

УДК 621.643.004.67

Повышение надежности работы трубопроводов после их восстановления

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

Received 11.02.2013, received in revised form 18.02.2013, accepted 25.02.2013

Предложена конструкция рабочего органа для бестраншейного ремонта трубопроводов, имеющих изгибы и повороты. Проведено экспериментальное исследование влияния затупления ножей предлагаемого рабочего органа на усилие разрезания трубопроводов.

Ключевые слова: ремонт, бестраншейный, трубопроводы, рабочий орган, нож.

В настоящее время в России более 70 % трубопроводов сильно изношены и нуждаются в ремонте [1]. При этом темпы старения трубопроводов превышают темпы их ремонта. Применяемый в современных условиях традиционный (траншейный) метод ремонта трубопроводов с раскопкой поврежденного участка и разработкой траншей не в состоянии решить данную проблему, поскольку сопровождается значительными затратами труда, времени, материальных и денежных ресурсов, наносит экологический ущерб окружающей среде. Особенно сложными являются ремонт и восстановление участков трубопроводов, проложенных в слое мерзлого грунта в соответствии с требованиями СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение: наружные сети и сооружения» п. 15.67: «Подземная бесканальная прокладка трубопроводов должна приниматься на основе теплотехнических расчетов, при этом в летнее время зона протаивания грунта вокруг трубы не должна влиять на устойчивость оснований трубопроводов и близрасположенных зданий и сооружений, а в зимнее время – должна предохранять транспортируемую жидкость от замерзания. При защите водопроводных труб от замерзания автоматическими выпусками воды или греющим электрическим кабелем допускается прокладка их в слое сезонного промерзания грунта».

Указанные недостатки можно устранить путем реализации бестраншейного метода ремонта трубопроводов. Существуют различные способы бестраншейного ремонта трубопроводов [2]. Наиболее перспективен способ, заключающийся в статическом (безударном) разрушении старой трубы рабочим органом, представляющим собой режущую головку с дисковыми ножами и конический расширитель (рис. 1).

Рабочий орган перемещается внутри образуемой скважины при помощи гидравлической силовой установки и составной штанги, одновременно протаскивая через заменяемую трубу

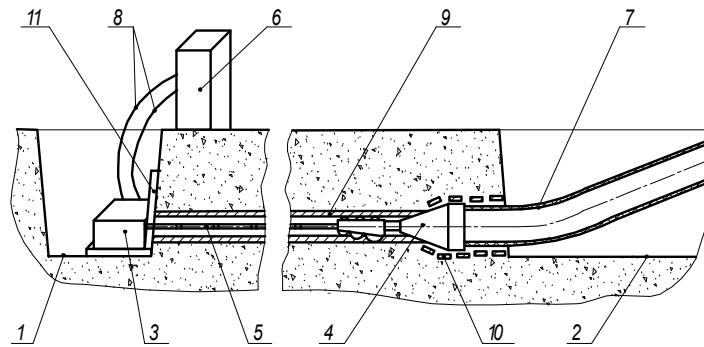


Рис. 1. Технологическая схема бестраншейного ремонта трубопроводов с помощью их статического разрушения и одновременного протаскивания новой пластмассовой трубы: 1, 2 – прямки; 3 – силовая установка; 4 – рабочий орган; 5 – составная штанга; 6 – насосная станция; 7 – плеть нового пластмассового трубопровода; 8 – рукава высокого давления; 9 – старый трубопровод; 10 – разрушенные части старого трубопровода; 11 – упорный щит

новую плеть пластмассового (полиэтиленового, полипропиленового и т. п.) трубопровода большего диаметра. Возможность увеличения диаметра старой коммуникации является существенным достоинством описанной технологии в связи с бурным ростом потребностей населения в воде. Кроме того, статическое разрушение труб значительно снижает вероятность осыпания грунта и повреждения проходящих рядом подземных коммуникаций.

Однако, несмотря на перспективность рассматриваемого способа, его использование при ремонте трубопроводов, имеющих повороты и изгибы, приводит к возникновению различных внештатных ситуаций (вырезание участков ремонтируемого трубопровода с поворотами и изгибами с разработкой дополнительных прямков на их месте; стопорение рабочего органа и нового трубопровода в скважине; разрушение рабочего органа, его составных частей и соединений; разрыв плети нового пластмассового трубопровода и т. д.). Причина этого – конструкции рабочего органа и составной штанги, не предназначенные для прохождения криволинейных участков старого трубопровода. В рабочем органе это происходит из-за того, что соединение режущей головки с расширителем имеет ограниченную подвижность или ее полное отсутствие, а в составной штанге – из-за того, что она представляет собой соединенные друг с другом посредством разъемного (резьбового, замкового и т. п.) соединения металлические стержни. В этой связи способность составной штанги преодолевать криволинейные участки трубопроводов затруднена. В случае замены жесткой составной штанги на гибкий трос также не решается указанная проблема, поскольку трос будет тереться о стенки старого трубопровода в местах его поворотов и изгибов, создавая дополнительное сопротивление движению. Кроме того, трос может перетереться о стенки старого трубопровода, приведя к остановке ремонтных работ.

С целью устранения подобных недостатков была разработана конструкция рабочего органа для бестраншейного ремонта трубопроводов, способная проходить повороты и изгибы. Предлагаемый рабочий орган состоит из крестовин 1, закрепленных на тросе 2, режущей головки 3 с ножами для разрушения старого трубопровода 4, расширителей 5, 6 и приспособления для крепления нового трубопровода 7 (рис. 2).

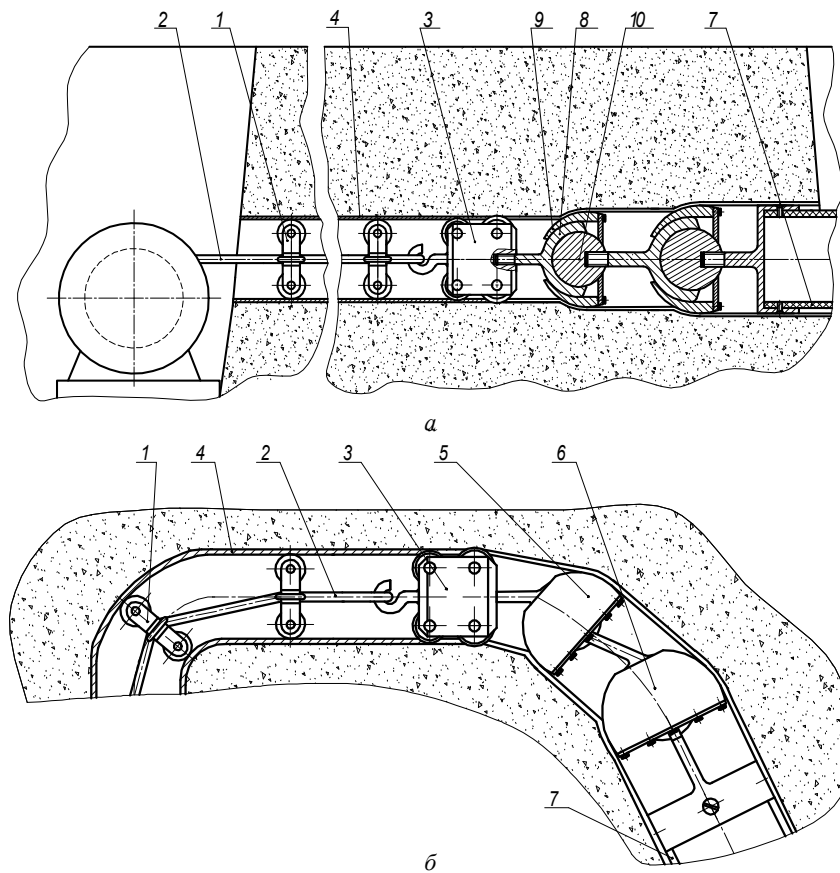


Рис. 2. Рабочий орган для бестраншейного ремонта криволинейных трубопроводов при прохождении: *а* – прямолинейного участка, *б* – поворота; 1 – крестовина; 2 – трос; 3 – режущая головка; 4 – старый трубопровод; 5, 6 – расширители; 7 – новый пластмассовый трубопровод; 8 – внутренняя полусфера; 9 – внешняя полая полусфера; 10 – шар

Возможность прохождения криволинейных участков трубопроводов (рис. 2, *б*) достигнута за счет: *а*) выполнения расширителей в виде сопряженных друг с другом двух полусфер 8, 9 и шара 10, установленных с возможностью вращения относительно оси их симметрии и поворота в продольном и поперечном направлении относительно друг друга, что улучшает подвижность соединений режущей головки и расширителей, а также маневренность всего рабочего органа в целом; *б*) размещения на тросе крестовин с опорными катками, что предотвращает соприкосновение троса со стенками внутренней поверхности старого трубопровода, снижает сопротивление движению рабочего органа, исключает возможное стопорение и перетирание троса.

Технология бестраншейного ремонта трубопроводов с помощью предлагаемого рабочего органа осуществляется следующим образом: через старый трубопровод пропускают трос, одновременно устанавливая на нем на требуемом расстоянии друг от друга крестовины с катками. Количество крестовин зависит от сложности криволинейных участков трубопроводов. Затем, разместив в одном из прямых, рабочий орган монтируют и соединяют передней частью с тросом, а задней частью – с новым пластмассовым трубопроводом. Включив лебедку, она с помощью троса начинает статически (безударно) затягивать устройство в старый трубопро-

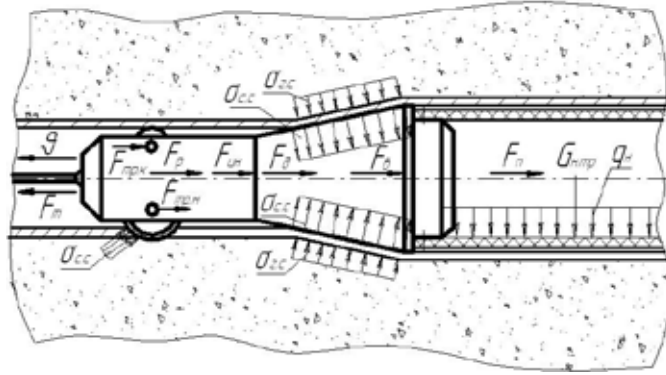


Рис. 3. Схема действия усилий на рабочий орган с дисковым ножом

вод. Продвигаясь вперед, режущая головка делает надрез на старом трубопроводе передними дисковыми ножами и окончательно разрезает его задними дисковыми ножами, разделяя на две части. После чего расширителем рабочий орган деформирует и вдавливает в грунт старый трубопровод, одновременно затягивая новый пластмассовый трубопровод по формируемой скважине. Количество расширителей зависит от величины, на которую необходимо увеличить диаметр старого трубопровода, их может быть более двух.

Предлагаемая технология позволяет осуществлять ремонт криволинейных трубопроводов с изгибами до 90 градусов. Однако очевидно, что при эксплуатации рабочего органа режущая кромка его ножа изнашивается и затупляется, приводя к ухудшению резания старого трубопровода, возрастанию усилий, затрачиваемых на перемещение рабочего органа, и необходимости использования более мощных лебедок или гидравлических силовых установок с целью предотвращения остановки процесса [3, 4].

Для определения влияния затупления ножей на усилия резания были последовательно проведены теоретические и экспериментальные исследования.

Как известно, уравнение баланса сил, действующих на рабочий орган (рис. 3), может быть записано в виде [1]

$$F_t = F_c = F_p + F_d + F_v + F_n \pm F_{ин}, \quad (1)$$

где F_t – сила тяги силовой установки или лебедки, Н; F_c – суммарная сила сопротивления перемещению рабочего органа, направленная вдоль оси трубопровода, Н; F_p – сопротивление разрезанию старого трубопровода, Н; F_d – сопротивление деформированию (расширению) предварительно разрезанного старого трубопровода, Н; F_v – сопротивление движению рабочего органа, обусловленное необходимостью вдавливания разрезанной части старого трубопровода в грунт, Н; F_n – сопротивление протаскиванию плети нового трубопровода, Н; $F_{ин}$ – суммарные силы инерции рабочего органа и плети нового трубопровода, Н.

Причем сопротивление разрезанию старого трубопровода F_p равно [1]

$$F_p = K_3 \cdot (1 + f_d) \cdot n_n \cdot \sigma_{ср} \cdot \delta_c^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}, \quad (2)$$



Рис. 4. Скругленный профиль дисковых ножей для исследования влияния их затупления на усилия разрезания трубных образцов

где $K_з$ – коэффициент, учитывающий затупление ножа; $f_д$ – коэффициент трения качения дисковых ножей по поверхности прорези в старом трубопроводе; n_n – количество прорезей в старом трубопроводе; $\sigma_{ср}$ – предел прочности на растяжение материала старого трубопровода, Па; δ_c – толщина стенки старого трубопровода, м; β – угол заострения ножа рабочего органа, град.

Как было сказано выше, увеличение затупления ножей приводит к возрастанию усилия разрезания старых стальных трубопроводов. Однако сама эта зависимость неизвестна. С целью определения значения $K_з$ и влияния затупления дисковых ножей на F_p было проведено экспериментальное исследование [5].

Исследование влияния затупления дисковых ножей на увеличение усилия разрезания старых стальных трубопроводов выполнено на скругленных профилях, имитирующих затупление ножей в реальных условиях (рис. 4). Варьирование затупления дисковых ножей осуществлялось путем изменения их радиуса затупления $R_з$. Основной объем экспериментов после их отработки проведен на ножах $D = 70$ мм при условии полного разрезания ими трубного образца.

Измерение усилий разрезания труб ножами рабочих органов выполнено по следующей методике: подготовленную модель рабочего органа и образец трубы, имитирующий старый стальной трубопровод, помещали соосно между плитами гидравлического пресса (рис. 5). Затем включался пресс и опускалась его верхняя плита. Под воздействием усилия пресса модель рабочего органа внедрялась в трубу, разрезая ее. При этом полученные усилия фиксировались динамометром пресса. Далее застрявшая модель рабочего органа выбивалась из образца трубы, используя выколотку и молоток. После этого производилась замена одного дискового ножа на другой и последовательность операций повторялась.

Результаты проведенного исследования представлены на рис. 6. При этом получен откорректированный вариант уравнения сопротивления разрезанию старого трубопровода F_p

$$F_p = (776 \cdot R_з + 1) \cdot (1 + f_д) \cdot n_n \cdot \sigma_{ср} \cdot \delta_c^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}. \quad (3)$$

Допущения и ограничения:

$$\begin{aligned} \lambda &= 180^\circ, \quad d_c = \operatorname{const}^*, \quad \delta_c = \operatorname{const}^*, \\ \sigma_{ср} &= \operatorname{const}^*, \quad \vartheta = \operatorname{const}^*, \quad \text{ножи двухскобые,} \end{aligned}$$

* В пределах рассматриваемого расстояния между прямыми длиной L .

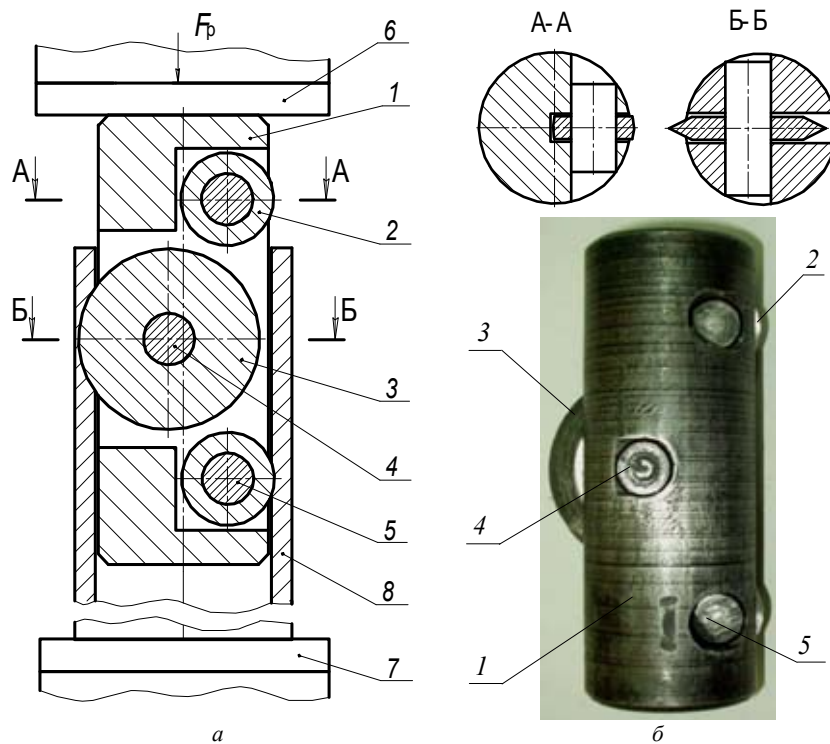


Рис. 5. Схема экспериментального исследования влияния затупления дисковых ножей на увеличение усилия разрезания старых стальных трубопроводов: *а* – схема исследования; *б* – модель рабочего органа (фото); 1 – корпус рабочего органа; 2 – опорный каток; 3 – сменный дисковый нож; 4, 5 – оси; 6, 7 – плиты гидравлического пресса; 8 – образец стальной трубы, имитирующий старый трубопровод

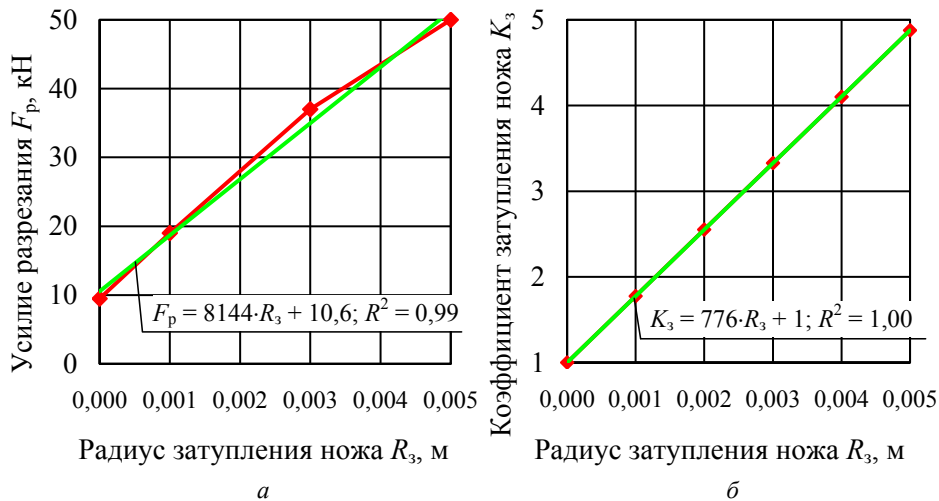


Рис. 6. Зависимость усилия разрезания образцов стальных труб (*а*) и коэффициента затупления ножа (*б*) от радиуса его затупления ($d_c = 0,068$ м; $\delta_c = 0,004$ м; $l_{т.с} = 0,15$ м; $\delta = 0,01$ м; $\beta = 53$ град; $D = 0,076$ м; $n_n = 1$; ножи дисковые двухскобые; материал старого трубопровода – сталь Ст. 3)

где λ – угол изгиба старого трубопровода, град; d_c – внутренний диаметр старого трубопровода, м; ϑ – скорость перемещения рабочего органа, м/ч; R^2 – коэффициент корреляции или степень соответствия между результатами эксперимента и аппроксимирующими уравнениями; $l_{тс}$ – длина образца трубы старого трубопровода, м.

Выводы

1. Предлагаемая конструкция рабочего органа обеспечивает бестраншейный ремонт криволинейных трубопроводов с изгибами до 90 градусов. Это достигнуто за счет:

- а) выполнения расширителей в виде сопряженных друг с другом двух полусфер и шара, установленных с возможностью вращения относительно оси их симметрии и поворота в продольном и поперечном направлении относительно друг друга, что улучшает подвижность соединений режущей головки и расширителей, а также маневренность всего рабочего органа в целом;
- б) размещения на тресе крестовин с опорными катками, что предотвращает соприкосновение троса со стенками внутренней поверхности старого трубопровода, снижает сопротивление движению рабочего органа, исключает возможное стопорение и перетирание троса.

2. Усилия разрезания отработавших трубопроводов затупленным ножом растут пропорционально радиусу затупления.

3. Использование малозатупленных ножей с $R_3 = 1$ мм по сравнению с острыми ножами приводит к увеличению усилий разрезания в 1,8 раза, а значительно затупленных с $R_3 = 5$ мм – в 5 раз.

4. Для эксплуатации целесообразно использовать изначально изготовленные ножи с малым затуплением ($R_3 = 0,25–0,5$ мм), что обеспечит исключение их выкрашивания и надежную работу.

Список литературы

- [1] Емелин В. И., Шайхадинов А. А. Бестраншейный ремонт трубопроводов статическим способом с увеличением их диаметра: монография. Красноярск: СФУ, 2007. 240 с.
- [2] Шайхадинов А. А., Митяев А. Е. // Вестн. КГТУ. Вып. 41. Машиностроение. Красноярск, 2006. С. 206–212.
- [3] Шайхадинов А. А., Авдеев Р. М. // Строительные и дорожные машины. 2012. № 5. С. 38–41.
- [4] Шайхадинов А. А. // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. № 6. С. 46–50.
- [5] Шайхадинов А. А. // Вестник Ассоциации выпускников КГТУ. Вып. 20. Красноярск: ПИК «Офсет», 2011. С. 170–183.

Features Trenchless Repair Curved Pipeline

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

The design of the working body for trenchless pipe repair, with twists and turns. An experimental study of the influence of blunting of knives on the working body of the proposed effort to cut pipe.

Keywords: repair, trenchless, pipelines, working body, the knife.
