

УДК 621.643.004.67

Improving the Reliability of Operation and Repair of Pipelines in Siberia and the Far North

**Anatoly I. Matushenko,
Alexander A. Shaykhadinov*, Denis B. Tuguhgakov,
Roman M. Avdeev and Tatyana A. Kulagina**
*Siberian Federal University
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041, Russia*

Received 18.11.2014, received in revised form 14.12.2014, accepted 21.01.2015

Designed and manufactured by the unit to prevent freezing of pipes during their operation in Siberia and the Far North. The variants of the technology of repair trenchless pipe communication in the winter. Calculated performance of the proposed equipment.

Keywords: trenchless repair, pipe, freezing of pipes, pipelines reliability, performance, equipment.

Повышение эффективности эксплуатации трубопроводов в условиях Сибири и Крайнего Севера

**А.И. Матюшенко, А.А. Шайхудинов,
Д.Б. Тугужаков, Р.М. Авдеев, Т.А. Кулагина**
*Сибирский федеральный университет
Россия, 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79*

Разработано и изготовлено устройство для предотвращения замерзания трубопроводов при их эксплуатации в условиях Сибири и Крайнего Севера. Предложены варианты реализации технологии ремонта трубопроводных коммуникаций бестраншейным методом в зимнее время года. Рассчитана производительность предлагаемого оборудования.

Ключевые слова: бестраншейный ремонт, трубопровод, замерзание трубопроводов, надежность трубопроводов, производительность оборудования.

Суммарная протяженность трубопроводов в России составляет 2,4 млн км [1]. Обеспечение их надежности в связи с такими объемами является сложной задачей. Особенно это актуально в условиях Сибири и Крайнего Севера, когда эксплуатация и ремонт трубопроводов сопряжены с низкими температурами окружающей среды и их возможным замерзанием.

© Siberian Federal University. All rights reserved

* Corresponding author E-mail address: shaihadinov@mail.ru

Для повышения надежности трубопроводов на стадии эксплуатации при отрицательных температурах окружающей среды авторы разработали и изготовили устройство для предотвращения их замерзания (рис. 1) [2]. Его использование целесообразно для надземных трубопроводов и трубопроводов, расположенных в грунтах на глубине выше глубины их сезонного промерзания. Устройство состоит из погруженного в защищаемый от замерзания

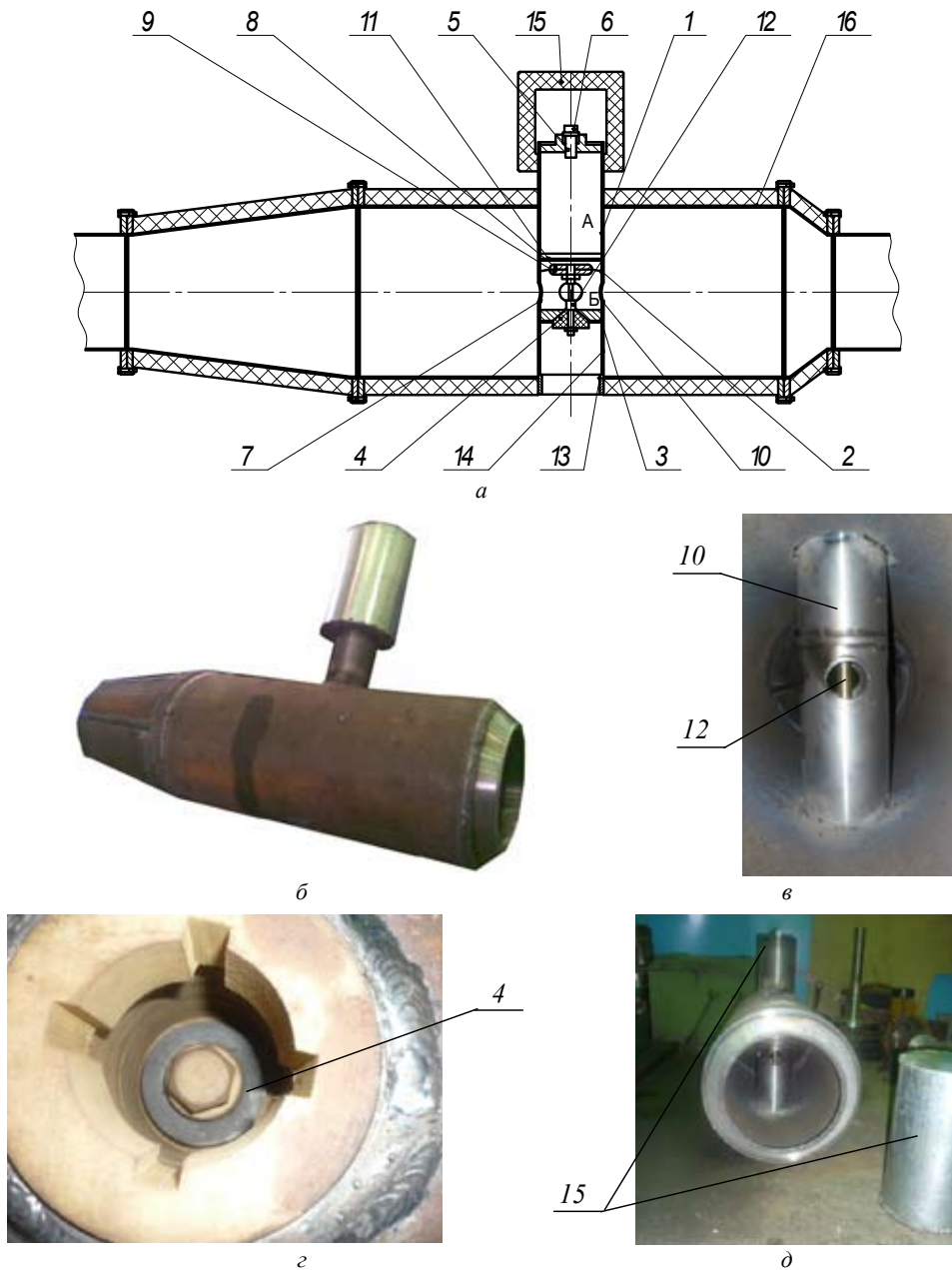


Рис. 1. Устройство для предотвращения замерзания трубопроводов диаметром 400 мм: *а, б* – общий вид (чертеж и фото); *в, д* – вид спереди (фото); *г* – вид снизу (фото); *1* – стальной цилиндр; *2* – диафрагма; *3* – седло; *4* – клапан; *5, 7* – отверстия; *6* – пробка; *8, 9* – диски; *10, 14* – стаканы; *11* – крышка; *12* – шток; *13* – резьбовое кольцо; *15* – регулятор тепловых потерь; *16* – труба

трубопровод стального цилиндра 1, разделенного на две камеры, диафрагмой 2, седлом 3 и клапаном 4. Верхняя камера А заливается водопроводной водой через отверстие 5 и герметично закрывается пробкой 6. Нижняя камера Б отверстиями 7 соединена с пространством трубы. Эластичная диафрагма фиксируется дисками 8 и 9, стаканом 10 и крышкой 11. Усилия от диафрагмы к клапану передаются штоком 12. Диафрагма фиксируется с помощью резьбового кольца 13 и стакана 14. Для настройки прибора служит регулятор тепловых потерь 15. Цилиндр размещается в трубе 16 по центру таким образом, чтобы диафрагма и клапан были в середине трубопровода. Клапан плотно закрывает сбросное отверстие, когда тепловой режим водопровода в норме.

Верхняя камера устройства, имеющая контакт с воздухом через открытые стенки, при низкой температуре воздуха интенсивно охлаждается, температура воды в камере А всегда будет ниже температуры воды в трубопроводе. Теряемое водой камеры тепло восполняется за счет тепла воды в трубопроводе. Величина получающегося таким образом температурного перепада будет зависеть от температуры воздуха и температуры воды в трубопроводе, соотношения площадей поверхности камер А и Б, коэффициентов теплопередачи их стенок и может регулироваться изменением теплоотдающей поверхности камеры А при помощи регулятора 15.

При охлаждении воды в трубопроводе вода в камере А может охладиться до нулевой температуры. Температура воды в трубопроводе, соответствующая нулевой температуре воды в камере А, может приниматься как критическая температура t_k для данной расчетной температуры воздуха t_v . При охлаждении воды ниже критической в камере А начнет образовываться лед. Общий объем воды и льда в камере увеличивается, давление в ней повысится, вследствие чего диафрагма прогнется вниз, связанный с ней клапан откроется, и вода из трубопровода будет вытекать наружу.

При сбросе воды увеличивается расход по трубопроводу. В первое время вода будет иметь температуру ниже критической, в связи с чем процесс льдообразования в камере будет продолжаться, а клапан будет все больше открываться, увеличивая сброс воды до тех пор, пока к клапану не подойдет вода с температурой выше критической для данной температуры воздуха. После этого льдообразование прекратится. Клапан начнет постепенно, по мере таяния льда в камере А, прикрывать сброс. Когда лед в камере А растает, клапан займет свое исходное положение и сбросное отверстие плотно закроется.

Разработанное устройство для предотвращения замерзания позволяет повысить надежность надземных трубопроводов и трубопроводов, расположенных в грунтах на глубине выше глубины их сезонного промерзания, на стадии их эксплуатации при отрицательных температурах окружающей среды.

Как известно, состояние трубопроводов в России крайне неудовлетворительное. Более 70 % их сильно изношены и нуждаются в ремонте. При этом темпы старения трубопроводов превышают темпы их ремонта. В связи с этим возникает острая необходимость в проведении круглогодичных ремонтных работ, а также в использовании нетрадиционных высокопроизводительных бестраншейных технологий.

Существуют различные способы бестраншейного ремонта трубопроводов. Наиболее перспективен способ, заключающийся в статическом (безударном) разрушении старой трубы ра-

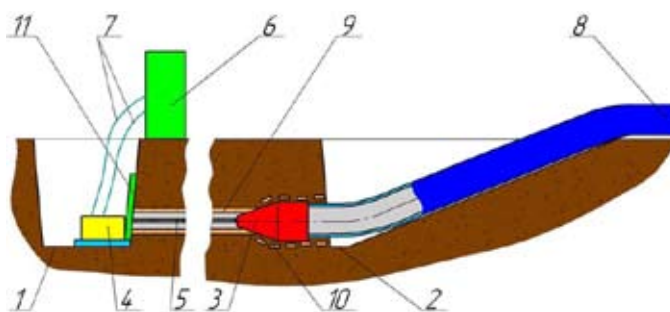


Рис. 2. Технологическая схема бестраншейного ремонта старых трубопроводов с помощью их безударного разрушения и одновременного протаскивания новой пластмассовой трубы: 1, 2 – приямки; 3 – рабочий механизм; 4 – силовая установка; 5 – тяговый элемент; 6 – насосная станция; 7 – рукава высокого давления; 8, 9 – новый и старый трубопроводы; 10 – обломки старого трубопровода; 11 – упорный щит

бочим механизмом, представляющим собой режущую головку с дисковыми ножами и конический расширитель (рис. 2).

Перемещение рабочего механизма из одного приямка в другой внутри заменяемого трубопровода осуществляется при помощи усилия, передаваемого через составную штангу от гидравлической силовой установки. В процессе движения рабочий механизм одновременно расширяет образуемую скважину, вдавливая части разрушенного трубопровода в массив грунта, и протаскивает новый пластмассовый (как правило, полиэтиленовый) трубопровод большего диаметра.

При реализации этой технологии в условиях низких температур окружающей среды возникает ряд препятствий [3], связанных со сложностью обеспечения:

- качественного сварного соединения при монтаже нового пластмассового трубопровода в плетть;
- гибкости нового пластмассового трубопровода при его подаче к старому трубопроводу и к скважине;
- возможности уплотнения грунта в процессе вдавливания в него разрушенного трубопровода и расширения скважины (при наличии мерзлых несжимаемых грунтов в зоне прохождения трубопровода).

Качественное сварное соединение нового пластмассового трубопровода возможно получить с помощью его сварки в палатках (рис. 3,а), в обогреваемых приямках (рис. 3,б) и в тепляках (рис. 3,в). Кроме того, использование тепляков позволяет обеспечить гибкость нового пластмассового трубопровода при его подаче к старому трубопроводу и к скважине, а также возможность уплотнения грунта в процессе вдавливания в него разрушенного трубопровода и расширения скважины в условиях низких температур окружающей среды.

Для более эффективной реализации процесса бестраншейного ремонта трубопроводов в условиях низких температур окружающей среды авторы разработали и запатентовали способ бестраншейного ремонта трубопроводов с помощью тепляка [4].

Комплект такого оборудования включает рабочий механизм 3 с режущими ножами и расширителем для увеличения диаметра скважины и вдавливания обломков 6 разрушенного

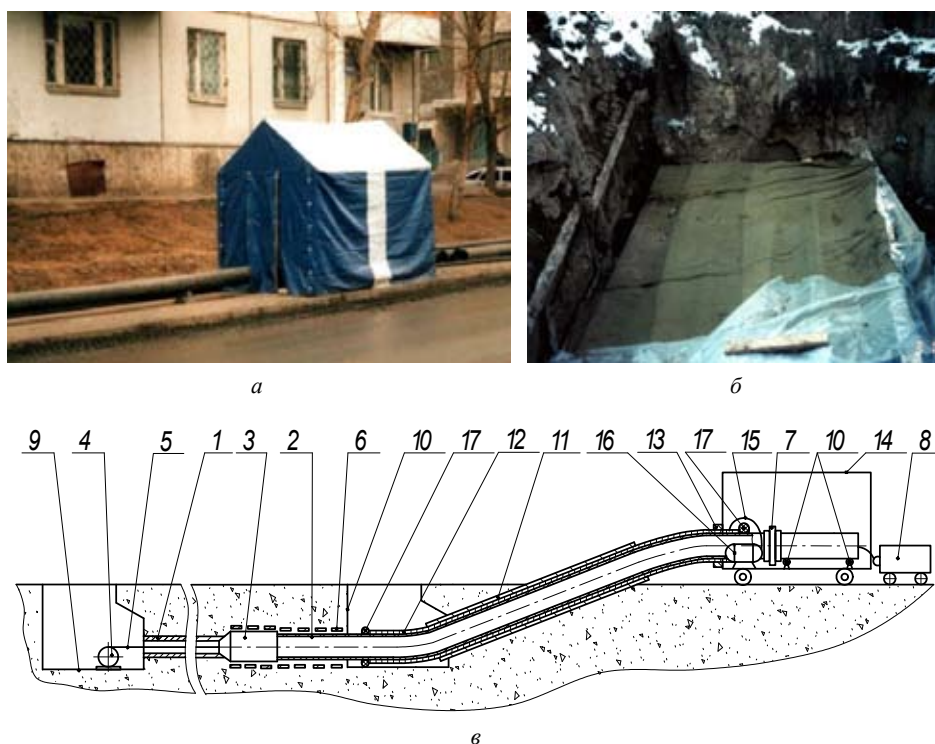


Рис. 3. Сварка нового пластмассового трубопровода в палатке (а), в обогреваемой приемке (б) и в тепляке (в): 1, 2 – старый и новый трубопроводы; 3 – рабочий механизм; 4 – тяговый орган; 5 – тяговый элемент; 6 – обломки старого трубопровода; 7 – устройство для стыковой сварки пластмассовых труб; 8 – компрессор; 9, 10 – приемки или колодцы; 11 – обсадная труба; 12 – теплоизолирующий рукав; 13 – фланец; 14 – тепляк; 15 – гибкий патрубок; 16 – теплогенератор; 17 – прижимное кольцо

старого трубопровода 1 в грунт, тяговый орган 4 (лебедка, гидродомкрат), тяговый элемент 5 (трос, составная штанга), компрессор 8 и устройство для стыкового соединения новых труб 7 (сварочный аппарат), состоящее из двустороннего нагревательного элемента для контактного нагрева торцов монтируемого нового трубопровода 2 и направляющего зажима для соединения торцов труб после их оплавления (рис. 3,в).

В комплект оборудования также входит пропущенный через обсадную трубу 11 монтажной скважины гибкий гофрированный теплоизолирующий рукав 12, один конец которого расположен во входном приемке или колодце 10, а другой через фланец 13 с отверстием присоединен к тепляку 14 и через гибкий патрубок 15 к теплогенератору 16. Причем концы теплоизолирующего рукава 12 прижимным кольцом 17 герметично и с возможностью скольжения прижаты к новому трубопроводу 2. Передний конец рабочего механизма 3 соединен тяговым элементом 5 с тяговым органом 4, установленным в выходном приемке или колодце 9, а задний – с новым трубопроводом 2 и через шланг (на рисунке не показан) с компрессором 8.

Реализация предлагаемого способа производится следующим образом. С поверхности грунта до встречи с входным колодцем 10 при помощи бурения образуют наклонную монтажную скважину. При наличии сыпучих грунтов или пловунов в монтажную скважину для

укрепления ее стенок забивают металлическую обсадную трубу 11. Затем на поверхности грунта устанавливают тепляк 14. Через монтажную скважину пропускают гибкий гофрированный теплоизолирующий рукав 12, один конец которого соединяют фланцем 13 с тепляком 14 и гибким патрубком 15 – с теплогенератором 16, другой укладывают во входном колодце 10. При наличии вокруг старого трубопровода 1 мерзлого грунта свободный конец теплоизолирующего рукава 12 присоединяют к старому трубопроводу 1 и подают в него нагретый воздух до полного оттаивания грунта. После этого рукав 12 отсоединяют от старого трубопровода 1.

Процесс монтажа нового трубопровода 2 осуществляют в тепляке 14. Торцы звеньев нового трубопровода 2 устанавливают в направляющий зажим между двусторонним нагревательным элементом сварочного аппарата 7 и выдерживают заданное время до их оплавления. Затем нагревательный элемент убирают, а торцы звеньев нового трубопровода 2 прижимают при помощи направляющего зажима до формирования прочного сварного соединения. После чего новый трубопровод 2 проталкивают через отверстие в тепляке 14 в теплоизолирующий рукав 12 на длину наращенного звена. К концу пропущенного через теплоизолирующий рукав 12 нового трубопровода 2 присоединяют рабочий механизм 3 и вводят его в старый трубопровод 1. Затягивание нового трубопровода 2 осуществляют при помощи рабочего механизма 3 и тягового органа 4 с тяговым элементом 5, протянутым через старый трубопровод 1. Эта операция периодически чередуется с операцией сварки нового трубопровода 2.

При этом процесс ремонта старого трубопровода 1 выполняется пошагово. Продвигаясь внутри старого трубопровода 1, рабочий механизм 3 разрушает его, втрамбовывая обломки в грунт, и одновременно затягивает в образуемую скважину новый трубопровод 2 большего наружного диаметра, чем старый.

Преимущество предлагаемого способа заключается в том, что нагрев горячим воздухом нового пластмассового трубопровода и защита его теплоизолирующим рукавом обеспечивает гибкость нового трубопровода и возможность его подачи к старому трубопроводу с поверхности грунта при низких температурах наружного воздуха. Подача нагретого воздуха в старый трубопровод при наличии вокруг него мерзлого грунта осуществляет его оттаивание и возможность впрессовывания обломков разрушаемого старого трубопровода в оттаявший грунт. Применение гофрированного рукава обеспечивает его гибкость и повышенную теплоизолирующую способность вследствие уменьшения площади контакта рукава со стенками монтажной скважины и более быстрым прогревом нового трубопровода. Предлагаемая подача горячего воздуха в гибкий рукав между ним и новым трубопроводом делает возможным непрерывность его прогрева на период сварки, исключает многократные подсоединения и отсоединения теплогенератора, повышает гибкость нового трубопровода при неполном прогреве по толщине его стенок.

Разработанный и запатентованный способ бестраншейного ремонта трубопроводов позволяет выполнять качественный ремонт трубопроводов круглогодично, независимо от погодных и климатических условий.

Производительность предлагаемого комплекса оборудования для бестраншейного ремонта трубопроводов [5, 6] можно определить с помощью программы для ЭВМ «PipeProductivity v.1.1» [7] (рис. 4, 5), разработанной авторами статьи.

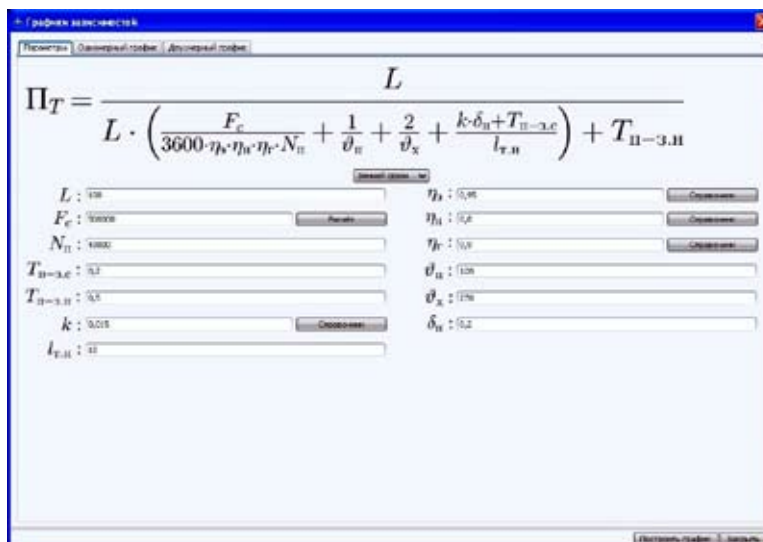


Рис. 4. Окно программы «PipeProductivity v.1.1» для расчета и построения графиков зависимостей производительности оборудования для бестраншейного ремонта трубопроводов в зимнее время года

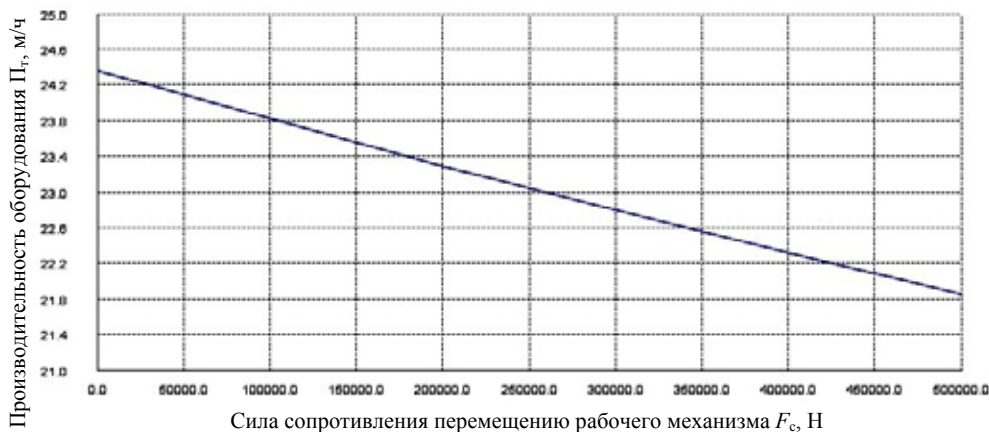


Рис. 5. Зависимость производительности оборудования для бестраншейного ремонта трубопроводов в зимнее время года от силы сопротивления перемещению рабочего механизма, построенная с помощью программы «PipeProductivity v.1.1»

Анализ зависимости, приведенной на рис. 5, показал, что предлагаемое оборудование для бестраншейного ремонта трубопроводов является более высокопроизводительным по сравнению с аналогами. Его производительность возрастает с 22 до 24 м³/ч при уменьшении силы сопротивления перемещению рабочего механизма с 50 000 до 500 000 Н.

Выводы

1. Разработано, запатентовано, изготовлено и успешно апробировано устройство для предотвращения замерзания трубопроводов диаметром 400 мм при их эксплуатации в условиях Сибири и Крайнего Севера. Оно позволяет повысить надежность надземных трубопроводов

и трубопроводов, расположенных в грунтах на глубине выше глубины их сезонного промерзания, на стадии их эксплуатации при отрицательных температурах окружающей среды.

2. Предложено три варианта реализации ремонта трубопроводных коммуникаций в зимнее время года с помощью перспективной технологии бестраншейного ремонта трубопроводов с их безударным разрушением гидравлическими силовыми установками и одновременным протаскиванием в образуемую скважину плети новой пластмассовой трубы, предварительно сваренной в палатках, в обогреваемых приямках и тепляках.

3. Рассчитана в программе «PipeProductivity v.1.1» производительность оборудования запатентованной технологии для бестраншейного ремонта трубопроводов в зимнее время года в тепляках. Расчет показал, что это оборудование является более высокопроизводительным по сравнению с аналогами. Его значение возрастает с 22 до 24 м/ч при уменьшении силы сопротивления перемещению рабочего механизма с 50 000 до 500 000 Н.

Список литературы

- [1] *Шайхудинов А.А.* Дис. ... канд. техн. наук: 05.02.02. Красноярск, 2005. 178 с.
- [2] *Тугужаков Д.Б., Афанасьев В.Е.* Пат. № 116599 РФ на полезную модель, кл. F17D 1/05. Устройство для предотвращения замерзания трубопроводов. Заявка № 2010150957/06; Заявл. 13.12.2010; Опубл. 27.05.2012, Бюл. № 15.
- [3] *Емелин В.И., Шайхудинов А.А.* // Вестн. КГТУ. Транспорт. Красноярск, 2002. Вып. 30. С. 76–79.
- [4] *Емелин В.И., Авдеев Р.М., Шайхудинов А.А.* Пат. № 2230966 РФ на изобретение, кл. F16L 1/028. Способ бестраншейной замены трубопроводов. Заявка № 2002129088/06; Заявл. 30.10.2002; Опубл. 20.06.2004, Бюл. № 17.
- [5] *Шайхудинов А.А., Авдеев Р.М., Кузнецов А.В.* // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. № 9. С. 74–78.
- [6] *Шайхудинов А.А.* // Механизация строительства. 2013. № 8. С. 10–13.
- [7] *Шайхудинов А.А., Кушнarenко А.В.* Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2013612909. PipeProductivity v. 1.1. Заявка № 2013610627; Дата поступл. 24.01.2013; За-регистр. 18.03.2013.