторого сезона года, отвечающая слою высотой  $K_{г.у.}$ , отмеренному от базиса графика; эта площадь измеряется ее среднесуточной ординатой;

$K'_{тр. г. сез.}$  — то же, что  $K_{тр. г. сез.}$ , но при работе ГЭС в пике графика электрической нагрузки;

$n$  — количество расчетных энергетических сезонов, выделенных в году;

$T_{сез.}$  — длительность некоторого сезона года в месяцах;

$T = \sum_1^n T_{сез.} = 12$  — длительность года в месяцах;

$K_{с. сез. ср.}$  — площадь суточного графика нагрузки для некоторого сезона года, выраженная ее среднесуточной ординатой;

$Y_{сез.-1}^T = \frac{K_{тр. г. сез.}}{K_{с. сез. ср.}}$  — то же, что  $K_{тр. г. сез.}$ , но для ТЭС и в долях средней суточной нагрузки системы;

$a_{сез.} = \frac{K_{с. сез. ср.}}{K_c}$  — коэффициент полноты суточного графика электрической нагрузки местной системы для некоторого сезона года, относительно ее годового максимума —  $K_c$ ;

$a = \frac{\sum_1^n a_{сез.} T_{сез.}}{T}$  — коэффициент полноты годового графика электрической нагрузки энергетической системы.

В исследовании разработан последовательный метод, позволяющий на основе приведенных выше выражений построить сезонные и годовую графические зависимости вида  $(P_w h - X_r^N)$  и  $(P_w h - f)$ , которые совместно представляют основную энергетическую характеристику

местной гидроэнергетической системы с участием ТЭС. Общий вид графической «универсальной» характеристики, связывающей параметры использования малой реки, показан А. Г. Захариным.

Энергетическая характеристика местной системы, построенной с необходимой точностью разработанным в исследовании методом\*, позволяет для любого заданного показателя обеспечения потребителей  $P_w$  непосредственно получить серию сопряженных значений установленной мощности ГЭС —  $f$  и показателей структуры гидроэлектрической системы —  $X_r^N$ , а также соответствующие коэффициенты использования потенциальной энергии перепада —  $h$ .

Пределы изменения параметра  $f$  ограничены энергетическими и экономическими условиями; в первом приближении для рек средней полосы допустимо принимать;

$$0,6 < f < 1,4$$

Из полученной характеристики МГЭС следует, например, что в условиях  $P_w = \text{const}$  при снижении  $X_r^N$  может быть допущено резкое увеличение параметра  $f$  и показателя  $h$ , т. е. происходит существенное повышение полезного использования местных потенциальных ресурсов гидроэнергии по показателям энергии и мощности, что в условиях общей дефицитности последних в равнинных сельскохозяйственных районах страны, весьма важно.

На основе полученных в исследовании зависимостей возможно определить гидроэлектрический коэффициент местной системы по энергии:

$$X_r^w = \frac{h_r X_r^N}{a P_w}$$

и показатели использования установленной мощности ГЭС —  $h_r = \frac{h}{f}$  и соответственно ТЭС:

$$h_r = \frac{a P_w - X_r^N h_r}{1 - X_r^N},$$

которые необходимы для всесторонней энергетической характеристики местной системы.

В работе исследован характер изменения показателя  $P_w$  — сез на протяжении года, что имеет большое значение вследствие того, что степень обеспеченности потребителей в различные сезоны года представляется неодинаково важной с точки зрения сельскохозяйственного производства.

\* Энергетическую характеристику обычно достаточно построить для одной небольшой или средней реки, в надлежащей мере репрезентативной в отношении всей группы речных бассейнов, находящихся в рассматриваемом сельскохозяйственном районе.

Показано, что в зоне обычных экономически оправданных значений установленной мощности ГЭС  $f = 0,6 \dots 1,4$  обеспеченность для наиболее ответственных осеннего и зимнего сельскохозяйственных сезонов практически мало отличается от годового расчетного значения обеспеченности —  $P_w$ .

Определено, что для того же диапазона  $f$  при  $P_w = \text{const}$  со снижением  $X_r^N$  уменьшается доля недоотпуска энергии летом и особенно весной, за счет некоторого увеличения недоотпуска за зиму и осень. Повышенная обеспеченность на протяжении летнего сезона указывает на благоприятные условия для расширения применения в некоторых случаях электромашиного орошения.

В исследовании разработаны научно-методические основы проектирования структуры и выбора параметров МГЭС, отталкиваясь одновременно от двух сопряженных энергетических характеристик сельской системы, построенных для гидрологических годов отдельно средней и низкой водности, а также предложены соответствующие производные расчетные графики.

В частности дан метод определения и графического представления зависимости, существующей между степенью обеспечения потребителей МГЭС в году медианном ( $P_t = 0,5$ ) и соответствующим обеспечением в году маловодном в условиях переменной структуры генерирующих мощностей системы —  $X_r^N = \text{var}$ .

На основе разработанных теоретических положений могут быть найдены показатели использования энергии реки —  $h$  для годов различной водности также в условиях переменных значений  $P_w$  и  $X_r^N$ . Показана та область параметров МГЭС (при малых  $f$  относительно высокие значения  $P_w = 0,5$  и низкие значения  $P_w$  для маловодного года), — в пределах которой требуется прибегать к дублированию генерирующей мощности в системе.

Исследование показало, что степень уменьшения показателя  $P_w$  в маловодном году по отношению к значению  $P_w$  в году средней водности, резко снижается с уменьшением коэффициента  $X_r^N$ . Отсюда следует, что величина задаваемого по среднему году показателя  $P_w$  в большой мере определяется структурой генерирующих мощностей системы.

Тепловую электростанцию, подающую регулируемую электроэнергию в МГЭС, в определенных условиях целесообразно территориально располагать вблизи сельских потребителей тепла (крупные животноводческие фермы, парники и теплицы, предприятия пищевой промышленности и т. д.), что дает возможность сельскую ТЭС дополнительно использовать в целях централизованного теплоснабжения и выполнять в виде ТЭЦ.

Энергетические характеристики местных систем построены применительно к ряду характерных гидрологических районов страны, что позволило осветить роль районного фактора; рассмотрено влияние величины и степени постоянства напора ГЭС на энергетические параметры и на показатели энергосистемы, в условиях группы гидростанций образующих каскад и объединенных в систему.

В исследовании рассмотрен вариант подачи каскаду ГЭС, объединенных в систему, регулирующего стока, что также позволяет значительно, на десятки процентов, расширить использование местных водных сил и тем увеличить число сельскохозяйственных потребителей, электрифицируемых за счет этого вида возобновляемых энергетических ресурсов. Представляется возможным дополнительно генерировать электроэнергию на водохранилищных гидроузлах, располагающих повышенными напорами в 10 . . . . . 15 м, что имеет особенное значение в период паводка, когда резко снижается мощность низконапорных гидроэлектростанций каскада. Структура капитальных затрат в сооружение регулирующих водохранилищ относительно благоприятна: большую долю составляют простые строительные работы, которые могут быть выполнены за счет широкого использования местных сил и средств, с применением простой механизации. Небольшие водохранилища энергетического назначения обычно получают комплексное использование, вследствие чего на прочие, помимо энергетики отрасли водного хозяйства справедливо относить значительную долю затрат; это обстоятельство резко повышает эффективность метода водного регулирования.

В работе рассмотрена методика энергетического проектирования для двух принципиально различных случаев регулирования стока в условиях сельской чисто гидроэнергетической системы.

В одном случае параметр  $f = \frac{K_c}{K}$  в процессе регулирования сохраняется постоянным. В отличие от этого существующий низкий показатель  $P_w$  увеличивается до заданного более высокого его значения, требующегося по условиям электроснабжения. Метод регулирования без повышения установленной мощности ГЭС рекомендуется применять к тем сельским гидроэнергетическим системам, у которых до регулирования параметр  $f$  уже был достаточно высоким, а показатель  $P_w$  — неприемлемо низким и его требовалось повысить. Необходимая регулирующая гидроэнергия в системе  $h_p$  при заданных  $f$  и  $P_w$  определяются из выражения

$$h_p = f a P_w - h_0$$

В другом случае регулирования стока первоначальная относительно невысокая установленная мощность гидроэлектростанций в системе  $f$  в связи с введением регулирования расширяется путем установки на всех ГЭС дополнительных агрегатов; иными словами, параметр  $f = \frac{K_c}{K}$  при регулировании увеличивается. При этом, однако, достаточно высокий показатель  $P_w$  сохраняется неизменным, тем же, что и до регулирования ГЭС.

Разработаны научно-методические основы сопоставления по энергетическим показателям варианта регулирования посредством водохранилищ стока для группы сельских ГЭС, работающих в системе (II) и энергетически эквивалентного варианта с вводом в ту



же местную гидроэнергетическую систему регулирующей ТЭС (III). Это создает необходимую основу для экономического сопоставления названных вариантов, в условиях конкретного проектирования местных систем.

Показано, что для варианта III по сравнению с вариантом II значения сезонных показателей выработки гидроэнергии на бытовом стоке могут быть увеличены на величину

$$h_{б. сез. - 3} - h_{б. сез. - 2} = \frac{\int_0^{K_{с. сез. ср. - 3}} tdK_p}{T_{сез.} \bar{K}_{сез.}} - \frac{\int_0^{K_{тр. г. сез. - 2}} tdK_p}{T_{сез.} \bar{K}_{сез.}} =$$

$$= \frac{\int_{K_{тр. г. сез. - 2}}^{K_{с. сез. ср. - 3}} tdK_p}{\bar{K}_{сез.} \cdot T_{сез.}} = \frac{K_{с. сез. ср. - 3} P_{w-сез. - 3} - \bar{K}_{исп. г. сез. - 2}}{\bar{K}_{сез.}} - h_{р. сез. - 2};$$

то же применительно к полной выработке ГЭС:

$$h_{сез. - 3} - h_{сез. - 2} = \frac{K_{с. сез. ср. - 3} P_{w-сез. - 3} - \bar{K}_{исп. г. сез. - 2}}{\bar{K}_{сез.}}$$

Здесь:

$\bar{K}_{исп. г. сез.} = h_{сез.} \bar{K}_{сез.}$  — для некоторого сезона года действительно используемая, при работе ГЭС в базис графика нагрузки, энергия перепада.

Предложенный метод анализа энергетического баланса создает необходимые предпосылки для экономического сопоставления названных двух вариантов подачи регулирующей энергии в МГЭС.

Предусматривая необходимость дальнейшего повышения темпов развития сельской электрификации, сентябрьский Пленум ЦК КПСС в 1953 году поставил задачу — в качестве одного из основных направлений расширения работ по электрификации сельского хозяйства осуществлять присоединение МТС, колхозов и совхозов к промышленным энергосистемам.

Выполненное исследование показало, что одной из эффективных форм осуществления указанного направления сельской электрификации, на основе использования государственных энергосистем, является присоединение к последним местных энергетических систем, характеризующихся преобладанием в них гидроэлектростанций (МГЭС).

Исследование исходит из того отправного положения, что присоединение местной гидроэнергетической системы к подстанции мощной государственной энергосистемы, наряду с коренным увеличением степени надежности электроснабжения позволяет весьма существенно повысить использование потенциальной энергии небольших и средних рек  $h$  и одновременно увеличить установленную

мощность  $f$  сельских гидроэлектростанций, что резко повышает экономическую эффективность последних.

Присоединение МГЭС к сетям крупных энергосистем целесообразно в таких сельских районах страны, которые характеризуются недостаточностью или значительной неравномерностью территориального распределения собственных местных энергетических ресурсов, а также в тех районах, лишенных местного значения топливных энергоресурсов, где сельские ГЭС не располагают сезонным и, в особенности, суточным регулированием.

В первую очередь следует присоединять группы сельских ГЭС уже существующие в районе влияния сетей государственных энергосистем, а также каскады сельских гидростанций, сооружаемые в периферийной зоне развития электрических линий и подстанций районных энергетических систем.

В исследовании рассмотрены научно-методические основы выбора энергетических параметров сельских электростанций и соединительных линий, а также изучена структура энергетического баланса для основных вариантов присоединения МГЭС к сетям крупных государственных энергосистем.

В том числе в работе даны условия выбора параметров сельских ГЭС и линий электропередачи применительно к частному случаю соблюдения для присоединенной местной системы уравновешенного баланса в отношении получаемой и отдаваемой электроэнергии.

Для первой из двух рассмотренных в исследовании схем принято, что пропускная способность соединительной линии практически не ограничена  $K_{л} \gg K_{с} = f \bar{K}$ . В этом случае выработка гидроэнергии в МГЭС определяется лишь установленной мощностью ГЭС —  $f$  и режимом используемого потока; гидроэлектростанции вырабатывают всю возможную по водотoku энергию в пределах из установленной мощности; обеспеченность потребителей полная  $p_w = 1$ . Балансовая разность отдачи энергии местной системой и мощной районной энергосистемой за сезон определяется выражением

$$\bar{K}_{бал.} = \left( h_{в. сез.} - f \frac{a_{сез.}}{C_{сез.}} \right) \bar{K}_{сез.}$$

В этих условиях сезонное значение показателя использования установленной мощности равно

$$h_r = \frac{\int_0^{K_{гy}} tdK_p}{K_{гy}} = \frac{h_{в. сез.} C_{сез.}}{f}$$

где —  $h_{в. сез.}$  — показатель выработки ГЭС по водотoku.

По второй схеме ограниченная пропускная способность соединительной линии определяется условием  $K_{л} = K_{с} - K_{г\gamma}$ .

Соответственно ограничены, как получение регулирующей энергии от крупной системы, так и отдача ей избыточной гидроэнергии из МГЭС.

Мощность, развиваемая гидростанциями в каждый момент времени, в этом случае не может превышать суммы: потребление местной системы плюс пропускная способность соединительной линии.

Обеспеченность потребителей во втором случае присоединения меньше единицы  $p_w < 1$ , причем  $p_w$  зависит от отношения

$$\frac{f \bar{K}}{K_c}$$

В результате выполненного анализа применительно ко второй схеме получено, что дефицит энергии в МГЭС составляет —

$$\bar{K}_{\text{деф.}} = \left( Y_{\text{сез.}-2}^{\text{г}} \cdot \frac{f a_{\text{сез.}}}{C_{\text{сез.}} X_{\text{г}}^{\text{N}}} - h'' \right) \bar{K}_{\text{сез.}},$$

в условиях заимствования электроэнергии от крупной энергосистемы для МГЭС в размере

$$\bar{K}_{\text{из сети}} = \left( Y_{\text{сез.}-1}^{\text{л}} \frac{f a_{\text{сез.}}}{C_{\text{сез.}} X_{\text{г}}^{\text{N}}} - h' + h'' \right) \bar{K}_{\text{сез.}}$$

Балансная разность по энергии для присоединения составляет

$$\bar{K}_{\text{бал.}} = \left( h_{\text{сез.}} - h'' - Y_{\text{сез.}-1}^{\text{л}} \frac{f a_{\text{сез.}}}{C_{\text{сез.}} X_{\text{г}}^{\text{N}}} \right) \bar{K}_{\text{сез.}}$$

Отсюда показатель обеспеченности графиков нагрузки МГЭС по энергии за сезон равен

$$p_{w-\text{сез.}} = Y_{\text{сез.}-1}^{\text{л}} + \frac{C_{\text{сез.}} X_{\text{г}}^{\text{N}}}{f a_{\text{сез.}}} h''$$

и за год в целом:

$$p_w = \frac{\sum_1^n p_{w-\text{сез.}} K_{с. \text{ сез. ср.}} T_{\text{сез.}}}{K_{с} a T}$$

здесь:

$K_{л}$  — пропускная способность электрической соединительной линии;

$\bar{K}_{\text{из сети}}$  — поступление электроэнергии из сети государственной энергосистемы в МГЭС;

$\bar{K}_{\text{бал.}} = \bar{K}_{\text{в сеть}} - \bar{K}_{\text{из сети}}$  — обменный баланс энергии;

$\bar{K}_{\text{деф.}}$  — расчетный недоотпуск энергии потребителям — среднее значение мощности;

$Y_{\text{сез.}-2}^{\text{г}} = \frac{K'_{\text{тр. г. сез.}}}{K_{с. \text{ сез. ср.}}$  — выражение  $K'_{\text{тр. г. сез.}}$  в долях средней

суточной нагрузки системы (см. выше),

$Y_{\text{сез.}-1}^{\text{л}} = \frac{K_{\text{тр. л. сез.}}}{K_{с. \text{ сез. ср.}}$  — относительное выражение для энергии,

передаваемой по соединительной линии в условиях покрытия базисной нагрузки МГЭС с ординатой —  $K_{л}$ , среднее значение передаваемой мощности;

$h' \bar{K}_{\text{сез.}}$  — электроэнергия, отдаваемая сельскими гидростанциями в МГЭС за сезон, — среднее значение мощности, — для варианта  $K_{л} \geq K_{с}$ ;

$h'' \bar{K}_{\text{сез.}}$  — соответствующая выработка энергии сельскими ГЭС по водотоку.

В исследовании для двух названных выше принципиальных случаев присоединения МГЭС к сетям крупной энергосистемы несоизмеримой с ней мощности разработан графо-аналитический метод определения энергетического баланса. Предложенный метод дает возможность обоснованно подходить к выбору  $K_{г\gamma}$  для гидроэлектростанций в МГЭС, предназначенной для присоединения к крупной государственной энергосистеме, а также позволяет, с учетом потерь в линии определять характер и структуру взаимного обмена энергией и экономическую эффективность присоединения.

### ОСОБЫЕ ВИДЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ВЫНУЖДЕННЫМ РЕЖИМОМ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

В работе показано, что в условиях использования в системе энергии ограниченной группы небольших и средних рек, территориально расположенных в пределах также ограниченного сельского района, при освоении (в той или иной степени) всех по экономическим показателям пригодных к использованию энергетических перепадов, для удовлетворения потребности только этого района, должно соблюдаться равенство

$$f = \frac{X_{\text{г}}^{\text{N}}}{P_{\text{г}}}$$

Здесь:

$p_{\text{г}} = \frac{K'_{\text{г\gamma}}}{K_{с}} = \frac{\bar{K}}{K_{с}}$  — степень обеспечения потребности сельского района электроэнергией на основе местных водных сил (условный показатель) и

$K'_{\text{г\gamma}}$  — сумма установленных мощностей всех возможных в районе гидроэлектростанций при  $f = 1,0$ .

Для случая электроснабжения такого изолированного сельского района предложены зависимости вида  $(X_r^N p_r - p_w)$ ,  $(h p_r - p_w)$  и  $(f p_r - p_w)$ , которые позволяют непосредственно находить параметры и режимные показатели МГЭС в условиях постоянных (ограниченных) района электроснабжения и количества источников гидроэнергии.

Показано, что прямая, проходящая через начало координат в поле зависимостей  $(X_r^N p_r - p_w)$  определяет зону высоких значений насыщенности района водными силами  $(p_r)$  при которой  $f < 1$  от зоны низкой насыщенности, которой отвечают показатель  $f > 1$ .

При назначении параметра  $f$  по заданному  $p_w$  для района, характеризующегося некоторым  $p_r$ , рекомендуется учитывать существование предельных по экономическим критериям значений установленной мощности гидростанций; например, экономический максимум  $f = 1,4$  и экономический минимум  $f = 0,6$ , соответственно для низких и высоких значений  $p_r$ .

Если в процессе проектирования оказывается, что  $0,6 < f < 1,4$ , то найденное значение  $f$  может быть непосредственно принято.

При малой обеспеченности района водными силами, т. е. при низких значениях  $p_r$  может случиться, что  $f > f_{\text{мкс. эк.}}$ .

Показано, что в этом случае возможны два решения: — параметр  $f$  снижается до  $f_{\text{мкс. эк.}}$ , дополнительно в МГЭС вводится соответствующая тепловая мощность и электроснабжение потребителей осуществляется при значении  $p_w$  выше заданного;

— в район извне подается гидроэнергия (что может рассматриваться как повышение  $p_r$ ), значение  $f$  в результате этого должно быть снижено до величины менее  $f_{\text{мкс. эк.}}$  и электроснабжение сельского района осуществляется при заданном значении  $p_w$ .

Соответственно при высокой (избыточной) насыщенности района водными силами, т. е. при больших значениях  $p_r$  оказывается, что  $f_{\text{мкс. эк.}} > f$ , что экономически также не может быть оправдано. В этом случае целесообразно использовать только часть энергетических перепадов района (что равнозначно снижению  $p_r$ ), повысить параметр  $f$  и несколько снизить  $X_r^N$ . Тогда электроснабжение осуществляется при заданном значении  $p_w$ .

Избыточная гидроэнергия, от неиспользованных перепадов на малых реках, может быть передана за пределы района.

Состояние дублирования энергетических мощностей в МГЭС, в свете поставленных в настоящей работе и исследуемых вопросов рассматривается в его общем понимании, а именно как превышение суммы установленных мощностей электростанций над годовым максимумом электрической нагрузки системы.

В работе показано, что соблюдение условий дублирования мощности в сельской энергосистеме может диктоваться рядом обстоятельств: — необходимостью располагать в МГЭС энергетическим резервом; развить в МГЭС тепловую энергетическую мощность с целью за счет ТЭС повысить обеспеченность потребителей  $(p_w)$  в периоды

глубокого снижения мощности недостаточно зарегулированных сельских ГЭС; путем увеличения мощности регулирующих сельских ТЭС, работающих в МГЭС, получить возможность развить установленную мощность ГЭС ( $f$ ) и тем расширить использование потенциальной энергии рек ( $h$ ) без снижения при этом показателя обеспеченности потребителей энергосистемы  $(p_w)$ .

В работе предложен научно обоснованный метод определения характера и степени влияния дублирования мощности в МГЭС на энергетические параметры и показатели энергетической системы рассматриваемого вида\*.

В связи с решением названной задачи оказалось полезным дополнительно ввести ряд показателей, характеризующих энергетическую систему с дублированием мощности, а именно:

— показатель дублирования мощности в системе

$$z = \left( 1 + \frac{g}{f} \right) X_r^N$$

— гидроэлектрический коэффициент для системы с дублированием мощности

$$X_{r-d}^N = \frac{K_{гг}}{K_c z} = \frac{X_r^N}{z}$$

— показатель полноты дублирования тепловой мощности в системе, иначе относительное выражение для той доли тепловой энергетической мощности, которая дублируется в системе гидроэлектрической мощности

$$\zeta = \frac{K_c (z - 1)}{K_{гг}} = \frac{z - 1}{z (1 - X_{r-d}^N)}$$

Это последнее выражение представляет интерес тем, что связывает между собою все три основных параметра местной системы с дублированием мощности —  $z$ ,  $\zeta$  и  $X_{r-d}^N$ .

Здесь  $g = \frac{K_{гг}}{\bar{K}}$  — показатель установленной мощности ТЭС.

В исследовании предложена методика энергетических характеристик МГЭС с дублированием мощности, а именно метод нахождения зависимостей:

$$(p_w - \text{сез. } h_{\text{сез.}} - X_{r-d}^N)$$

и

$$(p_w - \text{сез. } h_{\text{сез.}} - f) \text{ при } \zeta = \text{var,}$$

исходя из условия

$$p_w - \text{сез.} = 1 - Y_{\text{сез.-2-л}} + \frac{\bar{K}'_{\text{исп. г. сез.}}}{K_{c. \text{сез. ср.}}}$$

\* Н. А. Караулов. Местная электроэнергетическая система с дублированием мощности. Известия АН СССР, ОТН № 6, 1952 г. см. также «Электричество», № 2, 1953 г.

В работе показано, что в частном случае полного дублирования тепловой мощности в системе ( $\zeta = 1$ ) кривые, представляющие зависимости ( $p_w - \text{сез.}, h_{\text{сез.}} - f$ ) получают вид вертикальных прямых. Для каждого значения  $f$  при этом соблюдается условие  $h_{\text{сез.}} = \text{const}$ , иначе  $h_{\text{сез.}}$  не зависит от значения  $z$ .

Приведены отправные положения по выбору величины и размещению в МГЭС энергетического резерва и рассмотрены условия пользования в сельских энергосистемах резервом на стороне потребления.

Исследованы научно-методические основы энергетического проектирования применительно к особому случаю местных систем, состоящих из небольших ГЭС без суточного регулирования, которые представляют собою тип ГЭС, обычный для горных и предгорных районов Кавказа и Средней Азии.

Это рассмотрение выполнено с учетом того положения, что для гидроэлектростанции, не располагающей суточным регулированием, характерен в отдельные периоды времени дефицит не только энергии, но и мощности; ГЭС этого типа отличаются относительно более низкими значениями показателей  $p_w$  и  $h$  даже в условиях работы в базис графика нагрузки МГЭС.

Показано, что всеми теми важными и разносторонними преимуществами, которые предоставляет МГЭС, оказывается возможным воспользоваться в полной мере лишь при условии базирования ее эксплуатации на широком применении автоматики и телемеханики, причем в приложении их ко всей системе в целом.

Рассмотрены принципиальные вопросы регулирования, — на основе технических средств автоматики и телемеханики, — энергетического режима МГЭС и сделаны по этому вопросу выводы, базирующиеся на предшествующих разделах настоящего исследования.

Предложены основы составления схемы оперативного диспетчерского управления в условиях сельской гидроэнергетической системы, состоящей из электростанций различных энергетических типов.

## ВЫВОДЫ

В исследовании даны теоретические основы и методика энергетического проектирования электроэнергетических систем с вынужденным режимом источников энергии, главным образом применительно к сложного вида местным (сельским) энергосистемам с преобладающим участием в них гидроэлектростанций.

Разработанная теория позволяет:

а) Все основные энергетические параметры и показатели электроэнергетической системы ( $f, X_G^N, X_G^W, p_w, h, h_G, h_T$  и другие) рассматривать в их функциональной взаимосвязи;

б) меняя численные значения отдельных задаваемых параметров электростанций и системы, производить, по всему комплексу показателей, энергетическое сопоставление серии вариантов структуры и обоснованно выбирать экономически наиболее выгодное решение, что может быть выполнено просто и быстро;

в) рассматривать показатель обеспечения расчетного графика нагрузки системы по энергии  $p_w$ , — при одновременном учете баланса мощностей в системе, — в качестве одного из основных критериев при исследовании электроэнергетической системы с преобладающим участием источников энергии с вынужденным режимом (ГЭС) и в условиях нагрузки резко изменяющейся, допускающей ее регулирование (содержащей потребителей — регуляторов);

г) с количественной стороны рассматривать задачи регулирования системы на стороне потребления, в частности определять численное значение расчетного показателя  $p_w$  с учетом структуры генерирующих мощностей системы ( $X_G^N$ );

д) для каждого из вариантов системы количественно оценивать полноту использования ресурсов гидроэнергии местного значения, на основе чего находить решения, обеспечивающие коренное повышение использования местных гидроэнергетических ресурсов ( $h$ ). Эта возможность весьма важна в условиях недостаточности (дефицитности) местных водных сил в ряде основных сельскохозяйственных районов страны, располагающих ограниченными возможностями централизованного электроснабжения;

е) исследование и характеристику энергетического баланса местной системы производить не только для года в целом, но и, кроме того, по отдельным сезонам года, что весьма существенно, если учитывать особые условия значительной сезонности сельскохозяйственного производства;

ж) осуществлять исследование и вариантное проектирование применительно к целому ряду практически важных типов местных энергетических систем с преобладающим участием ГЭС, различающихся по принципиальным признакам, в том числе: видом использованной в системе регулирующей энергии, наличием или отсутствием суточного регулирования ГЭС, степенью дублирования генерирующей мощности в системе и другими характерными особенностями, некоторые из которых вообще отсутствуют для государственных энергосистем большой мощности;

з) как следствие изложенного выше обеспечить строгий и объективный характер энергетического проектирования сложного вида местных гидроэнергетических систем (показано, что применением метода проектирования крупных районных энергосистем это требование в принципе удовлетворить не может);

и) приложить результирующие выводы из разработанной общей теории местных энергосистем также и в отношении крупных государственных энергетических систем, характеризующихся преобладанием незарегулированных гидроэлектростанций (энергети-

ческие системы в районах Кавказа, Закавказья, Средней Азии и других).

Проведенный в работе анализ опыта организации и эксплуатации ряда действующих сельских энергетических систем (Корсунь-Шевченковская, Оханская, Гатчинская и другие), созданных при участии Энергетического института АН СССР, подтверждает теоретические выводы, которые получены в настоящем исследовании.

Из всего сказанного вытекает, что исследуемый цикл вопросов справедливо рассматривать в качестве одного из центральных разделов общей теории электроэнергетических систем, характеризующихся вынужденным режимом источников энергии.

Местные энергетические системы с преобладанием ГЭС, созданные в соответствии с разработанными в исследовании научно-методическими основами их организации и проектирования, позволяют успешно осуществлять электрификацию социалистического сельского хозяйства на основе использования широко распространенных местных ресурсов энергии при весьма существенно повышенных показателях надежности и экономической эффективности, наряду с развитием электроснабжения сельских районов от государственных энергосистем.

Исследование показало, что создание сельских энергетических систем с преобладанием ГЭС дает возможность коренным образом — в полтора-два раза — увеличить реальное использование гидроэнергетических ресурсов местного значения и одновременно довести качество электроэнергии и экономичность сельского электроснабжения на основе местных энергоресурсов до высокого уровня, достигаемого обычно в условиях питания сельских потребителей от крупных государственных энергетических систем.

Следовательно, местные энергетические ресурсы в условиях применения сельских энергосистем приобретают принципиально иное качество — становятся полноценным источником сельского электроснабжения, отвечающим высоким техническим требованиям и нормам.

Исходя из всего сказанного, следует признать, что широкая организация сельских энергетических систем, создаваемых на основе разработанных научно-методических положений, должна серьезно способствовать дальнейшему укреплению технической базы социалистического сельского хозяйства, представляет собою одну из неотложных задач большого государственного значения.