

УДК 696.41

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИНЯТЫХ НОРМАТИВНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ НА ЗАТРАТЫ В ТРУБОПРОВОДЫ СИСТЕМЫ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ МНОГОКВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА

**В.А. ЯКОВЛЕВА**, канд. техн. наук **А.М. НИЯКОВСКИЙ**<sup>1</sup>  
**Е.Ю. ДОРОФЕЕВ**, **А.А. НИЯКОВСКИЙ**  
 (Полоцкий государственный университет)  
 ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5106-6278><sup>1</sup>

Разработана целевая функция затрат в создание сети подающих трубопроводов системы горячего водоснабжения многоквартирного жилого дома, выражающая взаимосвязь между капитальными затратами, текущими издержками и принятыми для расчета вариантами нормативного часового расхода горячей воды одним потребителем. Предложенная целевая функция позволяет выполнять дискретную оптимизацию подающей трубопроводной сети по критерию нормативного расхода горячей воды, используемого при гидравлическом расчете. Установлено, что темп изменения суммарных приведенных затрат мало зависит от темпа изменения принимаемых в расчет величин нормативного расхода горячей воды. Таким образом, величина нормативного расхода горячей воды практически не влияет на суммарные приведенные затраты в подающие трубопроводы системы горячего водоснабжения.

**Ключевые слова:** целевая функция затрат, приведенные затраты, капитальные затраты, эксплуатационные затраты, системы горячего водоснабжения, гидравлический расчет, материальная характеристика трубопроводной сети, нормативные показатели.

**Введение.** В предыдущей работе авторов было показано, что при расчете систем горячего водоснабжения (СГВ) многоквартирных жилых домов материальная характеристика подающих трубопроводов системы горячего водоснабжения, а также потери давления в них, демонстрируют противоположную тенденцию: с увеличением часового расхода воды одним потребителем, выбранного в качестве нормативного, материальная характеристика сети возрастает, а потери давления снижаются [1; 2]. Это позволяет предположить, что в таком случае капитальные затраты в трубопроводную сеть должны возрастать, а эксплуатационные, связанные с затратами на перекачку воды, – снижаться; при этом суммарные приведенные затраты могут меняться незначительно.

Цель исследования: разработать и исследовать целевую функцию, определяющую влияние принятого в расчет нормативного часового расхода воды одним потребителем на величины капитальных, эксплуатационных и приведенных затрат в сети трубопроводов горячего водоснабжения многоквартирных жилых домов.

Объект исследования – СГВ многоквартирных жилых домов. Предмет исследования – функциональная связь между расходами воды в СГВ и затратами в трубопроводную сеть. В качестве основного метода исследования используется метод численного моделирования.

**Разработка целевой функции.** Вопросы определения оптимальных диаметров трубопроводных сетей и потерь давления в них при заданных расходах перемещаемой среды исследовались в работах различных авторов. В частности, научно обоснованная методика выбора оптимального распределения давлений в магистралах и нахождения экономически целесообразной материальной характеристики сети приведена в работах, посвященных технико-экономическим проблемам теплоснабжения [3; 4].

В этих работах показано, что материальная характеристика трубопроводной сети, вычисляемая по уравнению (1), является масштабом капитальных затрат в сети и одновременно представляет собой нелинейную функцию удельных потерь давления, которые, в свою очередь, выступают в качестве масштаба эксплуатационных издержек, связанных с затратами электрической энергии на перекачку теплоносителя. При этом целевая функция для оптимизации финансовых затрат в общем виде выражается следующим уравнением [4], руб./год:

$$П = \frac{1}{T} \cdot K + A + C_{эл} \cdot Э + I_{пр} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $П$  – приведенные затраты в трубопроводную сеть, руб./год;  
 $T$  – нормативный срок окупаемости капитальных вложений, лет;  
 $A$  – амортизационные отчисления от стоимости трубопроводной сети, руб./год;  
 $K$  – капитальные (единовременные) затраты в строительство трубопроводной сети, руб.;  
 $Э$  – затраты электрической энергии на перекачку перемещаемой трубопроводами среды, кВт·ч/год;  
 $C_{эл}$  – стоимость электрической энергии, руб./кВт·ч;  
 $I_{пр}$  – прочие эксплуатационные издержки, руб./год.

Входящие в уравнение (1) величины капитальных затрат  $K$  и затрат электрической энергии  $Э$  являются функцией заданных удельных потерь давления  $R$ , использованных при расчете диаметров главной магистрали

трубопроводной сети. Причем установлено, что для любого заданного потокораспределения в целом выполняется следующее условие [3]:

$$M_0 R_0 = M_k R_k^{0,19} = M_{k+1} R_{k+1}^{0,19} = \dots = M_{m-1} R_{m-1}^{0,19} = M_m R_m^{0,19} = M \cdot R^{0,19} = \text{const}, \quad (2)$$

где  $M$  и  $R$  – соответственно материальная характеристика трубопроводной сети,  $\text{м}^2$ , и удельные потери давления в главном расчетном направлении трубопроводной сети,  $\text{Па/м}$  (индексы при  $M$  и  $R$  означают номер варианта величины удельных потерь давления  $R$ , для которого была получена соответствующая материальная характеристика  $M$ ).

Из уравнения (2) следует, что материальная характеристика  $M$  для любого текущего значения удельных потерь давления в главной магистрали тепловой сети  $R_x$  может быть вычислена, если известна материальная характеристика сети  $M_0$  при произвольно заданной величине удельных потерь давления  $R_0$ , с помощью уравнения [3],  $\text{м}^2$ :

$$M = M_0 \frac{R_0^{0,19}}{R_x^{0,19}}, \quad (3)$$

где  $R_x$  – некоторое текущее значение удельных потерь давления, принятых для расчета диаметров участков главного направления трубопроводной сети, отличающееся от произвольно выбранного значения  $R_0$ ,  $\text{Па/м}$ .

Материальная характеристика трубопроводной сети формирует величину капитальных затрат. Ее величина нелинейно снижается по мере роста удельных потерь давления в главной магистрали, которые, в свою очередь, при заданном расходе перемещаемой среды предопределяют величину затрат электрической энергии, идущей на привод перекачивающих насосов.

Капитальные затраты могут быть выражены через материальную характеристику следующим образом [4], руб.:

$$K = a \sum_1^n l_i + b \cdot M, \quad (4)$$

где  $a$  – удельные затраты в линейную часть трубопроводной сети, не связанные с диаметром трубопроводов, руб./м;  
 $b$  – удельные затраты в трубопроводную сеть, связанные с диаметром трубопроводов (стоимость единицы материальной характеристики), руб./ $\text{м}^2$ ;

$l_i$  – длина участка трубопроводной сети, м.

Затраты электрической энергии на перекачку перемещаемой по трубопроводной сети среды могут быть выражены с помощью известного из механики жидкости и газов уравнения, кВт·ч:

$$\mathcal{E} = \frac{G_{\text{ср}} \cdot \Delta P_{\text{н}}}{\rho \eta_{\text{н.у}}} \cdot z, \quad (5)$$

где  $G_{\text{ср}}$  – средняя за год подача насоса, кг/с;

$\Delta P_{\text{н}}$  – перепад давления, создаваемый насосом, Па;

$z$  – число часов работы насоса в течении года, ч/год;

$\rho$  – плотность перемещаемой среды, кг/ $\text{м}^3$ ;

$\eta_{\text{н.у}}$  – КПД насосной установки.

Совместное решение уравнений (1), (3)–(5) позволяет получить обобщенную целевую функцию для приведенных затрат в трубопроводную сеть, выраженную через единый аргумент – удельные потери давления для расчета главного магистрального направления трубопроводной сети,  $R_x$ , руб./год:

$$\Pi = \frac{1}{T} \cdot \left( a \sum_1^n l_i + b \cdot M_0 \frac{R_0^{0,19}}{R_x^{0,19}} \right) + A + C_{\text{эл}} \cdot \frac{G_{\text{ср}} \cdot \Delta P_{\text{н}}}{\rho \eta_{\text{н.у}}} \cdot z + I_{\text{пр}} \rightarrow \min. \quad (6)$$

Перепад давления, создаваемый насосом, складывается из потерь давления в сети ( $\Delta P_{\text{с}}$ ) при движении по трубопроводной сети перемещаемой среды и дополнительных потерь, не связанных с перемещением среды, которые могут считаться относительно постоянными. Это позволяет исключить их при расчете целевой функции, так как в процессе дифференцирования они выпадут. Точно так же можно полагать условно постоянными прочие эксплуатационные издержки и исключить их из дальнейшего расчета, так как при дифференцировании они тоже выпадут.

Потери давления в сети могут быть представлены в следующем виде, Па:

$$\Delta P_{\text{с}} = R_x L (1 + \alpha), \quad (7)$$

где  $L$  – длина главного расчетного направления трубопроводной сети, м;

$\alpha$  – доля потерь давления в местных сопротивлениях.

Амортизационные издержки вычисляются в виде установленного процента от капитальных затрат, поэтому их можно учесть введением коэффициента  $A$  при первом слагаемом в уравнении (6).

С учетом этих уточнений уравнение (6) может быть представлено как функция аргумента  $R_x$  в следующем виде:

$$P = \frac{(1+A)}{T} \cdot \left( a \sum_1^n l_i + b \cdot M_0 \frac{R_0^{0,19}}{R_x^{0,19}} \right) + C_{эл} \cdot \frac{G_{ср} \cdot R_x L(1+\alpha)}{\rho n_{н.у.}} \cdot z \rightarrow \min. \quad (8)$$

Данное уравнение позволяет выполнить поиск локального минимума путем нахождения первой производной по аргументу  $R_x$  и приравнивания ее нулю, поскольку выражаемая им функция является непрерывной и определена во всем рассматриваемом диапазоне значений аргумента.

Однако полученное уравнение не может быть непосредственно использовано для оптимизации трубопроводной сети горячего водоснабжения и должно быть модифицировано по следующим причинам:

- 1) при его выводе режим течения жидкости по трубам был положен турбулентный, в автомобильной области, коэффициент гидравлического трения  $\lambda$  вычислялся по формуле Шифринсона;
- 2) абсолютная эквивалентная шероховатость стенок трубопроводов принималась как для стальных труб равной 0,5 мм, в то время как современные системы горячего водоснабжения проектируются из пластиковых труб;
- 3) материальная характеристика трубопроводов горячего водоснабжения, в отличие от теплопроводов магистральных тепловых сетей, принимает дискретные значения в силу конструктивных особенностей подводов, стояков и разводящих трубопроводов, диаметры которых предопределены присоединительными размерами водоразборной арматуры и удобствами выполнения СМР.

Граница турбулентного режима определяется значениями чисел Рейнольдса, превышающими величину переходного значения  $Re_{пер}$ . Это условие может быть записано в виде:

$$Re \geq Re_{пер}; \quad Re_{пер} = \frac{560 \cdot d}{K_3}, \quad (9)$$

где  $d$  – диаметр трубопровода, м;

$K_3$  – абсолютная эквивалентная шероховатость, м.

В системах горячего водоснабжения диаметры применяемых труб, как правило, меньше 0,065 м, что в случае применения стальных трубопроводов должно было свидетельствовать в пользу низких значений  $Re_{пер}$ . Однако, как уже отмечалось выше, в современных СГВ применяются преимущественно пластиковые трубы, например, из полипропилена, абсолютная эквивалентная шероховатость которых значительно меньше, чем у стальных труб, и составляет 0,01–0,02 мм [5; 6] (против 0,5 мм у стальных теплопроводов тепловых сетей). В силу указанных причин переходное значение числа Рейнольдса для пластиковых труб в 25–50 раз больше, чем для стальных такого же внутреннего диаметра. В результате течение воды в пластиковых трубах СГВ не является турбулентным, коэффициент гидравлического трения вычислять по формуле Шифринсона нельзя, то есть пластиковые трубы при их использовании в СГВ являются гидравлически гладкими, следовательно, коэффициент гидравлического трения для них будет зависеть от числа  $Re$ .

Для преодоления возникающих в связи с изложенным выше трудностей целевую функцию для оптимизации потерь давлений и материальной характеристики трубопроводов СГВ следует преобразовать к виду, допускающему численное решение в пределах заданных дискретных вариантов материальной характеристики:

$$\left\{ P_j = \frac{(1+A)}{T} \cdot \left( \sum_i^n (a_i \cdot l_i + b_i \cdot d_i \cdot l_i) \right)_j + C_{эл} \cdot \frac{G_j \cdot \Delta P_j \cdot z}{\rho n_{н.у.,j}} \right\} \rightarrow \min, \quad (10)$$

где  $j$  – номер дискретного варианта материальной характеристики, полученной для заданных вариантов нормативных расходов горячей воды;

$i, n$  – соответственно номер участка трубопроводной сети и общее число таких участков;

$\Delta P_j$  – потери давления вдоль главного расчетного направления трубопроводной сети для каждого варианта нормативных расходов воды, Па;

$m$  – число рассматриваемых вариантов нормативных расходов.

Уравнение (10) решается методом численного дифференцирования и нахождения локальных экстремумов путем сравнения полученных результатов для целевой функции. Для этого при выбранных значениях нормативных расходов воды следует выполнить гидравлический расчет, определить материальную характеристику сети, вычислить в каждом случае потери давления на главном расчетном направлении, уточнить КПД насоса и определить приведенные затраты  $P_j$ .

При этом дополнительно потребуется задать массивы данных для коэффициентов  $a$  и  $b$ , что можно сделать путем анализа объектных строительных смет конкретных объектов СГВ.

**Исследование разработанной целевой функции.** Целевая функция (10) записана в форме, предполагающей построение дискретного ряда вариантов материальной характеристики и его исследование. Отдельной оценке

подлежат показатели  $a$ ,  $b$ ,  $A$ . Первые два из них являются удельными стоимостными показателями, а третий представляет собой поток ежегодной капитальной текущей стоимости, приходящийся на единицу капитальных затрат в трубопроводную сеть СГВ, принимаемый в долях от нее.

Показатель  $A$  может быть условно принят равным норме амортизации или величине процента в оплату возвратных инвестиций. Что же касается стоимостных показателей  $a$  и  $b$ , то их величина может быть оценена на основе проведения анализа объектных строительных смет законченных проектированием реальных объектов СГВ или путем поэлементной оценки стоимости материалов и комплектующих, расходуемых на создание подающей трубопроводной сети СГВ с отнесением на них стоимости СМР, исчисленной по укрупненным показателям от стоимости материалов и комплектующих.

Амортизационные отчисления СГВ определяются сроком их предстоящей службы, который для трубопроводов из полимерных материалов может быть принят равным 40 лет [7]. Следовательно, норма амортизации в этом случае составит (при использовании линейного метода расчета) 2,5%.

Стоимость полимерных трубопроводов и их комплектующих различных диаметров может быть определена по ценовым предложениям изготовителей и поставщиков [8]. Стоимость строительно-монтажных работ может быть оценена, исходя из следующих укрупненных показателей по отношению к стоимости материалов, изделий и конструкций [9]: заработная плата – 45%, эксплуатация машин и механизмов – 30%, общехозяйственные и общепроизводственные расходы – 27%.

Таким образом, стоимость СМР и общие капитальные затраты в СГВ могут быть вычислены по следующим укрупненным формулам:

$$C_{\text{смп}} = (0,45 + 0,3 + 0,27) \cdot C_{\text{мат}}, \quad (11)$$

$$K = C_{\text{смп}} + C_{\text{мат}}, \quad (12)$$

Используя уравнения (11) и (12), для каждого диаметра трубопроводов можно вычислить затраты на СМР и общие капитальные затраты. В таблице 1 представлены результаты таких расчетов, произведенных на основе анализа ценовых предложений заводов-изготовителей и поставщиков труб и трубных элементов. При составлении таблицы условно принято, что затраты на выполнение СМР делятся между показателями  $a$  и  $b$  в соотношении 1:3, причем величина  $a$  принята одинаковой для всех диаметров труб и равной среднему значению 1/4 стоимости СМР, а стоимость материалов целиком отнесена к показателю  $b$ .

Таблица 1. – Оценка стоимостных показателей конструктивных элементов трубопроводной сети СГВ

Трубы полипропиленовые VALTEC PPR PN 20	Стоимость материалов и комплектующих, $C_{\text{мат}}$ , руб./м	Материальная характеристика трубопровода единичной длины, $m^2$	Удельная стоимость СМР, руб./м	Удельная стоимость материальной характеристики (с учетом СМР), $b$ , руб./ $m^2$	Удельные затраты в линейную часть трубопроводной сети, не связанные с диаметром трубопроводов, $a$ , руб./м
20 мм	2,13	0,02	2,173	187,97	2,454
25 мм	3,38	0,025	3,448	238,63	2,454
32 мм	5,49	0,032	5,600	302,81	2,454
40 мм	8,25	0,04	8,415	364,03	2,454
50 мм	14,16	0,05	14,443	499,85	2,454
63 мм	24,33	0,063	24,817	681,63	2,454

На основании приведенных в таблице 1 стоимостных показателей и данных конструктивных расчетов определены капитальные затраты в подающую трубопроводную сеть СГВ для различных вариантов нормативных расходов горячей воды (таблицы 2–4).

Таблица 2. – Расчет капитальных затрат в подающие трубопроводы СГВ при нормативном расходе горячей воды одним потребителем в час наибольшего водопотребления, равном 8 л/ч (вариант  $j = 1$ , на 1 стояк)

№ участка	Длина участка $l_i$ , м	Диаметр участка $d_i$ , м	Материальная характеристика участка, $d_i \cdot l_i$ , $m^2$	Стоимостной показатель $b$ , руб./ $m^2$	Стоимостной показатель $a$ , руб./м	Стоимость материальной характеристики участка, руб.	Затраты условно не зависящие от диаметра участка, руб.	Капитальные затраты в участок $\left( \sum_i^n (a_i \cdot l_i + b_i \cdot d_i \cdot l_i) \right)_j$ руб.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.1	1,6	0,025	0,04	238,63	2,454	9,5452	3,9264	13,4716

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.2	6,8	0,025	0,17	238,63	2,454	40,567	16,687	57,254
1.3	4,4	0,025	0,11	238,63	2,454	26,249	10,798	37,047
1.4	4,4	0,025	0,11	238,63	2,454	26,249	10,798	37,047
1.5	4,4	0,025	0,11	238,63	2,454	26,249	10,798	37,047
1.6	4,4	0,025	0,11	238,63	2,454	26,249	10,798	37,047
1.7	4,4	0,025	0,11	238,63	2,454	26,249	10,798	37,047
1.8	4,4	0,025	0,11	238,63	2,454	26,249	10,798	37,047
1.9	4,4	0,032	0,1408	302,81	2,454	42,636	10,798	53,433
1.10	3,1	0,032	0,0992	302,81	2,454	30,039	7,607	37,646
2	5,6	0,032	0,1792	302,81	2,454	54,264	13,742	68,006
3	3,5	0,032	0,112	302,81	2,454	33,915	8,589	42,504
4	10,1	0,04	0,404	364,03	2,454	147,068	24,785	171,854
5	0,5	0,04	0,02	364,03	2,454	7,2806	1,2270	8,5076
6	10	0,04	0,4	364,03	2,454	145,612	24,540	170,152
7	3,5	0,05	0,175	499,85	2,454	87,474	8,589	96,063
8	7,2	0,05	0,36	499,85	2,454	179,946	17,669	197,615

Таблица 3. – Расчет капитальных затрат в подающие трубопроводы СГВ при нормативном расходе горячей воды одним потребителем в час наибольшего водопотребления, равном 10 л/ч (вариант  $j = 2$ , на 1 стояк)

№ участка	Длина участка $l_i$ , м	Диаметр участка $d_i$ , м	Материальная характеристика участка, $d_i \cdot l_i$ , м <sup>2</sup>	Стоимостной показатель $b$ , руб./м <sup>2</sup>	Стоимостной показатель $a$ , руб./м	Стоимость материальной характеристики участка, руб.	Затраты условно не зависящие от диаметра участка, руб.	Капитальные затраты в участок $\left( \sum_i^n (a_i \cdot l_i + b_i \cdot d_i \cdot l_i) \right)_j$ руб.
1.1	1,6	0,025	0,04	238,63	2,454	9,5452	3,9264	13,4716
1.2	6,8	0,025	0,17	238,63	2,454	40,567	16,687	57,254
1.3	4,4	0,025	0,11	238,63	2,454	26,249	10,798	37,047
1.4	4,4	0,025	0,11	238,63	2,454	26,249	10,798	37,047
1.5	4,4	0,025	0,11	238,63	2,454	26,249	10,798	37,047
1.6	4,4	0,025	0,11	238,63	2,454	26,249	10,798	37,047
1.7	4,4	0,032	0,1408	238,63	2,454	33,599	10,798	44,397
1.8	4,4	0,032	0,1408	238,63	2,454	33,599	10,798	44,397
1.9	4,4	0,032	0,1408	302,81	2,454	42,636	10,798	53,433
1.10	3,1	0,032	0,0992	302,81	2,454	30,039	7,607	37,646
2	5,6	0,032	0,1792	302,81	2,454	54,264	13,742	68,006
3	3,5	0,032	0,112	302,81	2,454	33,915	8,589	42,504
4	10,1	0,040	0,404	364,03	2,454	147,068	24,785	171,854
5	0,5	0,040	0,02	364,03	2,454	7,2806	1,2270	8,5076
6	10	0,040	0,4	364,03	2,454	145,612	24,540	170,152
7	3,5	0,050	0,175	499,85	2,454	87,474	8,589	96,063
8	7,2	0,050	0,36	499,85	2,454	179,946	17,669	197,615

Таблица 4. – Расчет капитальных затрат в подающие трубопроводы СГВ при нормативном расходе горячей воды одним потребителем в час наибольшего водопотребления, равном 12 л/ч (вариант  $j = 3$ , на 1 стояк)

№ участка	Длина участка $l_i$ , м	Диаметр участка $d_i$ , м	Материальная характеристика участка, $d_i \cdot l_i$ , м <sup>2</sup>	Стоимостной показатель $b$ , руб./м <sup>2</sup>	Стоимостной показатель $a$ , руб./м	Стоимость материальной характеристики участка, руб.	Затраты условно не зависящие от диаметра участка, руб.	Капитальные затраты в участок $\left( \sum_i^n (a_i \cdot l_i + b_i \cdot d_i \cdot l_i) \right)_j$ руб.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.1	1,6	0,025	0,04	238,63	2,454	9,5452	3,9264	13,4716

Окончание таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.2	6,8	0,025	0,17	238,63	2,454	40,567	16,687	57,254
1.3	4,4	0,025	0,11	238,63	2,454	26,249	10,798	37,047
1.4	4,4	0,025	0,11	238,63	2,454	26,249	10,798	37,047
1.5	4,4	0,025	0,11	238,63	2,454	26,249	10,798	37,047
1.6	4,4	0,032	0,1408	238,63	2,454	33,599	10,798	44,397
1.7	4,4	0,032	0,1408	238,63	2,454	33,599	10,798	44,397
1.8	4,4	0,032	0,1408	238,63	2,454	33,599	10,798	44,397
1.9	4,4	0,032	0,1408	302,81	2,454	42,636	10,798	53,433
1.10	3,1	0,040	0,124	302,81	2,454	37,548	7,607	45,156
2	5,6	0,040	0,224	302,81	2,454	67,829	13,742	81,572
3	3,5	0,040	0,14	302,81	2,454	42,393	8,589	50,982
4	10,1	0,040	0,404	364,03	2,454	147,068	24,785	171,854
5	0,5	0,040	0,02	364,03	2,454	7,2806	1,2270	8,5076
6	10	0,050	0,5	364,03	2,454	182,015	24,540	206,555
7	3,5	0,050	0,175	499,85	2,454	87,474	8,589	96,063
8	7,2	0,050	0,36	499,85	2,454	179,946	17,669	197,615

Второе слагаемое в уравнении (10) характеризует собой годовые затраты на покупку электрической энергии, используемой для привода повысительно-циркуляционных насосов системы водоснабжения. Объем потребляемой электрической энергии на эти цели определен для трех вариантов нормативного потребления воды одним жителем в час наибольшего водопотребления. Результаты расчетов представлены в таблице 5.

Таблица 5. – Потребление электрической энергии на привод насосов водоснабжения при различных значениях нормативного расхода горячей воды одним потребителем в час наибольшего водопотребления

Показатель	Значение показателя		
	8,0	10,0	12,0
Вариант нормативного расхода, л/ч	8,0	10,0	12,0
Объем потребления электроэнергии, кВт·ч/год	615,19	622,24	626,75

Результаты расчета приведенных затрат в СГВ при различных вариантах нормативных расходов воды одним потребителем в час наибольшего водопотребления приведены в таблице 6. Величина тарифа на электрическую энергию определена в соответствии с Постановлением Министерства антимонопольного регулирования и торговли Республики Беларусь от 5 января 2021 года № 2 в размере 0,2092 руб./кВт·ч [10]. Срок окупаемости капитальных вложений принят равным 10 годам.

Таблица 6. – Расчет капитальных, эксплуатационных (электроэнергия) и приведенных затрат при различных значениях нормативного расхода горячей воды одним потребителем в час наибольшего водопотребления

Показатель	Значение показателя		
	8,0	10,0	12,0
Вариант нормативного расхода, л/ч	8,0	10,0	12,0
Капитальные затраты, приведенные к одному году, руб./год	549,78	567,86	592,13
Стоимость годового потребления электрической энергии, руб./год	128,70	130,17	131,12
Приведенные затраты, руб./год	678,48	698,04	723,25
Материальная характеристика, м <sup>2</sup>	14,97	15,71	16,55

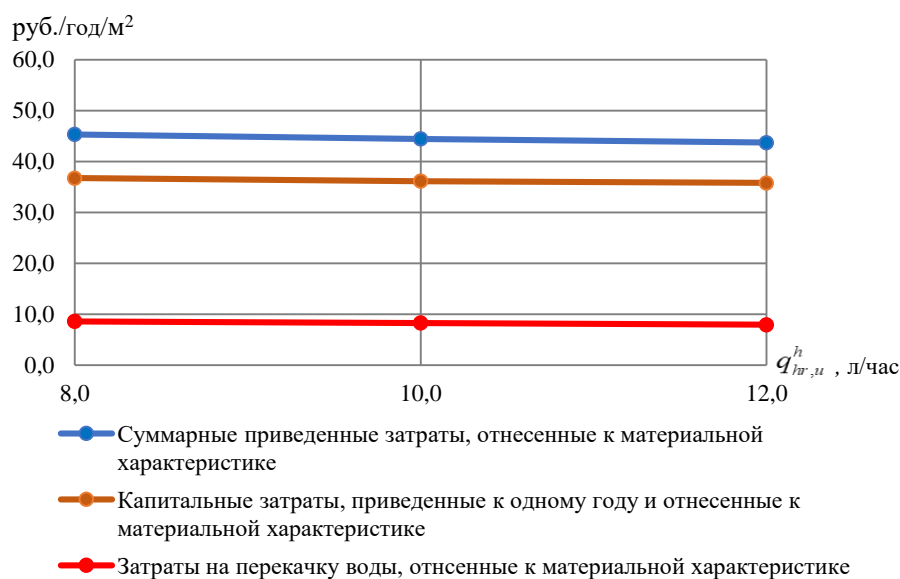
По итогам выполненных расчетов исследовано влияние принятой величины нормативного расхода горячей воды на приведенные и эксплуатационные затраты.

На рисунке 1 представлены графические зависимости изменения относительных показателей – суммарных приведенных затрат, капитальных затрат, приведенных к одному году, и годовых затрат на перекачку воды, отнесенных к величине материальной характеристики сети подающих трубопроводов СГВ.

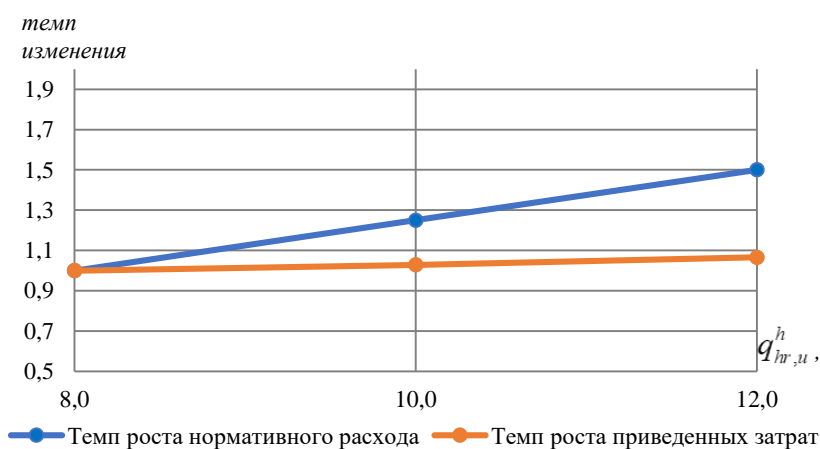
Построенные графики показывают, что показатели, характеризующие все виды материальных затрат в СГВ, мало изменяются в зависимости от принятого в расчет нормативного расхода горячей воды одним потребителем в час наибольшего водопотребления.

Для подтверждения этого вывода исследована взаимосвязь между темпами роста нормативного расхода воды, принимаемого в расчет, и темпами изменения суммарных приведенных затрат, соответствующих каждому варианту этого нормативного расхода.

Полученные сравнительные результаты темпов изменения приведенных затрат и нормативных расходов  $q_{hr,u}^h$  представлены на рисунке 2.



**Рисунок 1. – Изменение отнесенных к материальной характеристике суммарных приведенных затрат, капитальных затрат и затрат на перекачку воды в зависимости от принятого при расчете сети нормативного расхода горячей воды**



**Рисунок 2. – Сравнение темпа роста суммарных приведенных затрат в трубопроводы СГВ и темпа роста принятого при расчете сети нормативного расхода горячей воды в зависимости от величины этого расхода**

Как следует из рисунка 2, при росте принятого в расчет нормативного расхода воды  $q_{hr,u}^h$  на 50% суммарные приведенные затраты в сеть трубопроводов возрастают только на 6,5%.

**Заключение.** На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Разработана целевая функция затрат в создание подающей трубопроводной сети СГВ, выражающая взаимосвязь между суммарными приведенными затратами, капитальными затратами, текущими издержками и вариантами нормативного расхода горячей воды, принимаемыми для выполнения конструктивного расчета подающих трубопроводов СГВ. Предложенная целевая функция позволяет выполнять дискретную оптимизацию подающей трубопроводной сети по критерию нормативного часового расхода горячей воды одним потребителем, используемого при гидравлическом расчете.

2. Установлено, что темпы роста суммарных приведенных затрат практически не зависят от темпов роста принимаемых в расчет величин нормативного расхода горячей воды: возрастание нормативного расхода в 1,5 раза ведет к росту суммарных приведенных затрат лишь в 1,065 раза.

3. Полученные результаты позволяют полагать, что выбор величины нормативного расхода горячей воды для выполнения гидравлического расчета подающих трубопроводов СГВ практически не влияет на ее суммарные приведенные затраты.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование влияния заданных нормативных величин расходов воды в системах горячего водоснабжения на конструктивные и эксплуатационные параметры подающих трубопроводов / А.М. Нияковский [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Стр-во. Прикладные науки. – 2021. – № 8. – С. 107–111.
2. Нияковский, А.М. Особенности подбора пластинчатых теплообменников горячего водоснабжения в модернизируемых тепловых пунктах жилых зданий / А.М. Нияковский, А.А. Нияковский, А.Ю. Сидорова // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Стр-во. Прикладные науки. – 2018. – № 8. – С. 158–164.
3. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети : учеб. для вузов / Е.Я. Соколов. – 5-е изд., перераб. – М. : Энергониздат, 1982. – 360 с.
4. Теплоснабжение : учеб. для вузов / А.А. Ионин [и др.] ; под ред. А.А. Ионина. – М. : Стройиздат, 1982. – 336 с.
5. Система Экопластик. Инструкция по монтажу [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://wavin-ekoplastik.ru/wp-content/uploads/file/instrukciya\\_ekoplastik.pdf](https://wavin-ekoplastik.ru/wp-content/uploads/file/instrukciya_ekoplastik.pdf). – Дата доступа: 14.06.2021.
6. Добромыслов, А.Я. Таблицы для гидравлических расчетов напорных труб из полимерных материалов / А.Я. Добромыслов. – М. : ВНИИМП, 2004. – 209 с.
7. Об установлении нормативных сроков службы основных средств и признании утратившими силу некоторых постановлений Министерства экономики Республики Беларусь : постановление М-ва экономики Респ. Беларусь, 30 сент. 2011 г., № 161 // Национальный реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2011. – № 129. – 8/24359.
8. Каталоги полимерных труб ООО «Скайтерм» [Электронный ресурс]. – 2006. – Режим доступа: <https://teplokom.by/product/polipropilenovaya-truba-valtec-ppr-pn-20-20-mm>. – Дата доступа: 14.06.2021.
9. Захаренко, З.Н. Сметная стоимость строительства : учеб.-метод. пособие / З.Н. Захаренко. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 38 с.
10. Об изменении постановлений Министерства антимонопольного регулирования и торговли Республики Беларусь : постановление М-ва антимонопольной политики и торговли Респ. Беларусь, 5 янв. 2021 г., № 2 // Национальный центр правовой информации Респ. Беларусь. – 2021. – 8/36254.

Поступила 15.11.2021

**INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE STANDARD HOURLY WATER CONSUMPTION  
ON THE FINANCIAL COSTS OF CREATING THE SUPPLY PIPELINES  
OF THE HOT WATER SUPPLY SYSTEM OF AN APARTMENT BUILDING**

**V. YAKAULEVA, A. NIYAKOVSKII, E. DOROFEEV, A. NIYAKOVSKI**

*The objective function of the costs of creating a network of supply pipelines for the hot water supply system of an apartment building has been developed, expressing the relationship between capital costs, current costs and options for the standard hourly consumption of hot water by one consumer for calculation. The proposed objective function makes it possible to perform discrete optimization of the network of supply pipelines according to the criterion of the standard flow rate of hot water used in hydraulic calculation. It is established that the rate of change of the total reduced costs does not strongly depend on the rate of change of the taken into account values of the standard consumption of hot water. This, the value of the standard hot water consumption practically does not affect the overall reduced costs in the supply pipelines of the hot water supply system.*

**Keywords:** *objective function of costs, capital costs, operating costs, hot water supply systems, hydraulic calculation, calculation method, material characteristics of the pipeline network, regulatory indicators.*