

УДК 502/504:621.644

**А. В. ЧИСТЯКОВА, В. А. ОРЛОВ, В. А. ЧУХИН**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва

**ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ**

*Рассмотрены методы оценки технического состояния металлических трубопроводов с помощью внутритрубного и наружного (наземного) диагностирования. Приведены классификация и функции телевизионных роботов. Представлены возможности метода оценки состояния трубопроводов путем использования бесконтактной магнитометрической диагностики с интерпретацией результатов полевых испытаний. Целью исследования является проведение экспериментов на стальном трубопроводе с выявлением и регистрацией напряженности магнитного поля, отыскание различного рода аномалий (свищей, трещин, коррозии, расслоения) и их идентификация. Используются аналитический и экспериментальный методы исследования с помощью прибора измерителя концентрации напряжений и специализированных датчиков без прямого доступа к поверхности металла (без шурфования, без снятия изоляции и без зачисток поверхности трубопроводов) с получением магнитограмм с аномалиями по видам повреждений. При движении устройства по трассе трубопровода на экране прибора отображается пройденное оператором расстояние от начальной до конечной точек контроля и определяются участки, работающие в наиболее напряженных условиях и предрасположенные к повреждениям. В результате проведенных в полевых условиях анализов, обнаружена трещина протяженностью более 200 мм, утонение стенки до 1,5 мм вместо 10 мм по номиналу и наличие кабеля. По результатам сканирования получена магнитограмма, отображающая фактическое напряженно-деформированное состояние с экстремальными участками.*

*Диагностика, трубопровод, повреждения, внутритрубный и бесконтактный контроль, телероботы, магнитометрическое обследование.*

**Введение.** Для надежной работы подземных трубопроводов и сооружений на сети периодически или планомерно должны осуществляться выборочный или сплошной контроль их технического состояния для предупреждения негативных последствий, которые могут быть вызваны тем или иным видом проявляющихся дефектов. Аналогичные мероприятия проводятся при подготовке к ремонтно-восстановительным работам на сетях, причем в обязательном порядке должны подвергаться контролю все участки трубопроводной сети, за исключением тех, которые согласно проекту подлежат разрушению и замене.

**Материалы и методы исследования.** Комплекс диагностического обследования, как правило, заключается как в наружном (наземном) диагностировании трассы, включая места доступа к трубопроводам через колодцы, так и внутритрубном диагностировании.

В настоящее время диагностика подземных участков металлических трубопроводов производится различными мето-

дами [1], зависящими от протяженности сетей, их диаметра, расположения по глубине залегания, скученности подземной трубопроводной и иной инфраструктуры, местных условий и др. Из существующих методов обследования трубопроводов, наибольшее распространение и применение получили: визуально-измерительный, вихретоковый, акустико-эмиссионный, рентгенографический и тепловизионный контроль, а также магнитопорошковая дефектоскопия, контроль на основе ультразвукового метода (толщинометрия, дефектоскопия, ультразвуковой контроль (УЗК-скрининг), дюрометрический анализ (твердометрия), видеодиагностика (телеинспекция), контроль с использованием шумомеров (течеискателей), метод магнитной памяти металла и бесконтактное магнитометрическое обследование.

Из перечисленных методов лидирующее место на практике при обследовании трубопроводных сетей занимает видеодиагностика (телеинспекция с применением телевизионных роботов), а в последнее время новый уникальный

метод бесконтактного магнитометрического обследования.

Оборудование для телеинспекции позволяет не только обнаружить и идентифицировать дефекты, но и прогнозировать их появление [2]. Телевизионные роботы представляют собой перемещающиеся внутри трубопровода транспортные модули на колесном, гусеничном ходу, салазках или плавающие [3] и использующие специальные диагностические комплексы, включающие ультразвуковой датчик-толщиномер, который с высокой точностью определяет остаточное количество металла в сечении трубопровода, в том числе под слоем отложений, а также обнаруживает трещины протяженностью не менее 50 мм.

Телевизионные роботы могут совмещать функции диагностики технического состояния трубопроводов и локального ремонта отдельных его участков. В этом случае они называются ремонтными роботами [4].

Инспекция трубопроводов осуществляется цветной телекамерой с высокой разрешающей способностью и цифровым увеличением изображения, что позволяет получать детализированную информацию о техническом состоянии сети. Видеосъемка может производиться круглосуточно и независимо от погодных условий.

В зависимости от целей проведения работ и диаметра трубопровода, принята следующая классификация телеинспекционных роботов:

переносные проталкиваемые телекамеры с черно-белым или цветным монитором, углом бокового обзора 63 град. с возможностью фокусировки изображения, предназначенные для оперативной диагностики технического состояния труб диаметром от 40 до 300 мм на расстояние до 100 м;

дистанционно-управляемые телекамеры с цветным монитором, углом бокового обзора 75 град. с возможностью фокусировки изображения, используемые для диагностики технического состояния труб диаметром от 100 до 1200 мм на расстояние до 1000 м; снабжаются разъемом для подключения персонального компьютера;

дистанционно-управляемые телекамеры с сателлитами, то есть дополнительными телекамерами; система предназначена для

одновременного проведения инспекции основного трубопровода и примыкающих к нему по ходу движения ответвлений диаметром 100...200 мм и длиной от 25 до 50 м;

специализированные телекамеры (беспроводные и глубинные для скважин).

С помощью телероботов осуществляется не только выборочная инспекция аварийных участков трубопроводов, но и плановый мониторинг действующих водопроводных сетей с выявлением, анализом и систематизацией повреждений на сетях для последующего создания полных паспортов технического состояния трубопроводной сети. Эти задачи становятся неотъемлемой составной частью работы служб эксплуатации, в обязанности которых входит принятие оптимальных решений о необходимости прочистки сетей, выборе метода восстановления, реконструкции или модернизации действующих трубопроводов.

Планирование ремонтов на основе предварительной оценки состояния протяженных подземных участков трубопроводов с использованием традиционных методов неразрушающего контроля представляется возможным только в случае определения участков труб, работающих в наиболее напряженных условиях и predisposed к повреждениям. Используя телероботы, не всегда можно делать точные выводы о состоянии металлических стенок и работоспособности всей трассы трубопровода. В данной ситуации, для решения задачи по обеспечению безаварийной работы протяженных подземных трубопроводов, в настоящее время в России активно внедряется бесконтактная магнитометрическая диагностика [5].

Известно, что большинство металлоконструкций и трубопроводов, изготовленных из ферромагнитных материалов, под действием рабочих нагрузок подвержены «самонамагничиванию» в магнитном поле земли. Изучив это явление намагничивания на примере работы котельных труб, было предложено использовать его для целей технической диагностики. На основе этого явления, а именно, наличия собственного магнитного поля трубопровода, разработан метод контактного контроля, который получил название «метод магнитной памяти металла» (МПМ), при котором используется последствие, проявляющееся

в виде магнитной памяти металла к фактическим деформациям и структурным изменениям в металле трубы. Метод МПМ применяется в основном для контактного контроля сварных швов трубопроводов при изготовлении или в шурфах, а также для подтверждения мест дефектов, выявленных другими методами (ультразвуковой контроль (УК), визуально-измерительный контроль (ВИК), акустическая эмиссия (АЭ)).

На основе возможностей метода МПМ разработан специальный приборный комплекс для контроля состояния подземных металлических трубопроводов с использованием бесконтактной магнитометрической диагностики (БМД).

Метод БМД основан на измерении напряженности магнитного поля земли, обусловленного изменением собственного магнитного поля трубопровода, находящегося под землей, в зонах концентрации напряжений (ЗКН) и в зонах развивающихся коррозионно-усталостных повреждений. При этом характер изменений поля земли (частота, амплитуда) может быть обусловлен дефектами (повреждениями, аномалиями) на участках трубопровода, возникающими вследствие воздействия ряда негативных факторов. К таким факторам относятся: остаточные технологические и монтажные напряжения, рабочая нагрузка (перепад давлений транспортируемой воды и изменение ее качественных показателей), проявление напряжений самокомпенсации при колебаниях температуры наружного воздуха и окружающей среды (грунта, подземной воды вдоль трассы) и др. Процессами, предшествующими эксплуатационному износу, являются изменения свойств металла (коррозия, усталость) в зонах концентрации напряжений. Соответственно, изменяется намагниченность металла, отражающая фактическое напряженно-деформированное состояние трубопроводов. Анализ изменений магнитного поля позволяет выявлять места напряженно-деформированного состояния, неоднородности металла и др.

Обследование производится с помощью прибора-измерителя концентрации напряжений (ИКН) и специализированных датчиков без прямого доступа к поверхности металла (без шурфования, без снятия изоляции и без зачисток поверхности трубопроводов. На рисунке 1 показан измерительный комплекс для

бесконтактной магнитометрической диагностики трубопроводов, расположенных под слоем грунта, воды и др.



Рис. 1. Сканирующий приборный комплекс для БМД: 1 – дорожное колесо; 2 – узел счета длины; 3 – узел крепления датчика Тип 11; 4 – датчик Тип 11; 5 – ручка; 6 – узел крепления измерительного прибора; 7 – складная опорная стойка; 8 – универсальная головка

Приборы типа ИКН по принципу работы являются многоканальными феррозондовыми магнитометрами. Дефекты, вызванные перечисленными выше нагрузками на металл трубопровода, приводят к изменению собственного магнитного поля, что отражается на диаграмме, полученной прибором при сканировании вдоль трассы трубопровода. Причем, чем больше эти изменения, тем выше градиент вызванной аномалии в магнитном поле и чем резче аномалия, тем надежнее регистрируются подобные экстремальные участки с помощью измерительной аппаратуры.

Целью БМД является оперативное обследование трубопроводов с поверхности земли для определения наиболее напряженных участков, предрасположенных

к развитию повреждений. Участки трубопровода, где при дополнительном контроле в шурфах зафиксированы наиболее значительные повреждения, назначаются для выполнения ремонта.

При расшифровке информации о состоянии трубопроводов по изменениям магнитного поля, фиксируемого на расстоянии 200...300 мм от поверхности земли, используются критерии и программный продукт, разработанные в ООО «Энергодиагностика» [6, 7].

Технология регистрации информации осуществляется посредством применения специальных сканирующих устройств, регистрирующих изменения магнитного поля. При движении устройства по трассе трубопровода (не менее 2 км/час) на экране прибора отображается пройденное оператором расстояние от начальной до конечной точек контроля и определяются участки, работающие в наиболее напряженных условиях и predisposed к повреждениям. На этих участках делается шурфовка и дополнительный контроль с целью выявления конкретных дефектов.

**Результаты исследований.** Выявлен-

ные при контроле магнитные аномалии локализуются по номеру участка и соответствующих расстояний от начальной точки, фиксируются в протоколе и отмечаются по месту вешками с нанесением на схему (карту) трассировки. Локальные изменения магнитного поля в ЗКН могут вызываться не только дефектами трубопровода, но и рядом факторов, например, пересечениями обследуемого трубопровода с линиями электропередач (ЛЭП), другими трубопроводами, кабелями, дорогами и др. Необходимо отметить, что в протоколе фиксируются точки (зоны) отклонения характера магнитограмм, превышающие 20 % от фоновых значений. На таких участках рекомендуется проводить инженерные изыскания (например, осуществлять шурфование) для непосредственного контроля и подтверждения выявленных отклонений другими методами (МПИ, УК, ВИК).

Результатом обследования состояния трубопровода с помощью БМД является получение магнитограмм, отражающих напряженность собственного магнитного поля трубопровода и ее изменения, возникающие по причине различного рода аномалий (рис. 2).

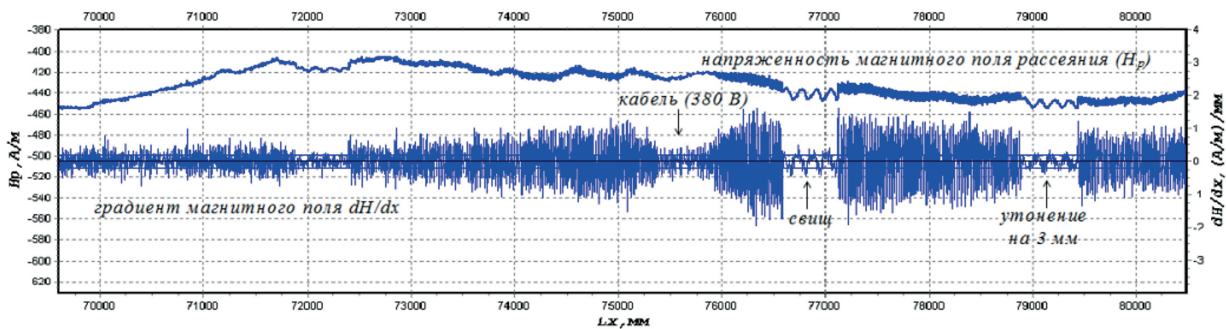


Рис. 2. Магнитограмма с аномалиями на трубопроводе диаметром 1020 мм в виде функций  $dH/dx = f(Lx)$  и  $H_p = f(Lx)$ : по оси абсцисс:  $Lx$  – длина контролируемого участка трубопровода, на котором выявлены аномалии; по оси ординат (слева):  $dH/dx$  – градиент магнитного поля (А/м) (нижняя магнитограмма); по оси ординат (справа):  $H_p$  – напряженность магнитного поля рассеяния, (А/м)/мм (верхняя магнитограмма)

Характер изменения амплитуды и частоты полученной магнитограммы свидетельствует о наличии участков с заметным изменением напряженности магнитного поля  $H_p$  (верхняя магнитограмма) и его градиента  $dH/dx$  (нижняя магнитограмма). Три аномалии (слева направо) идентифицированы как возможное пересечение трубопровода с кабелем 380 В (крайняя левая аномальная область), на-

личие свищей (трещин) в трубопроводе (средняя) и утонения стенок (крайняя правая). Данные предположения были подтверждены после проведения инженерных изысканий, в частности шурфования участка трубопровода в трех точках. В месте, где предполагалось наличие свищей, обнаружена трещина протяженностью более 200 мм, а в точке, где предполагалось утонение толщины стенки трубопровода,

толщина его составила 1x1,5 мм вместо 10 мм по номиналу. На основании проведенных полевых исследований, принято решение о восстановлении участка трубопровода с обнаруженными повреждениями методом нанесения цементно-песчаного покрытия на внутреннюю поверхность трубы. Необходимо отметить, что при расшифровке магнитограмм наиболее сложной задачей служб диагностики трубопроводных сетей является классификация магнитных аномалий по видам повреждений. Обнаруженные дефекты требуют дополнительного исследования в целях их идентификации. Попытка провести классификацию магнитных аномалий с использованием только программного продукта без участия специалиста в настоящее время дает большую погрешность. При обучении специалистов по БМД даются рекомендации по отличительным признакам магнитных аномалий и диагностическим параметрам, позволяющим отличать зоны максимальной концентрации напряжений (до начала развития повреждения) от зоны развивающегося коррозионного повреждения. Имеющиеся критерии позволяют выявлять дефектные сварные стыки и отличать их от стыков, находящихся в удовлетворительном состоянии.

По результатам проведенного обследования с помощью БМД и последующей сверке другими методами составляется экспертная оценка о техническом состоянии и принимается решение о выводе объекта из эксплуатации, замене отдельных узлов или ремонте с назначением срока безопасной эксплуатации [8].

Для развития БМД трубопроводов необходимо изучить физические основы метода МПМ и новые, не изученные ранее, положения по механике и физике деформирования и разрушения [9].

Преимуществом метода БМД является определение и уточнение местоположения прогнозируемых дефектов с поверхности земли. Предварительного намагничивания и (или) подключения наружных генераторов, как правило, не требуется (кроме сложных условий поселковых или городских застроек). К преимуществам метода БМД относится также оперативность оценки состояния обследуемого трубопровода [10].

#### Выводы

Применение систем внутритрубной диагностики с помощью телеинспекции позволяет отслеживать реальное текущее

состояние трубопроводных сетей из различных материалов (сталь, чугун, хризатилцемент, железобетон, полимеры), находящихся в длительной эксплуатации и имеющих различного рода дефекты. В качестве обнаруженных дефектов могут фиксироваться трещины (круговые, продольные, поперечные), расхождения стыков, оголение арматуры, деформация тела трубы, коррозионные и другие типы обрастаний.

На базе проведенных полевых исследований с применением бесконтактной магнитометрической диагностики без вскрытия грунта фиксируется информация о фактическом напряженно-деформированном состоянии трубопровода, в частности, местах утонения стенки трубопровода, наличия свищей, внутреннее расслоение металла, что позволяет предложить метод реновации участков сети современными бестраншейными технологиями. К преимуществам метода БМД относится оперативность оценки состояния обследуемого трубопровода (не нужно делать предварительную шурфовку), также БМД может проводиться как при работе водоводов в режиме мониторинга, так и при его ремонте.

#### Библиографический список

1. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. Официальное издание Госстандарт СССР. ГОСТ 18353-79. — М.: Издательство стандартов, 1987 [Электронный ресурс]. — URL: [http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2\\_18353-79](http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_18353-79) (Дата обращения 19.11.2015).
2. Орлов В. А., Дежина И. С. Передовые технологии инспекции трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения // Промышленное и гражданское строительство. — 2014. — № 2. — С. 77—79.
3. Орлов В. А., Дежина И. С. Методы и аппаратура диагностики водопроводных и водоотводящих сетей водоотведения // Промышленное и гражданское строительство. — 2014. — № 1. — С. 78—80.
4. Орлов В. А., Мешкова Н. И. Ультразвуковая система Piglet. Внутренний осмотр и прочистка трубопроводов // Технологии Мира. — 2012. — № 5. — С. 43—44.
5. Инструкция по диагностике технического состояния трубопроводов бесконтактным магнитометрическим методом.

РД 102-008-2002. — М.: ВНИИСТ. — 2002. — 52 с.

6. Дубов А. А., Дубов А. А., Колокольников С. М. Метод магнитной памяти металла и приборы контроля: Учебное пособие. — М.: Издательский дом «Спектр», 2012. — 395 с.

7. Власов В. Т., Дубов А. А. Физические основы метода магнитной памяти металла. — М.: ЗАО «Тиссо», 2004. — 424 с.

8. Оценка ресурса потенциально опасных объектов на основе экспресс-методов. Общие требования. Официальное издание. ГОСТ Р 53006-2008. — М.: Стандартинформ. — 2009 [Электронный ресурс]. — URL: [http://standart-gost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2\\_%D0%A0\\_53006-2008](http://standart-gost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_%D0%A0_53006-2008) (Дата обращения 19.11.2015).

9. Власов В. Т., Дубов А. А. Физическая теория процесса «деформация-разрушение». Часть I. Физические критерии предельных состояний металла. — М.: ЗАО «Тиссо», 2007. — 517 с.

10. Дубов А. А., Дубов Ал. А. Опыт применения бесконтактной магнитоме-

трической диагностики трубопроводов и перспективы ее развития // Контроль. Диагностика. — 2014. — № 4. — С. 64–67.

Материал поступил в редакцию 19.11.2015.

#### Сведения об авторах

**Чистякова Алла Валерьевна**, магистрантка профиля «Водоснабжение и водоотведение» ФГБОУ ВО НИУ МГСУ; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, дом 26; тел. 8(499)183-36-29; e-mail: [rochta\\_alla@mail.ru](mailto:rochta_alla@mail.ru).

**Орлов Владимир Александрович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водоснабжения ФГБОУ ВО НИУ МГСУ; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, дом 26; тел. 8(499)183-36-29; e-mail: [orlov950@yandex.ru](mailto:orlov950@yandex.ru).

**Чухин Валентин Александрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения ФГБОУ ВО НИУ МГСУ; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, дом 26; тел. 8(499)183-36-29; e-mail: [sigma85@yandex.ru](mailto:sigma85@yandex.ru).

**A. V. CHISTYAKOVA, V. A. ORLOV, V. A. CHUKHIN**

The Federal state budget educational institution of higher education  
«The National research Moscow state building university», Moscow

## DIAGNOSTICS OF TECHNICAL CONDITION OF METAL PIPELINES

*There are considered assessment methods of the technical state of art of metal pipelines using intratubal and outer (ground) diagnosis. There are given classification and functions of television robots. There are presented methods of assessment of pipelines by means of using a contactless magnetometric diagnostic interpretation of the results of field tests. The aim of the investigation is conducting of experiments on a steel pipeline with the identification and registration of the magnetic field strength, finding of anomalies of different kinds (fistulas, cracks, corrosion, delamination) and their identification. There are used analytical and experimental research methods by means of the measuring device of stress concentrations and specialized sensors without direct access to the metal surface (no pitting, no stripping and no scrapping of the pipelines surface) to obtain magnetograms with anomalies on types of damage. When the device moving along the pipeline on the device screen there is displayed the passed by operator distance from the initial to the final control point and identified the areas working under the most intensified conditions and predisposed to damage. As a result of the conducted field tests there is detected a crack length of 200 mm, wall thinning up to 1.5 mm instead of 10 mm on the nominal value and availability of cable. According to the scan results there is obtained a magnetogram showing the actual stress-deformed state with extreme parts.*

*Diagnostics, pipeline, damage, intratubal and non-contact inspection, telerobots, magnetometric examination.*

#### References

1. Control nerazrushayushchiy. Clas-sificatsiya vidov I metodov. Ofitsialnoye

izdaniye Gosstandart SSSR. GOST GOCT 18353-79. — М.: Izdatelstvo standartov, 1987 [Electronny resurs]. — URL: <http://>

standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2\_18353-79. (Data obrashcheniya 19.11.2015).

2. Orlov V.A., Dezhina I.S. Peredovye tehnologii inspeksii truboprovodov system vodosnabzheniya I vodootvedeniya // Promyshlennoye I grazhdansloye stroiteljstvo. — 2014.— № 2. — S. 77–79.

3. Orlov V.A., Dezhina I.S. Metody I apparatura diagnostiki vodoprovodnyh I vodootvodyashchih setej vodootvedeniya // Promyshlennoye I grazhdansloye stroiteljstvo. — 2014.— № 1. — S. 78–80.

4. Orlov V.A., Meshkova N.I. Ultrazvukovaya sistema Piglet. Vnutrenniy osmotr I prochistka truboprovodov // Tehnologii mira. — 2012. — № 5. — P. 43–44.

5. Instruktsiya po diagnostiketehnicheskogo sostoyaniya truboprovodov beskontaktnym magnitometricheskim metodom. RD 102-008-2002. — M.: VNIIST. — 2002. — 52 s.

6. Dubov A.A., Dubov A.A., Kolkolnikov S.M. Metod magnitnoy pamyati metalla I probory kontrolya: Uchebnoye posobiye. — M.: Izdateljsky dom «Spectr», 2012. — 395 s.

7. Vlasov V.T., Dubov A.A. Phizicheskiye osnovy metoda magnitnoj pamyati metalla. — M.: ZAO «Tisso», 2004. — 424 s.

8. Otsenka recyrsa potentsialjno opasnyh objektov na osnove express-metodov. Obshchiye trebovaniya. Ofitsialnoye izdaniye. GOST P 53006-2008. — M.: Standartinform. — 2009 [Elektronnyy resurs]. — URL: http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%

[D0%A2\\_%D0%A0\\_53006-2008](http://standartgost.ru/g/%D0%A2_%D0%A0_53006-2008) (Data obrashcheniya 19.11.2015).

9. Vlasov V.T., Dubov A.A. Phizicheskaya teoriya protsessa “daformatsiya-razruzheniye”. Chastj I. Phizicheskiye criteria predelnyh sostoyanij metalla. — M.: ZAO «Tisso», 2007. — 517 s.

10. Dubov A.A., Dubov A.A. Opyt primeneniya bescontactnoy magnitometricheskoj diagnostiki truboprovodov I perspektivy yeye razvitiya // Control. Diagnostika. — 2014. — №4. — S. 64–67.

Received on 19.11.2015.

#### Information about the authors

**Chistyakova Alla Valerjevna**, post graduate student of the profile «Water supply and drainage» FSBEI HENIU MGSU; 129337, Moscow, Yaroslavskoye shchosse, 26; tel. 8(499)183-36-29; e-mail: [pochta\\_allya@mail.ru](mailto:pochta_allya@mail.ru).

**Orlov Vladimir Alexandrovich**, doctor of technical sciences, head of the chair of water supply FSBEI HENIU MGSU; 129337, Moscow, Yaroslavskoye shchosse, 26; tel. 8(499)183-36-29; e-mail: [orlov950@yandex.ru](mailto:orlov950@yandex.ru).

**Chukhin Valentin Alexandrovich**, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of water supply FSBEI HENIU MGSU; 129337, Moscow, Yaroslavskoye shchosse, 26; tel. 8(499)183-36-29; e-mail: [sigma85@yandex.ru](mailto:sigma85@yandex.ru).