

РАСЧЕТ ТЯГОВЫХ УСИЛИЙ ПРИ ИЗВЛЕЧЕНИИ ФИЛЬТРОВ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН

М.П. Магарян, аспирант,

В.В. Ивашечкин, доктор технических наук, доцент,

Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Беларусь

Аннотация

В данной статье рассматривается возможность проведения капитального ремонта высокодебитных водозаборных скважин, путем извлечения фильтровой колонны с фильтрами типа ФТП, производства ОАО «Завод Промбурвод», с применением тяговых усилий. Проводится проверка возможности бездефектного извлечения фильтровой колонны путем предварительного смещения вниз для разрушения кольматационных связей. Производится подбор ударного оборудования для смещения фильтровой колонны вниз.

Ключевые слова: скважина, регенерация, капитальный ремонт, фильтровая колонна, тяговое усилие, ударное воздействие, вдавливание

Abstract

**M.P. Magaryan, V.V. Ivashechkin
CALCULATION OF TRACTION FORCE
DURING REMOVING FILTERS OF WATER
WELLS**

The article discovers some aspects of traction forces during the overhaul of water wells of high output by removing filter column with filter type FTP produced at JSC "Promburvod Plant". This study tests how to remove filter column without any defects if it is down shifted to break all colmatation compounds. The percussive equipment what is optimal for this operation is determined.

Keywords: water well, regeneration, overhaul, filter column, traction force, percussive impact, denting

Введение

На сегодняшний день в Беларуси средний срок службы высокодебитных водозаборных скважин типовых конструкций составляет 18-22 года [1]. Первой из причин вынужденной остановки скважин является их пескование, которое представляет собой суффозию пластового песка: через гравийный фильтр при неправильном подборе обсыпки; через сальник (скважина с фильтром впотай) при неправильной установке фильтра или сальника; через трещины и дефекты в фильтровой колонне, образованные в результате коррозии или физического разрушения фильтра в процессе механической или химической регенерации [2]. Второй причиной прекращения эксплуатации скважин водопользователями является значительное снижение их производительности в результате кольматационных процессов, обусловленных отложением в отверстиях фильтров и порах гравийной обсыпки, и водоносных породах осадков физико-химического и биологического происхождения. Несмотря на то, что существует широкий арсенал методов регенерации, наступает момент, когда они не приносят нужного эффекта, и эксплуатация скважины становится нерентабельной. На следующем этапе всегда возникает вопрос о возможности проведения на скважине капитального ремонта, связанного с извлечением на поверхность фильтровой колонны и заменой ее на новую.

В литературных источниках описана технология извлечения фильтров скважин, установленных «впотай» по отношению к эксплуатационной колонне, но отсутствуют критерии для оценки вероятности успешного выполнения этих работ на данной конкретной скважине. Поэтому организация, берущаяся за эти работы, не может реально оценить риски и не всегда добивается планируемого результата. Затрачиваются значительные усилия, время и средства, а извлечь фильтр не удается. Все заканчивается тампонажом и перебуриванием скважины в той же санитарной зоне, что не только нерационально и дорого, но и наносит экологический ущерб природе, так как в эксплуатируемом подземном горизонте остаются корродирующие металлоконструкции. Поэтому оценка ремонтпригодности скважин в части выполнения капитального ремонта и разработка новых эффективных технологий его проведения является актуальной задачей.

Цель работы заключается в проверке возможности извлечения фильтровых колонн, установленных впотай, только тяговым усилием и смещения фильтровой колонны вниз для разрушения кольматационных связей перед извлечением.

Извлечение фильтровой колонны на поверхность. Данная операция является весьма трудоемкой и часто слабо реализуемой из-за возникающих значительных сил трения фильтровой колонны о породу. Для

оценки возможности извлечения каркасно-стержневого фильтра с проволочной обмоткой из водоносного горизонта, определим силу трения на ее внешней поверхности по формуле расчета несущей способности буронабивной сваи, работающей на выдергивающие нагрузки [3]. Такая аналогия оправдана, так как каркасно-стержневой фильтр скважины контактирует в процессе эксплуатации с гравием обсыпки, в порах которой образуется кольматант, представляющий природный цемент обрастания, который прочно соединяет слой сцементированного гравия с поверхностью фильтра. Буронабивная свая также имеет каркас, заполненный бетоном, цемент которого заполняет поры окружающего сваю грунта и входит с ним в контакт. Поэтому при утрате буронабивной сваей, работающей на выдергивание, несущей способности происходит срез связей на границе цементной оболочки сваи и поверхности грунта. Аналогичная картина возникает на границе каркасно-стержневого фильтра с коркой из сцементированного гравия

$$F_{\delta.\delta.\delta} = \gamma_c \sum u \cdot \gamma_{cf} \cdot R_{fi} \cdot h_i, \quad (1)$$

где γ_c – коэффициент условий работы, $\gamma_c \approx 0,8$; u – осредненный периметр поперечного сечения фильтра с «кольматационной коркой», состоящей из частиц гравийной обсыпки, скрепленной цементом обрастания, в i -м слое водоносного пласта, м; γ_{cf} – коэффициент условий работы грунта на боковой поверхности «кольматационной корки», зависящий от прочности отложений, $\gamma_{cf} = 0,6-0,8$; R_{fi} – расчетное сопротивление трению грунта в пределах i -ого слоя водоносного пласта толщиной h_i .

Определив силу трения фильтровой колонны о породу, проверяют возможность ее бездефектного извлечения. Для этого определяют допустимую величину растягивающих усилий для материала фильтровой колонны по СНиП II-23-81* [4].

Расчет на прочность элементов, подверженных растяжению или сжатию, следует выполнять по формуле (2):

$$\frac{N}{A_n} \leq R_y \cdot \gamma_c', \quad (2)$$

где N – это продольная сила, приложенная к над фильтровой трубе для ее извлечения; A_n – площадь сечения надфильтровой трубы (нетто); R_y – расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести, $R_y = R_{yn} / \gamma_m$, R_{yn} – предел текучести стали, принимаемый равным значению предела текучести по государственным стандартам и техническим условиям на сталь, $\gamma_m = 1,1$ – коэффициент надежности по материалу; $\gamma_c' = 1$ – коэффициент условий работы.

Также следует определить допустимую величину растягивающих усилий для фильтра. Трубчатый каркас фильтра обладает скважностью порядка 30%, что уменьшает прочностные показатели всей фильтровой колонны. Расчеты производятся по формуле (2), с учетом скважности при определении площади сечения A_n .

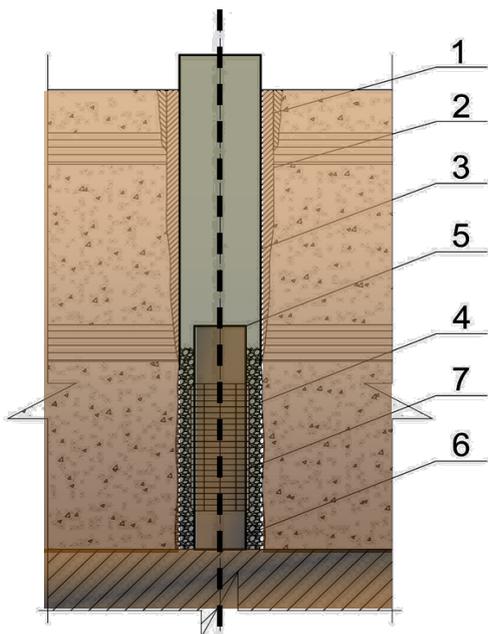
В обязательном порядке производится проверка прочности сварного соединения, которое выполняется встык для соединения надфильтровой трубы с фильтром, секций фильтра между собой и фильтра с отстойником.

Условие прочности сварного шва встык на растяжение и сжатие при извлечении фильтровой колонны можно определить по [4] с использованием формулы:

$$\frac{N}{t \cdot l_w} \leq R_{wy} \cdot \gamma_c', \quad (3)$$

где N – это продольная сила, приложенная к фильтровой трубе для ее извлечения; t – наименьшая толщина соединяемых элементов; l_w – расчетная длина шва, равная длине окружности соединяемых колонн $l_w = \pi d$, $\pi = 3,14$, d – диаметр соединяемых колонн; R_{wy} – расчетное сопротивление стыковых сварных соединений сжатию, растяжению и изгибу по пределу текучести, для ручной сварки без физического контроля качества шва $R_{wy} = 0,85 \cdot R_y$, R_y – расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести, $R_y = R_{yn} / \gamma_m$, R_{yn} – предел текучести стали, принимаемый равным значению предела текучести по государственным стандартам и техническим условиям на сталь, $\gamma_m = 1,1$ – коэффициент надежности по материалу; $\gamma_c' = 1$ – коэффициент условий работы.

Данных показателей, как правило, достаточно для определения возможности извлечения фильтровой колонны. Ниже представлены прочностные расчеты фильтровых колонн, наиболее часто применяемых в РБ в конструкциях высокодебитных скважин с фильтром, установленным впотай (рисунок 1).



- 1 – кондуктор,
- 2 – затрубная цементация,
- 3 – эксплуатационная колонна,
- 4 – гравийная обсыпка,
- 5 – надфильтровая труба,
- 6 – отстойник,
- 7 – фильтр

Рисунок 1 – Скважина с фильтром, установленным впотай

водоносного пласта, м; $\gamma_{cf} = 0,7$ – коэффициент условий работы грунта на боковой поверхности «кольматационной корки», зависящий от прочности отложений; $R_{fi} = 100 \cdot 10^3 \text{ Па}$ – расчетное сопротивление трению грунта в пределах i -ого слоя водоносного пласта толщиной h_i , $h_{i(ф.кол)} = h_{(надф.кол)} - 1 + h_{отст} = 4 + 2 = 6 \text{ м}$, $h_{i(ф)} = 9 \text{ м}$.

Найдем силу тяжести собственного веса фильтровой колонны с кольматантом:

$$F_m = (m_{кол} + m_{кольм}) \times g =$$

$$= (157,6 + 466,2 + 63,04 + 235,31) \cdot 10 = 9,22 \cdot 10^3 \text{ Н},$$

где $m_{кол}$ – масса фильтровой колонны, равная сумме массы надфильтровой колонны $l_1 = 5 \text{ м}$, массы фильтра $l_2 = 9 \text{ м}$ и отстойника $l_3 = 2 \text{ м}$, масса 1 м принимается согласно [5 и 6], $m_{кол} = 157,6 + 466,2 + 63,04$, кг; $m_{кольм}$ – масса кольматационной корки образовавшейся по периметру фильтровой колонны:

$$m_{кольм} = m \cdot a \cdot \rho_k \cdot V_{кольм} = m \cdot a \cdot \rho_k \cdot \pi \cdot l_2 \cdot T_{кольм} \cdot ((d_{ф.вн} + d_{кольм}) - T_{кольм}) = 0,3 \cdot 0,5 \cdot 2600 \cdot 3,14 \cdot 9 \cdot 0,07 \cdot ((0,235 + 0,14) - 0,07) = 235,31 \text{ кг},$$

где $\rho_k = 2600 \text{ кг/м}^3$ – плотность кольматанта, $m = 0,3$ – начальная пористость кольматанта, $a = 0,5$ – насыщенность пор, согласно [8]; $V_{кольм}$ – объем образовавшейся кольматационной корки, $V_{кольм} = \pi \cdot l_2 \cdot T_{кольм} \cdot X \cdot ((d_{ф.вн} + d_{кольм}) - T_{кольм})$, $T_{кольм} = 0,07 \text{ м}$ – толщина кольматационной корки, $l_2 = 9 \text{ м}$ – длина фильтра.

Найдем общее усилие для подъема фильтровой колонны:

$$F_o = F_{тр.ф.} + F_m =$$

$$= 824,51 + 9,22 = 833,73 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Прочностные расчеты выполняются для фильтровых колонн, снабженных фильтрами трубчатыми проволоочными (ФТП) производства ОАО «Завод Промбурвод» [5]. Трубы для фильтровой колонны приняты согласно [6] из стали [7].

Пример

Дано: глубина скважины (рисунок 1) – 60 м; длина надфильтровой трубы – 5 м; длина фильтра типа ФТП – 9 м; фильтр состоит из 2-х секции по 4,5 м; длина отстойника – 2 м; фильтровая колонна имеет гравийную обсыпку, которая на 1 м не доходит до верха надфильтровой трубы; толщина корки кольматационных отложений вокруг фильтра принята равной 0,07 м (при плотности кольматанта $\rho_k = 2600 \text{ кг/м}^3$, начальной пористости $m = 0,3$ и насыщенности пор кольматантом $= 0,5$, согласно [8]) на протяжении всей длины фильтра; тип фильтр – ФТП-219.

Найдем силу трения фильтра о породу:

$$F_{тр.ф} = \gamma_c \sum u \times \gamma_{cf} \times R_{fi} h_i =$$

$$= 0,8 \cdot 0,7 \cdot 100 \cdot 3,14 \cdot (0,219 \cdot 6 + (0,235 + 0,14) \cdot 9) =$$

$$= 824,51 \cdot 10^3 \text{ Н},$$

где $\gamma_c = 0,8$ – коэффициент условий работы; $\sum u = u_1 + u_2$, $u_1 = \pi (d_{ф.вн} + d_{кольм}) = 3,14(0,235 + 0,14)$ – осредненный периметр поперечного сечения фильтра с «кольматационной коркой», состоящей из частиц гравийной обсыпки, скрепленной цементом обрастания, в i -слое водоносного пласта, м, $u_2 = \pi (d_{ф.кол}) = 3,14 \cdot 0,219$ – осредненный периметр поперечного сечения фильтровой колонны, в i -слое водоносного пласта, м;

Определим величину допустимых растягивающих усилий для фильтровой колонны из СТ20:

$$N \leq A_n \times R_y \times y_c' = \pi \times (r_{\text{вн}}^2 - r_{\text{внутр}}^2) \times \frac{R_{yn}}{y_m} \times y_c' =$$

$$= 3,14 \cdot (0,1095^2 - 0,1035^2) \cdot 245 \cdot 10^6 / 1,1 \cdot 1 = 893,79 \cdot 10^3 \text{ Н},$$

где $A_n = \pi \cdot (r_{\text{вн}}^2 - r_{\text{внутр}}^2) = 3,14 \cdot (0,1095^2 - 0,1035^2)$ – площадь сечения надфильтровой трубы 219х6; R_y – расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести, $R_y = R_{yn}/y_m$, $R_{yn} = 245 \cdot 10^6 \text{ Па}$ – предел текучести стали, $y_m = 1,1$ – коэффициент надежности по материалу; $y_c' = 1$ – коэффициент условий работы.

Определим величину растягивающих усилий для фильтра колонны со скважностью 30%:

$$N_{\phi} \leq 0,7 \times A_n \times R_y \times y_c' = 0,7 \times \pi \times (r_{\text{вн}}^2 - r_{\text{внутр}}^2) \times \frac{R_{yn}}{y_m} \times y_c' =$$

$$= 0,7 \cdot 3,14 \cdot (0,1095^2 - 0,1035^2) \cdot 245 \cdot 10^6 / 1,1 \cdot 1 = 625,65 \cdot 10^3 \text{ Н},$$

где $A_n = \pi \cdot (r_{\text{вн}}^2 - r_{\text{внутр}}^2) = 3,14 \cdot (0,1095^2 - 0,1035^2)$ – площадь сечения фильтровой трубы 219х6; R_y – расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести, $R_y = R_{yn}/y_m$, $R_{yn} = 245 \cdot 10^6 \text{ Па}$ – предел текучести стали, $y_m = 1,1$ – коэффициент надежности по материалу; $y_c' = 1$ – коэффициент условий работы.

Определим величину растягивающих усилий для сварного шва:

$$N_{CB} \leq t \times l_w \times R_{wy} \times y_c' = t \times \pi \times d \times \frac{0,85 R_{yn}}{y_m} \times y_c' =$$

$$= 0,006 \cdot 3,14 \cdot 0,219 \cdot 0,85 \cdot 245 \cdot 10^6 / 1,1 \cdot 1 = 781,12 \cdot 10^3 \text{ Н},$$

где $t = 0,006 \text{ м}$ – наименьшая толщина соединяемых элементов, равная толщине стенки трубы 219х6; l_w – расчетная длина шва, равная длине окружности соединяемых колонн $l_w = \pi \cdot d$, $\pi = 3,14$, $d = 0,219 \text{ м}$ – диаметр соединяемых колонн; R_{wy} – расчетное сопротивление стыковых сварных соединений сжатию, растяжению и изгибу по пределу текучести, для ручной сварки без физического контроля качества шва $R_{wy} = 0,85 R_y$, $R_y = R_{yn}/y_m$, $R_{yn} = 245 \cdot 10^6 \text{ Па}$ – предел текучести стали, $y_m = 1,1$ – коэффициент надежности по материалу; $y_c' = 1$ – коэффициент условий работы.

Расчет сделан для шва встык, выполненного равномерно по всей площади торца трубы. Однако на практике такой шов не обеспечивается, так как трубы имеют фаски под углом 45° , их сваривают в вертикальном положении, поставив одну трубу на другую. В этом случае шов разрушается по плоскости, имеющей площадь $A' = \pi \cdot d \cdot t \cdot \cos 45^\circ = 0,7A$, поэтому допустимая сила при извлечении будет на 30% меньше, т.е.

$$N'_{cs} = 0,7 N_{cs} = 0,7 \times 781,12 = 546,78 \times 10^3 \text{ Н}.$$

Данные расчеты проводятся для всех диаметров фильтровых колонн, выпускаемых ОАО «Завод Промбурвод». Полученные результаты заносятся в таблицу и позволяют проанализировать возможность извлечения фильтровой колонны с фильтром типа ФТП, длиной 9 м (рисунок 2).

Анализ полученных данных указывает на то, что извлечение фильтровых колонн с фильтрами типа ФТП ($d \leq \text{ФТП-324}$) длиной 9 м, с применением только тяговых усилий произвести невозможно, т.к. силы трения, действующие на фильтровую колонну, значительно превышают допустимые усилия (условие прочности) для фильтра и сварного шва. С увеличением диаметра используемых фильтров можно наблюдать незначительный рост силы трения фильтровой колонны о породу, по сравнению с ростом допустимых усилий на фильтровой колонне.

Наименьшими прочностными характеристиками обладает сварное соединение фильтров между собой, а также их соединение с отстойником или надфильтровой колонной, оно на 11,5-12,9% меньше предела прочности для фильтров скважностью 30%. Усиление сварных соединений в фильтровых колоннах позволит производить извлечение фильтров больших диаметров ФТП299 и ФТП324, что видно из рисунка 2. Для фильтров меньшего диаметра единственным возможным способом уменьшения возникающих сил трения между обсыпкой и

фильтровой колонной является уменьшение длины фильтровой колонны. Данный вариант возможен, когда дебит скважины не является определяющим критерием, однако для высокодебитных скважин уменьшение длины фильтровой колонны является недопустимым. Для возможности извлечения фильтровых колонн в высокодебитных скважинах требуется уменьшить силу трения фильтровой колонны о породу.

Наибольшая сила трения фильтровой колонны о породу наблюдается в зоне нахождения фильтра, обусловлено это образованной кольматационной коркой (природный цемент), которая забивает всю перфорированную часть фильтровой колонны, увеличивая диаметр фильтровой части на 50-70 мм и силу трения фильтра о породу на 22-62%.

Размягчить кольматационную корку позволяет применение современных методов регенерации, таких как газоимпульсное воздействие [9] и промывка специализированными реагентами. Однако данные операции увеличивают стоимость проведения ремонтных работ и требуют привлечения специализированной техники. К тому же положительный эффект от применения газоимпульсных воздействий и реагентной промывки достигается только при слабых формах кольматации, если обрастание фильтра кольматантом значительное, то применение подобных методов считается нецелесообразным.

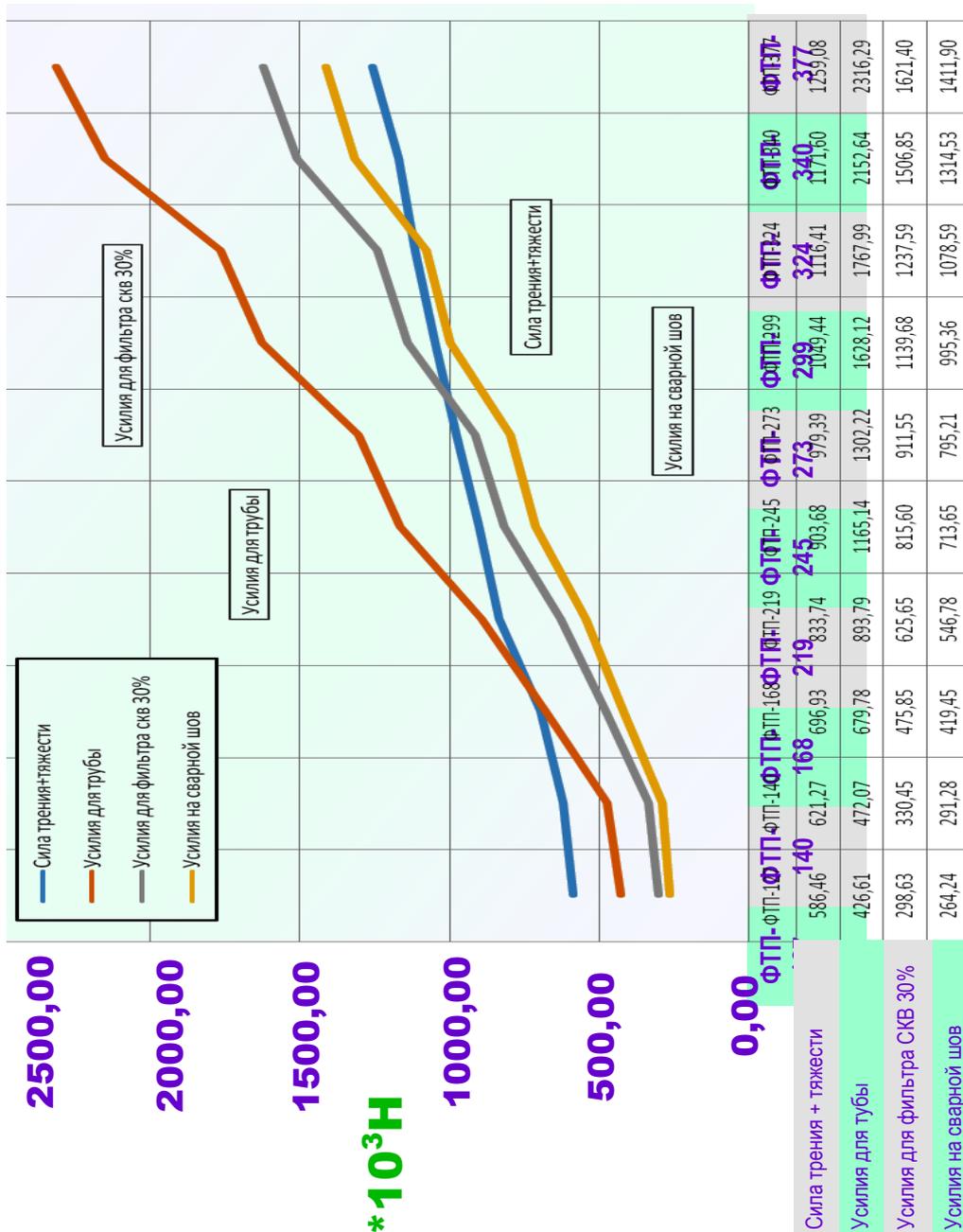


Рисунок 2 – Усилия для извлечения фильтровой колонны – 16 м, с фильтрами типа ФТП – 9 м

Применение ударных усилий. Для уменьшения сил трения и увеличения вероятности извлечения фильтровой колонны, возможно применение воздействия ударных усилий на фильтровую колонну для срезания кольматанта. При воздействии на фильтровую колонну ударных усилий происходит ее смещение вниз, связи между колонной и обсыпкой разрушаются и тем самым уменьшается сила трения при последующем извлечении.

Для смещения фильтровой колонны вниз помимо боковых сил трения нужно преодолеть и лобовое сопротивление грунта. Лобовое сопротивление грунта можно рассчитать, как несущую способность сваи стойки [10].

$$F_d = \gamma_c \cdot R \cdot A, \quad (4)$$

где F_d – несущая способность фильтровой колонны, опирающейся на грунт, γ_c – коэффициент работы условий работы колонны в грунте $\gamma_c=1$, A – площадь опирания колонны на грунт, m^2 , R – расчетное сопротивление грунта под нижним концом колонны, $R=20000 \cdot 10^3 \text{ Па}$.

Расчеты показали, что лобовое сопротивление колеблется в пределах от $250 \cdot 10^3 \text{ Н}$ для фильтровых колонн малых диаметров и до $2230 \cdot 10^3 \text{ Н}$ для фильтровых колонн большого диаметра, что составляет 44-180% от общего сопротивления фильтровой колонны. Данные расчеты показывают, что смещения фильтровой колонны вниз при наличии лобового сопротивления произвести невозможно. Однако есть возможность избавиться от лобового сопротивления, данная операция описана [11].

Способ извлечения фильтровой колонны [11] заключается в следующем: перед извлечением фильтровой колонны в нее опускают бурильный снаряд, разбуривают ее башмак и образуют полость под фильтром. Полость образуется бурением некоторого интервала скважины ниже фильтра. Данную полость пробуривают бурильным снарядом с расширителем, превышающим диаметр фильтра.

Проделав данную операцию и избавившись от лобового сопротивления, мы можем смещать фильтровую колонну вниз для срезания кольматационной корки.

Подбор ударного оборудования для смещения фильтровой колонны вниз производится по [12] приложение 5. Необходимую минимальную энергию удара молота E_h , Дж, для смещения фильтровой колонны определяем по формуле:

$$E_h = 0,045N, \quad (5)$$

где N – расчетная нагрузка, передаваемая на колонну, Н, равная силе трения фильтровой колонны о породу.

Принятый тип молота с расчетной энергией удара $E_d \geq E_h$, кДж, должен удовлетворять условию:

$$\frac{m_1 + m_2 + m_3}{E_h} \leq K, \quad (6)$$

где K – коэффициент применимости молота кг/Дж (для трубчатых дизель-молотов и молотов двойного действия $K=0,55 \text{ кг/Дж}$, для молотов одиночного действия и штанговых дизель-Молотов $K=0,4 \text{ кг/Дж}$, для подвесных молотов $K=0,25 \text{ кг/Дж}$), при погружении фильтровой колонны с открытым нижним концом указанные коэффициенты увеличиваются в 1,5 раза; m_1 – масса молота, кг; m_2 – масса фильтровой колонны с наголовником, кг; m_3 – масса подбабка, кг.

Выбранный в соответствии с формулами (5) и(6) молот следует проверять на минимально допустимый отказ S_{\min} , который принимается равным минимально допустимому отказу для данного типа молота, указанному в его техническом паспорте, но не менее 0,002 м.

Следует так же обратить внимание, что формулы (5) и (6) действительны только для фильтровых колонн длиной до 25 м и расчетной силой трения до $2000 \cdot 10^3 \text{ Н}$, при превышении данных допустимых значений подбор молота производится расчетом, основанным на волновой теории.

После предварительного подбора ударного оборудования по формуле (5), производится проверка подобранного оборудования по уравнению энергетического баланса.

Для общего случая уравнение энергетического баланса имеет вид:

$$a \cdot E = R_o \cdot e, \quad (7)$$

где a – поправочный коэффициент; E – энергия удара; R_0 – общая сила трения, состоящая из силы трения боковых поверхностей фильтра и эксплуатационной (надфильтровой) колонны о грунт; e – перемещение конструкции вследствие удара (как правило, для нарушения сплошности обсыпки и разрушения кольматационных связей достаточно произвести смещение фильтровой колонны на 10-15 мм) [13].

Величину энергии, идущей непосредственно на погружение конструкции, в случае молота свободного падения, определим из [14]:

$$E = 0,9G \cdot H \cdot \eta, \quad (8)$$

где G , H – вес ударной части молота и высота ее падения; η – КПД передачи энергии от молота погружаемой конструкции при ударе.

КПД удара η может быть приближенно вычислен из условия соударения двух свободных тел в рамках классической теории удара:

$$\eta = \frac{1 + m \cdot e^2}{1 + m}, \quad (9)$$

где m – отношение массы конструктивных элементов скважины M_c к массе молота M_m ; e – коэффициент восстановления при ударе через наголовник с прокладкой, $e=0,45-0,55$ [15].

Известно, что результативность удара тем выше, чем больше масса молота при одной и той же энергии удара. Поэтому поправочный коэффициент a отражает изменение эффективности удара в зависимости от отношения массы молота к массе погружаемой конструкции. На основании сопоставлений фактических и расчетных кривых погружения свай (более 600 свай) была предложена зависимость [15]:

$$a = k \sqrt{\frac{M_m}{M_c}}, \quad (10)$$

где k – коэффициент, характеризующий степень совершенства модели, т.е. соответствие фактическим данным и рекомендуется для подвешного молота – $k=0,5-0,7$ [15].

Подбор и проверка оборудования является важной составляющей при извлечении фильтровой колонны. Использование молотов с наименьшими параметрами может быть неэффективно, а с превышающими, как правило, более затратное и рискованное, т.к. под воздействием нагрузок от молота, превышающих допустимые усилия, может произойти разрушение фильтровой колонны.

Для примера проведем расчеты уже известной нам скважины с фильтровой колонной длиной 16м и фильтром ФТП-219 – длиной 9 м.

Избавление от кольматационной корки в данной фильтровой колонне позволит снизить тяговые усилия на 37% при ее извлечении.

Определим необходимую минимальную энергию удара молота:

$$E_h = 0,045 \times N = 0,045 \times 815,29 \times 10^3 = 36688,05 \text{ Дж},$$

где $N = F_{тр.ф.} - F_m = 824,51 \cdot 10^3 - 9,22 \cdot 10^3 = 815,29 \cdot 10^3$ – расчетная нагрузка, передаваемая на колонну, N , равная $F_{тр.ф.}$ – силе трения фильтровой колонны о породу за вычетом F_m – силы тяжести собственного веса фильтровой колонны.

Произведем подбор ударной машины. В нашем случае возможно использование трубчатого дизель-молота СП-75А с максимальной потенциальной энергией ударной части $40 \cdot 10^3$ Дж.

Проверим, удовлетворяет ли данный дизель молот условию:

$$\frac{m_1 + m_2 + m_3}{E_h} \leq K \quad \frac{2700 + (922,15 + 500) + 250}{36688,05} \leq 0,55 \cdot 1,5 \quad 0,119 \leq 0,825,$$

где K – коэффициент применимости молота кг/Дж (для трубчатых дизель-молотов и молотов двойного действия $K=0,55$ кг/Дж), при погружении фильтровой колонны с открытым нижним концом указанные коэффициенты увеличиваются в 1,5 раза; $m_1=2700$ – масса молота, кг; $m_2=922+500$ – масса фильтровой колонны с наголовником, кг; $m_3=250$ – масса подбабка, кг; $E_n=36688,05$ – необходимая минимальная энергия удара молота, Дж.

Данное условие выполняется, что может говорить о правильно подобранном оборудовании.

Определим величину энергии, идущей непосредственно на погружение:

$$E = 0,9G \cdot H \cdot \eta = 0,9 \cdot G \cdot H \cdot \frac{1+m \cdot e^2}{1+m} =$$

$$= 0,9 \cdot 1250 \cdot 3 \cdot \frac{1 + \frac{922,15}{2700} \cdot 0,5^2}{1 + \frac{922,15}{2700}} = 2730 \text{ Дж},$$

где $G=1250$ – вес ударной части молота, кг; $H=3$ – высота падения ударной части молота, м; η – КПД передачи энергии от молота погружаемой конструкции при ударе, $\eta = (1+m \cdot e^2) : (1+m)$, m – отношение массы конструктивных элементов скважины (масса фильтровой колонны) $M_c=922,15$ кг к массе молота $M_m=2700$ кг; $e=0,5$ – коэффициент восстановления при ударе через наголовник с прокладкой.

Определим поправочный коэффициент для уравнения энергетического баланса:

$$a = k \sqrt{\frac{M_m}{M_c}} = 0,6 \cdot \sqrt{\frac{2700}{922,15}} = 1,03,$$

где $k=0,6$ – коэффициент, характеризующий степень совершенства модели; $M_c=922,15$ – масса фильтровой колонны, кг; $M_m=2700$ – масса молота, кг.

Из уравнения энергетического баланса определим величину общей силы трения, которую в состоянии преодолеть фильтровая колонна под воздействием ударных усилий:

$$R_o = \frac{a \cdot E}{e} = \frac{1,03 \cdot 2730}{0,01} = 281,190H =$$

$$= 281кН \leq N = 815,51кН,$$

где $a=1,03$ – поправочный коэффициент; $E=2730$ – энергия удара, Дж; $e=0,01$ – перемещение конструкции вследствие удара, м.

Видим, что мощности данного дизель-молота не хватает для преодоления силы трения и смещения фильтровой колонны, производим замену данного дизель-молота СП-75А на более мощный и повторяем расчеты. Методом подбора определяем мощность дизель-молота для смещения фильтровой колонны.

Для нашего случая идеально подходит дизель-молот СП-78А:

$$R_o = \frac{aE}{e} = \frac{1,48 \cdot 6034,23}{0,01} = 893066,04H =$$

$$= 893,07кН \geq N = 815,51кН.$$

Мощности трубчатого дизель-молота СП-78А достаточно для преодоления сил трения и смещения фильтровой колонны на 10 мм вниз, для разрушения кольматационных связей, однако физические характеристики фильтровой колонны не позволяют произвести данную операцию, по причине превышения допустимых усилий для фильтра. Для решения данной проблемы следует увеличивать толщину стенок фильтровой колонны или уменьшать ее длину.

Выводы

1. Проверка возможности извлечения фильтровой колонны, с фильтрами типа ФТП, производства ОАО «Завод Промбурвод», показала, что извлечение фильтров с применением только тяговых усилий не представляется возможным по причине значительного превышения сил трения, возникающих при извлечении фильтро-

вой колонны, над допустимыми нагрузками на сварной шов и фильтра скважностью 30%. Решение данной проблемы заключается в увеличении толщины стенки фильтров или уменьшении длины фильтровой колонны. Полученная зависимость позволяет заранее просчитать допустимые длины используемых фильтровых колонн для их последующего бездефектного извлечения.

2. Проверка возможности смещения фильтровой колонны вниз для разрушения кольматационных связей, возникающих между фильтрами и обсыпкой показала, что данная операция позволяет в среднем на 35% снизить тяговые усилия при извлечении фильтровой колонны. Полученная зависимость позволяет производить подбор длины фильтровой колонны для ее бездефектного смещения вниз для уменьшения кольматационных связей.

3. Из уравнения энергетического баланса для вертикального смещения колонны труб получено выражение для подбора ударного оборудования для смещения фильтровой колонны вниз.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шейко, А.М. Анализ долговечности водозаборных скважин г. Минска / А.М. Шейко, В.В. Ивашечкин, Н.В. Холодинская, Э.А. Макарова // Вестник БНТУ. – 2006. – № 1. – С. 27-32.
2. Башкатов, А.Д. Предупреждение пескования скважин/ Башкатов, А.Д. – М.: Недра, 1991. – 176 с.
3. Проектирование и устройство буронабивных свай: пособие к строительным нормам РБ. П13-01 к СНБ 5.01.01-99. – Минск: Минстройархитектуры, 2002. – 43 с.
4. Нормы проектирования. Стальные конструкции. СНиП II-23-81*. – СССР. – 1981. – 96 с.
5. Фильтры водозаборных скважин. Паспорт ФП-01030.00.000 ПС ОАО Завод Промбурвод. – 2 с.
6. Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Сортамент ГОСТ 8732-78. – Москва, 1979. – 11 с.
7. Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Технические требования. ГОСТ 8731-74. – 1976. – 8 с.
8. Гаврилко, В.М. Фильтры буровых скважин / В.М. Гаврилко, В.С. Алексеев.– 3-е изд. – Москва: Недра, 1976. – 345 с.
9. Газоимпульсная технология восстановления пропускной способности фильтров водозаборных скважин: монография / В.В.Ивашечкин; под ред. А.Д. Гуриновича. – Мн.: БНТУ, 2005. – 270 с.
10. Проектирование забивных свай: пособие к строительным нормам РБ. П4-2000 к СНБ 5.01.01-99. – Минск: Минстройархитектуры, 2001. – 72 с.
11. Способ извлечения фильтров из скважин: патент 684132, 05.09.1979.
12. Земляные сооружения, основания и фундаменты. СНиП 3.02.01-87 / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 128 с.
13. Повколос, К.Э. Взаимодействие буроинъекционных анкеров с песчаными грунтами при статических и динамических воздействиях: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Повколос Константин Эдуардович; БГПА.
14. Васенин, В.А. Оценка параметров колебаний грунта при ударном погружении свай. Основные следствия / В.А. Васенин // Реконструкция городов и геотехническое строительство. – 2003. – № 7. – С. 210-224.
15. Новожилов, Г.Ф. Бездефектное погружение свай в талых и вечномерзлых грунтах / Г.Ф. Новожилов. – Л.: Стройиздат, 1987. – 112 с.

Поступила 4.03.2016