

6
А-61

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР
МОСКОВСКИЙ ордена ЛЕНИНА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Аспирант КЛИМОВ В.Е.

На правах рукописи

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
И РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

. 05-279 - гидроэлектростанции и гидроэнергетические
установки

Автореферат диссертации на
соискание ученой степени кандидата
технических наук.

Москва

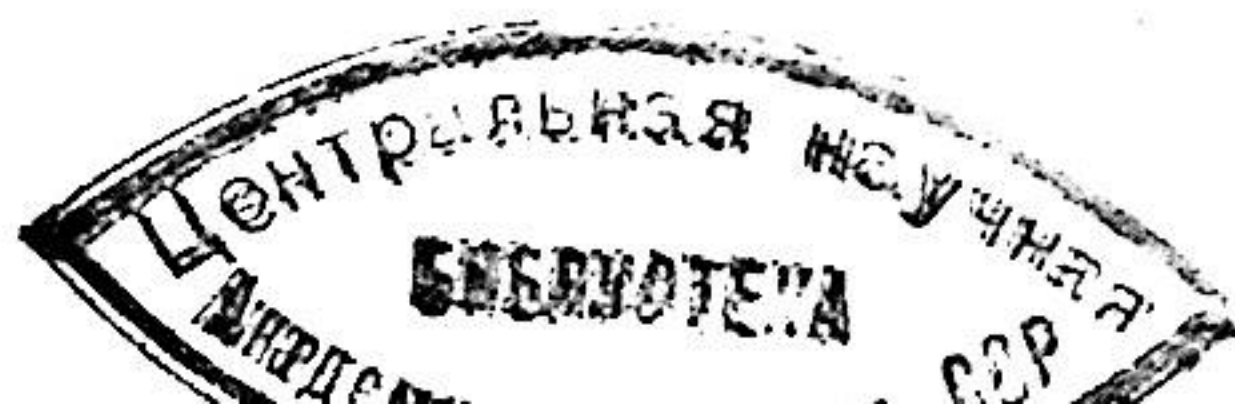
1971

+

Проблема пресной воды, её разумного распределения и эффективного использования с каждым годом становится все более острой. Развитие сложных водохозяйственных комплексов (ВХК) и выбор рациональных режимов их работы требуют особого внимания к учету каждого типа водопользователя. Одним из важных элементов ВХК являются насосные станции. Наиболее интенсивно развивается строительство ирригационных насосных станций. Если в 1970 г. общий объем площадей, орошаемых с помощью машинного водоподъема составлял 3 млн. га, то к 1980 г. эта цифра возрастет до 10 млн. га. За 20 лет в период с 1960 г. по 1980 г. общая мощность насосных станций для целей орошения возрастет в целом по стране в 12 раз и составит к 1980 г. около 10 млн. квт при энергопотреблении около 30 млрд квтч в год.

Доля насосной нагрузки в общем графике электропотребления некоторых энергосистем составит значительную часть. Так, если в настоящее время она равна примерно 6% в энергосистеме Средней Азии и 2% в энергосистеме Юга, то к 1980 г. эти цифры, соответственно, возрастут до 12 + 15% для Среднеазиатской энергосистемы и до 3 + 4% для Объединенной энергосистемы Юга. Приводимые в литературе данные для энергосистемы Молдавской ССР показывают, что доля насосной нагрузки в системе этой республики составит около 40% от максимума.

Насосная нагрузка в энергосистемах может возрасти также за счет, намечаемого в ближайшей перспективе, строительства гидроаккумулирующих электростанций, которые в ночное время работают в насосном режиме.



Современные насосные станции и ГАЭС оснащаются различными видами оборудования, характеристики которых имеют индивидуальные особенности. Вопросам построения энергетических характеристик насосных установок (НУ) уделяется в настоящее время недостаточно внимания. Исследованию энергетических характеристик НУ посвящена I глава диссертации.

Насосная нагрузка располагает возможностью регулирования, оптимизация её режимов может дать значительный экономический эффект. В настоящее время в отечественной и зарубежной литературе практически отсутствуют примеры разработанных алгоритмов оптимизации режимов работы насосной нагрузки в энергосистемах. Вопросам назначения рациональных режимов НУ имеющих различные регулировочные возможности посвящены II, III и IV главы.

Недостаточно разработанными являются также вопросы учета насосного режима в общем цикле работы гидроаккумулирующих электростанций. Методика расчета режимов работы насосных станций, имеющих водохранилища сезонного регулирования, а также оптимальных режимов работы насосных станций, переводимых в специальный режим потребителей-регуляторов, требуют дальнейшего уточнения.

Эти вопросы рассмотрены в IV и V главах диссертации.

I. Энергетические характеристики насосных установок

В данном разделе рассматривается вопрос построения энергетических характеристик различных типов агрегатов и станций и исследуются их особенности.

В качестве основной энергетической характеристики насосного агрегата и НУ принята расходная характеристика $N(Q)$, зависимость потребляемой из энергосистемы мощности от величины подаваемого расхода (в случае переменного напора соответственно зависимость $N(Q, H)$). Кроме расходной характеристики в практике энергетических расчетов применяются также характеристики потерь $\Delta N(N, H), \Delta N(Q, H)$, рабочие характеристики $\eta(N, H), \eta(Q, H)$, которые в случае регулируемых (диагональных и осевых) гидромашин перестраиваются в универсальные по расходу $H(Q, \eta)$ или мощности $H(N, \eta)$ характеристики. Для оптимизации режимов работы НУ используются также дифференциальные характеристики $q(N, H)$.

Исходными данными для построения энергетических характеристик насосных агрегатов являются главные универсальные характеристики модельных колес.

В данной главе рассмотрены особенности построения расходных характеристик насосных агрегатов и насосных установок, оснащенных различными типами гидромашин. Получены соотношения, позволяющие учитывать особенности потерь в каждом элементе насосного агрегата (рабочем колесе, водоводе, двигателе), которые использованы при построении расходной характеристики агрегата.

Исследованы особенности построения расходных характеристик насосных агрегатов и установок с нерегулируемыми (Р0) гидромашинами. Расходные характеристики НУ представля-

рая их часть в зоне близкой к максимальной мощности не является выпуклой.

2. Оптимизация режимов работы НУ без водохранилища

По возможности регулирования режимов работы НУ можно разбить на два типа:

1. НУ без водохранилища.
2. НУ с водохранилищем.

К насосным станциям (НС), работающим без водохранилища в верхнем бьефе относятся НС, подающие воду непосредственно в распределительную ирригационную сеть или в канал, не имеющих возможностей регулирования. Особенностью их работы является необходимость подачи заданного количества воды в определенный момент времени. Такие НС должны обеспечить некоторый график водоподдачи, работая в течение определенных отрезков времени, с заданными величинами расхода. Они, обычно, не меняют величину подачи в течение суток. Оптимальный режим работы НС без водохранилища может быть осуществлен только путем наиболее выгодного перераспределения заданной величины подачи между агрегатами станции.

В рассматриваемой задаче минимизируемой величиной принимается мощность, потребляемая НС из сети, при каждой заданной величине подачи $Q_{нс}$.

Пусть на НС имеется K агрегатов мощности которых, при постоянной величине напора H , выражаются зависимостями $N_1(Q_1)$, $N_2(Q_2)$, ..., $N_K(Q_K)$. Принято,

что все агрегаты работают с одинаковой величиной напора $H_1 = H_2 = \dots = H_K$. В рассматриваемый момент времени суммарная подача НС составляет:

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_K = Q_{нс} \quad (3)$$

При этом мощность, потребляемая НС из сети должна быть минимальной:

$$N_1(Q_1) + N_2(Q_2) + \dots + N_K(Q_K) = \min \quad (4)$$

Данную задачу можно рассматривать как задачу минимизации суммы K функций при условии изопериметрического типа по интегральной сумме расходов агрегатов:

$$\varphi = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_K - Q_{нс} = 0 \quad (5)$$

Так как в большинстве случаев НС без водохранилища оснащены осевыми насосами и их характеристики можно считать непрерывными при числе машин $K > 2 + 3$, то для решения этой задачи можно применить теорему Лагранжа о нахождении условного экстремума суммы функций. На этом основании можно данную задачу свести к минимизации функционала следующего вида:

$$F = \sum_{k=1}^K N_k(Q_k) + \lambda \varphi = \min \quad (6)$$

где λ — постоянный множитель Лагранжа.

Для определения необходимого условия минимума функционала (6) необходимо приравнять нулю частные производные по всем переменным Q_k . В результате преобразований получено необходимое условие наиболее выгодного распределения расхода воды между агрегатами НС, соответствующее минимуму

затрат энергии, в следующем виде:

$$\frac{\partial N_1}{\partial Q_1} = \frac{\partial N_2}{\partial Q_2} = \dots = \frac{\partial N_k}{\partial Q_k} = -\lambda \quad (7)$$

При этом достаточным условием минимума является положительный знак второй производной:

$$\frac{\partial^2 N_k}{\partial Q_k^2} > 0 \quad (8)$$

Отсутствие аналитических зависимостей функций $N_k(Q_k)$ делает невозможным точный математический анализ знака второй производной. Однако выпуклость кривых $N_k(Q_k)$ позволяет сделать вывод о выполнении условия (8).

Для определения условия глобального минимума суммы функций (4) необходимо выделить в выражении (4) переменную часть. В результате получим:

$$\sum_{k=1}^K \Delta N_k(Q_k) = \min \quad (9)$$

Методика оптимизации работы НС, разработанная на основании полученных соотношений, предназначена для ручного счета, при использовании ее эксплуатационным персоналом НС.

Для определения режима НС, оснащенных однотипными насосными агрегатами с идентичными характеристиками достаточно иметь построенную дифференциальную характеристику, по которой, для заданного расхода, однозначно определяется число работающих машин и подача каждой из них.

Для НС, оснащенных двумя типами регулируемых машин использование дифференциальных характеристик часто приводит к многозначности решения. Для определения глобального минимума необходимо воспользоваться выражением (9). Графиче-

ское решение задачи на основании соотношения (9) легко находится для случая установки на НС наряду с базовыми агрегатами нескольких более мелких машин.

Выражение (9) позволяет также определить оптимальный режим НС, оснащенной нерегулируемыми агрегатами (центробежные насосы) и регулируемые. Найдя решение для всего рабочего диапазона расходов НС можно построить номограмму оптимального включения агрегатов насосной станции.

На основе разработанной методики был определен оптимальный режим Каховской НС $N = 175$ мвт. Годовая экономия, по сравнению с режимом, назначенным без оптимизации составила около 3% годового потребления энергии. Подобные расчеты проведенные для Кую-Мазарской НС ($N = 45$ мвт) показали возможность получения годовой экономии электроэнергии около 2,5% годового потребления.

3. Оптимизация режимов работы НУ с водохранилищем

К НУ с водохранилищем относятся все типы ГАЭС, которые обязательно имеют регулируемую емкость, НС сезонного регулирования, а также НС, работающие в режимах потребителей регуляторов. НУ с водохранилищем имеют возможность менять расход во времени, согласно принятому критерию оптимальности и работать в наивыгоднейшем режиме, обеспечивая подачу заданного объема воды в рассматриваемый отрезок времени.

В диссертации рассматривается вопрос построения оптимизационных алгоритмов работы НУ в энергосистемах, которые предполагается использовать при решении эксплуатационных

задач. Кроме того эти алгоритмы предлагается использовать при принятии проектных решений, когда моделирование вариантов развития энергосистем осуществляется на некоторых статических уровнях. Общепринятым критерием при решении проектных задач в настоящее время является минимум народнохозяйственных затрат.

В практике оптимизации эксплуатационных режимов энергосистем пользуются критерием минимума стоимости расхода топлива в энергосистеме за рассматриваемый период времени N :

$$\sum_{n=0}^N \sum_{i=1}^l a_i^n B_i^n \Delta t^n = \min \quad (10)$$

где: B_i^n - расход топлива на i -ой тепловой электростанции в n интервал времени;

a_i^n - удельная стоимость, расходуемого на i -ой электростанции топлива;

l - число тепловых станций системы.

Так как НУ является одним из видов регулируемой нагрузки в энергосистеме, то ее оптимальным режимом будет такой, при котором в энергосистеме выполняется принятый критерий оптимальности (10) и НУ обеспечивает заданный объем подачи в рассматриваемое время.

В качестве математического аппарата для получения оптимизационных соотношений использован дискретный вариант принципа максимума Л.С. Понтрягина. Это обусловлено прежде всего видом характеристик НУ, оснащенных диагональными или радиально-осевыми гидромашинами. Эти характеристики являются разрывными (определенными только на некоторых от-

резках) или даже определенными только в некоторых точках. Дискретный вариант принят по виду исходной информации (почасовой график нагрузки). Для решения этой задачи возможно применение также метода динамического программирования, однако он требует более длительного времени счета и использования большей памяти машины.

Пусть в рассматриваемой энергосистеме имеется S объектов, в том числе l ТЭС ($i = 1, 2, \dots, l$) и $S-l$ насосных установок ($i = l+1, \dots, S$), для экономии места ТЭС исключены из рассмотрения. Оптимизационные выражения, полученные для ТЭС на основе принципа максимума, приведены в ряде работ.

В качестве координат, характеризующих состояние системы, примем количество условного топлива W_i ($i = 1, 2, \dots, l$), израсходованного на данном интервале времени и объемы воды W_i ($i = l+1, \dots, S$), поданной в верхние водохранилища насосных установок за то же время. Для НУ с нерегулируемыми агрегатами в качестве координат принимается количество энергии, затраченной на подачу заданного объема воды W_i ($i = l+1, \dots, S$).

В качестве управляющих параметров принимаются мощности ТЭС N_i ($i = 2, \dots, l$), расход воды Q_i ($i = l+1, \dots, S$), перекачиваемой насосными установками (в случае НУ с регулирующими гидромашинами) и мощности НУ N_i ($i = l+1, \dots, S$) (для НУ с нерегулируемыми машинами).

Число ТЭС взято на единицу меньше, так как ТЭС № I принята балансирующей.

Граничные условия для координат системы запишем, полагая, что в начальный момент времени t^0 расход топлива на каждой тепловой станции, объемы воды и величина затраченной энергии на каждом объекте равны нулю. В конечный момент времени t^N количество израсходованного топлива может принять любое значение, а объемы и энергия для каждой НУ ограничены заданными величинами:

$$W_i(t^0) = 0 \quad (i=1,2,\dots,l,l+1,\dots,s) \quad (II)$$

$$W_i(t^N) = W_{i\text{зад}} \quad (i=l+1,\dots,s) \quad (I2)$$

Область допустимых управляющих параметров, которые могут быть кусочно-непрерывными, определена ограничениями:

$$N_{i\text{мин}} \leq N_i^n \leq N_{i\text{макс}} \quad (i=1,2,\dots,l,l+1,\dots,s) \quad (I3)$$

$$Q_{\text{мин}} \leq Q_i^n \leq Q_{i\text{макс}} \quad (i=l+1,\dots,s) \quad (I4)$$

Балансное уравнение для энергосистемы имеет следующий вид:

$$N_i^n = \sum_{c=1}^m N_c^n - \sum_{i=2}^l N_i^n + \sum_{i=l+1}^s N_i^n + \Pi^n \quad (I5)$$

где: $\sum_{c=1}^m N_c^n$ - сумма активных нагрузок системы (исключая насосную регулирующую),
 Π^n - суммарные потери активной мощности энергосистемы в n момент времени.

Система преобразований для каждой ступени длительности Δt имеет следующий вид:

$$W_i^n = W_i^{n-1} + \Delta t_4 B_i^n(N_i^n) \quad (i=1,2,\dots,l) \quad (I6)$$

$$W_i^n = W_i^{n-1} - \Delta t_c Q_i^n \quad (i=l+1,\dots,s) \quad (I7)$$

$$W_i^n = W_i^{n-1} - \Delta t_4 N_i^n \quad (i=l+1,\dots,s) \quad (I8)$$

Δt_4 - число часов в ступени; Δt_c - число секунд в ступени.

Функционал, который необходимо минимизировать для нахождения оптимального режима работы системы можно записать

$$I = \sum_{i=1}^l a_i W_i^N = \text{мин} \quad (I9)$$

Общую задачу оптимизации работы энергосистемы на основе принципа максимума, в нашем конкретном случае, можно сформулировать следующим образом: определить последовательность управляющих параметров, удовлетворяющих ограничениям (I3, I4) и переводящих систему из начального положения (II) к конечному моменту времени t^N в положение (I2) и минимизирующую при этом целевую функцию (I9).

Сформулированная задача является задачей с закрепленным временем для неавтономных систем, в случае дискретных процессов без обратной связи.

Функция Гамильтона H имеет следующий вид, в случае регулируемых машин:

$$H^n = \sum_{i=1}^l Z_i^n [W_i^{n-1} + \Delta t_4 B_i^n(N_i^n)] + \sum_{i=l+1}^s Z_i^n [W_i^{n-1} - \Delta t_c Q_i^n] \quad (n=1,2,\dots,N) \quad (20)$$

и, в случае нерегулируемых машин:

$$H^n = \sum_{i=1}^l Z_i^n [W_i^{n-1} + \Delta t_4 B_i^n(N_i^n)] + \sum_{i=l+1}^s Z_i^n [W_i^{n-1} - \Delta t_4 N_i^n] \quad (n=1,2,\dots,N) \quad (21)$$

Вектор Z_i^n удовлетворяет, в обоих случаях, следующим соотношениям:

$$Z_i^{n-1} = \frac{\partial H^n}{\partial W_i^{n-1}} \quad (n = 1, 2 \dots N) \quad (22)$$

$$Z_i^n = a_i \quad (i = 1, 2 \dots l) \quad (23)$$

Оптимальную последовательность управляющих параметров определим на основании необходимых условий существования минимума:

$$\frac{\partial H^n}{\partial N_i^n} = 0 \quad (i = 1, 2 \dots l) \quad (24)$$

$$\frac{\partial H^n}{\partial Q_i^n} = 0 \quad (i = l + 1, \dots, s) \quad (25)$$

или:

$$\frac{\partial H^n}{\partial N_i^n} = 0 \quad (i = l + 1, \dots, s) \quad (26)$$

В результате сделанных преобразований получено следующее необходимое условие существования минимума для НУ, оснащенных регулирующими гидромашинами, в случае переменного напора:

$$a_i b_i^n \frac{1 + \epsilon_i^n}{\Delta t_c q_i^n} - c_i - 9,81 \sum_{j=n+1}^N \frac{a_j b_j Q_j^j}{\eta_j^j F_j^{j-1}} \Delta t^j = 0 \quad (27)$$

где $b_i^n = \frac{\partial B_i^n}{\partial N_i^n}$ - относительный прирост расхода условного топлива на первой ТЭС;

$q_i^n = \frac{\partial Q_i^n}{\partial N_i^n}$ - относительный прирост расхода воды на i -ой НУ;

a_i - стоимость условного топлива на i -ой ТЭС;

$\epsilon_i^n = \frac{\partial \Pi^n}{\partial N_i^n}$ - относительный прирост потерь активной мощности;

F_i - площадь водохранилища i -ой НУ;

c_i - коэффициент, учитывающий затраты на подачу m^3 воды i -ой НУ.

В случае постоянного напора выражение (27) имеет вид:

$$a_i b_i^n \frac{1 + \epsilon_i^n}{\Delta t_c q_i^n} - c_{i\gamma} \leq 0 \quad (28)$$

где $c_{i\gamma} = \text{const}$

γ - номер итерации при определении величины c_i .

При невыполнении соотношения (28) мощность НУ принимается нулевой.

Для НУ, оснащенных нерегулируемыми гидромашинами, необходимое условие оптимальности режима, в случае переменного напора, имеет вид:

$$a_i b_i^n (1 + \epsilon_i^n) - c_i - \sum_{j=n+1}^N \frac{a_j b_j^j \partial H_i^j}{h_i^j \partial W_i^{j-1}} \Delta t^j = 0 \quad (29)$$

где: $h_i^j = \frac{\partial H_i^j}{\partial N_i^j}$ - относительный прирост напора на i -ой НУ;

c_i - коэффициент, учитывающий затраты на единицу потребляемой i -ой НУ энергии.

При постоянной величине напора условие (29) имеет вид:

$$a_i b_i^n (1 + \epsilon_i^n) - c_{i\gamma} \leq 0 \quad (30)$$

При невыполнении условия (30) мощность НУ принимается равной нулю.

Соотношения (27, 29) являются необходимыми условиями оптимальности, достаточные условия для дискретных систем формулируются следующим образом: все множества достижимости

должны быть выпуклы. Функции управления соответственно должны быть выпуклыми и замкнутыми.

Для осевых гидромашин условие выпуклости выполняется для всей рабочей зоны. Для диагональных гидромашин, зона, в которой функция управления $N(Q)$ является выпуклой, незначительна и её величина зависит от конкретного вида характеристик насосных агрегатов. Для радиально-осевых гидромашин условие выпуклости функции управления было проверено по определению. Функция является нестрогой выпуклой.

В работе показано, что множества достижимости выпуклы строго при выпуклости зависимости $b(N_c)$, при линейной зависимости $b(N_c)$ они выпуклы нестрогой.

4. Построение алгоритмов расчета оптимальных режимов работы НУ в энергосистемах

Разрабатываемые алгоритмы и программы предполагается использовать в качестве подпрограмм в существующих программах суточной или сезонной оптимизации режимов работы энергосистем, имеющих в составе потребителей насосную или другую регулируемую нагрузку. Поэтому основные требования, предъявляемые к ним: программы должны занимать минимальное количество ячеек в памяти ЦВМ и обеспечивать малое время решения задачи.

Информация, которую подпрограмма получает от основной программы: график нагрузок энергосистемы, не включающий оптимизируемую насосную нагрузку и характеристики относительных приростов расхода условного топлива для дневного и ноч-

ного составов оборудования. Соответственно, из подпрограммы в основную программу поступает график нагрузки системы, включающий оптимально распределенную насосную нагрузку.

Разработаны программы оптимизации режимов работы НУ с нерегулируемыми агрегатами, учитывающие изменение напора (суточная и долгосрочная задачи) и программа оптимизации работы НУ с регулируемыми агрегатами (суточная задача).

При решении задачи оптимизации режимов работы НУ с нерегулируемыми агрегатами мощность НУ и число работающих машин определяются выполнением неравенства:

$$b(N_c^n + k N_A(N)) \leq C_r \quad (31)$$

N_c^n - график нагрузки системы без мощности НУ.

Если при проверке условия для $k + 1$ агрегатов условие (31) не выполняется принимается число машин K .

Величина критерия оптимальности режима C_r определяется итеративно. Сходимость обеспечивается введением специального блока ускоряющего процесс. При нахождении поправки ΔC_r в первую очередь учитываются часы, в которые НУ работает с мощностью меньше максимальной. Для уменьшения времени решения выражение (29), учитывающее изменение напора не используется. Решение проводится в два этапа. На первом этапе определяется величина C_r для постоянной мощности агрегата $\bar{N}_A$, которая является средней для всего диапазона изменения напора НУ. На втором этапе решение уточняется для переменной величины мощности, зависящей от величины изменяющегося напора. Так как в обоих случаях НУ использует одинаковое количество энергии, то на втором этапе про-

цесс завершается после нескольких итераций.

Суточная задача оптимизации режима работы НУ с регулируемыми агрегатами решается за 2 + 3 сек. и занимает 170-200 ячеек памяти машины "Минск-22".

При решении суточной задачи оптимизации НУ с регулируемыми гидромашинами число включенных машин K определяется на данной ступени выполнением неравенства:

$$\{ (N_c'' + k N_A(N)) \leq C_r q_A(k N_A(N)) \quad (32)$$

Дифференциальная характеристика НУ $q_{Hy}(N_{Hy})$ производится в ЦЕМ без спрямления. Она моделируется агрегатной характеристикой $q_A(N_A)$, умножением на число включенных агрегатов k определяется характеристика НУ с данным числом работающих машин. Ограничения по мощности $N_{мин}$, $N_{макс}$ различны для каждого числа включенных агрегатов. Их величины определяются по построенной, с проведением внутристанционной оптимизации, характеристике НУ. Для k работающих машин $N_{мин}$ - мощность включения k -го агрегата, а величина $N_{макс}$ - мощность, при которой включается $k + 1$ агрегат.

Постоянная C_r определяется итеративно. Для ускорения сходимости предусмотрена подпрограмма коррекции величины C_r .

Суточная задача решается за 6-7 сек, занимает 300+350 ячеек машины "Минск-22".

Решение сезонной задачи оптимизации НУ проводится на основании соотношения (29). Это возможно, так как при выво-

де условий оптимальности для суточной задачи мы не ограничивали число ступеней. Основным отличием задачи долгосрочной оптимизации от рассмотренной суточной является введение ограничения по непереполнению водохранилища, которое является ограничением на фазовые координаты:

$$\sum_{n=0}^T Q_{Hy}'' \Delta t^n \leq \sum_{n=0}^T Q_B'' \Delta t^n \quad (33)$$

где: $\sum_{n=0}^T Q_{Hy}'' \Delta t^n$ - объем, поданный к моменту T насосной установкой;
 $\sum_{n=0}^T Q_B'' \Delta t^n$ - объем, сработанный к моменту T из водохранилища (согласно графику $Q_B(t)$).

Принцип максимума позволяет решать задачи оптимизации с учетом ограничений на фазовые координаты. Однако, трудности, связанные с построением аналитических зависимостей для вспомогательных функций при использовании метода локальных сечений, заставили отказаться от его применения.

Решение проводится в два этапа. На первом этапе определяется постоянная C_r для случая расчета по средней величине нагрузки агрегата $\bar{N}_A$. Затем решаются совместно уравнение сработки водохранилища и уравнение наполнения НУ. При этом определяется на оси времени момент максимального наполнения водохранилища. Так как объемы в случае расчета по $\bar{N}_A$ и по переменной величине мощности одинаковы, то при расчете с изменяющимся напором часто не приходится уточнять найденных значений постоянной C_r .

Разработанная программа использует мгновенные характеристики. Расчет проводится для типичных суток принятого пе-

риода (месяца, недели). Полученный результат распространяется на весь интервал. Предусмотрено использование 8 различных интервалов, можно задать для каждого из них кривые относительного прироста для дневного и ночного составов оборудования. Программа вместе с вводом исходной информации занимает 1500 ячеек памяти машины "Минск-22". Продолжительность решения 2 + 3 мин.

5. Исследование особенностей насосных режимов ГАЭС и работы НС как потребителей регуляторов

В работе проведен анализ использования обратимых агрегатов на современных ГАЭС. В существующей практике при разработке модельных колес, как правило, стремятся к получению максимального к.п.д. в обоих режимах работы (заряд, разряд). Это зачастую приводит к отказу от более высокого к.п.д. агрегата в одном из режимов.

Было получено следующее приближенное выражение для определения величины экономии топлива $B_{эк}$ в энергосистеме при вводе ГАЭС вместо альтернативной ТЭС или ГТУ:

$$B_{эк} = \frac{W N_r}{367} \eta_{тр} \left(\bar{b}_{тр} - \frac{\bar{b}_{нр}}{\eta_{ГАЭС}} \right) \quad (34)$$

где $\bar{b}_{нр}$ - средняя величина относительного прироста энергосистемы при работе ГАЭС в насосном режиме (индекс нр - насосный режим);

$\bar{b}_{тр}$ - средняя величина относительного прироста (удельного расхода топлива) установки, заменяемой ГАЭС (индекс тр - турбинный режим)

W - объем аккумулялирования.

В выражении (34) величины N_r , W - постоянные, $\bar{b}_{нр}$, $\bar{b}_{тр}$ мало меняются при изменении $\eta_{нр}$, $\eta_{тр}$. На основании соотношения (34) можно сделать вывод, что экономия топлива $B_{эк}$ возрастает при увеличении к.п.д. турбинного режима за счет к.п.д. насосного режима (считаем $\eta_{ГАЭС}$ постоянным).

Это условие справедливо для ГАЭС, капиталовложения в которые значительно больше, чем в заменяемый вариант и необходимо получить экономию топлива для того чтобы компенсировать эту разницу. Для ГАЭС, стоимость которых равна или меньше стоимости альтернативной установки и ее ввод в энергосистему возможен даже при некоторой величине пережega топлива, стремление к получению большего к.п.д. в турбинном режиме может оказаться необоснованным.

Расчеты, проведенные для условий Загорской ГАЭС

$N = 1200$ мвт, $H = 100$ м (в качестве альтернативы принималась пиковая ГТУ), показали необходимость принятия более высокого к.п.д. в турбинном режиме. Были построены зависимости $B_{эк}(\eta_{нр}, \eta_{тр})$ ожидаемой годовой экономии топлива в энергосистеме от соотношения к.п.д. насосного и турбинного режимов. На основании полученных зависимостей сделан вывод о том, что повышение к.п.д. турбинного режима, в рассмотренном примере, ведет к экономии топлива, в то время как увеличение к.п.д. насосного режима вызывает уменьшение экономии топлива (при условии постоянства к.п.д. ГАЭС).

Построенную зависимость $B_{\text{эк}}(\eta_{\text{тр}}, \eta_{\text{нр}})$ предлагается использовать при выборе натуральных параметров обратимых агрегатов ГАЭС по условию получения минимума затрат. При выборе параметров модельных колес предлагается также пользоваться зависимостью $B_{\text{эк}}(\eta_{\text{тр}}, \eta_{\text{нр}})$, но в качестве критерия выбора параметров модели в насосном и турбинном режимах использовать критерий максимальной экономии топлива в энергосистеме, так как для данной модели капиталовложения в натуральный агрегат практически не зависят от соотношения ее параметров.

Разработана также методика определения средних величин к.п.д. заряда и разряда для ГАЭС оснащенных радиально-осевыми или диагональными обратимыми гидромашинами.

Одним из эффективных методов выравнивания графиков электрической нагрузки является перевод энергоемких потребителей в режим потребителей-регуляторов (ПР). При этом происходит отключение предприятия в часы пика, увеличением его мощности в остальные часы происходит компенсация недо-выданной в пиковые часы продукции. Весьма перспективным представляется перевод в режим ПР насосных станций, имеющих регулирующие водохранилища. Для назначения эксплуатационных режимов их работы предлагается использовать разработанные программы суточной оптимизации.

В качестве критерия перевода НС в режим ПР используется минимум народнохозяйственных затрат. Для определения изменений расхода топлива в энергосистеме при решении проектных задач также предлагается использовать разработанные программы суточной оптимизации работы НУ в энергосистемах.

В ы в о д ы

1. Разработана методика построения и исследованы особенности энергетических характеристик (расходных, дифференциальных) насосных агрегатов и установок с радиально-осевыми, осевыми поворотнолопастными, капюльными и диагональными гидромашинами.
2. Рассмотрены задачи оптимизации режимов работы НУ, имеющих регулирующее водохранилище в верхнем бьефе и НУ без водохранилища. Для НУ без водохранилища, на основе теоремы Лагранжа, получены необходимые условия оптимальной работы. Разработана методика оптимизации режимов работы НУ с однотипными осевыми агрегатами, с двумя типами регулируемых машин, а также для случая, когда в составе оборудования НУ имеются и нерегулируемые агрегаты.
3. Для решения задач оптимизации режимов работы НУ с водохранилищем предлагается использовать дискретный вариант принципа максимума Л.С. Понтрягина, так как исходная информация задается дискретно (почасовой график нагрузки), а характеристики НУ разрывны (кусочно-непрерывная функция управления). При помощи математического аппарата дискретного принципа максимума получены оптимизационные соотношения для случаев НУ с регулируемыми и нерегулируемыми насосными агрегатами.
4. Построены алгоритмы и разработаны программы для определения оптимальных суточных режимов работы НУ с нерегу-

- лируемыми и регулируемыми агрегатами. Разработанные программы предлагается использовать в качестве подпрограмм при оптимизации режимов работы энергосистем, имеющих насосную нагрузку.
5. Разработан алгоритм и программа оптимизации долгосрочных режимов работы НУ, оснащенных нерегулируемыми агрегатами, с учетом переменного напора.
 6. Рассматривается вопрос о сравнительной эффективности насосного режима ГАЭС по сравнению с турбинным в части топливной составляющей. Показано, что при проведении проектных расчетов необходимо учитывать отдельно к.п.д. насосного и турбинного режимов. В результате проведенного анализа предлагается использовать зависимость экономии топлива в энергосистеме при вводе ГАЭС от соотношения к.п.д. обоих режимов.
 7. Проведено исследование существующих методов определения эффективности использования НС в режимах потребителей-регуляторов. Предлагается использовать разработанные программы суточной оптимизации режимов работы насосных станций в энергосистемах для определения изменения топливной составляющей при переводе НС в режим ПР.

По материалам диссертации автором опубликованы следующие работы:

- I. "Расчет пуска насосных агрегатов" в сб. Доклады научно-технической конференции по итогам НИР, подсекция

Гидроэнергетики МЭИ, 1967.

2. К вопросу выбора гидромеханического оборудования ГАЭС и учета режимов его работы при проектировании. В сб. "О перспективах проектирования и строительства гидроаккумулирующих электростанций", Ленинград, 1969.
 3. "Определение коэффициента полезного действия гидроаккумулирующей электростанции", в сб. "Доклады научно-технической конференции по итогам НИР", подсекция Гидроэнергетики МЭИ, 1969.
 4. "О выборе числа работающих агрегатов насосных установок". В сб. "Выбор состава работающего оборудования энергосистем". РИО АН МССР Кишинев, 1970.
 5. "Оптимальный режим работы насосных станций, оснащенных осевыми насосами", "Гидротехника и мелиорация", 1970, № II.
- Материалы диссертации докладывались на научно-технических конференциях по итогам научно-исследовательских работ за 1966-67 и 1968-1969 г.г. подсекции Гидроэнергетики МЭИ, на Всесоюзном научно-техническом совещании "О перспективах проектирования и строительства гидроаккумулирующих Электростанций" г. Балаково, 1969, на научно-техническом совещании "Перспективы строительства ГАЭС в энергосистемах СССР" г. Ереван, в 1970 г., на научно-технической конференции "Выбор состава работающего оборудования энергосистем", г. Кишинев, в 1970 г.