УДК 621.644.07

Е.С. Торопов, *к.т.н., доцент кафедры машин и оборудования нефтяной и газовой промышленности, Тюменский государственный нефтегазовый университет (Тюмень, Россия), e-mail: toropov_e_s@mail.ru;* ***В.С. Торопов***, *к.т.н., доцент кафедры транспорта и технологии нефтегазового комплекса, Ноябрьский институт нефти и газа – филиал Тюменского государственного нефтегазового университета в г. Ноябрьске (Ноябрьск, Россия), e-mail: 264301@mail.ru ;* ***Ю.Д. Земенков***, *д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Транспорт углеводородных ресурсов», Тюменский государственный нефтегазовый университет (Тюмень, Россия), e-mail: muzemenkova@mail.ru;* ***И.В. Сероштанов***, *инженер, ОАО «Газпром трансгаз Югорск» (Надым, Россия), e-mail: serochtanov@mail.ru*

Осложнения при сооружении переходов трубопроводов методом горизонтально направленного бурения

В статье предпринята попытка раскрыть и систематизировать основные причины возникновения осложнений и аварий в процессе бурения и протаскивания трубопровода при сооружении переходов трубопроводов методом горизонтально направленного бурения. Значительная часть статьи посвящена анализу статистической информации о работе предприятий, занимающихся сооружением переходов трубопроводов методом горизонтально направленного бурения (ГНБ), а также систематизации основных факторов, вызывающих осложнения и аварии при сооружении бестраншейных переходов. Авторы приходят к выводу, что сложившаяся в отрасли на данный момент ситуация ведет к увеличению количества осложнений и аварийных ситуаций в процессе бестраншейного строительства.
Обосновывается мысль о том, что значительного количества осложнений при бурении можно избежать еще на этапе проектирования перехода. Предлагается способ проектирования профиля перехода, удобный для дальнейшего расчета основных параметров протяжки рабочего трубопровода. Уделено особое внимание роли буровых растворов при безаварийном бурении и расширении. Показано, что несоблюдение рецептуры бурового раствора и неправильное применение реагентов являются причиной существенного количества аварий при бурении.
На основе проведенного исследования авторами предлагаются методы по предупреждению и ликвидации осложнений при строительстве таких трубопроводов. Излагаются подходы к ликвидации самых сложных аварий при протаскивании рабочего трубопровода, которые невозможно ликвидировать традиционными методами.
Предлагается решение по извлечению застрявшего в грунте трубопровода с помощью выталкивания буровой установкой, а также (для особо тяжелых случаев) методы эвакуации из скважины бурового инструмента и колонны буровых труб с использованием шнуровых кумулятивных зарядов.

Ключевые слова: горизонтально направленное бурение, трубопровод, буровой раствор, бентонит, осложнения, аварии.

Ye.S. Toropov, *Tyumen State Oil and Gas University (Tyumen, Russia), Candidate of Science (Engineering), Associate Professor of Oil and Gas Industry Machinery and Equipment Department, e-mail: toropov_e_s@mail.ru;* ***V.S. Toropov***, *the Branch of Tyumen State Oil and Gas University in Noyabrsk (Noyabrsk, Russia), Candidate of Science (Engineering), Associate Professor of Oil and Gas Complex Transport and Technology Department, e-mail: 264301@mail.ru ;* ***Yu.D. Zemenkov***, *Tyumen State Oil and Gas University (Tyumen, Russia), Doctor of Science (Engineering), Professor, Head of the Hydrocarbon Resource Transport Department, e-mail: muzemenkova@mail.ru;* ***I.V. Seroshtanov***, *Gazprom Transgaz Yugorsk JSC (Nadym, Russia), Engineer, e-mail: serochtanov@mail.ru*

Complications in construction of pipe crossings applying horizontal directional drilling

An attempt has been made in the article to reveal and to systematize the primary origin of complications and accidents within the process of drilling and pulling the pipes through in construction of pipe crossings applying horizontal directional drilling. A significant part of the article deals with the analysis of statistical information on operation of the enterprises being occupied with construction of pipe crossings applying horizontal directional drilling (HDD) and to the systematization of the main factors causing complications and accidents in construction of trenchless crossings. The authors come to the conclusion that the current situation in the industry causes increase in the number of complications and accidents within the process of trenchless construction.
The idea that a significant number of complications in drilling can be avoided even at the crossing design stage is substantiated. A crossing type designing method convenient for further calculations of the service pipe routing main

parameters is suggested. A special attention is drawn to the role of the drilling fluids in trouble free drilling and extension. It is shown that non-compliance with the drilling fluid formulation and improper use of the reagents cause significant number of accidents in drilling.
Based on the undertaken study the authors suggest the methods to prevent and eliminate complications in construction of such pipelines. The approaches to elimination of the most complicated accidents in the service pipe routing, impossible to eliminate by traditional methods, are stated.
A solution on extraction of a pipeline stuck in the soil pushing out by the drilling machine and the methods to evacuate the drilling tool and the drill pipe string from the well using a line cumulative charge are suggested.

Keywords: horizontal directional drilling, pipeline, drilling fluid, bentonite, complications, accidents.

Метод ГНБ обладает большими преимуществами по сравнению с другими существующими бестраншейными технологиями, но при этом имеет свои технические и организационные проблемы. В частности, в условиях широкого применения технологии ГНБ во всех регионах РФ и доступности буровых установок класса «мини» наблюдается рост числа эксплуатируемой техники ГНБ этого класса за счет приобретения ее в основном на вторичном рынке и роста числа малых непрофессиональных предприятий.

Это привело к росту числа как аварий, так и незавершенных строительством объектов, количества поврежденных коммуникаций и других осложнений, характерных для неквалифицированных и необученных подрядчиков [1].

По данным Международной ассоциации специалистов горизонтально направленного бурения комплексами ГНБ класса «мини» построено 47% от общей длины трубопроводов, инсталлированных участниками исследования в 2013 г. по технологии ГНБ, комплексами ГНБ класса «миди» – 46%, а «макси» – 7%.

ПРИ ЭТОМ ДОЛЯ КОМПЛЕКСОВ ГНБ РАЗНЫХ ТИПОВ В ОБЩЕМ КОЛИЧЕСТВЕ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ УСТАНОВОК СОСТАВЛЯЕТ:

- комплексы класса «мини» – 63%;
- комплексы класса «миди» – 27%;
- комплексы класса «макси» – 10%.

То есть налицо явный перекос в сторону выполнения работ установками с малой и средней силой прямой/обратной тяги, что влечет за собой увеличение количества аварий с застреванием бурового инструмента или протаскиваемого трубопровода. Экономические причины толкают участников рынка на приобретение маломощной техники. Эта тенденция, очевидно, сохранится.

Теми же самыми причинами вызваны случаи несоблюдения правильной рецептуры промывочной жидкости для производства работ. На рынке сейчас представлена широкая номенклатура буровых растворов, присадок и реагентов различных производителей в разных ценовых категориях. В условиях все возрастающей конкуренции сокращение издержек касается и буровых расходных материалов.

Между тем неправильный выбор типа промывочной жидкости для различных типов грунтов чреват осложнениями, которые сильно зависят от типа грунта, в котором производятся работы. Для песчаных грунтов характерны частичная и полная потеря циркуляции бурового раствора, образование грифонов, обрушение стенок скважины. Для суглинков серьезную проблему представляет поглощение раствора, образование желобов [5] и сальников [6], для скального грунта – низкая механическая скорость бурения, плохой вынос шлама.

Образование грифонов приводит к тому, что буровой раствор фильтруется через грифон, а выбуренная порода остается в скважине. То есть при закачке промывочной жидкости в скважину выноса шлама не происходит, и буровой раствор перестает выполнять одну из своих главных функций. Это часто приводит к невозможности продолжить бурение пилотной скважины.

Желобообразование также нередко является результатом неправильного выбора профиля пилотной скважины. В частности, наличие резких поворотов буровой колонны в мягких грунтах при бурении и расширении может привести к образованию желобов и даже к утапливанию в стенку скважины и выходу колонны буровых труб из ствола скважины на отдельных участках, а при протаскивании – к застреванию трубопровода в скважине. К таким же результатам может привести наличие одновременно положительных и отрицательных отклонений буровых труб друг относительно друга на одном и том же участке подъема или спуска, то есть зигзагообразное профилирование пилотной скважины.

Бестраншейное строительство подземных коммуникаций осуществляется в настоящее время во всех типах грунтов, причем большинство организаций, в том числе наиболее низкоквалифицированных, работает в легких для строительства грунтах (рис. 2).

Легкие грунты – это область для конкуренции и демпинга. Крупные компании, потратившие сотни тысяч долларов на приобретение техники, будут развивать строительство в недоступных для мелких участников рынка скальных

Ссылка для цитирования (for references):
Торопов Е.С., Торопов В.С., Земенков Ю.Д., Сероштанов И.В. Осложнения при сооружении переходов трубопроводов методом горизонтально направленного бурения // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2015. – № 5. – С. 32–37.
Toropov Ye.S., Toropov V.S., Zemenkov Yu.D., Seroshtanov I.V. Oslozhnenija pri sooruzhenii perehodov truboprovodov metodom gorizontal'no napravlennogo burenija [Complications in construction of pipe crossings applying horizontal directional drilling]. *Territorija «NEFTEGAZ» = Oil and Gas Territory*, 2015, No. 5. P. 32–37.

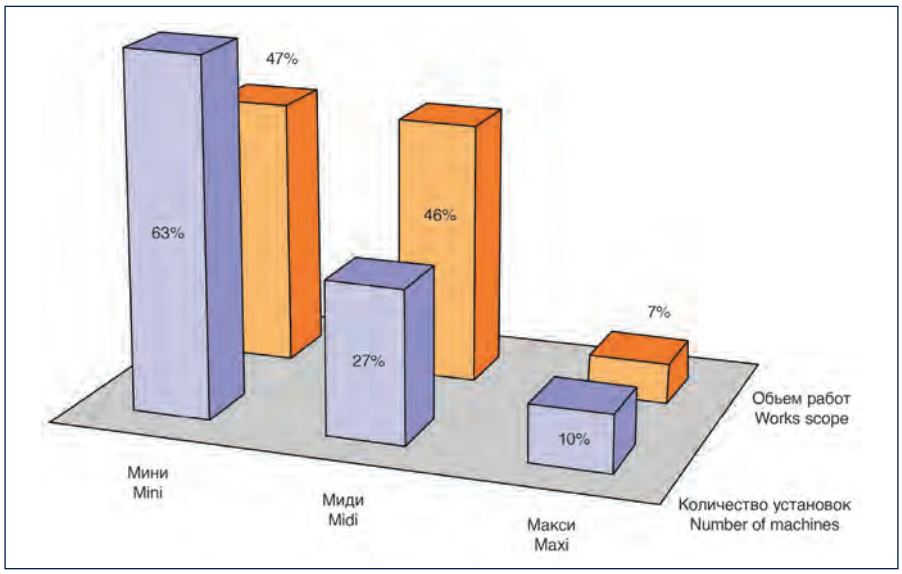

Рис. 1. Количество установок ГНБ разных типов и объем выполненных ими работ, % от общего количества [1]

Fig. 1. The number of HDD machines of different types and the scope of the works performed by them, % of the total number [1]

грунтах и других сложных грунтовых условиях как в перспективной для себя нише.

Усложнение условий строительства опять же скорее увеличит количество аварийных ситуаций при производстве работ.

Таким образом, в текущей ситуации имеется сразу несколько факторов, обуславливающих возникновение осложнений и аварий при прокладке трубопроводов методом ГНБ:

- неправильный выбор профиля пилотной скважины;
- применение установок с недостаточной силой прямой/обратной тяги для данного типа грунта;
- неправильный выбор типа промывочной жидкости;
- применение глинопорошков ненадлежащего качества;
- неправильное применение реагентов;
- низкая квалификация технического персонала.

Отсюда проистекают ошибки проектирования и строительно-монтажных работ, вызывающие осложнения и аварии, существенную долю которых можно предотвратить на этапе проектирования и подготовительных работ.

Прежде всего одним из наиболее эффективных и экономичных способов предупреждения и ликвидации осложнений при бурении горизонтально направленных скважин является рациональный выбор промывочной жидкости с заданными фильтрационными, реологическими и флокуляционными свойствами.

Это позволит при прохождении по слабосцементированным горным породам (гравийно-галечниковым отложениям, пескам) избежать обвала стенок скважины, поглощения промывочной жидкости, отсутствия циркуляции, образования шламовой подушки и повышения усилия протяжки трубопровода.

Для этого необходимо подбирать раствор достаточной вязкости, так как низкая несущая способность бурового раствора не позволяет поддерживать выбуренные частицы горной породы во взвешенном состоянии, и, как следствие, происходят перечисленные выше осложнения. При высоком значении показателя фильтрации происходит насыщение околоствольного пространства водой, что приводит к обвалам горной породы и сужению ствола скважины.

В свою очередь, применение в водочувствительных горных породах (глинах и плывунах) раствора с высокой вязкостью не позволяет частицам выбуренной породы входить в систему (растворяться), что вызывает комкование глины. Высокое значение показателя фильтрации приводит к набуханию горной породы в околоствольном пространстве скважины, в результате повышается крутящий момент, происходит застревание штанг.

Во избежание аварийных ситуаций необходимо применять глинопорошки, по своим свойствам соответствующие стандартам, а также правильно применять широко представленные на рынке реагенты.

Правильный выбор профиля пилотной скважины позволяет избежать возможных осложнений при строительстве перехода еще на этапе проектирования и дает возможность привязать расчетные данные к техническим возможностям буровой установки [3].

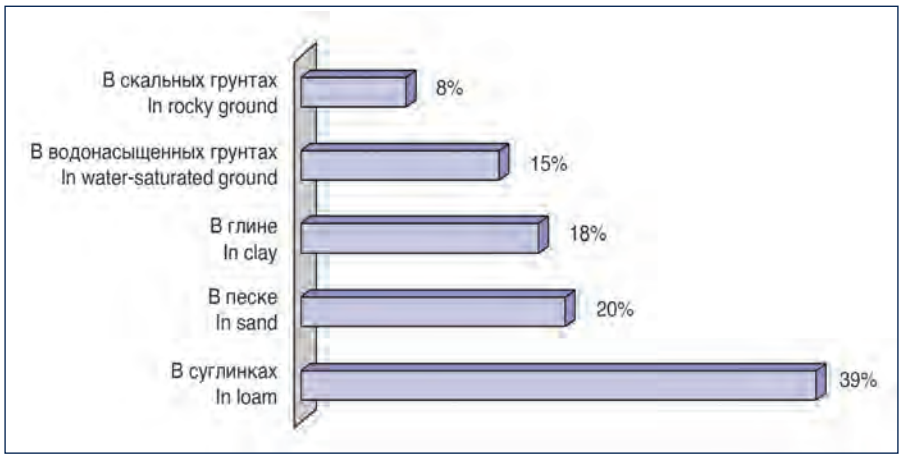

Рис. 2. Доля проложенных методом ГНБ трубопроводов в различных типах грунтов, % от общего километража построенных методом ГНБ подземных коммуникаций

Fig. 2. A part of the pipelines routed by the HDD method in different types of the soil, % of the total length of the underground pipelines constructed by the HDD method

Расчет профиля скважины с позиций практического применения необходимо осуществлять исходя из геометрических параметров используемых буровых труб, т.е. длины и угла отклонения двух соседних буровых труб друг относительно друга. Поскольку длина буровой трубы известна и постоянна, а углы отклонения могут быть измерены либо заданы на этапе проектирования, расчет, произведенный на основе этих параметров, представляется наиболее целесообразным.

На рисунке 3 изображен профиль скважины, схематично разбитый на участки, равные по длине буровым трубам, использующимся в установках ГНБ. Максимальная величина заглубления до оси скважины обозначена H_{max}. За траекторию движения трубы принимается осевая скважины.

Участок, равный по длине одной буровой трубе, обозначен $l_{бт}$. Величина заглубления на одну текущую буровую трубу обозначена $h_{бт.i}$. Общая длина скважины – $L_{скв}$.

По схеме бурение производится справа налево, протаскивание – соответственно, в обратную сторону.

Если при бурении придерживаться изображенного выше профиля, то есть избегать резких поворотов буровой колонны и отклонять буровые штанги на нисходящем участке только вниз, а на восходящем только вверх, то удастся избежать осложнений, связанных с выбором неправильного профиля скважины на этапе проектирования.

Кроме того, если профиль скважины будет задан кривой постоянного радиуса, значения заглубления оси скважины относительно дневной поверхности в зависимости от текущей координаты по профилю скважины можно вычислить следующим образом.

Величину максимального заглубления профиля скважины определим как:

$$H_{max}=R_{ип}\cdot\left(1-\sin\left(\frac{\pi}{2}-\alpha_{уст}\right)\right), \qquad (1)$$

где $R_{ип}$ – радиус изгиба профиля скважины; $\alpha_{уст}$ – угол отклонения бурового лафета установки относительно горизонта (угол забуривания).

В случае изгиба с постоянным радиусом профиль скважины будет описываться уравнением:

$$x^2+(\Delta H-H_{max}+R_{ип})^2=R^2_{ип}, \qquad (2)$$

где ΔH – разница высотных отметок между точкой забуривания и текущей точкой профиля; x – текущая координата по горизонтали.

Для удобства расчетов примем, что заглубление профиля обозначается увеличением ΔH, а выход на дневную поверхность – уменьшением ΔH.

Тогда величина заглубления на текущую точку профиля будет равна:

$$\Delta H=\sqrt{R^2_{ип}-x^2}+H_{max}-R_{ип}. \qquad (3)$$

В случае если требуется запроектировать профиль скважины требуемой длины по горизонтали $L_{гор}$ и максимальным заглублением H_{max}, то, подобрав угол забуривания из диапазона возможных значений для конкретной установки, можно вычислить радиус изгиба профиля скважины при данных параметрах:

$$R_{ип}=\frac{L_{гор}}{2\cos\left(\frac{\pi}{2}-\alpha_{уст}\right)}, \qquad (4)$$

где $L_{гор}$ – длина профиля скважины по горизонтали.

Для нахождения текущей координаты по искривленному профилю скважины определим угол соответствующего участка профиля:

$$\alpha_x=\arcsin\left(\frac{L_{гор}}{2R_{ип}}\right)-\arcsin\left(\frac{\frac{L_{гор}}{2}-x}{R_{ип}}\right). \qquad (5)$$

Текущая координата L по профилю скважины будет равна:

$$L=R_{ип}\alpha_x. \qquad (6)$$

Таким образом, можно связать текущую координату профиля скважины и длину участка бурения по дневной поверхности.

Такой подход позволяет далее рассчитать необходимые параметры процесса протаскивания рабочего трубопровода [4].

Необходимо отметить, что в силу объективных причин существует проблема сбора достоверной статистики по авариям при строительстве переходов методом ГНБ. Дело в том, что большинство участников рынка представляют собой

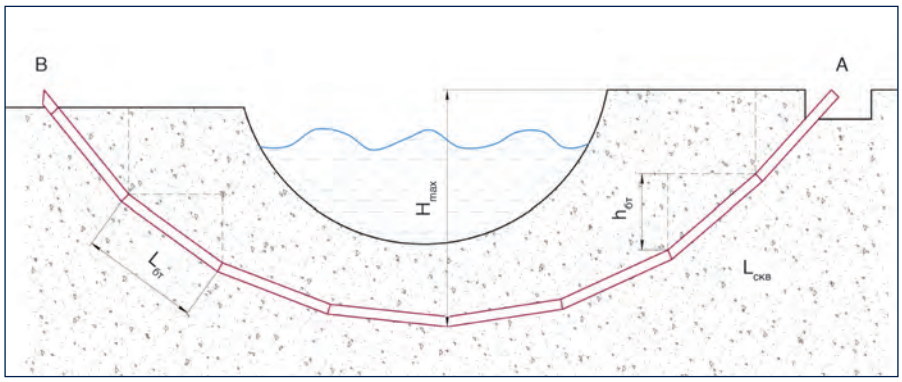

Рис. 3. Схема профиля скважины:
А – точка забуривания, В – точка входа в скважину протаскиваемого трубопровода
Fig. 3. Well profile diagram
A – predrilling point, B – routed pipeline well access point

мелкие разрозненные организации с малым числом буровых комплексов.
Парк комплексов ГНБ, эксплуатируемых участниками рынка, составляет от 1 до 10 комплексов различных компаний-производителей, различного возраста и усилия прямой/обратной тяги. При этом четыре и менее комплексов ГНБ эксплуатируют 85% предприятий (рис. 4).
Сбор информации затрудняет еще и то, что такие мелкие организации крайне не заинтересованы в раскрытии информации по авариям, так как даже единичный подобный случай может стать для них серьезным ударом по репутации.
Тем не менее аварии случаются, и в дальнейшем будет появляться все более точная статистика по этому вопросу.
В силу естественных законов развития техники все аварии и осложнения невозможно предупредить на этапе проектирования, и существует необходимость в способах ликвидации аварийных ситуаций при бестраншейном строительстве.
На этапе бурения и расширения скважины ликвидация аварийных ситуаций состоит в основном в простых манипуляциях с буровой установкой с целью либо продолжить бурение в этом месте, либо переместить оборудование на другое, более подходящее, и попробовать сформировать новый ствол скважины.
Аварийные остановки при протаскивании трубопровода в уже пробуренную скважину представляют более серьезную опасность, так как возрастает риск потери бурового инструмента и труб, а также добавляется риск потери самого рабочего трубопровода.
Для уменьшения рисков возникновения аварий в некоторых случаях применяется вспомогательное оборудование для протаскивания.
Например, при возникновении сложностей в процессе строительства возможно использование вспомогательной пневмоударной установки для высвобождения трубы, застрявшей в результате обрушения грунта или обжатия за счет пластового давления [2]. Пневмомолот используют и для высвобождения колонны бурильных штанг и бурового инструмента, а также для забивания металлических футляров-труб с последующим устранением грунта.
Пневмоударную установку можно использовать различными способами.
Установка может помочь начать работу в тяжелых условиях. Стальной футляр забивается в тяжелые грунты до места, с которого легче начать работу установкой ГНБ, таким образом создавая канал отведения бурового раствора, по которому труба будет продвигаться с меньшим усилием.
Пневмомолот может использоваться и в качестве вспомогательного оборудования при обратном расширении с одновременным протаскиванием для высвобождения трубы, обжатой водонасыщенными грунтами. В этом случае пневмомолот присоединяют к протягиваемому трубопроводу при обратном расширении. Ударная сила пневмомолота помогает буровой установке протащить трубу там, где возможностей установки могло бы не хватить.
Пневмоударная установка может быть использована и для извлечения застрявшего трубопровода и колонны буровых штанг после аварийной оста-

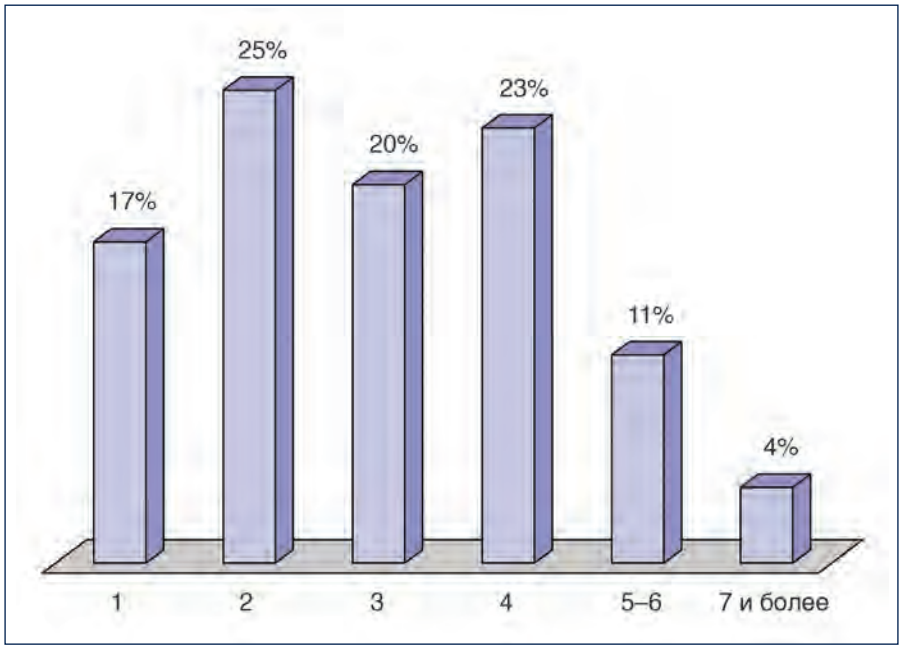

Рис. 4. Доли предприятий, эксплуатирующих то или иное количество буровых установок ГНБ, % от общего числа организаций [1]
Fig. 4. The parts of the enterprises that use one or another number of HDD machines, % of the total number of companies [1]

новки. Ударная сила пневмомолота в сочетании с тяговым усилием установки ГНБ помогает извлечь застрявшую трубу и продолжить строительно-монтажные работы.

Минус работы с пневмомолотом состоит в том, что высокая стоимость такого оборудования делает его недоступным для большинства предприятий. Ограничивает его применение и режимы работы таких установок, ставящие под вопрос величину их ресурса.

Универсального решения для ликвидации аварийных ситуаций при сооружении бестраншейных переходов методом ГНБ в настоящее время не существует. Здесь необходима технология ликвидации такого вида аварий, включающая комплекс последовательных действий в зависимости от ситуации, сложности условий работы и возможностей используемого оборудования.

Прежде всего в случае аварийной остановки процесса протаскивания необходимо отыскать проблемное место, которое явилось причиной аварийной остановки, определить возможные усилия, необходимые для извлечения трубопровода и бурового инструмента в ту или иную сторону.

Принципиальная возможность вытолкнуть трубу буровой установкой от себя силой обратной тяги может базироваться на специально разработанных инструкциях или технологических картах для выполнения такого вида работ. В основу написания таких инструкций должен быть положен расчет устойчивости буровых штанг различных типов при толкании их в скважине различных диаметров с применением широкого перечня буровых установок.

Для больших диаметров стальных трубопроводов необходимо также учитывать ограничения по нагрузкам на опоры спусковой дорожки трубопровода при его выталкивании из скважины в обратную сторону. В основу этих ограничений должен быть также положен соответствующий расчет.

При невозможности продолжения процесса протаскивания, отсутствия возможности для извлечения трубопровода из скважины выталкиванием, невозможности извлечь трубопровод с помощью разработки грунта открытым способом принимается решение о спасении только бурового инструмента и колонны буровых труб.

В этом случае решением может служить заведение внутрь трубопровода специального оборудования для монтажа шнуровых кумулятивных зарядов с целью отсечения взрывом трубопровода от буровой колонны и вытягивание на себя установкой ГНБ колонны буровых труб.

Такой комплекс мероприятий хоть и требует дополнительной проработки, но позволил бы ликвидировать те аварии, которые невозможно устранить традиционными методами.

Литература:

1. Брейдбурд А.И. Некоторые итоги производственной деятельности предприятий – членов МАС ГНБ в 2013 г. // Технологии мира. – 2014. – № 3. – С. 21–27.
2. Использование пневмоударной установки Hammerhead Mole в качестве вспомогательного оборудования в горизонтальн направленном бурении. – Режим доступа: http://www.ditchwitch.ru/articles/ispolzovanie-pnevmoudarnoi-ustanovki-hammerhead-mole-v-kachestve-vspomogatelnogo-oborudovaniya-v-gorizontalnom-napravlennom-burenii-39.htm.
3. Торопов Е.С., Кирьянов И.Е., Торопов В.С. Методы снижения энергозатрат в процессе протяжки трубопровода в скважину при использовании технологии наклонно-направленного бурения для сооружения промышленных объектов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – Выпуск № 4 «Нефть и газ».
4. Торопов В.С., Осыка А.В., Торопов Е.С. Протаскивание трубопровода в объемно искривленные скважины // Тезисы докладов межрегиональной молодежной научной конференции «Севергеоэкотех-2001» 21–23 марта 2001 г. – Ухта: УГТУ, 2001. – С. 70–71.
5. Фатеев. В.С. Желобообразование в процессе бурения // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2006. – № 11. – С. 11–12.
6. Шилов А.Г., Гличев В.А. Предупреждение сальникообразования при бурении в глинистых отложениях // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. – 2013. – № 4. – С. 60–62.

References:

1. Breydburd A.I. Nekotorye itogi proizvodstvennoj dejatel'nosti predprijatij – chlenov MAS GNB v 2013 godu [Some results of the production activity of the enterprises members of the International Association of the Specialists in Horizontal Directional Drilling in 2013]. *Tehnologii mira = World Technologies*, 2014, No. 3. P. 21–27.
2. *Ispol'zovanie pnevmoudarnoj ustanovki Hammerhead Mole v kachestve vspomogatel'nogo oborudovanija v gorizontal'nom napravlennom burenii* [Use of Hammerhead Mole air hammer unit as an auxiliary equipment for horizontal directional drilling]. Access mode: http://www.ditchwitch.ru/articles/ispolzovanie-pnevmoudarnoi-ustanovki-hammerhead-mole-v-kachestve-vspomogatelnogo-oborudovaniya-v-gorizontalnom-napravlennom-burenii-39.htm.
3. Toropov Ye.S., Kiryanov I.Ye., Toropov V.S. Metody snizhenija jenergozatrat v processe protjazhki truboprovoda v skvazhinu pri ispol'zovanii tehnologii naklonno-napravlennogo burenija dlja sooruzhenija promyshlennyh ob'ektov [The methods to reduce energy cost within the process of the pipeline routing in the well by means of directional drilling technology for construction of industrial facilities]. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' = Mining Research and Information Newsletter*, 2014, Issue No. 4 «Oil and Gas».
4. Toropov V.S., Osyka A.V., Toropov Ye.S. Protaskivanie truboprovoda v ob'emno iskrivlennye skvazhiny [Routing of pipelines in volume deflected wells]. Tezisy dokladov mezhregional'noj molodezhnoj nauchnoj konferencii «Severgeojekoteh-2001» 21–23 marta 2001 g. [The abstracts of the Interregional Youth Scientific Conference «Severgeoekotekh-2001», March 21–23, 2001]. Ukhta, USTU (Ukhta State Technical University), 2001. P. 70–71.
5. Fateev V.S. Zheloboobrazovanie v processe burenija [Key-seating within the drilling process]. *Vestnik Instituta geologii Komi NC UrO RAN = The Vestnik of the Institute of Geology of Komi SC UB RAS*, 2006, No. 11. P. 11–12.
6. Shilov A.G., Glichev V.A. Preduprezhdenie sal'nikoobrazovanija pri burenii v glinistyh otlozhenijah [Prevention of packing when drilling in argillaceous deposits]. *Upravlenie kachestvom v neftegazovom komplekse = Oil and Gas Complex Quality Control*, 2013, No. 4. P. 60–62.