



УДК 628.292.65.011.4

doi: 10.55287/22275398_2026_60_158

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ВОДЫ ПО НАПОРНЫМ ТРУБОПРОВОДАМ ИЗ РАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. А. Орлов^{*}
О. Г. Примин^{**}
В. А. Гришина^{*}

^{*} Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва

^{**} Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН), г. Москва

Аннотация

В статье рассмотрены шесть типов материалов напорных трубопроводов для определения их энергоэффективности при транспортировке воды. Приведены сведения об опытной установке для проведения экспериментов и их сущности. На основе результатов гидравлических экспериментов выявлены величины удельного потребления электроэнергии на каждом из трубопроводов с построением их зависимостей от расхода транспортируемой воды в целях выявления наиболее экономичного варианта проектирования трубопроводных систем в период их нового строительства или при бестраншейной реконструкции ветхих трубопроводов.

Ключевые слова

Экспериментальная установка, трубопроводы, строительство, реконструкция, гидравлические эксперименты, экономия электроэнергии.

Дата поступления в редакцию

08.10.2026

Дата принятия к печати

09.10.2026

Введение

Тематика энерго- и ресурсосбережения на напорном трубопроводном транспорте, включая напорные дюкерные переходы, затрагивает комплексные вопросы реализации организационных, правовых, технических, технологических, экономических и экологических мероприятий [1, 2].

Ключевыми аспектами при проектировании новых трубопроводных систем, а также при реновации (модернизации) ветхих напорных трубопроводов является обеспечение их соответствующими энергетическими и прочностными показателями, обеспечивающими условия долговременной и энергоэффективной работы насосов и трубопроводных коммуникаций [3 – 9].

Решение проблем эффективной транспортировки воды в напорных трубопроводах систем водоснабжения, связанных с ресурсо- и энергосбережением, прежде всего, зависит от их технического состояния. Для обеспечения сохранности воды и уменьшения затрат на электроэнергию при её транспортировке водопроводная сеть должна удовлетворять ряду требований, в частности, иметь высокую

коррозионную стойкость к воздействию воды, агрессивных грунтов, блуждающих токов, выполняться по возможности из долговечных материалов с малыми коэффициентами гидравлического трения, при которых потери напора в сети должны быть минимальными [10–12].

Решением одного из аспектов перечисленных проблем, а именно, связанных с экономией электроэнергии при транспортировке воды по напорным водопроводным сетям может служить проведение экспериментальных исследований с различными типами материалов труб (внутренних защитных покрытий) на специально оборудованных гидравлических стендах [13].

Материалы и методы

Материалами являются напорные трубопроводы из разных материалов, исследуемые на предмет выбора в качестве наиболее эффективного варианта по сбережению электроэнергии при транспортировке воды.

Методом исследований является проведение гидравлических экспериментов с замером потребления электроэнергии при течении воды по комбинированной трубопроводной системе, поочередно включающей магистраль из стальных труб с учетом потерь по длине и местных сопротивлений (повороты, крестовины и т. д.) и соответствующие участки труб из двух материалов одинаковой протяженности с условным диаметром 100 мм (0,1 м).

Для реализации натурных экспериментов использовался установленный в лаборатории кафедры «Водоснабжение и водоотведение» гидравлический стенд (рис. 1) мерной длины, позволяющий проводить испытания по замкнутой системе с заполнением водопроводной водой накопительной емкости, подачи из нее воды насосом (GRUNDFOS марки CRE90-2-2) с частотным регулированием скорости вращения к соответствующим трубопроводам, определением расхода воды ультразвуковым расходомером US-800, фиксацию давлений манометром ТМ-110Р и потребление электроэнергии трехфазным счетчиком «Меркурий 231» с последующим сливом воды обратно в накопительную емкость, что образует замкнутый цикл движения жидкости.

На рисунке приведена схема для 6-ти типов трубопроводов (см. рис. 1).

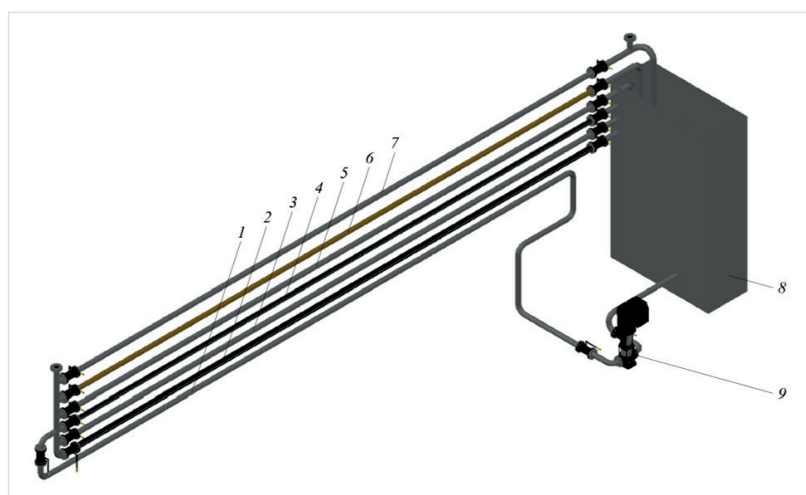


Рис. 1. Аксонометрическая схема опытной установки с шестью типами труб: 1 — стальной трубопровод; 2 — трубопровод из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ); 3 — стальной с цементно-песчаным покрытием (ЦПП); 4 — стальной с полимерным рукавом (ПР); 5 — стеклопластиковый; 6 — трубопровод из непластифицированного поливинилхлорида (НПВХ); 7 — стальной с полимерным покрытием Subcote; 8 — накопительная емкость; 9 — насос

Цель экспериментов состояла в определении наиболее эффективного варианта по сбережению энергозатрат при транспортировке воды по напорной комбинированной трубопроводной системы с вычлениением потребления электроэнергии на 1 м длины для каждого из участков трубопроводной системы.

Результаты и дискуссии

Методика проведения исследований для каждого из перечисленных трубопроводов состояла из двух базовых этапов:

- определения величины потребления электроэнергии на каждом из участков вышеуказанных трубопроводов с помощью электрического счетчика для широкого диапазона расходов воды, определяемых ультразвуковым расходомером (счетчиком жидкости) US-800, а также фиксацией напора воды перед ее входом на соответствующий участок трассы;
- расчета затрачиваемой электроэнергии (абсолютной для комбинированной трассы и удельной-относительной для каждого участка соответствующего трубопровода) на перекачку воды в течение установленного временного промежутка и определение показателей экономии электроэнергии для каждого из участков трубопроводов на единицу их длины с учетом величины транспортируемого расхода и фиксируемого напора.

В качестве примера представлены результаты экспериментов для двух типов исследуемых участков труб (ВЧШГ и стального с покрытием Subcote), а также графические зависимости изменения потребления электроэнергии от расхода воды для всех типов трубопроводов. Образец ведомости с детальными опытными и расчетными данными по трубопроводу из ВЧШГ и стальному с покрытием Subcote представлен в *табл. 1*.

Таблица 1

Ведомость (протокол) результатов исследований по потреблению электроэнергии на трубопроводах из разных материалов при времени работы насоса по перекачке воды по трубопроводу в течение 1 ч

Материал трубы (защитного покрытия)	Средний расход воды по расходомеру, Q, м³/с	Давление в период экспериментов Н, м вод. столба / скорости воды V, м/с	Значения показаний на электросчетчике в начале и конце точек отсчета, кВт·ч		Абсолютная величина потребления электроэнергии Э _{аб} , кВт·ч
			В начале (Э _н)	В конце (Э _к)	
ВЧШГ	0,00605	4,3 / 0,771	1,72	2,13	0,41
	0,00722	4,8 / 0,920	2,30	2,85	0,55
	0,00822	5,4 / 1,047	2,85	3,55	0,70
	0,00944	6,0 / 1,203	3,55	4,46	0,91
	0,01042	7,4 / 1,327	4,46	5,66	1,20
	0,01146	8,1 / 1,459	7,88	8,24	1,44
	0,01269	8,2 / 1,616	8,24	8,67	1,72
	0,01356	10,0 / 1,727	8,67	9,20	2,12
	0,0146	10,9 / 1,859	9,2	9,83	2,52

Сталь с Subcote	0,00482	4,1 / 0,615	18,72	18,80	0,32
	0,00636	5,4 / 0,811	18,80	18,94	0,56
	0,00808	5,8 / 1,029	18,94	19,11	0,68
	0,00952	5,9 / 1,213	19,11	19,33	0,88
	0,01093	6,1 / 1,392	19,33	19,60	1,08
	0,01213	7,1 / 1,545	19,60	19,83	1,38
	0,01408	7,8 / 1,794	19,83	20,12	1,74
	0,01526	8,6 / 1,944	20,12	20,47	2,10

Величина абсолютного энергопотребления $\Theta_{аб}$ (кВт) на один метр длины трубы определяется по результатам обработки данных из последнего столбца **табл. 1** как частное от деления средней величины $\Theta_{аб}$ потребления электроэнергии за 1 ч на общую длину трассы соответствующего трубопровода при различных расходах воды.

В свою очередь, величина удельно-относительного энергопотребления $\Theta_{от}$ (кВт) на один метр длины трубы определяется по результатам обработки данных из последнего столбца **табл. 1** как частное от деления доли средней величины $\Theta_{аб}$ потребления электроэнергии за 1 ч на длину трассы соответствующего трубопровода при различных расходах воды.

Расчет величин абсолютного и удельно-относительного энергопотребления, соответственно, при общей комбинированной длине трассы и 2-х представленных испытываемых участков трубопроводов приведены ниже [14].

Комбинированная трасса с участком трубы из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ)

На трассе количество вентилей 4 ($\xi = 6$ для каждого вентиля), поворотов 6 ($\xi = 1,2$ для каждого) и ответвлений 1 ($\xi = 1,2$). Расчет величин потерь напора для каждого из местных сопротивлений h проводится по формулам Дарси: $h = \xi V^2 / 2g$. Тогда суммарные потери напора на вентиле, повороте и ответвлении составят:

$$h_{\text{вент.}} = 4\xi V^2 / 2g = 4 \cdot 6 \cdot V^2 / 19,62 = 1,223 \cdot V^2,$$

$$h_{\text{пов.}} = 6\xi V^2 / 2g = 6 \cdot 1,2 \cdot V^2 / 19,62 = 0,367 \cdot V^2,$$

$$h_{\text{отв.}} = 1\xi V^2 / 2g = 1 \cdot 1,2 \cdot V^2 / 19,62 = 0,0612 \cdot V^2.$$

Следующий этап расчета состоит в определении величины «дополнительной линейной» протяженности базовой трассы за счет потерь напора в местных сопротивлениях как эквивалента увеличения ее длины. Эта операция производится для каждого значения скорости (расхода), полученного в рамках экспериментальных исследований.

- при скорости 0,771 м/с: $h_{\text{вент.}} = 1,223 \cdot V^2 = 1,223 \cdot 0,7712 = 0,727$ м; $h_{\text{пов.}} = 0,367 \cdot 0,7712 = 0,218$ м; $h_{\text{отв.}} = 0,0612 \cdot 0,7712 = 0,0364$ м.
- $$\Sigma h = 0,727 + 0,218 + 0,0364 = 0,9814 \text{ м.}$$

- при скорости 0,92 м/с: $h_{\text{вент.}} = 1,223 \cdot V^2 = 1,223 \cdot 0,922 = 1,0349$ м; $h_{\text{пов.}} = 0,367 \cdot 0,922 = 0,311$ м;
 $h_{\text{отв.}} = 0,0612 \cdot 0,922 = 0,052$ м.
 $\Sigma h = 1,0349 + 0,311 + 0,052 = 1,3979$ м.
- при скорости 1,047 м/с: $h_{\text{вент.}} = 1,223 \cdot V^2 = 1,223 \cdot 1,0472 = 1,3406$ м; $h_{\text{пов.}} = 0,367 \cdot 1,0472 = 0,402$ м;
 $h_{\text{отв.}} = 0,0612 \cdot 1,0472 = 0,067$ м.
 $\Sigma h = 1,3406 + 0,402 + 0,067 = 1,8096$ м.
- при скорости 1,203 м/с: $h_{\text{вент.}} = 1,223 \cdot V^2 = 1,223 \cdot 1,2032 = 1,77$ м; $h_{\text{пов.}} = 0,367 \cdot 1,2032 = 0,531$ м;
 $h_{\text{отв.}} = 0,0612 \cdot 1,2032 = 0,088$ м.
 $\Sigma h = 1,77 + 0,531 + 0,088 = 2,409$ м.
- при скорости 1,327 м/с: $h_{\text{вент.}} = 1,223 \cdot V^2 = 1,223 \cdot 1,3272 = 2,1536$ м; $h_{\text{пов.}} = 0,367 \cdot 1,3272 = 0,576$ м;
 $h_{\text{отв.}} = 0,0612 \cdot 1,3272 = 0,108$ м.
 $\Sigma h = 2,1536 + 0,576 + 0,108 = 2,8376$ м.
- при скорости 1,459 м/с: $h_{\text{вент.}} = 1,223 \cdot V^2 = 1,223 \cdot 1,4592 = 2,602$ м; $h_{\text{пов.}} = 0,367 \cdot 1,4592 = 0,781$ м;
 $h_{\text{отв.}} = 0,0612 \cdot 1,4592 = 0,13$ м.
 $\Sigma h = 2,602 + 0,781 + 0,13 = 3,413$ м.
- при скорости 1,616 м/с: $h_{\text{вент.}} = 1,223 \cdot V^2 = 1,223 \cdot 1,6162 = 3,1968$ м; $h_{\text{пов.}} = 0,367 \cdot 1,6162 = 0,958$ м;
 $h_{\text{отв.}} = 0,0612 \cdot 1,6162 = 0,159$ м.
 $\Sigma h = 3,1968 + 0,985 + 0,159 = 4,3408$ м.
- при скорости 1,727 м/с: $h_{\text{вент.}} = 1,223 \cdot V^2 = 1,223 \cdot 1,7272 = 3,6463$ м; $h_{\text{пов.}} = 0,367 \cdot 1,7272 = 1,094$ м;
 $h_{\text{отв.}} = 0,0612 \cdot 1,7272 = 0,182$ м.
 $\Sigma h = 3,6463 + 1,094 + 0,182 = 4,9223$ м.
- при скорости 1,859 м/с: $h_{\text{вент.}} = 1,223 \cdot V^2 = 1,223 \cdot 1,8592 = 4,216$ м; $h_{\text{пов.}} = 0,367 \cdot 1,8592 = 1,268$ м;
 $h_{\text{отв.}} = 0,0612 \cdot 1,8592 = 0,211$ м.
 $\Sigma h = 4,216 + 1,268 + 0,211 = 5,695$ м.

Пример 1

Для случая $\Sigma h = 0,9814$ м потери напора на местные сопротивления (вентиля) Σh представлены как величина эквивалентная потерям по длине. Тогда «дополнительная линейная» протяженность трассы L трубопровода диаметром $d = 0,1$ м с потерями по длине $\Sigma h = 0,9814$ м может быть рассчитана из уравнения:

$$\Sigma h = ALQ^2 = 0,9814.$$

Величина L составит:

$$L = 0,9814/AQ^2 = 0,9814/0,0017d - 5,1359 \cdot 0,006052 = 0,9814/0,0017 \cdot 0,1 - 5,1359 \cdot 0,006052 = 115,34 \text{ м.}$$

Пример 2

При $\sum h$ равно 5,695 величина L составит:

$$L = 5,695/AQ^2 = 5,695/0,0017 \cdot d - 5,1359 \cdot 0,006052 = 0,9814/0,0017 \cdot 0,1 - 5,1359 \cdot 0,01462 = 114,9 \text{ м}$$

(и т. д. значения L для массива других скоростей близки, поэтому принимается среднее значение удлинения трассы $L = 115 \text{ м}$).

Таким образом, новая протяженность комбинированной трассы с учетом эквивалента увеличения ее длины для соответствующего случая использования в составе участка из труб ВЧШГ составит:

$$l_{\text{ВЧШГ}} = (2,1 + 1,1 + 1,0 + 13,3 + 0,7) + 0,5 + (14,3 + 0,05) = 33,05 + 115,0 = 148,05 \text{ м}$$

(при любой скорости или расходе течения воды).

Для трубы из ВЧШГ абсолютное (т. к. включает подводящие трубопроводы из стали и ВЧШГ) энергопотребление $\Theta_{\text{аб}}$ на 1 м общей длины трассы трубопроводов при перекачке воды насосом в течение 1 ч составляет:

- при расходе 21,8 м³/ч $\Theta_{\text{аб}} = 0,41/148,05 = 0,00276 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$;
- при расходе 26,01 м³/ч $\Theta_{\text{аб}} = 0,55/148,05 = 0,00371 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$;
- при расходе 29,6 м³/ч $\Theta_{\text{аб}} = 0,7/148,05 = 0,00473 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$;
- при расходе 34,01 м³/ч $\Theta_{\text{аб}} = 0,89/148,05 = 0,006 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$;
- при расходе 37,5 м³/ч $\Theta_{\text{аб}} = 1,2/148,05 = 0,008105 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$;
- при расходе 41,27 м³/ч $\Theta_{\text{аб}} = 1,44/148,05 = 0,00972 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$;
- при расходе 45,71 м³/ч $\Theta_{\text{аб}} = 1,72/148,05 = 0,01162 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$;
- при расходе 48,84 м³/ч $\Theta_{\text{аб}} = 2,12/148,05 = 0,01432 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$;
- при расходе 52,56 м³/ч $\Theta_{\text{аб}} = 2,52/148,05 = 0,01702 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$.

При суммарной протяженности трассы 148,05 м на долю участка трубы из ВЧШГ протяженностью 13,75 м приходится $148,05/13,75 = 10,77$ часть потребления электроэнергии. Тогда для этого участка удельно-относительное (т. к. включает только длину исследуемого участка из труб ВЧШГ) энергопотребление $\Theta_{\text{от}}$ на 1 м при перекачке воды насосом в течение 1 ч составляет:

- при расходе 21,8 м³/ч $\Theta_{\text{от}} = 0,00276/10,77 = 0,000256 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$;
- при расходе 26,01 м³/ч $\Theta_{\text{от}} = 0,00371/10,77 = 0,0003444 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$;
- при расходе 29,6 м³/ч $\Theta_{\text{от}} = 0,00473/10,77 = 0,000439 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$;
- при расходе 34,01 м³/ч $\Theta_{\text{от}} = 0,006/10,77 = 0,000557 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$;
- при расходе 37,5 м³/ч $\Theta_{\text{от}} = 0,008105/10,77 = 0,0007525 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$;
- при расходе 41,27 м³/ч $\Theta_{\text{от}} = 0,00972/10,77 = 0,0009025 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$;
- при расходе 45,71 м³/ч $\Theta_{\text{от}} = 0,01162/10,77 = 0,00107 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$;
- при расходе 48,84 м³/ч $\Theta_{\text{от}} = 0,01432/10,77 = 0,001329 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$;
- при расходе 52,56 м³/ч $\Theta_{\text{от}} = 0,01702/10,77 = 0,00158 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$.

По результатам проведения опытов на шести трубопроводах ниже представлен сводный график зависимости $\Theta = f(Q)$ для всех материалов трубопроводов, где по оси ординат представлены значения потребляемой электроэнергии Θ (кВт·ч), а по оси абсцисс диапазоны расходов транспортируемой воды Q (м³/с) (рис. 2).

Как следует из графиков на **рис. 2**, наиболее выгодным материалов в части обеспечения эффекта энергосбережения при транспортировке воды по напорному трубопроводу в широком диапазоне расходов воды (от 0,008 до 0,018 м³/с) имеет стеклопластиковая труба, что корреспондируется с данными других исследователей [15 – 17].

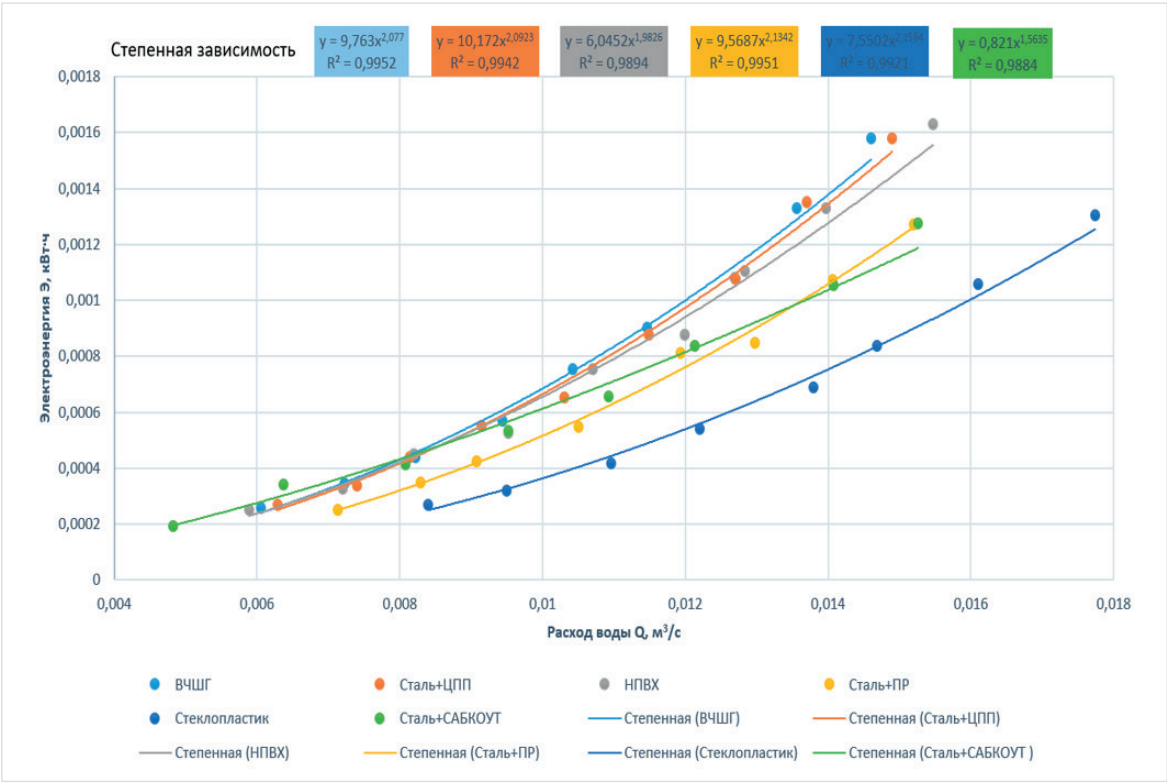


Рис. 2. Сводные графики зависимости потребления электроэнергии от расхода транспортируемой воды в трубопроводах из разных материалов

Выводы

1. Проведены эксперименты по специальной методике на гидравлическом стенде для труб из шести разных материалов изготовления, что позволило определить и рекомендовать для проектирования и строительства наиболее эффективные в плане экономии электроэнергии материалы трубопровода при его эксплуатации в напорном режиме.
2. Установлены преимущества в экономии электроэнергии при транспортировке воды в напорном режиме при использовании трубопровода из стеклопластика, как имеющего наименьшие гидравлические сопротивления.

Библиографический список

1. Гусев Б. В., Кальгин А. А., Павлинова И. И., Федотов М. Ю. Экология городов и ресурсосберегающие технологии. М.: Издательство АСВ. 2026. 250 с.
2. Коршаков А. А. Ресурсо- и энергосбережение при транспортировке и хранении углеводородов. Ростов-на Дону: Издательство Феникс. 2016. 403 с.

3. Лезнов Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. М.: Энергоатомиздат. 2006. 359 с.
4. Орлов В. А. Бестраншейные технологии и энергосбережение. М: АСВ. 2021. 123 с.
5. Houghtalen R., Osman A., Akan A., Hwang N. Fundamentals of Hydraulic Engineering Systems, 5th edition. Pearson. 2016. 528 p.
6. Андрианов А. П., Хургин Р. Е. Анализ нарушений нормальной работы водоотводящей сети и показатели ее надежности // Системные технологии. 2024. № 1 (50). С. 54–61.
7. Андрианов А. П., Ефремов Р. В., Хургин Р. Е. Проблемы современного водоснабжения // Системные технологии. 2022. № 3 (44). С. 5–13.
8. Павлинова И. И., Хургин Р. Е., Шелапутина Н. А. Восстановление систем водоснабжения городов и населенных пунктов при техногенных катастрофах // Системные технологии. 2022. № 4 (45). С. 43–48.
9. Хургин Р. Е., Кулагина А. С. Современный взгляд на водопотребление городов // Системные технологии. 2021. № 1 (38). С. 62–65.
10. Отставнов А. А., Устюгов В. А., Дмитриев А. Н. К вопросу минимизации затрат на устройство и эксплуатацию подземных водопроводов // Журнал «Сантехника». 2016. № 9. С. 38–43.
11. Орлов В. А. Водоснабжение и водоотведение с использованием бестраншейных технологий. Комплекс тестов и практических заданий. Москва-Вологда.: Издательство Инфра-Инженерия». 2026. 139 с.
12. Grigoras G. Istrate M. Energy consumption estimation in water distribution systems using fuzzy techniques // Environmental Engineering and Management Journal, 2008, Vol. 9, Nr. 2, ISSN: 1843-3707].
13. Орлов В. А., Аверкеев И. А., Коблова Е. В. Гидравлическая составляющая альтернативных материалов труб и защитных покрытий при бестраншейной реновации напорных трубопроводов // Журнал Водоснабжение и санитарная техника. 2013. № 6. С. 22–26.
14. Орлов В. А., Зоткин С. П., Иншакова М. А. и др. «Анализ потребления электроэнергии при транспортировке воды по напорным трубопроводам из альтернативных материалов». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021615221 от 06.04.2021.
15. Николаев А. П., Киселёва Р. З., Киселёв А. П. и др. Гидротехнические сооружения водохозяйственного назначения // Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2020. 96 с.
16. Shi Y., Xu L., Hou R., Zhang D., Zhang D. Seismic Response and Damage Analysis of Large Inverted Siphon Structure. Shock and Vibration. 2022. Article 5404908. DOI: 10.1155/2022/5404908.
17. Wang H., Du W., Li X. et al. The Study of Water Hammer Protection for Water Pipelines Containing Reversed Siphon Pipes With Special Large-Scale Dimensions. Geofluids. 2025. Article 1930735.

ENERGY SAVING WHEN TRANSPORTING WATER THROUGH PRESSURE PIPELINES MADE OF VARIOUS MATERIALS

V. A. Orlov*

O. G. Primin**
V. A. Grishina*

* Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow

** Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN), Moscow

Abstract

The article examines six types of materials used in pressure pipelines to determine their energy efficiency in water transportation. Information is provided about the experimental setup for conducting experiments and their essence. Based on the results of hydraulic experiments, the specific energy consumption values for each pipeline are identified, and their dependencies on the flow rate of the transported water are plotted in order to identify the most cost-effective design option for pipeline systems during their new construction or in the trenchless reconstruction of old pipelines.

The Keywords

Experimental installation, pipelines, construction, reconstruction, hydraulic experiments, energy saving.

Date of receipt in edition

08.10.2026

Date of acceptance for printing

09.10.2026

Ссылка для цитирования:

В. А. Орлов, О. Г. Примин, В. А. Гришина. Энергосбережение при транспортировке воды по напорным трубопроводам из разных материалов. — Системные технологии. — 2026. — № 3 (60). — С. 158 – 166.