Р.А. Талипов, М.С. Клявлин, О.В. Бобков, Я.М. Клявлинка (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация)

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ТЯГОВЫХ УСИЛИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ МЕТОДОМ ГОРИЗОНТАЛЬНО-НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ

Rustem A. Talipov, Mars S. Klyavlin, Oleg V. Bobkov, Yana M. Klyavlin
(Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation)

DEVELOPMENT OF MEASURES TO REDUCE PULLING FORCE WHEN SUBMERGED CROSSING CONSTRUCTION BY THE HORIZONTAL DIRECTIONAL DRILLING METHOD

Введение

Объектом исследования является метод горизонтально-направленного бурения при строительстве подводного перехода.

Цели и задачи

Цель исследования - разработка мероприятий по снижению тяговых усилий на этапе протаскивания трубопровода при строительстве подводных переходов методом горизонтально-направленного бурения.

Результаты

В процессе исследования изучено современное состояние вопроса по проблемам тяговых усилий при протаскивании трубопровода при строительстве подводных переходов методом горизонтально направленного бурения.

По результатам изучения научно-технической информации по теме исследования разработана опытная лабораторная модель для имитации процесса протаскивания трубопровода в скважину подводного перехода.

Background

The object of the research is the method of horizontal directional drilling during the construction of a submerged crossing.

Aims and Objectives

The study aim is to develop measures to reduce pulling forces at the stage of pipeline pulling during the construction of submerged crossings using the horizontal directional drilling method.

Results

In the course of the study, the current state of the issue on the problems of pulling forces when pipeline pulling during the construction of submerged crossings by the method of horizontal directional drilling was studied.

Based on the results of the study of scientific and technical information, an experimental laboratory model was developed to simulate the process of pipeline pulling into the well of the submerged crossing.

На разработанной лабораторной установке проведены опыты по протаскиванию трубопровода. Проанализированы нагрузки, возникающие при протаскивании трубопровода.

Разработаны мероприятия по снижению тяговых усилий при протаскивании трубопровода в горизонтально-наклонную скважину.

Experiments on pipeline pulling were carried out on the developed laboratory setup. The pipeline pulling loads in a laboratory installation are analyzed.

Measures have been developed to reduce pulling forces when pipeline pulling into a horizontal directional well.

Ключевые слова: подводные переходы; метод горизонтально-направленного бурения; строительство подводных переходов; пилотная скважина; расширение скважины; калибровка скважины; протаскивание трубопровода; тяговое усилие; расчет тягового усилия при протаскивании трубопровода

Keywords: submerged crossings; horizontal directional drilling method; construction of submerged crossings; pilot well; well expansion; well calibration; pipeline pulling; pulling force; calculation of pipeline pulling force

Введение

В настоящее время трубопроводный транспорт нефти, газа и нефтепродуктов является преобладающим средством доставки этих продуктов от мест добычи, переработки или получения до мест потребления [1-4].

Для транспортировки нефти и газа в центральные и западные районы сооружаются трубопроводы длиной до 5000 км. Трубопроводы такой протяженности пересекают огромное число разнообразных водных препятствий: малых и больших рек, водохранилищ, озер, глубоких болот и т.д. Пересечение водных преград магистральными трубопроводами чаще всего решается путем строительства подводных переходов. Подводные переходы магистральных нефтепроводов (ППМН) через водные преграды - сверхсложные и дорогостоящие инженерные сооружения.

Подводный переход - особый конструктивный элемент линейной части магистрального трубопровода, который представляет потенциальную опасность для окружающей среды. Выпущен ряд нормативно-технических

документов, определяющих правила проектирования, строительства и эксплуатации подводных переходов, общим принципом которых является предупреждение аварийных разливов нефти или выхода газа при сохранении эффективности трубопроводной системы.

В настоящее время существует несколько методов строительства подводных переходов, каждый из которых имеет ряд преимуществ и недостатков.

За последние десятилетия особой популярностью при сооружении подводного перехода пользуется метод горизонтально-направленного бурения. Технологии данного метода экономически выгодны, требуют минимум ручного труда, имеют низкую себестоимость, а также не наносят большого вреда окружающей среде.

Исследованию метода горизонтально-направленного бурения, а также возможности его применения при строительстве подводных переходов уделяется большое внимание. Кроме того, основные требования и нормы строительства подводного перехода данным

методом находят отражение в нормативно-технической документации.

Технологическая схема метода горизонтально-направленного бурения (ГНБ) при строительстве переходов включает 4 последовательных этапа:

- бурение пилотной (пионерной) скважины;
- расширение скважины вперед или назад;
- калибровка скважины;
- протаскивание дюкера ходом назад.

В рамках данного исследования рассмотрим подробнее этап протаскивания.

Протаскивание трубопровода осуществляется втягиванием колонны буровых штанг «на себя» до выхода оголовка трубопровода на поверхность в точке забуривания у буровой установки.

Протаскивание трубопровода в пробуренную и расширенную скважину производится согласно технологической карте.

Перед протаскиванием трубопровода должен быть выполнен комплекс подготовительных работ. Трубопровод должен быть сварен, испытан, заизолирован и уложен на роликовые опоры. К переднему концу рабочей плети приваривается заглушка с серьгой, которая воспринимает тяговое усилие.

Главную часть трубопровода перед протаскиванием устанавливают в створе перехода таким образом, чтобы обеспечить угол ее перехода в скважину, равный углу выхода пилотной скважины, и соосность трубопровода и скважины на входном участке. Для выполнения этих условий в створе перехода плеть трубопровода поддерживается под заданным углом на троллейных подвесках с обрезиненными роликами с помощью трубоукладчиков.

Трубопровод соединен с колонной буровых штанг через вертлюг, выдерживающий не менее 250 т тяговой нагрузки, и расширитель-калибратор. Роликовые опоры, используемые при протаскивании трубопровода, должны обеспечивать защиту изоляционного покрытия трубопровода.

Во время протаскивания трубопровода осуществляется постоянный приборный контроль изоляционного покрытия.

Процесс протягивания трубопровода в пробуренную и расширенную скважину идет непрерывно с кратковременными остановками для снятия буровых штанг [4, 5].

Цель работы состоит в создании лабораторной установки для моделирования процесса (этапа) протаскивания трубопровода при строительстве подводных переходов методом горизонтально-направленного бурения и в разработке мероприятий по снижению тяговых усилий на этапе протаскивания трубопровода.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Изучить современное состояние вопроса по проблемам тяговых усилий при протаскивании трубопровода при строительстве подводных переходов методом горизонтально-направленного бурения.
2. Разработать опытную лабораторную модель для имитации процесса протаскивания трубопровода в скважину подводного перехода.
3. На разработанной лабораторной установке провести опыты по протаскиванию трубопровода.
4. Проанализировать нагрузки, возникающие при протаскивании трубопровода на лабораторной установке.
5. Разработать мероприятия по снижению тяговых усилий при протаскивании трубопровода в горизонтально-наклонную скважину.

Программа эксперимента

Исследование было решено построить следующим образом.

1. Изучить научно-техническую и нормативную информацию по теме исследования.
2. Разработать лабораторную установку для моделирования процесса протаскивания трубопровода методом ГНБ.
3. Провести серию экспериментов по протаскиванию трубопровода на лабораторной установке.

4. Произвести анализ результатов экспериментов.

5. Подтвердить расчетами эффективность разрабатываемых мероприятий по снижению тяговых усилий.

6. Сделать выводы о возможности снижения тяговых усилий предлагаемым способом.

Для моделирования процесса протаскивания трубопровода и проведения

эксперимента разработана лабораторная установка (рисунок 1) [6, 7].

В качестве тягового устройства, имитирующего буровую установку, использовали два варианта: первый - ручную лебедку со встроенным динамометром и второй - набор грузов, подвешенных на роликовом блоке и соединенных шпагатом с протаскиваемым трубопроводом.

- 1 - лебедка с динамометром; 2 - фиксирующая стойка (струбцина);
3 - станина (платформа);
4 - горизонтальная (стартовая) скважина (армированный ПВХ шланг);
5 - протаскиваемая труба (армированный шланг ПВХ);
6 - уровень грунтовых (подземных) вод; 7 - опорный ролик

Рисунок 1. Лабораторный стенд для моделирования процесса протаскивания трубопровода методом горизонтально-направленного бурения

В качестве горизонтальной стартовой скважины использовали гибкий армированный ПВХ шланг. Шланг закреплен на фиксирующих стойках, с помощью которых можно регулировать траекторию (кривизну) скважины. В качестве протаскиваемого трубопровода использовали полиэтиленовый шланг меньшего диаметра, чем наружный ПВХ шланг. Все элементы закреплены на общей массивной станине.

Таким образом, на лабораторном стенде можно моделировать и проводить исследования отдельных технологических операций горизонтально-направленного бурения, в том числе и протаскивание плети

трубопровода в горизонтально-наклонную скважину.

Исходя из практики реальных подводных переходов, величина уровня грунтовых вод в под- и околорусловых участках, как правило, колеблется от 1 до 3 м, учитывая что горизонтально-наклонная скважина пролегает на глубинах 3-6 м под руслом. В лабораторной установке предусмотрена имитации протаскивания трубопровода в присутствии подземных вод. Для этого армированный ПВХ шланг погружается на определенную глубину в воду или в буровой раствор.

На лабораторной установке проводили опыты по протаскиванию трубопровода.

Для имитации стартовой скважины, заполненной буровым раствором бентонита, станину погружали в ванну с раствором бентонита. Чтобы раствор проникал в шланг ПВХ, на стенках шланга были предусмотрены прорезы (рисунок 1).

После предварительных испытаний усилие протаскивания принято было создавать грузами, подвешенными на шпагат через опорный ролик 7. Для исключения влияния на результаты сил инерции перед началом прохождения последующего участка протаскиваемый трубопровод останавливался. Вес груза (до момента сдвига) изменялся с шагом 100 г.

Опыт № 1. Протаскивание пустого трубопровода (рисунок 2).

Чтобы максимально приблизить условия трения о стенки скважины к реальным, стенки ПВХ шланга предварительно увлажнены буровым раствором.

Усилие (масса груза), кг			
6,5	4,5	4,0	2,0

Рисунок 2. Схема опыта № 1

Опыт № 2. Протаскивание трубопровода, заполненного водой (рисунок 3).

Протаскиваемый шланг (трубопровод) заполнялся по мере протаскивания.

Усилие (масса груза), кг			
5,0	3,0	2,5	1,5

Рисунок 3. Схема опыта № 2

Опыт № 3. Протаскивание трубопровода, наполовину заполненного водой (рисунок 4).

Усилие (масса груза), кг			
4,5	3,0	2,5	1,5

Рисунок 4. Схема опыта № 3

Опыт № 4. Протаскивание трубопровода с балластировкой наполненной водой трубой.

Усилие (масса груза), кг			
4,0	3,0	2,5	1,5

Рисунок 5. Схема опыта № 4

Обсуждение результатов

При обсуждении результатов было принято во внимание следующее теоретическое мнение - растягивающее усилие, которое может вызвать подъем трубопровода к верхней образующей стенки скважины, значительно превышает максимальное значение усилия протягивания заполненного водой трубопровода, поэтому его движение через искривленные участки профиля в отсутствие осложнений происходит в условиях прижатия к нижней образующей стенки скважины.

В опыте № 1 на первом участке при движении вниз сила тяжести действует положительно, но тяговые усилия прижимают протаскиваемую трубу к верхней

образующей, на втором - все предыдущие моменты сохраняются, но увеличивается сила прижатия на пике участка смены направления к верхней образующей, далее на протяжении всего прямолинейного участка (участок 2) протяжка осуществляется также в условиях прижатия к верхней образующей.

В опыте № 2 сила трения о верхнюю образующую уменьшается за счет противодействующей силы тяжести трубопровода с водой, но при этом эта сила тяжести создает противоположный момент тяговому усилию. На прямолинейном участке сопротивление возрастает за счет трения о нижнюю образующую (вследствие увеличения силы тяжести трубопровода).

В опыте № 3 трубопровод частично наполнили водой. На первом участке усилия аналогичны опыту № 2, далее на прямолинейном участке (2) по мере протаскивания вода распределяется по протаскиваемому трубопроводу, вызывая среднее прижимание к нижней образующей и ослабляя прижимание к верхней, но балластировочная вода не остается на участке трубы 1 и соответственно не прижимает трубу к нижней образующей, усиливается трение о верхнюю образующую.

В данном случае отрицательным эффектом можно посчитать отсутствие воды на первом наклонном участке.

В опыте № 4 усилие протаскивания на первом участке незначительно превышает усилие в опытах № 2 и № 3. На прямолинейном (2) и втором криволинейном (3) участках сопротивление минимальное относительно предыдущих трех опытов.

Таким образом, регулируя распределение воды (распределяя силу тяжести) в опыте № 4 (балластировка осуществляется наполненной водой трубой), усилия протаскивания минимальны. Использование второй балластировочной трубы позволяет распределять силу тяжести, снижая тем самым сопротивление протаскиваемой трубы.

Название горизонтальное бурение не совсем точно описывает метод, так как любая проходка, разработанная по данной

технологии, представляет из себя кривую, или точнее совокупность криволинейных и прямолинейных участков.

На практике для расчета усилия протаскивания встречаются следующие подходы:

- при расчете учитывают кривизну (радиус) криволинейных участков;
- представляют (заменяют) кривую траекторию как несколько прямолинейных.

Первый метод более точный, но трудоемкий.

Второй подход менее точный, но упрощаются расчеты.

Рассмотрим силы, действующие на фрагмент (участок) протаскиваемого трубопровода (рисунок 6.).

Рисунок 6. Схема нагрузок на протаскиваемый трубопровод

Во-первых, на трубу действует сила трения от поверхности, с которой она соприкасается. Если присутствует вода или буровой раствор в стартовой скважине, то действуют выталкивающая сила, и сила трения о верхнюю образующую. Если сила тяжести больше выталкивающей, трение о нижнюю образующую. В зависимости от кривизны - изгибающие моменты.

Усилия, которые надо учитывать:

- трение (подъемная сила, в канале, на поверхности);
- усилия трубы (от изгиба в канале);
- гидрокинетические усилия (трения жидкости).

Одновременное прижатие трубопровода к верхней и нижней образующим стенкам скважины реализуется

при придании ему состояния нулевой плавучести.

Наиболее простой вариант балластировки - заполнение трубопровода водой. В этом случае вес изолированного трубопровода, заполненного водой в буровом растворе:

$$q_0 = q_{mi} + q_b - q_g,$$

где q_{mi} - вес изолированного трубопровода;

q_b - вес воды в единице трубопровода при заполнении (балластировке);

q_g - выталкивающая сила, действующая на трубопровод в буровом растворе.

При балластировке трубопровода изменяется величина эквивалентного веса единицы длины трубопровода.

Наиболее простой вариант балластировки - заполнение трубопровода водой. В этом случае происходит увеличение эквивалентного веса единицы длины трубопровода на величину веса воды в трубопроводе q_b .

Эквивалентный вес принимает значение:

$$q_0 = q_{mi} + q_b - q_n.$$

Заполненный водой трубопровод переходит к нижней образующей стенки скважины, прижатие трубопровода к верхней образующей возможно в случае превышения осевым усилием в трубопроводе определенного критического значения.

Для приближенной оценки критического осевого усилия, при котором в пределах криволинейного участка радиуса R трубопровод может перейти к верхней образующей стенки скважины, используется следующая формула

$$T = q_0 \cdot R.$$

Растягивающее усилие, которое может вызвать подъем трубопровода к верхней образующей стенки скважины, значительно превышает максимальное значение усилия протягивания заполненного водой трубопровода, поэтому его движение через искривленные участки профиля в отсутствие осложнений происходит в условиях прижатия к нижней образующей стенки скважины.

Одновременное прижатие трубопровода к верхней и нижней образующим стенок скважины реализуется при придании ему состояния нулевой плавучести.

При балластировке с помощью заполняемых водой полиэтиленовых труб может достигаться нулевое значение эквивалентного веса единицы длины трубопровода.

В этом случае влияние составляющей сил сопротивления, обусловленной весом трубопровода, исключается. Силы сопротивления движению обусловлены действием упругих сил.

Величина требуемой массы балласта на единицу длины трубопровода при плотности бурового раствора $\rho_{br} = 1050 \text{ кг/м}^3$ определяется по формуле

$$q_{вб} = q_n - q_{mi} \text{ (Н/м)},$$

где $q_{вб}$ - масса балластировочного пригруза, обеспечивающего нулевое значение эквивалентной массы единицы длины трубопровода.

При известном значении $q_{вб}$ может быть определена условная плотность пригруза

$$\rho_{вб} = \frac{q_{вб}}{S_g \cdot g} \text{ (кг/м}^3\text{)},$$

где $\rho_{вб}$ - плотность пригруза, при которой эквивалентная масса единицы длины трубопровода принимает нулевое значение;

S_g - площади сечений трубопровода по внутреннему диаметру,

Зная величину $q_{гб}$, можно определить требуемые параметры полиэтиленовой трубы (или труб, если их несколько).

При наличии одной трубы ее параметры должны удовлетворять условию

$$D_n \cdot \rho_n + d_n^2 \cdot (\rho_g - \rho_n) = \frac{4 \cdot q_{гб}}{\pi \cdot g},$$

где D_n , d_n - наружный и внутренний диаметры полиэтиленовых труб;

ρ_n - плотность материала трубы.

Так как плотность полиэтилена близка к плотности воды, требуемый диаметр полиэтиленовых труб получим:

$$D_n = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{гб}}{\pi \cdot \rho_n \cdot g}} = \frac{2}{\sqrt{\pi \cdot \rho_n \cdot g}} \cdot \sqrt{q_{гб}} = 0,0114 \cdot \sqrt{q_{гб}} \text{ (м)}.$$

Объем воды, необходимой для обеспечения нулевой плавучести трубопровода, составит:

$$V_{гб} = \frac{q_{гб} \cdot \lambda}{\rho_g \cdot g} \text{ (м}^3\text{)}.$$

При неполном заполнении трубопровода свободная вода располагается в наиболее низкой части трубопровода (рисунок 7).

α - половинный угол дуги;
 h - высота сегмента;
 S_c - площадь сегмента

Рисунок 7. Заполнение трубопровода водой при балластировке

Площадь свободного от воды сегмента находим из условия равенства веса единицы длины балластного пригруза, заполняющего все сечение, весу воды в сечении трубопровода

$$S_B \rho_{гб} g = (S_B - S_c) \rho_B g,$$

где S_c - площадь просвета.

Площадь просвета находим из выражения:

$$S_c = \frac{(\rho_B - \rho_{гб}) S_B}{\rho_B} = \left(1 - \frac{\rho_{гб}}{\rho_B}\right) S_B,$$

где $\rho_B = 1000 \text{ кг/м}^3$ - плотность воды.

Отношение площади свободного от воды сегмента к площади проходного сечения составляет величину

$$\lambda = \frac{S_c}{S_B}.$$

Состояние нулевой плавучести в трубопроводе, оказывающее заметное влияние на усилие протягивания, может быть реализовано при наличии в профиле скважины протяженного горизонтального участка.

При частичном заполнении трубопровода вода занимает наиболее низкое положение.

При этом центральная часть трубопровода может двигаться в условиях прижатия к нижней стенке скважины, а на вышерасположенных участках входа и выхода вода будет отсутствовать. На этих участках силы сопротивления будут иметь увеличенные значения.

Таким образом, из проведенных опытов и расчетов можно сделать следующие выводы.

Для уменьшения тяговых усилий при протаскивании трубопровода в порядке возрастания эффективности воздействия рекомендуются следующие мероприятия:

а) частичное заполнение трубопровода водой;

б) балластировка трубопровода до состояния нулевой плавучести с использованием внутренней полиэтиленовой трубы.

При использовании варианта частичного заполнения трубопровода количество заливаемой воды должно корректироваться по изменению усилия в процессе протягивания.

Выводы

На опытном примере в лабораторных условиях и на практическом примере (расчет) показана возможность снижения тяговых усилий при протаскивании трубопровода в горизонтально-наклонную скважину при устройстве подводного перехода методом горизонтально-направленного бурения. При этом эффективным методом снижения тяговых усилий при протаскивании трубопровода является регулируемая балластировка протаскиваемого трубопровода второй заполненной балластировочной жидкостью (водой) трубой.

Список литературы

1. Благов О.Н., Васильев Г.Г. Сооружение подводных переходов газонефтепроводов методом наклонно-направленного бурения. М.: Лори, 2003. 318 с.
2. Бородавкин П.П. Подземные магистральные трубопроводы. М.: Энерджи Пресс, 2011. 480 с.
3. Быков Л.И., Мустафин Ф.М., Рафиков С.К., Нечваль А.М., Лаврентьев А.Е. Типовые расчеты при сооружении и ремонте газонефтепроводов. СПб.: Недра, 2006. 824 с.
4. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Томск: Изд-во ТПУ, 2014. 36 с.
5. Горячкин П.В. Нормы и расценки на новые технологии в строительстве (Справочник инженера-сметчика). М.: 2004. 432 с.
6. Кульсаков Е.В., Талипов Р.А. Разработка лабораторного стенда для моделирования технологической операции протаскивания трубопровода методом горизонтально-направленного бурения // Проблемы строительного комплекса России: матер. XXIII международ. науч.-техн. конф. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2020. С. 245-247.
7. Кульсаков Е.В., Талипов Р.А. Моделирование протаскивания дюкера методом горизонтально-направленного бурения // Водоснабжение, водоотведение и системы защиты окружающей среды: матер. IX международ. науч.-техн. конф. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2020. С. 105-108.

References

1. Blagov O.N., Vasilev G.G. *Sooruzhenie podvodnykh perekhodov gazonefteprovodov metodom naklonno-napravlennoogo bureniya* [Construction of Underwater Crossings of Gas and Oil Pipelines Using Directional Drilling]. Moscow, Lori Publ., 2003. 318 p. [in Russian].
2. Borodavkin P.P. *Podzemnye magistral'nye truboprovody* [Underground Trunk Pipelines]. Moscow, Enerdzhi Press Publ., 2011. 480 p. [in Russian].
3. Bykov L.I., Mustafin F.M., Rafikov S.K., Nechval A.M., Lavrentev A.E. *Tipovye raschety pri sooruzhenii i remonte gazonefteprovodov* [Typical Calculations for the Construction and Repair of Gas and Oil Pipelines]. St. Petersburg, Nedra Publ., 2006. 824 p. [in Russian].
4. Vidyaev I.G., Serikova G.N., Gavrikova N.A. *Finansovyi menedzhment, resursoeffektivnost' i resursosberezhenie* [Financial Management, Resource Efficiency and Resource Conservation]. Tomsk, TPU Publ., 2014. 36 p. [in Russian].
5. Goryachkin P.V. *Normy i rastsenki na novye tekhnologii v stroitel'stve (Spravochnik inzhenera-smetchika)* [Rates and Prices for New Technologies in Construction (Reference Engineer-Estimator)]. Moscow, 2004. 432 p. [in Russian].
6. Kulsakov E.V., Talipov R.A. *Razrabotka laboratornogo stenda dlya modelirovaniya tekhnologicheskoi operatsii protaskivaniya truboprovoda metodom gorizonta'l'no-napravlennoogo bureniya* [Development of a Laboratory Bench for Modeling the Technological Operation of Pipeline Pulling by the Method of Horizontal Directional Drilling]. *Materialy XXIII mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Problemy stroitel'nogo kompleksa Rossii»* [Materials of the XXIII

International Scientific and Technical Conference «Problems of the Russian Construction Complex». Ufa, UGNTU Publ., 2020, pp. 245-247. [in Russian].

7. Kulsakov E.V., Talipov R.A. Modelirovanie protaskivaniya dyukera metodom gorizonta'no-napravlenno go bureniya [Simulation of Siphon Pulling by the Method of Horizontal Directional Drilling]. *Materialy IX mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Vodosnabzhenie, vodootvedenie i sistemy zashchity okruzhayushchei sredy»* [Materials of the IX International Scientific and Technical Conference «Water Supply, Sewerage and Environmental Protection Systems»]. Ufa, UGNTU Publ., 2020, pp. 105-108. [in Russian].

Авторы

• Талипов Рустем Альфирович, канд. техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Водоснабжение
и водоотведение»
Российская Федерация, 450080, г. Уфа,
ул. Менделеева, 195
e-mail: talip2@yandex.ru

• Клявлин Марс Салихович, д-р хим. наук,
профессор
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Профессор кафедры «Водоснабжение
и водоотведение»
Российская Федерация, 450080, г. Уфа,
ул. Менделеева, 195
e-mail: marsss@mail.ru

• Бобков Олег Владимирович, канд. техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Водоснабжение
и водоотведение»
Российская Федерация, 450080, г. Уфа,
ул. Менделеева, 195
e-mail: bobko@yandex.ru

• Клявлино Яна Марсовна, канд. экон. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Экономика и управление
на предприятии нефтяной и газовой
промышленности»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: yannn@yandex.ru

The Authors

• Talipov Rustem A., Candidate of Engineering
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Water Supply and Drainage
Department
195, Mendeleev str., Ufa, 450080,
Russian Federation
e-mail: talip2@yandex.ru

• Kljavlin Mars S., Doctor of Chemical Sciences,
Professor
Ufa State Petroleum Technological University
Professor of Water Supply and Drainage Department
194, Mendeleev str., Ufa, 450080,
Russian Federation
e-mail: marsss@mail.ru

• Bobkov Oleg V., Candidate of Engineering
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Water Supply and Drainage
Department
195, Mendeleev str., Ufa, 450080,
Russian Federation
e-mail: bobko@yandex.ru

• Kljavlina Jana M., Candidate of Economic Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Enterprise Economics
and Management in the Oil and Gas Industry
Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064
Russian Federation
e-mail: yannn@yandex.ru