



DOI: 10.15593/2224-9826/2019.4.06  
УДК 697.34

## **ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПРОКЛАДКИ ТРУБОПРОВОДОВ НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ**

**Е.А. Бирюзова<sup>1</sup>, А.С. Глуханов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия

### О СТАТЬЕ

Получена: 01 июля 2019  
Принята: 05 октября 2019  
Опубликована: 10 января 2020

#### *Ключевые слова:*

энергоэффективность, потери теплоты, канальная и бесканальная прокладка трубопроводов, тепловая изоляция, система теплоснабжения.

### АННОТАЦИЯ

Через трубопроводы тепловых сетей, из-за большой их протяженности, теряется большое количество тепловой энергии. Поиск технических решений, направленных на повышение энергоэффективности тепловых сетей, является актуальной задачей в настоящее время. Статья посвящена рассмотрению вариантов прокладки трубопроводов тепловых сетей при выполнении проектных работ. В проведенных исследованиях рассматриваются два основных способа подземной прокладки трубопроводов тепловых сетей с выбором наиболее энергоэффективного, с минимальными потерями тепловой энергии. Канальный и бесканальный способы прокладки исследуются при одинаковых конструктивных особенностях и технологических условиях работы трубопроводов тепловых сетей с применением одинакового материала тепловой изоляции. Для каждого варианта определяется необходимая толщина тепловой изоляции по нормированной плотности теплового потока, выполняются тепловые расчеты с определением потерь теплоты и величины температурных полей, образующихся вокруг работающих трубопроводов тепловых сетей. Полученные значения толщины тепловой изоляции при канальном способе прокладки трубопроводов на 30–50 % ниже аналогичных значений при бесканальной прокладке. Величины потерь теплоты, по результатам теплового расчета для рассматриваемых вариантов, при канальном способе прокладки снижаются на 47–65 %. Температурные поля, образующиеся вокруг трубопроводов тепловых сетей при бесканальной прокладке, значительно превышают естественную величину температуры грунта на глубине заложения трубопровода. Это оказывает большое влияние на определение расстояния до смежных трубопроводов и других инженерных коммуникаций, прокладываемых подземно, в зоне действия тепловой сети. Сравнительный анализ полученных результатов дает возможность выделить выбор способа прокладки трубопровода в группу мероприятий, направленных на энергосбережение и повышение энергоэффективности в системах теплоснабжения.

© ПНИПУ

© Бирюзова Елена Александровна – кандидат технических наук, доцент, e-mail: biryuzova@rambler.ru.  
Глуханов Александр Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, e-mail: promo1978@mail.ru.

Elena A. Biryuzova – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: biryuzova@rambler.ru.  
Alexander S. Glukhanov – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: promo1978@mail.ru.

## THE INFLUENCE OF THE METHOD OF LAYING PIPELINES ON THE ENERGY EFFICIENCY OF THE HEATING NETWORK

E.A. Biryuzova<sup>1</sup>, A.S. Glukhanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup>Mozhaisky Military Space Academy, Saint-Petersburg, Russian Federation

### ARTICLE INFO

Received: 01 July 2019  
Accepted: 05 October 2019  
Published: 10 January 2020

#### Keywords:

energy efficiency, heat loss, duct and ductless laying of pipelines, thermal insulation, heat supply system.

### ABSTRACT

Through pipelines of heat networks, due to their large length, a large amount of thermal energy is lost. Identification of technical solutions related to improving the energy efficiency of heating networks is an urgent task at present. The article is devoted to the consideration of options for laying pipelines of heat networks during design work. In the conducted studies, two main methods of underground laying of pipelines of heat networks with the choice of the most energy-efficient, with minimal losses of thermal energy are considered. Channel and channelless laying methods are investigated with the same design features and technological conditions of operation of pipelines of heat networks using the same thermal insulation material. For each option, the required thickness of the thermal insulation is determined by the normalized density of the heat flow, thermal calculations are performed to determine the heat loss and the value of the temperature fields generated around the operating pipelines of the heat networks. The obtained values of the thermal insulation thickness in the channel method of laying pipelines are 30–50 % lower than those in channelless laying. The heat loss values, according to the results of the heat calculation for the options under consideration, in the channel method of laying are reduced by 47–65 %. The temperature fields formed around the pipelines of thermal networks with channelless laying significantly exceed the natural value of the soil temperature at the depth of the pipeline. What has a great influence on the determination of the distance to adjacent pipelines and other utilities, laid underground, in the zone of the thermal network. A comparative analysis of the results obtained makes it possible to single out the choice of the method of laying the pipeline into a group of measures aimed at energy saving and increasing energy efficiency in heating systems.

© PNRPU

## Введение

Энергоэффективность тепловых сетей определяется в соответствии с рекомендациями СП 124.13330.2012 «Тепловые сети» следующим образом:

$$\eta = \frac{\Sigma Q_n}{Q_v}, \quad (1)$$

где  $\Sigma Q_n$  – количество тепловой энергии, полученной потребителями, Вт;  $Q_v$  – количество тепловой энергии, переданной от источника теплоты, Вт.

Энергоэффективность зависит от многих факторов, в том числе от потерь тепловой энергии за счет теплопередачи через теплоизолированные конструкции трубопроводов тепловых сетей, расхода тепловой энергии при транспортировке теплоносителя и других факторов, указанных в СП 124.13330.2012.

Наибольший вклад в общую величину потерь теплоты вносят:

– потери теплоты через теплоизоляционную конструкцию из-за неверно выбранного теплоизоляционного материала, не отвечающего современным требованиям, или из-за отсутствия точного расчета необходимой толщины такого материала согласно СП 61.13330.2012 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов», а также [1–5];

– потери теплоты при транспортировке теплоносителя, т.е. по длине трубопровода, которые во многом зависят от перечисленных выше факторов, а также выбранного способа прокладки трубопроводов [6–11].

Все эти факторы взаимосвязаны друг с другом.

## Основная часть

Рассмотрим более подробно влияние применяемого материала тепловой изоляции на выбор способа прокладки тепловой сети.

Не все современные теплоизоляционные материалы предназначены для подземной бесканальной прокладки. Как правило, при таком способе прокладки применяются трубопроводы в заводской изоляции из ППУ (пенополиуретана) в ПЭ (полиэтиленовой) оболочке [10–13].

Толщина тепловой изоляции, рассчитанная по нормируемой плотности теплового потока, одного участка тепловой сети ( $d_n = 530$  мм) для разных способов подземной прокладки приведена в табл. 1. Исходные данные для расчета обоих вариантов одинаковые, а именно:

- район расположения тепловой сети – Санкт-Петербург;
- средняя глубина заложения трубопровода – 2 м;
- температура грунта на глубине заложения – 7,2 °С;
- среднегодовая температура теплоносителя  $t_w$  – 90/50 °С;
- коэффициент теплопроводности ППУ изоляции – 0,043 Вт/(м·°С);
- начальная температура воздуха в канале – 25–30 °С;
- габаритные размеры канала – 2,4×1,5 м.

Таблица 1

Результаты расчета толщины тепловой изоляции

Table 1

The results of the calculation of the thickness of thermal insulation

Участок	Бесканальная прокладка		Канальная прокладка	
	трубопровод		трубопровод	
	подающий	обратный	подающий	обратный
$d_i$	0,683	0,751	0,635	0,624
$q_l$	84	32	84	32
$r_{tot}$	0,986	1,338	0,731	0,669
$\delta$	0,111	0,077	0,052	0,048
$r_{tot\ из}$	1,330	0,982	0,730	0,669
Параметры канала (КН)				
$d_{эКВ}$	–	–	1,847	
$h$	–	–	2	
$r_k$	–	–	0,196	
$t_k$	–	–	28,637	

Проведенные исследования наглядно показывают, что при канальной прокладке полученные значения толщины тепловой изоляции на 30–50 % ниже аналогичных значений при бесканальной прокладке. Результаты расчета представлены на рис. 1.

Тепловой расчет с определением потерь теплоты через изолированную поверхность трубопровода выполнялся по следующей методике [14, 15].

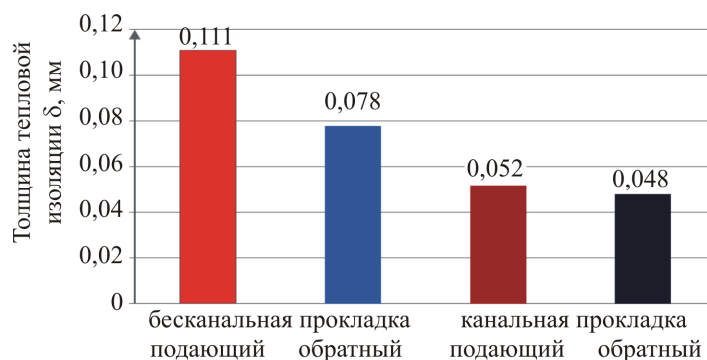


Рис. 1. Толщина тепловой изоляции при различных способах подземной прокладки трубопроводов ТС

Fig. 1. The thickness of thermal insulation for various methods of underground laying of pipelines TC

Плотность теплового потока, Вт/м, определяется по формуле

$$q_l = \frac{t_{из}^B - t_{из}^H}{R_{l\ из}} = 2\pi\lambda_{из} \frac{t_{из}^B - t_{из}^H}{\ln\left(\frac{d_{из}}{d_H}\right)}, \quad (2)$$

где  $t_{из}^B$  – температура внутренней поверхности изоляции, °С;  $t_{из}^H$  – температура наружной поверхности изоляции, °С;  $R_{l\ из}$  – термическое сопротивление изоляционного слоя, (м·°С)/Вт;  $d_{из}$  – наружный диаметр изоляционного слоя, м;  $d_H$  – наружный диаметр изолируемого объекта, м.

Для определения теплового потока через изоляцию необходимо учесть дополнительный тепловой поток через опору, арматуру и другое оборудование тепловой сети, Вт, по формуле

$$Q = q_l \cdot L_p = q_l \cdot (K_{п} \cdot L + \sum L_{доп}), \quad (3)$$

где  $L$  – действительная длина рассчитываемого участка, м;  $L_p$  – расчетная длина трубопровода с учетом дополнительных потерь, м;  $K_{п}$  – коэффициент, учитывающий дополнительный тепловой поток через опоры и подвески, определяется по табл. 2;  $L_{доп}$  – дополнительная длина изолированного трубопровода, эквивалентная тепловому потоку арматуры и фланцевом соединении, установленной на трубопроводе, м.

Результаты расчета приведены в табл. 3.

Результаты теплового расчета, представленные на рис. 2, наглядно демонстрируют снижение потерь теплоты подающим и обратным трубопроводом при канальной прокладке по сравнению с бесканальной прокладкой (на 47–65 %) и, следовательно, повышение энергоэффективности тепловой сети.

Таблица 2

Дополнительный тепловой поток  $K_{п}$

Table 2

Additional heat flow  $K_p$

Вид крепления трубопровода	Коэффициент $K_{п}$ для трубопровода диаметром	
	до 159 мм	более 159 мм
Опора	1,2	1,15
Подвески	1,05	1,05

Результаты расчета теплового потока через изолированную поверхность

Table 3

The results of the calculation of the heat flux through the insulated surface

Величина	Подземная бесканальная прокладка трубопровод		Подземная прокладка в одноячейковом непроходном канале трубопровод	
	подающий	обратный	подающий	обратный
	$q_l$	53,20	7,74	18,48
$Q$	33253	4839	11552	2521
$L$	500			

Пояснения для выполнения расчета температурного поля приведены на рис. 3.

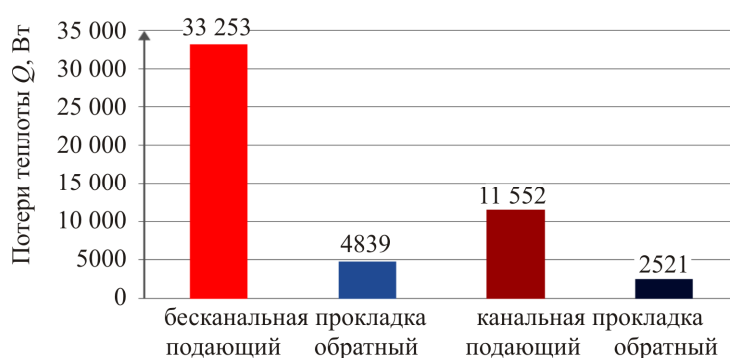


Рис. 2. Результаты расчета потерь теплоты подающим и обратным трубопроводами ТС

Fig. 2. The results of the calculation of heat loss feed and return pipelines of the heat network

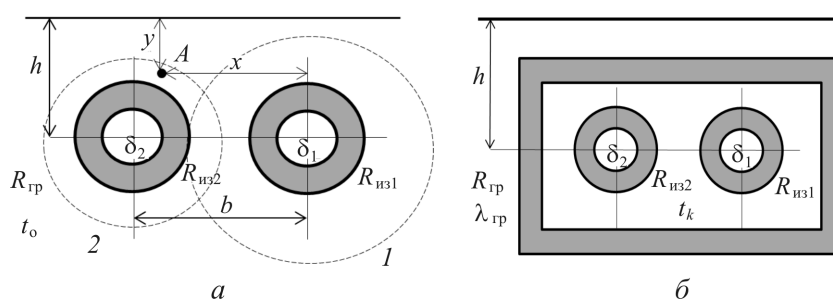


Рис. 3. Температурные поля трубопроводов при бесканальной и канальной прокладке:  
*a* – бесканальная прокладка трубопроводов; *b* – канальная прокладка трубопроводов;  
*I* – ориентировочное температурное поле вокруг подающего трубопровода; *2* – то же, вокруг обратного трубопровода; *A* – произвольная точка; *x* – расстояние от оси подающего трубопровода до точки *A*, м; *y* – глубина заложения точки *A*, м; *t<sub>o</sub>* – температура окружающей среды, °С;  
 $\lambda_{гр}$  – коэффициент теплопроводности грунта, Вт/м·°С;  $R_{из1}$ ,  $R_{из2}$  – сопротивление теплопередаче тепловой изоляции, м<sup>2</sup>·°С/Вт; *t<sub>к</sub>* – температура в канале, °С;  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  – толщина теплоизоляционного слоя, м

Fig. 3. Temperature fields of pipelines with channelless and channel laying:  
*a* – channelless laying of pipelines, *b* – channel laying of pipelines; *I* – approximate temperature field around the supply pipe; *2* – the same, around the return pipe; *A* is an arbitrary point; *x* is the distance from the axis of the supply pipe to point *A*, m; *y* – the depth of the point *A*, m; *t<sub>o</sub>* – ambient temperature, °С;  
 $\lambda_{гр}$  – soil thermal conductivity coefficient, (W/m · °С);  $R_{из1}$ ,  $R_{из2}$  – heat transfer resistance of thermal insulation, (m<sup>2</sup> · °С/W); *t<sub>к</sub>* – channel temperature, °С;  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  – thickness of the insulating layer, m

Температурное поле, °С, вокруг двухтрубного трубопровода при бесканальной прокладке рассчитывается по формуле [1, 2]

$$t = t_o + \frac{q_1}{2\pi\lambda_{\text{тр}}} \ln \sqrt{\frac{x^2 + (y+h)^2}{x^2 + (y-h)^2}} + \frac{q_2}{2\pi\lambda_{\text{тр}}} \ln \sqrt{\frac{(x-b) + (y+h)^2}{(x-b)^2 + (y-h)^2}}, \quad (4)$$

где  $q_1$  и  $q_2$  – плотность теплового потока подающего и обратного трубопровода, Вт/м.

Температурное поле для одноячейкового непроходного канала определяется по формуле

$$t = t_o + (t_k + t_o) \cdot \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{тр}}} \cdot \ln \sqrt{\frac{x^2 + (y+h)^2}{x^2 + (y-h)^2}}, \quad (5)$$

где  $t_o$  – температура окружающей среды, °С;  $t_k$  – температура в канале, °С;  $R$  – полное термическое сопротивление, (м·°С/Вт). Результаты расчета приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты расчета температурного поля

Table 4

The results of the calculation of the temperature field

На расстоянии 2,0 м													
Способ прокладки	$t_{x,y}$ , °С (п)	$t_{x,y}$ , °С (о)	$t_o$ , °С	$\tau$ , °С	$h$ , м	$x$ , м (п)	$x$ , м (о)	$D$ , м (п)	$D/2$ , м (п)	$D$ , м (о)	$D/2$ , м (о)	$q_p$ , Вт/м	$q_o$ , Вт/м
Канальная	7,46	7,46	7,2	28,6	2	2,32	2,31	0,63	0,32	0,62	0,31	–	–
Бесканальная	22,89	22,86	7,2	–	2	2,84	2,86	0,68	0,34	0,75	0,37	80,21	28,96

## Заключение

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что применение подземной прокладки трубопроводов тепловых сетей в непроходных каналах по сравнению с бесканальной прокладкой при прочих равных условиях позволяет уменьшить необходимую толщину материала тепловой изоляции на 30–50 %, а также приводит к снижению потерь теплоты при транспортировке теплоносителя на 47–65 %. Кроме того, температурное поле, образующееся вокруг трубопроводов работающих тепловых сетей, при канальном способе прокладки на расстоянии 2 м от конструкции практически равно температуре грунта на глубине заложения трубопровода. В то же время температурное поле, образующееся вокруг трубопроводов, проложенных бесканальным способом, превышает это значение более чем в 3 раза, что вызывает необходимость применения дополнительных мер по защите других инженерных коммуникаций, находящихся в зоне действия тепловой сети, от нагрева, не предусмотренного технологическим циклом.

Между тем на выбор способа прокладки трубопроводов тепловых сетей, кроме рассмотренных факторов, влияют рельеф местности, геологические особенности района, стесненность, из-за наличия других коммуникаций, и многие другие факторы, в том числе экономические [15].

## Библиографический список

1. Ignotas A. Lithuanian legal and regulatory framework for district heating. Presented at IEA workshop “District heating policy in transition economies”. – Prague, 2004.
2. Раздобреева А.С., Бирюзова Е.А. Энергосбережение в системах теплоснабжения // Современные тенденции развития науки и производства: сб. материалов VII Междунар. науч.-практ. конф., 5 декабря 2017. – Кемерово: Зап.-Сиб. науч. центр, 2017. – С. 334–335.
3. Бирюзова Е.А. Повышение энергоэффективности тепловых сетей за счет применения современных теплоизоляционных материалов // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 1. – С. 62–66.
4. Бирюзова Е.А. Повышение энергоэффективности современных систем теплоснабжения // Эффективные строительные конструкции: теория и практика: сб. ст. XIV Междунар. науч.-техн. конф. / под ред. Н.Н. Ласькова. – Пенза: ПГУАС, 2014. – С. 23–26.
5. Бирюзова Е.А., Глуханов А.С., Кобелев Н.С. Применение современных трубопроводных систем при проектировании и реконструкции тепловых сетей // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2012. – № 2–2. – С. 63–68.
6. Аверьянов В.К., Горшков А.С., Васильев Г.П. Повышение эффективности централизованного теплоснабжения существующего жилого фонда // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 6 (71). – С. 99–112.
7. О повышении эффективности теплоизоляции трубопроводов и оборудования отечественных систем теплоснабжения / В.А. Рыженков, А.Г. Парыгин, А.Ф. Прищепов, Н.А. Логинова // Энергосбережение и водоподготовка. – 2009. – № 6. – С. 48–49.
8. Кравчук А. Энергосбережение. Основные источники потерь в тепловых системах и способы их устранения // Журнал энергосервисной компании «Экологические системы». – Запорожье, 2007. – 15 с.
9. Heat Supply Systems Development: The Influence of External Factors and Reliability. – URL: <https://www.sciencedirect.com> (дата обращения: 01.06.2019).
10. A Methodology for Optimziation of Component Reliability of Heat Supply Systems. – URL: <https://www.sciencedirect.com> (дата обращения: 01.06.2019).
11. Connection Method between Urban Heat-supply Systems Based on Requirement of Limited-heating. – URL: <https://www.sciencedirect.com> (дата обращения: 01.06.2019).
12. Майзель И.Л., Петров-Денисов В.Г. Еще раз об экономической и технической целесообразности применения трубопроводов с индустриальной пенополиуретановой изоляцией для теплоснабжения // Новости теплоснабжения. – 2003. – № 3. – 26 с.
13. Rudig Wolfgang. Combined heat and power for districtheating // Phis. Technol. – 1986. – № 3.
14. Тепловая изоляция: справочник строителя / Г.Ф. Кузнецов, В.И. Бельский, В.П. Горбачев [и др.] / под ред. Г.Ф. Кузнецова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1985. – 421 с.
15. Копко В.М. Теплоизоляция трубопроводов теплосетей: учеб.-метод. пособие. – Минск: УП «Технопринт», 2002. – 160 с.

## References

1. Ignotas A. Lithuanian legal and regulatory framework for district heating. Presented at IEA workshop «District heating policy in transition economies». Prague, 2004.
2. Razdobreyeva A.S., Biryuzova Ye.A. Energoberezheniye v sistemakh teplosnabzheniya. [Energy Saving in Heat Supply Systems]. *Sovremennyye tendentsii razvitiya nauki i proizvodstva: Sbornik materialov VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. 05 dekabrya 2017. Kemerovo, 2017, pp. 334–335.
3. Biryuzova Ye.A. Povysheniye energoeffektivnosti teplovykh setey za schet primeneniya sovremennykh teploizolyatsionnykh materialov. [Improving the energy efficiency of heat networks through the use of modern insulation materials]. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*. № 1. Penza: PGUAS, 2013. pp. 62–66.
4. Biryuzova Ye.A. Povysheniye energoeffektivnosti sovremennykh sistem teplosnabzheniya. [Improving the energy efficiency of modern heat supply systems]. *Sbornik statey XIV Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii: Effektivnyye stroitel'nyye konstruksii: teoriya i praktika. Pod redaksiyey N.N. Las'kova*. Penza. PGUAS, 2014. pp. 23–26.
5. Biryuzova Ye.A., Glukhanov A.S., Kobelev N.S. Primeneniye sovremennykh truboprovodnykh sistem pri proyektirovanii i rekonstruktsii teplovykh setey. [The use of modern pipeline systems in the design and reconstruction of heating networks]. *Izvestiya yugo-zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: tekhnika i tekhnologii*. № 2–2. Kursk, Yugo-Zapadnyy gosudarstvennyy universitet, 2012, pp. 63–68.
6. Aver'yanov V.K., Gorshkov A.S., Vasil'yev G.P. Povysheniye effektivnosti tsentralizovannogo teplosnabzheniya sushchestvuyushchego zhilogo fonda [Improving the efficiency of the centralized heat supply for the existing housing stock]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2018, no. 6 (71), pp. 99–112.
7. Ryzhenkov V.A., Parygin A.G., Prishchepov A.F., Loginova H.A. O povyshenii effektivnosti teploizolyatsii truboprovodov i oborudovaniya otechestvennykh sistem teplosnabzheniya [On improving the efficiency of thermal insulation of pipelines and equipment of domestic heat supply systems] *Energoberezheniye i vodopodgotovka*, 2009, no. 6, pp. 48–49.
8. Kravchuk A. Energoberezheniye. Osnovnyye istochniki poter' v teplovykh sistemakh i sposoby ikh ustraneniya [Energy Saving. The main sources of losses in thermal systems and ways to eliminate them]. *Zhurnal energoservisnoy kompanii «Ekologicheskkiye sistemy»*. Zaporozh'ye, 2007, 15 p.
9. Heat Supply Systems Development: The Influence of External Factors and Reliability, available at: <https://www.sciencedirect.com> (accessed 1 Yuni 2019).
10. A Methodology for Optimziation of Component Reliability of Heat Supply Systems, available at: <https://www.sciencedirect.com> (accessed 1 Yuni 2019).
11. Connection Method between Urban Heat-supply Systems Based on Requirement of Limited-heating, available at: <https://www.sciencedirect.com> (accessed 1 Yuni 2019).
12. Mayzel' I.L., Petrov-Denisov V.G. Yeshche raz ob ekonomicheskoy i tekhnicheskoy tselesoobraznosti primeneniya truboprovodov s industrial'noy penopoliuretanovoy izolyatsiyey dlya teplosnabzheniya. [Once again on the economic and technical feasibility of using pipelines with industrial polyurethane foam insulation for heat supply]. *Novosti teplosnabzheniya*, 2003, no. 3, p. 26.
13. Rudig Wolfgang. Combined heat and power for districtheating. *Phis. Technol*, 1986, no. 3.
14. Kuznetsov G.F., Bel'skiy V.I., Gorbachev V.P. Teplovaya izolyatsiya: spravochnik stroitelya [Thermal insulation: a builder's handbook]. 4th ed. Moscow, Stroyizdat, 1985, 421 p.
15. Kopko V.M. Teploizolyatsiya truboprovodov teplosetey [Thermal insulation of pipelines of heating systems]. Minsk, UP «Tekhnoprint», 2002, 160 p.