

УДК 330.45

MSC: 90C27; 90C90

DOI: 10.35330/1991-6639-2020-5-97-68-78

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА ТИПА И КОЛИЧЕСТВА НАСОСНО-СИЛОВЫХ АГРЕГАТОВ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА В СЕТИ ГОРОДСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В.Ч. КУДАЕВ, А.К. БУЗДОВ

Институт информатики и проблем регионального управления –
филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр
«Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук»
360000, КБР, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а
E-mail: iipru@rambler.ru

В настоящее время актуальная задача оптимизации сети городского водоснабжения может быть решена более качественно. Важнейшим элементом сети является насосная станция (НС). В статье представлено решение задачи выбора типа и количества основных насосно-силовых агрегатов (НСА) НС, обеспечивающих наиболее экономичное энергопотребление и максимальное водосбережение при обеспечении потребителей требуемым количеством воды, которое, как известно, меняется в зависимости от времени суток и сезона года. Задача решается на основе математического моделирования активной групповой рабочей характеристики (АГРХ) каждого типа НСА в заданных пределах подачи воды из НС в сеть с заданным напором, определения ее сплошности и выделения из групп НСА наилучшей. Промежуточными показателями эффективности при этом являются: энергозатраты на обеспечение основного режима водоподачи в сеть, количество НСА, оценка сплошности АГРХ.

Ключевые слова: насосная станция, сеть городского водоснабжения, магистральный трубопровод, минимизация энергозатрат, максимизация водосбережения, математическое моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

Основной задачей НС в сети городского водоснабжения в настоящее время должна быть не только подача нормативного количества воды потребителям, но и возможность обеспечения любого потока воды в сеть в заданном диапазоне. Решение этой проблемы не только существенно снижает энергозатраты НС, но и приводит к уменьшению затрат на создание сети городского водоснабжения – затрат на создание резервуаров для хранения, очистки и дальнейшей транспортировки воды. Главным преимуществом такой НС является существенное водосбережение.

В статье представлены постановка этой задачи и метод ее решения. Элементами целевой функции, в отличие от существующих постановок по проектированию оптимальных НС, являются не только снижение приведенных затрат на электроэнергию и стоимость насосно-силового оборудования, но и обеспечение любого режима подачи воды в сеть в заданном диапазоне $[Q^{min}, Q^{max}]$. Эти режимы существенно зависят от времени суток, времени года, строительства домов и предприятий, подключаемых к сети, питаемой от НС. Поэтому новым и важным элементом целевой функции НС является сплошность заполнения рабочего диапазона подачи воды в сеть рабочими зонами отбираемых НСА.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Элементы целевой функции и ограничений задачи.

1.1. Каждый НСА обладает т.н. рабочей характеристикой – функцией, описывающей зависимость напора воды на выходе из насоса от величины подаваемого им потока воды:

$$H_i(Q), Q \in [Q_i^0, Q_i^1],$$

где $H_i(Q)$ – вогнутая (выпуклая вверх), убывающая, положительная на $[Q_i^0, Q_i^1]$ функция.

1.2. Задаваемый рабочий диапазон потоков воды от НС в сеть $[Q^{min}, Q^{max}]$.

1.3. Усредненный поток воды от НС в сеть – \bar{Q} . Энергетические затраты НС рассчитываются именно на этот поток при условии того, что НС должна обеспечивать обязательно и максимальный поток Q^{max} .

1.4. НС должна обеспечивать задаваемый потребный напор в сеть – \hat{H} .

1.5. В силу 1.4 из рабочего диапазона насоса $[Q_i^0, Q_i^1]$ выделяется активный рабочий диапазон $[Q_i^0, Q_i^{act}]$, где Q_i^{act} – поток в $[Q_i^0, Q_i^1]$, такой, что $H_i(Q_i^{act}) \geq \hat{H}$.

1.6. m_i^1, \bar{m}_i – наименьшее количество НСА i -го типа, обеспечивающих соответственно подачу в сеть потоков Q^{max}, \bar{Q} .

1.7. Сплошность $S_{m_i^1}[Q^{min}, Q^{max}]$ обеспечения насосно-силовыми агрегатами (НСА) i -го типа рабочих режимов в диапазоне $[Q^{min}, Q^{max}]$.

Постановка задачи:

$$\left\{ \begin{aligned} C &= \min_{i=1,n} \left\{ \alpha T \left(N_i \left(\frac{\bar{Q}}{\bar{m}_i} \right) \bar{m}_i \left[2 - S_{m_i^1}[Q^{min}, Q^{max}] \right] + \beta m_i^1 C_i \right) \right\} & (1) \\ H_i(Q_i^0) &> \hat{H}; Q_i^{act} \in (Q_i^0, Q_i^1], Q_i^{act} = \begin{cases} Q_i^1, & \text{если } H_i(Q_i^1) \geq \hat{H} \\ Q_i^*, & \text{если } H_i(Q_i^1) < \hat{H} \text{ и } H_i(Q_i^*) = \hat{H} \end{cases} & (2, 3) \\ \bar{m}_i &= \left\lceil \frac{\bar{Q}}{Q_i^{act}} \right\rceil; m_i^1 = \left\lceil \frac{Q^1}{Q_i^{act}} \right\rceil; (2Q_i^{act} \geq Q^0 \geq 2Q_i^0) \text{ либо } (Q_i^{act} \geq Q^0, 2Q_i^{act} \leq \bar{Q}) & (4 - 6) \end{aligned} \right.$$

где α – стоимость одного квт/час, T – заданное время эксплуатации НС, N_i – мощность одного НСА i -го типа (удельное потребление энергии квт/час), C_i – стоимость одного НСА, β – коэффициент, учитывающий затраты на установку и эксплуатацию НСА i -го типа в течение года.

Элемент $T N_i \left(\frac{\bar{Q}}{\bar{m}_i} \right) \bar{m}_i$ целевой функции характеризует энергетические затраты НС на обеспечение усредненного режима водоподдачи \bar{Q} в сеть. Поскольку величина $\left[1 - S_{m_i^1}[Q^{min}, Q^{max}] \right] \leq 1$ характеризует меру тех режимов подачи воды в рабочем диапазоне $[Q^{min}, Q^{max}]$ НС, которые не могут быть реализованы НСА i -го типа и поэтому требуют дополнительных энерго- (и водо-) затрат, общие энергетические затраты оценивает величина

$$T N_i \left(\frac{\bar{Q}}{\bar{m}_i} \right) \bar{m}_i + \left[1 - S_{m_i^1}[Q^{min}, Q^{max}] \right] T N_i \left(\frac{\bar{Q}}{\bar{m}_i} \right) \bar{m}_i.$$

Среди ограничений задачи в пояснении нуждается ограничение (6).

$(2Q_i^{act} \geq Q^{min} \geq 2Q_i^0)$ ограничивает сверху количество НСА, а ограничение $(Q_i^{act} \geq Q^{min}, 2Q_i^{act} \leq \bar{Q})$ – снизу. Среди обоих альтернативных решений выделяются по одному наилучшему. Представленный здесь тип альтернативных решений, в отличие от

существующего на практике – не больше k НСА, является «мягким» и позволяет не упустить из рассмотрения находящиеся рядом с граничными решения, отфильтровывая те типы НСА, которых требуется излишне много либо слишком мало.

2. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

2.1. Рабочая характеристика (РХ), рабочая зона (РЗ), активная рабочая зона (АРЗ) насоса.

Каждый насос i -го типа из БД системы имеет РХ – зависимость напора воды, создаваемого насосом, от величины потока, входящего в насос [1, 2]:

$$H_i(Q), Q \in [Q_i^0, Q_i^1],$$

где величины Q_i^0, Q_i^1 заданы, функция $H_i(Q)$ на $[Q_i^0, Q_i^1]$ вогнута, положительна и убывает (см. рис. 1). Интервал $[Q_i^0, Q_i^1]$ называют рабочей зоной НСА i -го типа.

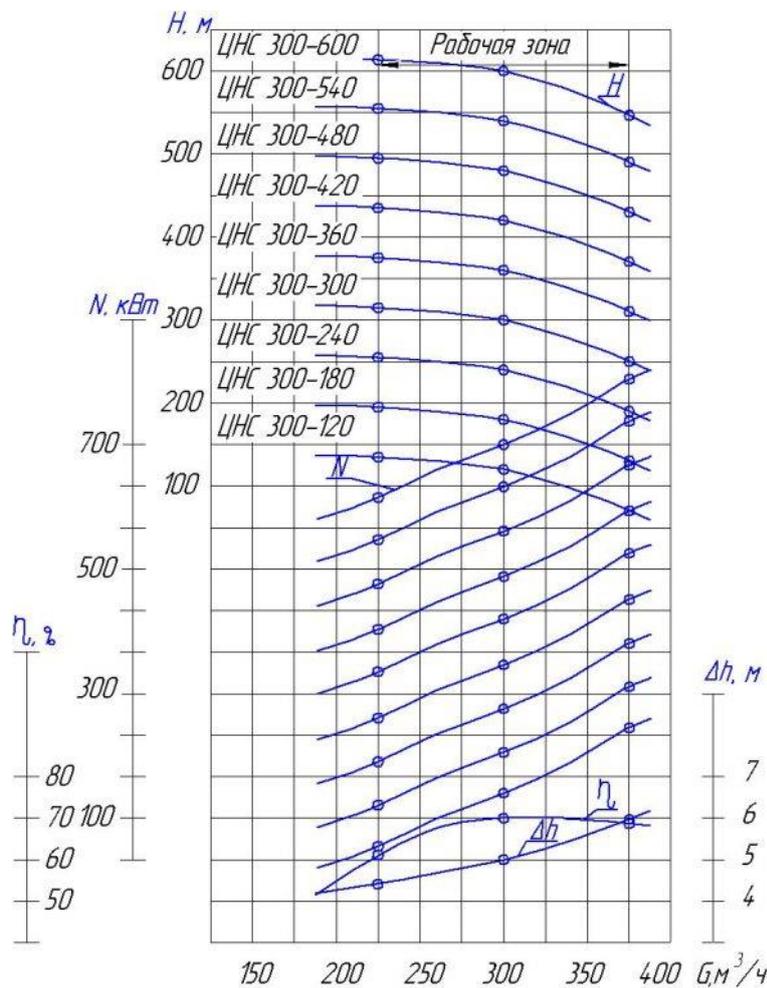


Рис. 1. Рабочие характеристики и мощности (N) насосов в рабочей зоне $[225, 375]$ м³/час

Рабочая характеристика НСА с достаточной точностью аппроксимируется вогнутой (выпуклой вверх) параболой

$$H_i(Q) = a_i Q^2 + b_i Q + c_i, \quad Q \in [Q_i^0, Q_i^1].$$

Аппроксимацию проведем по крайним и средней точкам рабочей зоны:

$$\begin{cases} a_i(Q_i^0)^2 + b_iQ_i^0 + c_i = H_i^0 \\ a_i\left(\frac{Q_i^0 + Q_i^1}{2}\right)^2 + b_i\left(\frac{Q_i^0 + Q_i^1}{2}\right) + c_i = H_i^{cp} \\ a_i(Q_i^1)^2 + b_iQ_i^1 + c_i = H_i^1, \end{cases}$$

где $H_i^0 = H_i(Q_i^0)$, $H_i^{cp} = H_i\left(\frac{Q_i^0+Q_i^1}{2}\right)$, $H_i^1 = H_i(Q_i^1)$. Получим:

$$a_i = \frac{2(H_i^0 - 2H_i^{cp} + H_i^1)}{(Q_i^0 - Q_i^1)^2}, b_i = 2\left[\frac{H_i^0 - H_i^{cp}}{Q_i^0 - Q_i^1} - \left(\frac{3Q_i^0 + Q_i^1}{4}\right)a_i\right], c_i = H_i^0 - a_i(Q_i^0)^2 - b_iQ_i^0. \quad (7)$$

Алгоритм вычисления a_i, b_i, c_i следует из (7).

Поскольку НСА проектируемых насосных станций в сети городского водоснабжения должны обеспечивать заданный напор воды \hat{H} в сеть, то АРЗ насоса i -го типа назовем зону $[Q_i^0, Q_i^{act}]$, где $H_i(Q_i^0) > \hat{H}$,

$$Q_i^{act} = \begin{cases} Q_i^1, \text{ если } H_i(Q_i^1) \geq \hat{H} \\ Q_i^*, \text{ если } H_i(Q_i^1) < \hat{H}, H_i(Q_i^*) = \hat{H}, Q_i^0 < Q_i^* < Q_i^1. \end{cases}$$

Итак, если $H_i(Q_i^0) \leq \hat{H}$, АРЗ i -го НСА пуста, и он не пригоден для использования в проектируемой НС, в противном случае его АРЗ есть $[Q_i^0, Q_i^{act}]$.

2.2. Активная групповая рабочая характеристика (АГРХ) и групповая рабочая зона (РЗ) НСА.

НС для магистрального (протяженного) трубопровода (МТ) в сети городского водоснабжения содержит несколько основных НСА одного типа. При параллельной работе m НСА i -го типа их объединенная рабочая характеристика имеет вид:

$$H_i^m = a_i\left(\frac{Q}{m}\right)^2 + b_i\left(\frac{Q}{m}\right) + c_i, \quad Q \in [mQ_i^0, mQ_i^{act}].$$

На НС могут работать одновременно 1, 2, ..., m НСА i -го типа. При этом ими могут подаваться в сеть потоки воды в диапазонах $[Q_i^0, Q_i^{act}]$, $[2Q_i^0, 2Q_i^{act}]$, ..., $[mQ_i^0, mQ_i^{act}]$. Объединение этих диапазонов и есть АГРЗ. Не вошедшие в АГРЗ диапазоны называют «пустыми» зонами.

Объединение активных рабочих характеристик на последовательности диапазонов $[Q_i^0, Q_i^{act}]$, $[2Q_i^0, 2Q_i^{act}]$, ..., $[mQ_i^0, mQ_i^{act}]$ назовем активной групповой рабочей характеристикой m НСА. На рисунке 2 для наглядности представлена АГРХ и АГРЗ 4-х НСА.

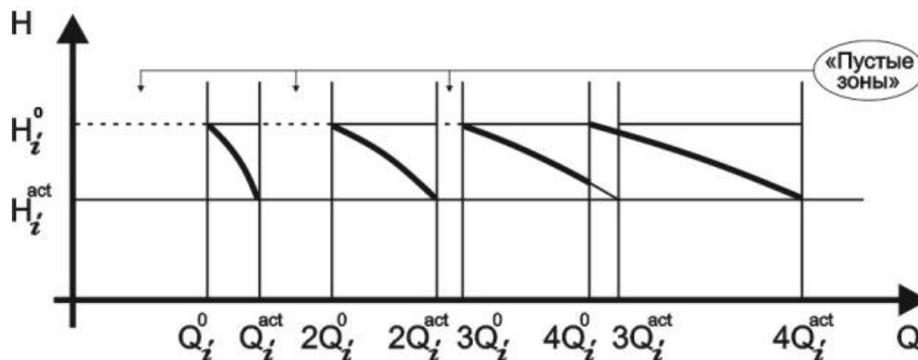


Рис. 2.

2.3. *Определение наименьшего количества НСА i -го типа, с которого начинается сплошная АГРЗ.*

При проектировании НС задаются минимальный и максимальный потоки в сеть Q^{min}, Q^{max} . Существующая методология создания сетей водоснабжения требует учета потоков воды и свободного напора в сеть в часы наибольшего водопотребления, наибольшего превышения подачи воды в сеть насосами над водопотреблением [3]. Однако обеспечение возможности любой величины потока в диапазоне $[Q^{min}, Q^{max}]$ насосной станцией приводит к существенной экономии электроэнергии, потребляемой НС, и водосбережению, т.к. в противном случае приходится подавать в сеть большие потоки воды. Конкретные значения потоков воды из диапазона $[Q^{min}, Q^{max}]$ меняются в течение суток, времени года, строительства новых домов и т.д. и поэтому заранее установить наилучшее распределение воды по часам суток на значительное время невозможно. Таким образом, НС должна быть настроена на подачу любого количества воды в заданном диапазоне.

Вследствие этого одной из важных характеристик НС должна являться мера сплошности АГРЗ насосов в диапазоне $[Q^{min}, Q^{max}]$.

АРЗ одного НСА i -го типа есть $[Q_i^0, Q_i^{act}]$. При $Q_i^{act} \geq 2Q_i^0$ происходит объединение РЗ одного, двух, ... НСА, не содержащее «пустых» зон. Действительно, в этом случае имеем:

$$[Q_i^0, Q_i^{act}], [2Q_i^0, 2Q_i^{act}], \dots, [k_i Q_i^0, k_i Q_i^{act}], \dots$$

$$\text{Но } Q_i^0 < 2Q_i^0 \leq Q_i^{act} \text{ и вообще } k_i Q_i^0 < (k_i + 1)Q_i^0 \leq k_i Q_i^{act},$$

где $k_i \geq 1$ – количество НСИ.

Рассмотрим теперь случай $Q_i^{act} < 2Q_i^0$.

Пусть объединение АРЗ происходит, начиная с k_i НСА. Это означает, что АРЗ $(k_i - 1)$ НСА не пересекается с АРЗ k_i НСА, а АРЗ k_i НСА пересекается с АРЗ $(k_i + 1)$ НСА, т.е.

$$(k_i - 1)Q_i^{act} < k_i Q_i^0, k_i Q_i^{act} \geq (k_i + 1)Q_i^0, k_i \in N, k_i \geq 2$$

$$\frac{Q_i^0}{Q_i^{act} - Q_i^0} \leq k_i < \frac{Q_i^{act}}{Q_i^{act} - Q_i^0}, k_i \in N, k_i \geq 2. \quad (8)$$

Покажем, что система (8) для любых Q_i^0, Q_i^{act} имеет, и притом единственное, решение для рассматриваемого случая.

Действительно, поскольку $Q_i^{act} > Q_i^0$, то $Q_i^{act} = p_i Q_i^0$, $2 > p_i > 1$. Отсюда получим $\frac{1}{p_i - 1} \leq k_i < \frac{p_i}{p_i - 1}$. Перепишем эту систему в виде:

$$\frac{k_i + 1}{k_i} \leq p_i < \frac{k_i}{k_i - 1}, k_i \neq 1, k_i \in N. \quad (9)$$

Как видно из (9), при увеличении k_i на единицу нижний предел значения p_i для k_i становится верхним пределом для $(k_i + 1)$:

$$\frac{(k_i + 1) + 1}{k_i + 1} \leq p_i < \frac{k_i + 1}{k_i}.$$

Из этого следует, что любому целому значению $k_i \geq 2$ соответствует свой диапазон значений p_i , не пересекающийся с диапазонами $(k_i - 1)$ и $(k_i + 1)$, а значит, и с любыми иными диапазонами. Утверждение доказано.

Построим для наглядности последовательность диапазонов p_i для $k_i = \dots, 5, 4, 3, 2$:

$\dots, \left[\frac{6}{5}, \frac{5}{4}\right), \left[\frac{5}{4}, \frac{4}{3}\right), \left[\frac{4}{3}, \frac{3}{2}\right), \left[\frac{3}{2}, 2\right)$, следующую из (9).

Значению $k_i = 1$ соответствует, как ранее было показано, $p_i \in [2, \infty)$.

2.4. Определение сплошности заполнения заданного рабочего диапазона НС $[Q^{min}, Q^{max}]$ ГАРЗ НСА i -го типа.

Сплошность $S_{m_i^1}$ есть отношение суммы длин занятых ГАРЗ насосов НС к длине диапазона. Это отношение определяет возможность НС подать в сеть любое количество воды из диапазона $[Q^{min}, Q^{max}]$. Именно для определения $S_{m_i^1}$ и было рассчитано ранее в п. 2.3 k_i – количество НСА i -го типа, с АРЗ которых происходит дальнейшее объединение (без «пустых» зон) АРЗ насосов. При этом возможно несколько вариантов. Рассмотрим далее все возможные случаи.

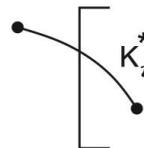
2.4.1. Объединение (спайка) АРЗ происходит до Q^{min} , т.е.

$$k_i Q_i^0 \leq Q^{min} \text{ и поэтому } S_{m_i^1} = 1.$$

2.4.2. Спайка произошла внутри рабочего диапазона $[Q^{min}, Q^{max}]$.

В этом случае потребуются учитывать краевой эффект только на Q^{min} , который будем учитывать на основе первой АРХ, вошедшей в диапазон - k_i^* АРХ НСА i -го типа. Возможны только два варианта. Для наглядности каждый вариант будем сопровождать геометрической схемой, иллюстрирующей его суть.

Вариант а) – k_i^* -я АРХ пересекает вертикаль Q^{min} :



$$\Rightarrow \begin{cases} k_i^* Q_i^0 \leq Q^{min} \\ k_i^* Q_i^{act} > Q^{min} \end{cases} \quad (10)$$

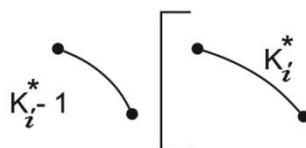
В этом случае для расчета $S_{m_i^1}$ следует определить общую длину всех пустых зон («щелей») между АРЗ НСА в диапазоне $[k_i^* Q_i^{act}, k_i Q_i^0]$, т.к. с $k_i Q_i^0$ начинается сплошная активная рабочая зона НСА внутри $[Q^{min}, Q^{max}]$. Общая длина пустых зон между АРЗ НСА i -го типа на $[Q^{min}, Q^{max}]$ тогда равна

$$L_i = \sum_{l=1}^{k_i - k_i^*} [(k_i^* + l) Q_i^0 - (k_i^* + l - 1) Q_i^{act}] = \frac{(k_i^* + k_i + 1) Q_i^0 - (k_i^* + k_i - 1) Q_i^{act}}{2} (k_i - k_i^*), \quad (11)$$

а сплошность АРЗ на $[Q^{min}, Q^{max}]$ равна

$$S_{m_i^1} = \frac{Q^{max} - Q^{min} - L_i}{Q^{max} - Q^{min}}. \quad (12)$$

Вариант б) – первая вошедшая в диапазон $[Q^{min}, Q^{max}]$ k_i^* -я АРХ не пересекает вертикаль Q^{min} :



$$\Rightarrow \begin{cases} (k_i^* - 1) Q_i^{act} \leq Q^{min} \\ k_i^* Q^{min} > Q^{min} \end{cases} \quad (13)$$

В этом случае первая «щель» между АРЗ НСА в $[Q^{min}, Q^{max}]$ имеет длину $(k_i^* Q_i^0 - Q^{min})$, а сумма длин остальных рассчитывается по формуле (11). Получим

$$S_{m_i^1} = \frac{Q^{max} - Q^{min} - (k_i^* Q_i^{min} + L_i)}{Q^{max} - Q^{min}}. \quad (14)$$

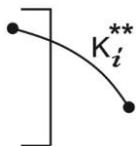
2.4.3. Спайка АРЗ НСА i -го типа происходит за рабочей зоной $[Q^{min}, Q^{max}]$ НС.

В этом случае по k_i определяется только сама ситуация, т.е. что

$$k_i Q^{min} \geq Q^{max},$$

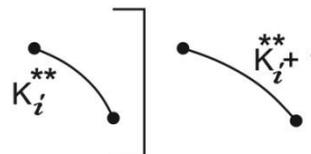
а краевые эффекты на $[Q^{min}, Q^{max}]$ будут определяться на основе k_i^* , k_i^{**} , где k_i^* – номер первой АРЗ, а k_i^{**} – последней АРЗ НС в диапазоне $[Q^{min}, Q^{max}]$. Условия по k_i^* описаны выше – варианты а) и б). Для k_i^{**} возможны два аналогичных варианта а'), б').

Вариант а')



$$\Rightarrow \begin{cases} k_i^{**} Q^{min} < Q^{max} \\ k_i^{**} Q_i^{act} \geq Q^{max} \end{cases} \quad (15)$$

Вариант б')

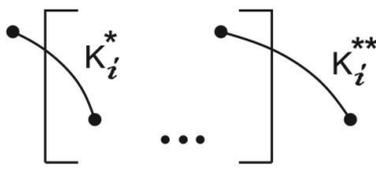


$$\Rightarrow \begin{cases} k_i^{**} Q_i^{act} < Q^{max} \\ (k_i^{**} + 1) Q_i^0 \geq Q^{max} \end{cases} \quad (16)$$

2.4.4. Объединяя полученные граничные условия на Q^{min} и на Q^{max} , получим следующие четыре варианта:

а)- а'), а)- б'), б)- а'), б)- б').

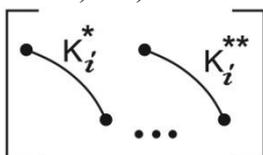
Вариант а)- а')



$$\Rightarrow L_i = \sum_{l=1}^{k_i^{**} - k_i^*} [(k_i^* + l) Q^{min} - (k_i^* + l - 1) Q_i^{act}] = \frac{(k_i^* + k_i^{**} + 1) Q_i^0 - (k_i^* + k_i^{**} - 1) Q_i^{act}}{2} (k_i^{**} - k_i^*). \quad (17)$$

$$S_{m_i} = \frac{Q^{max} - Q^{min} - L_i}{Q^{max} - Q^{min}}. \quad (18)$$

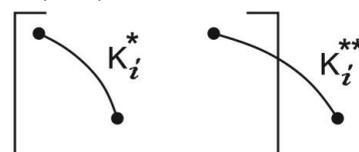
Вариант а)- б')



$$\Rightarrow S_{m_i} = \frac{Q^{max} - Q^{min} - (L_i + Q^{max} - k_i^{**} Q_i^{act})}{Q^{max} - Q^{min}}, \quad (19)$$

где L_i вычисляется по (17).

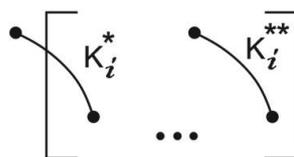
Вариант б)- а')



$$\Rightarrow S_{m_i} = \frac{Q^{max} - Q^{min} - (L_i + k_i^* Q_i^0 - Q^{max})}{Q^{max} - Q^{min}}, \quad (20)$$

где L_i вычисляется по (17).

Вариант б)- б’):



$$\Rightarrow S_{m_i} = \frac{Q^{max} - Q^{min} - (L_i + k_i^* Q_i^0 - Q^{min} + Q^{max} - k_i^{**} Q_i^{act})}{Q^{max} - Q^{min}}, \quad (21)$$

где L_i вычисляется по (17).

Таким образом, сплошность ГАРЗ НСА в $[Q^{min}, Q^{max}]$ определяется по формулам (10)-(21).

3. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Был проведен вычислительный эксперимент по определению оптимальных решений задачи выбора НСА для НС, работающей в диапазоне $[260, 1300]$ м³/час при $\hat{H} = 80$ м. При этом $Q^{max} = 1300$ м³/час соответствует максимальному потоку в магистральном трубопроводе в г. Армавир, в расчете которого принимали участие авторы статьи [4, 5].

Таблица 1

ЗАДАВАЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

| | | | |
|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------|
| Q^0 (м ³ /час) | \bar{Q} (м ³ /час) | Q^1 (м ³ /час) | \hat{H} (м) |
| 260 | 780 | 1300 | 80 |

Таблица 2

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ И ВЫБОРА НСА

| Тип НСА | РЗ НСА (м ³ /час) | АРЗ (м ³ /час) | Количество НСА (шт.) | | | N (квт/час) | $N\bar{m}_i$ | Напор НСА (м) | | | $S_{m_i^1}$ | $N\bar{m}_i$ с учетом $S_{m_i^1}$ |
|-------------|------------------------------|---------------------------|----------------------|-------------|---------|-------------|--------------|---------------|-------------|---------|-------------|-----------------------------------|
| | | | m_i^0 | \bar{m}_i | m_i^1 | | | H_i^0 | \bar{H}_i | H_i^1 | | |
| ЦНС 105-98 | 80-130 | 80-130 | 2 | 6 | 10 | 48 | 288 | 84 | 83 | 83 | 1 | 288 |
| ЦНС 180-85 | 130-220 | 130-200 | 2 | 4 | 7 | 66 | 264 | 97 | 95 | 81 | 1 | 264 |
| ЦНС 300-120 | 225-375 | 225-360 | 1 | 3 | 4 | 100 | 300 | 132 | 130 | 110 | 0,928 | 321,6 |

Таблица 3

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ, ДЕНЕЖНЫХ, ВОДНЫХ ЗАТРАТ НА 10 ЛЕТ ЭКСПЛУАТАЦИИ

| Тип НСА | Количество НСА | Энергетические затраты (квт/час) | Затраты (руб.) | Доля избыточного энергопотребления и использования водных ресурсов |
|-------------|----------------|----------------------------------|----------------|--|
| ЦНС 105-98 | 10 | 24883200 | 99532800 | - |
| ЦНС 180-85 | 7 | 22809600 | 95238400 | - |
| ЦНС 300-120 | 4 | 34560000 | 138240000 | 7,2% |

Как видно, наилучшим по энерго- и водосбережению является вариант использования в НС насосно-силовых агрегатов ЦНС 180-85.

4. ОПТИМИЗАЦИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОДЫ В МТ

Пусть известен график почасового водопотребления от МТ на текущий малый период (порядка 15 дней). В отличие от графика водопотребления (24 ступени) график работы НС по техническим условиям может иметь не более нескольких ступеней. В работах [6, 7] задача наилучшего равномерного приближения t ступенями почасового графика сведена к задаче наилучшего равномерного приближения сеточной функции t линейными

сплайнами и решена на основе специального вида динамического программирования. Перерасход энергетических и водных ресурсов при этом минимален. На рис. 3 представлена информация разработанного модуля программной системы управления диспетчеру НС. В центре рисунка дан рекомендуемый оптимальный 6-ступенчатый график работы НС (тонкая линия) и заданный 24-часовой график водопотребления (жирная линия).

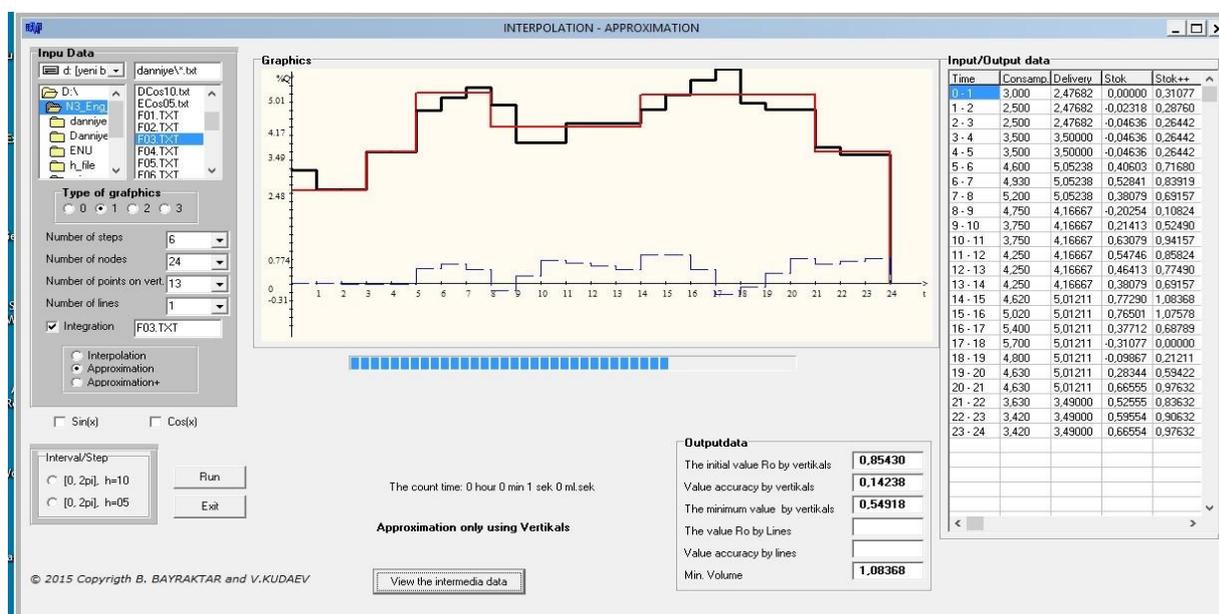


Рис. 3. Информация системы управления диспетчеру сети водоснабжения

ЛИТЕРАТУРА

1. Рычагов В.В., Флоринский М.М. Насосы и насосные станции. М.: Колос, 1975.
2. Турк В.И., Минаев А.В., Карелин В.Я. Насосы и насосные станции. М.: Стройиздат, 1976.
3. Абрамов Н.Н. и др. Расчет водопроводных сетей. М.: Стройиздат, 1983. С. 278.
4. Кудаев В.Ч., Буздов А.К. Математическое моделирование и компьютерное проектирование магистральных трубопроводов, встраиваемых в сеть городского водоснабжения // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2018. № 4(24). С. 109-116. DOI: 10.18454/2079-6641-2018-24-4-109-116.
5. Буздов А.К., Титов А.С. Виртуальное прототипирование проектируемого протяженного трубопровода, встраиваемого в сеть городского водоснабжения // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2019. № 4 (90). С. 5-13.
6. Кудаев В.Ч. Решение задач наилучшего приближения сеточной функции линейными сплайнами и их приложения к принятию решений // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2015. № 4(66). С. 20-27.
7. Bayraktar B., Kudaev V. About an algorithm of function approximation by the linear splines. // TWMS J. App. Eng. Math. 2016. V. 6. N. 2. Pp. 333-341.

REFERENCES

1. Rychagov V.V., Florinsky M.M. *Nasosy i nasosnyye stantsii* [Pumps and pumping stations]. M.: Kolos, 1975.

2. Turk V.I., Minaev A.V., Karelin V.Ya. *Nasosy i nasosnyye stantsii* [Pumps and pumping stations]. M.: Stroyizdat, 1976.
3. Abramov N.N. et al. *Raschet vodoprovodnykh setey* [Calculation of water supply networks]. M.: Stroyizdat, 1983. P. 278.
4. Kudaev V.Ch., Buzdov A.K. *Matematicheskoye modelirovaniye i komp'yuternoye proyektirovaniye magistral'nykh truboprovodov, vstraivayemykh v set' gorodskogo vodosnabzheniya* [Mathematical modeling and computer design of main pipelines built into the urban water supply network] // Vestnik KRAUNC. Phys.-mat. Sciences. 2018. No. 4 (24). Pp. 109-116. DOI: 10.18454 / 2079-6641-2018-24-4-109-116.
5. Buzdov A.K., Titov A.S. *Virtual'noye prototipirovaniye proyektiruyemogo protyazhennogo truboprovoda, vstraivayemogo v set' gorodskogo vodosnabzheniya* [Virtual prototyping of a projected extended pipeline built into the urban water supply network] // News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2019. No. 4 (90). Pp. 5-13.
6. Kudaev V.Ch. *Resheniye zadach nailuchshego priblizheniya setochnoy funktsii lineynymi splaynami i ikh prilozheniya k prinyatiyu resheniy* [Solving problems of the best approximation of a grid function by linear splines and their application to decision making] // News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2015. No. 4 (66). Pp. 20-27.
8. Bayraktar B., Kudaev V. About an algorithm of function approximation by the linear splines // TWMS J. App. Eng. Math. 2016. V. 6. N. 2. Pp. 333-341.

SOLUTION OF THE PROBLEM OF OPTIMUM SELECTION OF THE TYPE AND NUMBER OF PUMPING AND POWER UNITS PUMPING STATION FOR MAIN PIPELINE IN THE URBAN WATER SUPPLY NETWORK

V.Ch. KUDAEV, A.K. BUZDOV

Institute of Computer Science and Problems of Regional Management –
branch of Federal public budgetary scientific establishment «Federal scientific center
«Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences»
360000, KBR, Nalchik, 37-a, I. Armand St.
E-mail: iipru@rambler.ru

At present, the urgent task of optimizing the urban water supply network can be solved more efficiently. The most important element of the network is the pumping station (PS). The article presents a solution to the problem of choosing the type and number of main pumping and power units (PPU) PS, providing the most economical energy consumption and maximum water saving while providing consumers with the required amount of water, which, as it is known, varies depending on the time of day and season of the year. The problem is solved on the basis of mathematical modeling of the active group operating characteristic (AGOC) of each type of PPU within the specified limits of water supply from the PS to the network with a given pressure, determination of its continuity and selection of the best from the NSA groups. In this case, intermediate efficiency indicators are: energy consumption to ensure the main mode of water supply to the network, the number of PPU, assessment of the AGOC continuity.

Keywords: pumping station, city water supply network, main pipeline, minimization of energy consumption, maximization of water saving, mathematical modeling.

Работа поступила 09.08.2020 г.

Сведения об авторах:

Кудаев Валерий Черимович, к.ф.-м.н., в.н.с., заведующий отделом «Автоматизация и информатизация региональных систем управления» Института информатики и проблем регионального управления – филиала Кабардино-Балкарского научного центра РАН.

360000, КБР, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а.

Тел.: 8-960-430-26-39.

E-mail: iipru@rambler.ru

Буздов Аслан Каральбиевич, к.ф.-м.н., с.н.с. отдела «Автоматизация и информатизация региональных систем управления» Института информатики и проблем регионального управления – филиала Кабардино-Балкарского научного центра РАН.

360000, КБР, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а.

Тел.: 8 (8662) 42-65-52.

E-mail: abuzdov@rambler.ru

Information about the authors:

Kudaev Valery Cherimovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher, head of Department «Automation and Informatization of Regional Management Systems» of the Institute of of Computer Science and Problems of Regional Management, a branch of the Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.

360000, KBR, Nalchik, I. Armand's street, 37-a.

Ph.: 8-960-430-26-39.

E-mail: vchkudaev@mail.ru

Buzdov Aslan Karalbievich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, senior researcher of the Department «Automation and Informatization of Regional Management Systems» of the Institute of of Computer Science and Problems of Regional Management, a branch of the Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.

360000, KBR, Nalchik, I. Armand street, 37-a.

Ph.: 8 (8662) 42-65-52.

E-mail: abuzdov@rambler.ru