

## БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ. ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 621.644

Г.Н. Жмаков, А.А. Шайхадинов\*

ФГБОУ ВПО «МГСУ», \*ФГАОУ ВПО «СФУ»

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ БЕСТРАНШЕЙНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ

Усовершенствована и запатентована конструкция рабочего механизма, а также изготовлен его опытный образец, позволяющий осуществлять бестраншейную реконструкцию трубопроводов разных диаметров. Получена зависимость усилия резания трубопроводов от затупления ножей рабочих механизмов. Предложены и запатентованы два стенда для ресурсных испытаний ножей в лабораторных условиях.

**Ключевые слова:** бестраншейная реконструкция, трубопровод, оборудование, совершенствование, ресурс, дисковый нож, резание, рабочий механизм, стенд, испытания.

В настоящее время технологии бестраншейной реконструкции трубопроводов находят все более широкое применение в России и за рубежом [1—8]. Одним из наиболее перспективных является способ, заключающийся в безударном разрушении заменяемого старого трубопровода гидравлическими установками с рабочим механизмом, представляющим собой режущую головку с дисковыми ножами и конический расширитель [9—19].

Способ, заключающийся в статическом (безударном) разрушении старого трубопровода рабочим органом с дисковыми ножами, расширении им скважины и одновременном протаскивании нового, чаще всего пластмассового трубопровода, эквивалентного или большего диаметра (рис. 1).

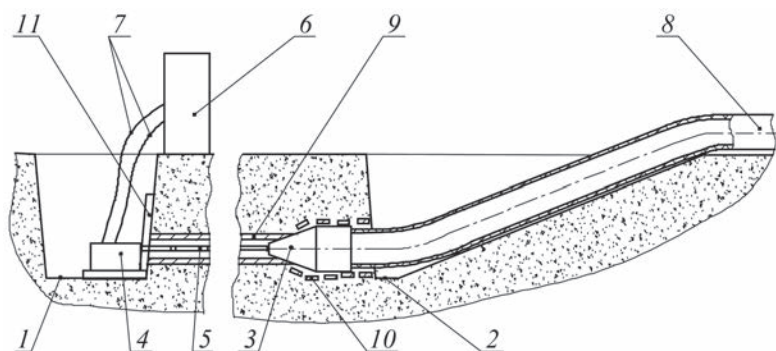


Рис. 1. Технологическая схема бестраншейного ремонта трубопроводов способом статического разрушения старой и протаскивания новой трубы: 1, 2 — приемки; 3 — рабочий орган; 4 — силовая установка; 5 — составная штанга; 6 — насосная станция; 7 — рукава высокого давления; 8 — новый трубопровод; 9 — старый трубопровод; 10 — обломки старого трубопровода; 11 — упорный щит

Достоинствами метода являются:  
 восстановление трубопроводов с любым их износом;  
 увеличение пропускной способности сети;  
 производство работ в любое время года;  
 отсутствие динамических нагрузок.

В связи с этим потребность в серийном выпуске такого отечественного ремонтного оборудования высока. Однако в результате анализа производственного опыта эксплуатации этого оборудования был выявлен ряд недостатков, один из которых заключается в том, что рабочий механизм одного типоразмера имеет малый диапазон диаметров реконструируемых трубопроводов. Для возможности реконструкции трубопроводов всех диаметров необходимо большое количество рабочих механизмов разного типоразмера, что усложняет и удорожает данную технологию. С целью устранения указанного недостатка была разработана и запатентована [20] конструкция усовершенствованного универсального рабочего механизма для бестраншейной реконструкции более широкого диапазона диаметров трубопроводов [21—22], а также изготовлен его опытный образец.

Опытный образец рабочего механизма для бестраншейной реконструкции трубопроводов разных диаметров состоит из соединенных друг с другом конической режущей головки 1 и конического расширителя 2 для увеличения диаметра скважины (рис. 2). В режущей головке 1 выполнены два фигурных паз 3. В пазах 3 на регулировочных винтах 6 размещены вилки 4, в которых на осях 7 установлено по дисковому ножу 5. В режущей головке 1 также выполнено отверстие 8 для крепления тягового элемента (составной штанги, троса), а в расширителе 2 — отверстия 9 для крепления нового пластмассового трубопровода.

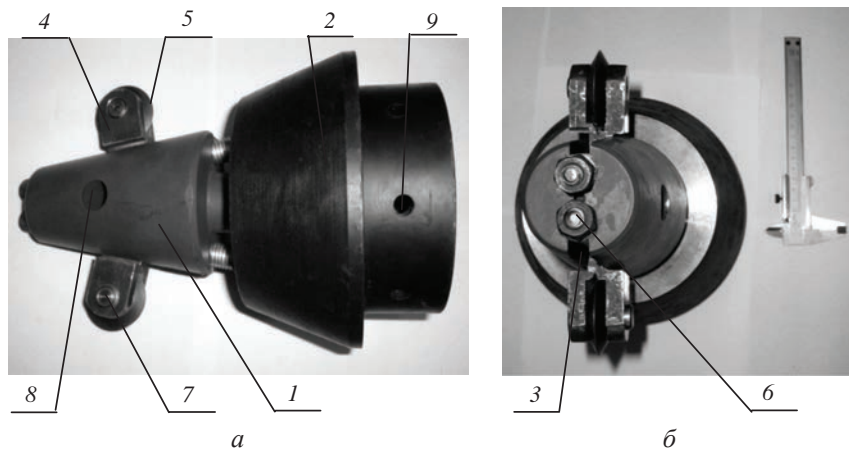


Рис. 2. Модель опытного образца рабочего механизма для бестраншейной реконструкции трубопроводов разных диаметров, изготовленная авторами работы по патенту на изобретение РФ № 2359164: *а* — вид сбоку; *б* — вид спереди; 1 — режущая головка; 2 — расширитель для увеличения диаметра скважины; 3 — фигурный паз; 4 — вилка; 5 — дисковый нож; 6 — регулировочный винт; 7 — ось; 8 — отверстие для крепления тягового элемента; 9 — отверстие для крепления нового трубопровода

Разрушение старых трубопроводов разных диаметров с помощью предлагаемого рабочего механизма обеспечивается за счет изменения положения вилок 4 в фигурных пазах 3 режущей головки 1.

При этом перемещение вилок 4 внутри пазов 3 основано на принципе действия винтовой передачи. При вращении регулировочных винтов 6 с помощью гаечного ключа, вилки 4 перемещаются либо вверх вдоль пазов 3 конической режущей головки 1, удаляясь от ее вершины, либо — вниз, приближаясь к ней, в зависимости от того в какую сторону вращаются регулировочные винты 6. Тем самым осуществляется установка вилок 4 в положение, соответствующее диаметру разрушаемого старого трубопровода.

Рабочий механизм подготавливают к работе в следующем порядке: режущую головку 1 тяговым тросом соединяют с тяговым элементом гидравлической силовой установки (см. рис. 1, п. 4), а расширитель 2 с новым пластмассовым трубопроводом. После чего осуществляют регулировку положения вилок 4 в соответствии с диаметром разрушаемого старого трубопровода. Затем включают гидравлическую силовую установку. Она с помощью тягового элемента начинает безударно затягивать режущую головку 1 с расширителем 2 и новым пластмассовым трубопроводом в реконструируемый трубопровод. Двигаясь вперед, рабочий механизм разрезает старый трубопровод дисковыми ножами 5, деформирует и вдавливает образующиеся его части расширителем 2 в грунт, одновременно затягивая новый пластмассовый трубопровод по формируемой скважине.

После выхода рабочего механизма из скважины его разбирают и прочищают пазы 3, резьбу регулировочных винтов 6 и вилки 4 от возможного загрязнения частицами грунта, отложениями, ржавчиной и обломками старого трубопровода, а затем, в случае необходимости, подготавливают к разрушению старого трубопровода другого участка.

Преимущество предлагаемого опытного образца рабочего механизма для бестраншейной реконструкции трубопроводов заключается в том, что с его помощью можно разрушать старые трубопроводы разных диаметров — от 150 до 200 мм. Такой рабочий механизм позволит обеспечить реконструкцию трубопроводов всех диаметров с меньшим количеством рабочих механизмов разного типоразмера, что упростит и удешевит данную технологию.

Тем не менее, несмотря на указанные преимущества, очевидно, что при эксплуатации рабочего механизма режущая кромка его ножа изнашивается и затупляется, приводя к уменьшению скорости резания старого трубопровода и возрастанию усилий, затрачиваемых на перемещение рабочего механизма. В этом случае может происходить застревание рабочего механизма в трубопроводе, так как требуемое усилие на его протаскивание превысит максимальное усилие, создаваемое гидравлической силовой установкой. Вынужденная остановка процесса бестраншейной реконструкции трубопроводов приводит к выполнению дополнительных непроизводительных операций, снижению производительности комплекса и повышению стоимости работ. Для исключения указанных недостатков необходимо знать зависимость усилия резания трубопроводов от степени затупления ножей рабочих механизмов, а также величину допускаемого затупления ножа.

С целью изучения этих показателей были изготовлены модели дисковых ножей со скругленными профилями, имитирующие затупление ножей в реальных условиях, и проведено экспериментальное исследование. Варьирование затупления ножей осуществлялось путем изменения их радиуса затупления  $R_3$ .

Измерение усилий резания труб ножами рабочих механизмов выполнено по следующей методике. Подготовленный опытный образец рабочего механизма и модель старого стального трубопровода помещали соосно между плитами гидравлического пресса. Затем включался пресс, и опускалась его верхняя плита. Под воздействием усилия пресса рабочий механизм внедрялся в трубу, разрезая ее. При этом полученные усилия фиксировались динамометром пресса. Далее рабочий механизм извлекался из образца трубы. После этого производилась замена одного дискового ножа на другой и последовательность операций повторялась.

Полученные результаты экспериментального исследования влияния затупления ножа на усилия резания старых трубопроводов показаны на рис. 3. При этом относительное затупление ножа определялось по формуле (1), а коэффициент затупления — по формуле (2).

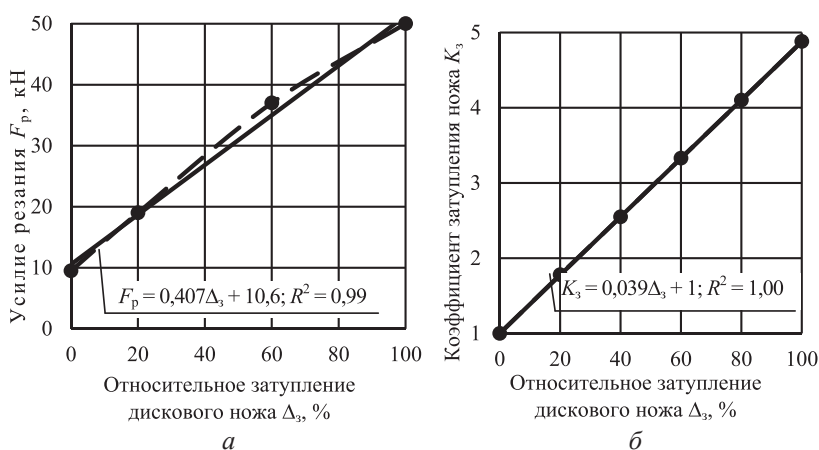


Рис. 3. Зависимость усилия резания образцов стальных труб (а) и коэффициента затупления дискового ножа (б) от его затупления ( $d_c = 0,068$  м;  $\delta_c = 0,004$  м;  $l_{тс} = 0,15$  м;  $\delta = 0,01$  м;  $\beta = 53$  град;  $D = 0,076$  м; материал старого трубопровода — сталь Ст. 3)

На рис. 3  $R^2$  — коэффициент корреляции или степень соответствия между результатами эксперимента и аппроксимирующими уравнениями;  $d_c$ ,  $\delta_c$ ,  $l_{тс}$  — внутренний диаметр, толщина стенки и длина образца старого трубопровода, м;  $D$  — наружный диаметр дискового ножа, м;  $\beta$  — угол заострения лезвия дискового ножа, град.

$$\Delta_3 = \frac{2R_3}{\delta} 100\%, \tag{1}$$

где  $R_3$ ,  $\delta$  — радиус затупления и толщина стенки дискового ножа, м.

$$K_3 = F_{p,з} / F_{p,о}, \tag{2}$$

где  $F_{p,з}$  и  $F_{p,о}$  — усилия резания старых стальных трубопроводов затупленным и абсолютно острым дисковым ножом, кН.

Анализ зависимостей на рис. 3 выявил, что усилие резания старых стальных трубопроводов затупленным ножом возрастает пропорционально величине его затупления. Использование мало затупленных ножей с  $\Delta_3 = 20$  %, по сравнению с острыми, приводит к увеличению усилий резания в 1,8 раза, а полностью затупленных ножей с  $\Delta_3 = 100$  % в 5 раз. В связи с этим целесоо-

бразно осуществлять заточку лезвия или замену ножа в случае превышения величины его затупления более чем на 20 %.

Для определения периодичности заточки лезвий дисковых ножей рабочих механизмов были предложены и запатентованы два стенда ресурсных испытаний в лабораторных условиях.

Первый стенд для ресурсных испытаний дисковых ножей рабочих механизмов для бестраншейной реконструкции трубопроводов по патенту РФ на полезную модель № 127465 содержит вилку 1 (рис. 4) с дисковым ножом 2 и модель старого трубопровода 3, выполненную в виде цилиндрического прутка. Модель старого трубопровода 3 установлена в токарном станке 4. Вилка 1 с дисковым ножом 2 размещена таким образом, что оси симметрии дискового ножа  $a$ ,  $2a$  и модели ветхого трубопровода  $a$ ,  $3b$  расположены друг относительно друга под углом в горизонтальной и в вертикальной плоскостях. Задней частью вилка 1 соединена зажимами 5 с гидроцилиндром 6, закрепленным на платформе 7. Платформа 7 установлена на ползуне 8 с возможностью поворота в горизонтальной плоскости и фиксации винтами 9. Ползун 8 установлен в направляющей 10 с возможностью возвратно-поступательного движения вдоль модели ветхого трубопровода 3 с помощью кривошипно-шатунного механизма 11.

Предлагаемый стенд работает следующим образом. Исследуемый дисковый нож 2 рабочего механизма для бестраншейной реконструкции трубопроводов с заданными геометрическими (диаметр, толщина, угол заточки лезвия, вид профиля режущей кромки) и физическими (твердость, шероховатость) параметрами устанавливают на ось вилки 1. Затем вилку 1 с дисковым ножом 2 закрепляют в зажимы 5 гидроцилиндра 6, разместив под углом между осями симметрии дискового ножа  $a$ ,  $2a$  и модели ветхого трубопровода  $a$ ,  $3b$  в вертикальной плоскости. Платформу 7 поворачивают на угол между осями симметрии дискового ножа  $a$ ,  $2a$  и моделью ветхого трубопровода  $a$ ,  $3b$  в горизонтальной плоскости и фиксируют ее в этом положении винтами 9. Модель ветхого трубопровода 3 устанавливают в патрон токарного станка 4 с возможностью свободного (невынужденного) осевого вращения.

Включают гидроцилиндр 6 и задают требуемое усилие прижатия дискового ножа 2 к модели старого трубопровода 3. После чего включают кривошипно-шатунный механизм 11. Он обеспечивает возвратно-поступательное осевое движение дискового ножа 2 относительно модели старого трубопровода 3. При этом осуществляется качение дискового ножа 2 по наружной поверхности модели ветхого трубопровода 3. Причем дисковый нож 2, контактируя с моделью ветхого трубопровода 3, вращает ее тоже. Такое перемещение дискового ножа 2 обеспечивает резание модели ветхого трубопровода 3 путем создания на ее наружной поверхности винтовой канавки. Это увеличивает пройденный дисковым ножом 2 путь до полного его внедрения (углубления) в модель старого трубопровода 3 или ее полного разрезания.

Второй стенд для ресурсных испытаний дисковых ножей рабочих механизмов для бестраншейной реконструкции трубопроводов по патенту РФ на полезную модель № 131873 содержит вилку 1 (рис. 5) с установленным в ней на оси 2 дисковым ножом 3 и модель ветхого трубопровода 4, выполненную в виде сегмента трубы.



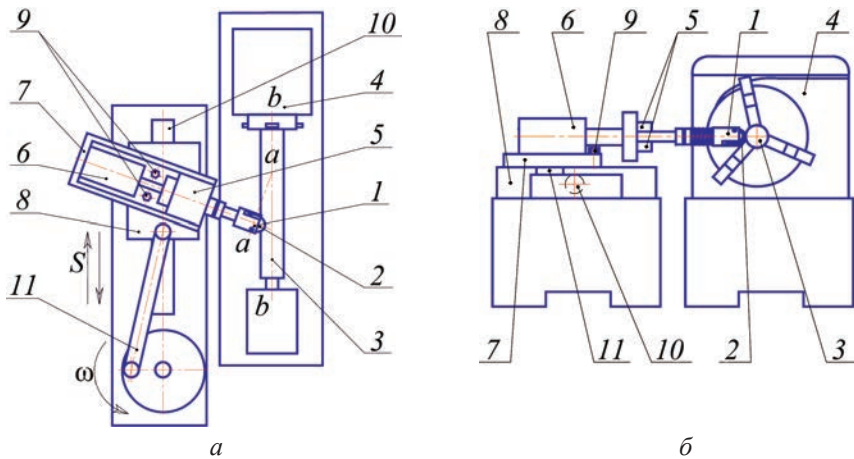


Рис. 4. Стенд для ресурсных испытаний дисковых ножей рабочих механизмов для бестраншейной реконструкции трубопроводов по патенту РФ на полезную модель № 127465: *a* — вид сверху; *б* — вид спереди; 1 — вилка; 2 — дисковый нож; 3 — модель ветхого трубопровода; 4 — токарный станок; 5 — зажимы; 6 — гидроцилиндр; 7 — платформа; 8 — ползун; 9 — фиксирующие винты; 10 — направляющая; 11 — кривошипно-шатунный механизм

Вилка 1 и модель старого трубопровода 4 установлены в шарнирах 5 и 6 соответственно с возможностью поворота в вертикальной плоскости. Вилка 1 с дисковым ножом 3 соединена с механизмом возвратно-поступательного движения, выполненного в виде кривошипно-шатунного механизма 7. Вилка 1 с дисковым ножом 3 размещена таким образом, что плоскость поперечного сечения дискового ножа 3 расположена в вертикальной плоскости. При этом внутренняя поверхность модели ветхого трубопровода 4 сопряжена с лезвием дискового ножа 3. К концу модели ветхого трубопровода 4 на тросе 8 закреплен груз 9.

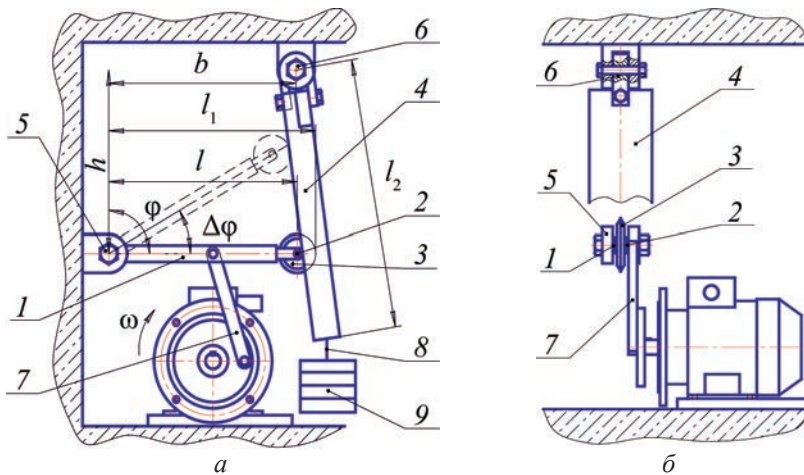


Рис. 5. Стенд для ресурсных испытаний дисковых ножей рабочих механизмов для бестраншейной реконструкции трубопроводов по патенту РФ на полезную модель № 131873: *a* — вид сбоку; *б* — вид спереди; 1 — вилка; 2 — ось; 3 — дисковый нож; 4 — модель ветхого трубопровода; 5, 6 — шарниры; 7 — кривошипно-шатунный механизм; 8 — трос; 9 — груз

Предлагаемый стенд работает следующим образом. Исследуемый дисковый нож 3 рабочего механизма для бестраншейной реконструкции трубопроводов с заданными геометрическими и физическими параметрами устанавливаются на ось 2 вилки 1, предварительно закрепленной в шарнире 5 и соединенной с кривошипно-шатунным механизмом 7. Затем в шарнир 6 устанавливают модель ветхого трубопровода 4 с заданным радиусом, толщиной стенки, длиной, материалом и его твердостью. К концу модели старого трубопровода 4 на тресе 8 закрепляют груз 9 расчетного веса и сопрягают внутреннюю поверхность модели старого трубопровода 4 с лезвием дискового ножа 3.

После чего включают кривошипно-шатунный механизм 7. Возвратно-поступательным движением он поднимает и опускает вилку 1, обеспечивая ее повороты в вертикальной плоскости. При этом осуществляется перемещение дискового ножа 3 качением по внутренней поверхности модели старого трубопровода 4 вдоль ее от одного конца к другому и обратно. Такое движение дискового ножа 3 повышает точность испытаний и их адекватность по сравнению с реальными условиями работы дисковых ножей 3 рабочих механизмов для бестраншейной реконструкции трубопроводов.

Перемещаясь по внутренней поверхности модели ветхого трубопровода 4, дисковый нож 3 внедряется (углубляется) в нее, осуществляя ее резание. Постоянное значение усилия прижатия модели ветхого трубопровода 4 к дисковому ножу 3 обеспечивается грузом 9. При движении дискового ножа 3, установленного в вилке 1, поднимаемой кривошипно-шатунным механизмом 7, конец модели старого трубопровода 4 также поднимается, поворачиваясь в вертикальной плоскости. При обратном перемещении дискового ножа 3 и опускании вилки 1 конец модели старого трубопровода 4 под действием груза 9 также опускается. В случае полного разрезания стенки модели ветхого трубопровода 4, она заменяется другой моделью, и испытания возобновляются.

Ресурс дискового ножа на обоих стендах находится путем определения его наработки от начала испытаний до наступления предельного состояния (критического затупления или появления первых следов разрушения дискового ножа).

*Выводы.* 1. Предложено усовершенствование перспективной технологии бестраншейной реконструкции трубопроводов с безударным разрушением гидравлическими силовыми установками реконструируемого ветхого трубопровода и одновременным протаскиванием в образуемую скважину плети новой пластмассовой трубы.

2. Запатентована усовершенствованная конструкция рабочего механизма, а также изготовлен и успешно испытан его опытный образец, позволяющий осуществлять бестраншейную реконструкцию трубопроводов расширенного диапазона диаметров (от 150 до 200 мм) с помощью одного комплекта.

3. Получена зависимость усилия резания трубопроводов от затупления ножей рабочих механизмов. Усилие резания ветхих стальных трубопроводов затупленным ножом возрастает пропорционально величине его степени затупления. Использование мало затупленных ножей с  $\Delta_3 = 20\%$ , по сравнению с острыми, приводит к увеличению усилий резания в 1,8 раза, а полностью затупленных ножей с  $\Delta_3 = 100\%$  в 5 раз. В связи с этим целесообразно осуществлять заточку лезвия или замену ножа в случае превышения величины его затупления более чем на 20%.

4. Разработаны и запатентованы два стенда для ресурсных испытаний в лабораторных условиях ножей рабочих механизмов.

#### Библиографический список

1. *Харькин В.А., Отставнов А.А.* Комплексная механизация разрушения ветхих подземных трубопроводов из традиционных материалов и замена их полимерными // Строительные и дорожные машины. 2004. № 12. С. 6—11.
2. *Григорашенко В.А., Плавских В.Д., Харькин В.А.* Бестраншейная реконструкция подземных трубопроводов // Строительная техника и технологии. 2002. № 3. С. 76—77.
3. *Laffrechine K., Breyse D., Le Gat Y., Bourgogne P.* Strategie pour l'étude du vieillissement et l'optimisation de la maintenance du reseau d'assainissement // Tech. Sci. Meth. 1999. No. 6. Pp. 61—63.
4. *Langenfeld M., Nouail G.* Methodes d'examen et d'evaluation d'échantillons de tuyaux en fonte, dans le cadre du diagnostic de reseau en service // Tech. Sci. Meth. 1999. No. 12. Pp. 43—49.
5. *Орлов В.А., Харькин В.А.* Стратегия и методы восстановления подземных трубопроводов. М. : Стройиздат, 2001. 96 с.
6. Положение о санации водопроводных и водоотводящих сетей. М. : Прима-Пресс-М, 2004. 44 с.
7. Правила технической эксплуатации систем и сооружений коммунального водоснабжения и канализации / Гос. ком. РФ по строительству и жилищно-коммунальному комплексу. М. : МДК, 2000. 70 с.
8. *Орлов В.А., Хренов К.Е., Зверев П.В.* Повышение эффекта энергосбережения при восстановлении ветхих трубопроводов полимерными трубами // «Яковлевские чтения» : сб. докл. IX науч.-техн. конф. (Москва. 18—19 марта 2014 г.). М. : МГСУ, 2014. С. 94—96.
9. *Балаховский М.С.* Восстановление трубопроводов установками фирмы «Вермер» // Механизация строительства. 2003. № 3. С. 2—9.
10. *Храменков С.В.* Стратегия модернизации водопроводной сети. М. : Стройиздат, 2005. 398 с.
11. *Орлов В.А., Каишкина Е.А.* Технология Swagelining. Опыт восстановления напорного чугунного трубопровода с использованием бестраншейного метода // Технологии Мира. 2011. № 9. С. 13—14.
12. Рекомендации по выбору способа и подбору технологического оборудования для бестраншейного ремонта инженерных сетей. СПб. : НИИ АКХ им. К.Д. Памфилова, 2004. 51 с.
13. *Laffrechine K., Breyse D., Le Gat Y., Bourgogne P.* Strategie pour l'étude du vieillissement et l'optimisation de la maintenance du reseau d'assainissement // Tech. Sei. Meth. 1999. No. 6. Pp. 61—63.
14. *Landenfeld M., Nouail G.* Methodes d'examen et d'evaluation d'échantillon de tuyaux en fonte, dans le cadre du diagnostic de reseau en service // Tech. Sei. Meth. 1999. No. 12. Pp. 43—49.
15. *Храменков С.В., Хренов К.Е., Федунец Б.И., Косолапов А.Ф., Пахомов А.В.* Полимерная футеровка железобетонных блоков для строительства канализационных коллекторов // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 3. С. 13—18.
16. *Stein D.* Instandhaltung von Kanalisationen. 3. Auflage. Berlin: Verlag Ernst & Sohn, 1998. 960 s.
17. *Stein D.* Sanierung von Abwasserkanälen // Korrespondenz Abwasser. 1999. H. 7. S. 1058—1067
18. *Зенитов Н.А.* Машины для содержания канализационных и водосточных сетей // Техника для городского хозяйства. 2001. № 1. С. 17—20.



19. *Зенитов Н.А.* Рабочее оборудование каналоочистительных машин // Техника для городского хозяйства. 2001. № 2. С. 10—14.

20. Пат. № 2359164 РФ, МПК F16L1/028, B23D21/14. Устройство для бестраншейной замены подземных трубопроводов / А.А. Шайхадиев, П.О. Шалаев; патентообладатель СФУ. № 2008107779/06. Заявл. 28.02.2008; опубл. 20.06.2009. Бюл. № 17. 7 с.

21. *Шайхадиев А.А., Свитнева Л.М., Кушнарченко А.В., Готовко С.А.* Комплект рабочих органов для бестраншейного ремонта трубопроводов разного диаметра. Часть 1 // Механизация строительства. 2014. № 1. С. 3—7.

22. *Шайхадиев А.А., Браунгардт М.В., Карпов И.В., Ушаков А.В.* Универсальные рабочие механизмы гидроприводных установок для бестраншейного ремонта трубопроводов // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. № 12. С. 63—69.

*Поступила в редакцию в декабре 2014 г.*

Об авторах: **Жмаков Геннадий Николаевич** — кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры водоотведения и водной экологии, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, gennady\_zhmakov@mail.ru;

**Шайхадиев Александр Анатольевич** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры машиностроения, **Сибирский федеральный университет (ФГАОУ ВПО «СФУ»)**, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, д. 79, shaihadinov@mail.ru.

Для цитирования: *Жмаков Г.Н., Шайхадиев А.А.* Совершенствование оборудования для бестраншейной реконструкции трубопроводов // Вестник МГСУ. 2015. № 1. С. 63—73.

**G.N. Zhmakov, A.A. Shaykhadinov**

#### **EQUIPMENT OPTIMIZATION FOR TRENCHLESS RECONSTRUCTION OF PIPELINES**

Today the technologies of trenchless reconstruction of pipelines are becoming more and more widely used in Russia and abroad. One of the most perspective is methods is shock-free destruction of the old pipeline being replaced with the help of hydraulic installations with working mechanism representing a cutting unit with knife disks and a conic expander.

A construction of a working mechanism, which allows making trenchless reconstruction of pipelines of different diameters, is optimized and patented and its developmental prototype is manufactured. The dependence of pipeline cutting force from knives obtusion of the working mechanisms. The cutting force of old steel pipelines with obtuse knife increases proportional to the value of its obtusion.

Two stands for endurance tests of the knives in laboratory environment are offered and patented.

**Key words:** trenchless reconstruction, pipeline, equipment, optimization, resource, knife disk, cutting, working mechanism, stand, tests.

#### **References**

1. Khar'kin V.A., Otstavnov A.A. Kompleksnaya mekhanizatsiya razrusheniya vetkhikh podzemnykh truboprovodov iz traditsionnykh materialov i zamena ikh polimernymi [Complex Destruction Mechanization of Old Underground Pipelines of Traditional Materials and Replacement by the Polymer Ones]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny* [Construction and Road Building Machinery]. 2004, no. 12, pp. 6—11. (In Russian)

2. Grigorashchenko V.A., Plavskikh V.D., Khar'kin V.A. Bestransheynaya rekonstruktsiya podzemnykh truboprovodov [Trenchless Reconstruction of Underground Pipelines]. *Stroitel'naya tekhnika i tekhnologii* [Construction Equipment and Technologies]. 2002, no. 3, pp. 76—77. (In Russian)
3. Laffrechine K., Breyse D., Le Gat Y., Bourgogne P. Strategie pour l'etude du vieillissement et l'optimisation de la maintenance du reseau d'assainissement. *Tech. Sci. Meth.* 1999, no. 6, pp. 61—63.
4. Langenfeld M., Nouail G. Methodes d'examen et d'evaluation d'echantillons de tuyaux en fonte, dans le cadre du diagnostic de reseau en service. *Tech. Sci. Meth.* 1999, no. 12, pp. 43—49.
5. Orlov V.A., Khar'kin V.A. *Strategiya i metody vosstanovleniya podzemnykh truboprovodov* [Strategy and Methods of Underground Pipelines Reconstruction]. Moscow, Stroyizdat Publ., 2001, 96 p. (In Russian)
6. *Polozhenie o sanatsii vodoprovodnykh i vodootvodyashchikh setey* [Provision on Sanatization of Pipeline and Collecting Systems]. Moscow, Prima-Press-M Publ., 2004, 44 p. (In Russian).
7. Pravila tekhnicheskoy ekspluatatsii sistem i sooruzheniy kommunal'nogo vodosnabzheniya i kanalizatsii [Rules of Technical Operation of the Systems and Constructions of Public Water Supply and Water Disposal]. *Gosudarstvennyy komitet RF po stroitel'stvu i zhilishchno-kommunal'nomu kompleksu* [RF State Committee on Construction and Housing and Utilities Complex]. Moscow, MDK Publ., 2000, 70 p. (In Russian)
8. Orlov V.A., Khrenov K.E., Zverev P.V. Povyshenie efekta energosberezheniya pri vosstanovlenii vetkhikh truboprovodov polimernymi trubami [Raising the Effect of Energy Saving in the Process of Old Pipelines Reconstruction by Polymer Pipes]. «*Yakovlevskie Chteniya*» : *Sbornik Dokladov IX Nauchno-Tekhnicheskoy Konferentsii (Moskva. 18—19 Marta 2014 G.)* ["Yakovlev Readings" : Collection of Works of the 9th Science and Technical Conference (Moscow, March 18—19, 2014)]. Moscow, MGSU Publ., 2014, pp. 94—96. (In Russian)
9. Balakhovskiy M.S. Vosstanovlenie truboprovodov ustanovkami firmy «Vermeer» [Reconstruction of Pipelines by Installations of "Vermeer" Company]. *Mekhanizatsiya stroitel'stva* [Mechanization of Construction]. 2003, no. 3, pp. 2—9. (In Russian)
10. Khramenkov S.V. *Strategiya modernizatsii vodoprovodnoy seti* [Strategy of Pipeline System Modernization]. Moscow, Stroyizdat Publ., 2005, 398 p. (In Russian)
11. Orlov V.A., Kashkina E.A. Tekhnologiya Swagelining. Opyt vosstanovleniya napor-nogo chugunnogo truboprovoda s ispol'zovaniem bestransheynogo metoda [Swagelining Technology. Experience of Cast Iron Penstock Reconstruction Using Trenchless Method]. *Tekhnologii Mira* [Technologies of the World]. 2011, no. 9, pp. 13—14. (In Russian)
12. *Rekomendatsii po vyboru sposoba i podboru tekhnologicheskogo oborudovaniya dlya bestransheynogo remonta inzhenernykh setey* [Recommendations on Choosing the Method and Technological Equipment for Trenchless Repairs of Engineering Networks]. Saimt Petersburg, NII AKKh im. K.D. Pamfilova Publ., 2004, 51 p. (In Russian)
13. Laffrechine K., Breyse D., Le Gat Y., Bourgogne P. Strategie pour l'etude du vieillissement et l'optimisation de la maintenance du reseau d'assainissement. *Tech. Sei. Meth.* 1999, no. 6, pp. 61—63.
14. Landenfeld M., Nouail G. Methodes d'examen et d'evaluation d'echfntillon de tuyaux en fonte, dans le cadre du diagnostic de reseau en service. *Tech. Sei. Meth.* 1999, no. 12, pp. 43—49.
15. Khramenkov S.V., Khrenov K.E., Fedunets B.I., Kosolapov A.F., Pakhomov A.V. Polimernaya futerovka zhelezobetonnykh blokov dlya stroitel'stva kanalizatsionnykh kollektorov [Polymer Lining of Reinforced Concrete Blocks for Sewage Collectors]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water Supply and Sanitary Engineering]. 2011, no. 3, pp. 13—18. (In Russian)
16. Stein D. Instandhaltung von Kanalisationen. 3. Auflage. Berlin, Verlag Ernst & Sohn, 1998, 960 p.

17. Stein D. Sanierung von Abwasserkanälen. Korrespondenz Abwasser. 1999, H. 7, S. 1058—1067

18. Zenitov N.A. Mashiny dlya sodержaniya kanalizatsionnykh i vodostochnykh setey [Machines for Upkeeping Canalization and Water Disposal Systems]. *Tekhnika dlya gorodskogo khozyaystva* [Equipment for Municipal Services]. 2001, no. 1, pp. 17—20. (In Russian)

19. Zenitov N.A. Rabochee oborudovanie kanaloochistitel'nykh mashin [Working Equipment of Dredger Machinery]. *Tekhnika dlya gorodskogo khozyaystva* [Equipment for Municipal Services]. 2001, no. 2, pp. 10—14. (In Russian)

20. Shaykhadinov A.A., Shalaev P.O. *Patent № 2359164 RF, MPK F16L1/028, B23D21/14. Ustroystvo dlya bestransheyroy zameny podzemnykh truboprovodov. № 2008107779/06. Zayavl. 28.02.2008; opubl. 20.06.2009. Byul. № 17* [Russian Patent no. 2359164 RF, MPK F16L1/028, B23D21/14. Device for Trenchless Replacement of Underground Pipelines. No. 2008107779/06. Appl. 28.02.2008; publ. 20.06.2009. Bulletin no. 17]. 7 p. (In Russian)

21. Shaykhadinov A.A., Svitneva L.M., Kushnarenko A.V., Gotovko S.A. Komplekt rabochikh organov dlya bestransheyroy remonta truboprovodov raznogo diametra. Chast' 1 [A Set of Working Bodies for Trenchless Repairs of Pipelines with Different Diameters. Part 1]. *Mekhanizatsiya stroitel'stva* [Mechanization of Construction]. 2014, no. 1, pp. 3—7. (In Russian)

22. Shaykhadinov A.A., Braungardt M.V., Karpov I.V., Ushakov A.V. Universal'nye rabochie mekhanizmy gidroprivodnykh ustanovok dlya bestransheyroy remonta truboprovodov [Flexible Working Mechanisms of Hydraulic Power Units for Trenchless Repairs of Pipelines]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water Supply and Sanitary Engineering]. 2013, no. 12, pp. 63—69. (In Russian)

About the authors: **Zhmakov Gennadiy Nikolaevich** — Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Water Disposal and Water Ecology, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe Shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; gennady\_zhmakov@mail.ru;

**Shaykhadinov Aleksandr Anatol'evich** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, **Siberian Federal University (SibFU)**, 79 Svobodny pr., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation; shaykhadinov@mail.ru.

For citation: Zhmakov G.N., Shaykhadinov A.A. Sovershenstvovanie oborudovaniya dlya bestransheyroy rekonstruktsii truboprovodov [Equipment Optimization for Trenchless Reconstruction of Pipelines]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 1, pp. 63—73. (In Russian)