

DOI: 10.21122/1029-7448-2016-59-2-175–186

УДК 628.112

Совершенствование конструкций водозаборных скважин и методов их капитального ремонта

В. В. Ивашечкин¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2016
Belarusian National Technical University, 2016

Реферат. Проведен анализ недостатков и преимуществ отдельных способов выполнения капитальных ремонтов вышедших из строя скважин типовых конструкций. Рассмотрена технология капитального ремонта скважины № 3Б водозабора «Северный» г. Жодино способом установки ремонтного фильтра меньшего диаметра внутрь вышедшего из строя с обсыпкой межтрубного пространства гравием. Показано, что такой ремонт может рассматриваться как временная мера, поскольку удельный дебит скважины и срок ее службы будут существенно снижены. Для продления срока службы ремонтируемых скважин предложено осуществлять предварительную регенерацию их фильтров. Показано, что капремонт скважин способом извлечения старого фильтра и замены его на новый может быть осложнен разрывом колонны по сварным швам, работающим на растяжение. Выполнена проверка прочности колонны, которая показала, что требуемое подъемное усилие может превышать допустимую растягивающую силу для сварных швов из-за значительных сил трения колонны о грунт. Получено выражение для расчета требуемого подъемного усилия для извлечения эксплуатационной колонны с фильтром только статической силой, в котором силу трения закольцованного фильтра о породу предложено определять по формулам расчета несущей способности буронабивной сваи, работающей на выдергивающие нагрузки. Для снижения подъемных усилий путем уменьшения сил трения закольцованного фильтра о породу предложена усовершенствованная конструкция скважины со смещаемым вниз фильтром, признанная изобретением. Такая конструкция скважины позволяет при выходе фильтра из строя сначала внешними ударными усилиями сместить вниз (сбить) всю фильтровую колонну внутрь специальной гильзы, размещенной ниже отстойника, а только потом извлечь фильтровую колонну из скважины сниженным тяговым усилием. Из уравнения энергетического баланса для вертикального смещения колонны труб скважины получено выражение для расчета веса ударной части молота и высоты ее падения при капремонте скважины усовершенствованной конструкции.

Ключевые слова: скважина, капитальный ремонт, фильтровая колонна, гильза, молот, тяговое усилие

Для цитирования: Ивашечкин, В. В. Совершенствование конструкций водозаборных скважин и методов их капитального ремонта / В. В. Ивашечкин // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2016. Т. 59, № 2. С. 175–186

Адрес для переписки

Ивашечкин Владимир Васильевич
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 150,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 268-84-50
gts@bntu.bu

Address for correspondence

Ivashechkin Vladimir V.
Belarusian National Technical University
150 Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 268-84-50
gts@bntu.bu

Design Development of the Water Supply Wells and Methods of their Capital Repair

V. V. Ivashechkin¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The article presents analysis of shortcomings and benefits of individual techniques for the capital repair of out-of-commission water wells of standard designs. The author considers the capital repair procedure of water well No 3B of Zhodino 'Severniy' water supply point by means of installing a repair filter of smaller diameter inside the failed one, cushioning the tubular annulus with gravel. It is shown that this kind of repair can be considered a temporary arrangement inasmuch as the water well specific yield and service life period will reduce significantly. For prolongation of the useful life of the water wells, the paper suggests performing preliminary unloading of their filters. The study reveals that the well capital repair by means of extracting the old filter and exchanging it with a new one can be complicated by the column burst along the welding joints working in tension. The performed column strength test demonstrated the fact that the required heave might exceed the welding joint tolerant tensile force owing to considerable friction of the column against the ground. The author arrives at a design equation of the heave required for extracting the production column with the filter applying only the static force. In which they offer to determine frictional force of the mudded filter against the formation from calculating formulae of the supporting power of an augered pile working with pulling loads. For decreasing the heaves via reducing frictional loads of the mudded filter against the formation, an improved design of the water well has been introduced recognized as an invention with the filter capable of downward biasing. Such water well design allows at the filter mud fill in the first instance the entire filtering column to be biased (knocked) down inside a special sleeve placed lower the settler by applying external buffing force, and then only extracting the filtering column out of the well by decreased traction pull. The energy balance equation for vertical displacement of the water well pipe column results in the computation expression for the hammer striking part weight and its drop height during the capital repair of the water well of improved design.

Keywords: water well, capital repair, filtering column, sleeve, hammer, traction pull

For citation: Ivashechkin V. V. (2016) Design Development of the Water Supply Wells and Methods of their Capital Repair. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 59 (2), 175–186 (in Russian)

Введение

Одной из главных причин выхода водозаборных скважин из строя в процессе эксплуатации является пескование, которое может быть вызвано: суффозией пластового песка через фильтр при неправильном подборе гравийной обсыпки; выносом песка при выходе из строя сальника (фильтр установлен «впотай»); коррозионным и абразивным износом водоприемной поверхности, а также ее разрушением в результате импульсной декольматации [1]. В практике можно выделить три основных метода капремонта: 1) устройство защитной гравийной пробки в нижней пескующей части фильтра; 2) установку ремонтного фильтра меньшего диаметра внутрь пескующего фильтра; 3) извлечение вышедшего из строя фильтра и замену его новым [2, 3].

Первый метод самый простой и не требует применения спецтехники. Однако здесь необходима точная информация о том, что приток песка в скважину происходит только через нижнюю часть фильтра. Капитальный

ремонт скважины сводится к засыпке пескующей нижней части фильтра щебенкой или крупным гравием.

Метод установки нового фильтра внутрь применяют, если старый разрушен или вышел из строя сальник, а фильтр имеет достаточно большой диаметр (≥ 200 мм). Новый фильтр меньшего диаметра опускают на штангах, обсыпают гравием, штанги удаляют. Недостаток данной технологии заключается в отсутствии операции предварительной декольматации внешнего гравийного фильтра. Поэтому быстро растет кольматаж, снижаются дебит и срок службы скважины.

Третий способ капремонта заключается в подъеме фильтра на поверхность и замене его новым. На практике извлечь фильтр удастся не всегда из-за больших сил сцепления фильтра с породой и разрыва секций по сварным швам, работающим на растяжение. Это обусловлено тем, что в прилегающем к фильтру слое гравия образуется природный цемент обрастания, прочность которого может достигать 2 МПа.

В связи с изложенным выше целью работы являлись совершенствование методов капитального ремонта скважин типовых конструкций, создание скважин новых конструкций с заменяемыми фильтрами и разработка методики расчета усилий для их извлечения.

Капитальный ремонт скважины типовой конструкции

Отработку технологии капитального ремонта типовых скважин производили на артезианской скважине № 3Б (128290/96) водозабора «Северный» г. Жодино глубиной 94 м. Скважина пробурена 01.06.1996, оснащена проволочным фильтром диаметром 325 мм (12") в интервале от 73 до 93 м. Обследование показало, что с 1996 по 2002 г. скважина существенно (в 2,3 раза) снизила удельный дебит от 7,0 до 3,1 м²/ч. Данные замеров представлены в табл. 1.

Таблица 1

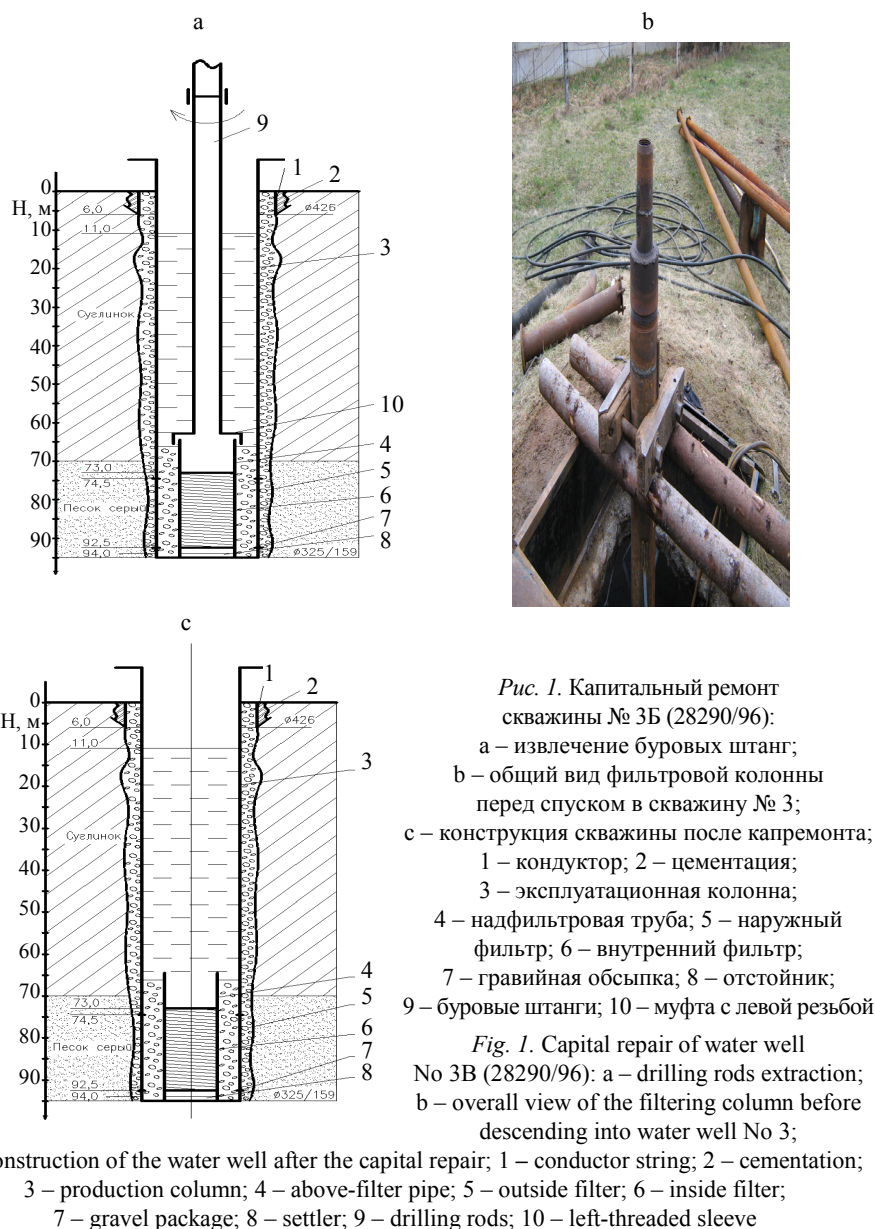
Гидравлические характеристики скважины № 3Б
Hydraulic properties of water well No 3B

Дата замера	Статический уровень, м	Понижение уровня, м	Дебит, м ³ /ч	Удельный дебит, м ² /ч
После бурения (01.06.1996)	11	10	70	7,0
До текущего ремонта (19.09.2002)	11	13	40	3,1
После текущего ремонта (20.09.2002)	11	3	40	13,3

20 сентября 2002 г. при участии автора произведен текущий ремонт скважины, который представлял собой работы по декольматации фильтра газоимпульсным методом на основе взрыва газовой смеси $2\text{H}_2 + \text{O}_2$ в полости фильтра и эрлифтные прокачки до и после обработки. Взрывы осуществлялись в полузамкнутой камере с запасаемой энергией 56–60 кДж. Всего произведена одна серия импульсов по всему фильтру с интервалом 0,15 м. Данные по результатам обработки приведены в табл. 1.

В результате обработки фильтра достигнуто увеличение удельного дебита в 4,3 раза по отношению к удельному дебиту до обработки, что соответствует 190 % от начального при бурении и указывает на плохое освоение скважины при сдаче ее в эксплуатацию буровой организацией.

12 мая 2010 г. произведен капитальный ремонт (рис. 1) скважины № 3Б.



Состав работ: повторная обработка фильтра подводными взрывами смеси $2\text{H}_2 + \text{O}_2$ с целью удаления отложений; откачка скважины эрлифтом; установка внутрь скважины новой фильтровой колонны диаметром 159 мм, имеющей отстойник длиной 1,5 м, проволочный фильтр длиной 18 м

с намоткой из нержавеющей стальной проволоки трапецеидального сечения высотой 2 мм с шагом 1 мм на трубчатый каркас, надфильтровую трубу длиной 10 м; засыпка гравия в межтрубное пространство (рис. 1).

Спуск новой фильтровой колонны осуществляли автокраном на буровых штангах, закрепленных к ее верхней части с помощью муфты с левой резьбой (рис. 1b). После установки фильтровой колонны на дно скважины ее обсыпали гравием и, вращая буровые штанги вправо, откручивали муфту с левой резьбой и поднимали штанги на поверхность.

Результаты испытаний скважины представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты гидравлических испытаний скважины № 3Б

Water well No 3B hydraulic test results

Вид откачки	Динамический уровень, м	Понижение уровня, м	Дебит, м ³ /ч	Удельный дебит, м ² /ч
До газоимпульсной обработки	25,0	4,0	24,0	6,0
После обработки	12,3	1,3	16,0	12,0
После капитального ремонта	12,2	1,2	14,0	11,5

Испытания показали, что посредством газоимпульсной обработки удельный дебит скважины перед капитальным ремонтом удалось увеличить в два раза (от 6 до 12 м²/ч), что позволило частично удалить кольматирующие отложения из фильтра и гравийной обсыпки. Эта операция необходима, так как после установки ремонтного фильтра она неэффективна. В настоящее время скважина № 3Б используется периодически для розлива воды.

Отсюда следует, что капремонту скважины должна предшествовать импульсная или реагентная обработка. Такой тип ремонта оправдан, если заказчика устраивают интенсивное старение и низкий дебит скважины, поскольку подобный ремонт снижает ее срок службы из-за интенсивного кольматации двойного фильтра.

Усовершенствованная конструкция скважины и ее капитальный ремонт

Для повышения ремонтпригодности в части выполнения капитального ремонта предложена конструкция скважины со смещаемым вниз фильтром (рис. 2) [4]. В предлагаемой скважине (рис. 2а) под фильтром искусственно создана полость, в которую перед извлечением можно посредством удара или статического нагружения сместить фильтр, а затем с меньшими подъемными усилиями извлечь его на поверхность. Конструктивно роль полости играет гильза, внутри которой с помощью срезаемых шпилек закреплен отстойник фильтровой колонны, снабженный захватной скобой.

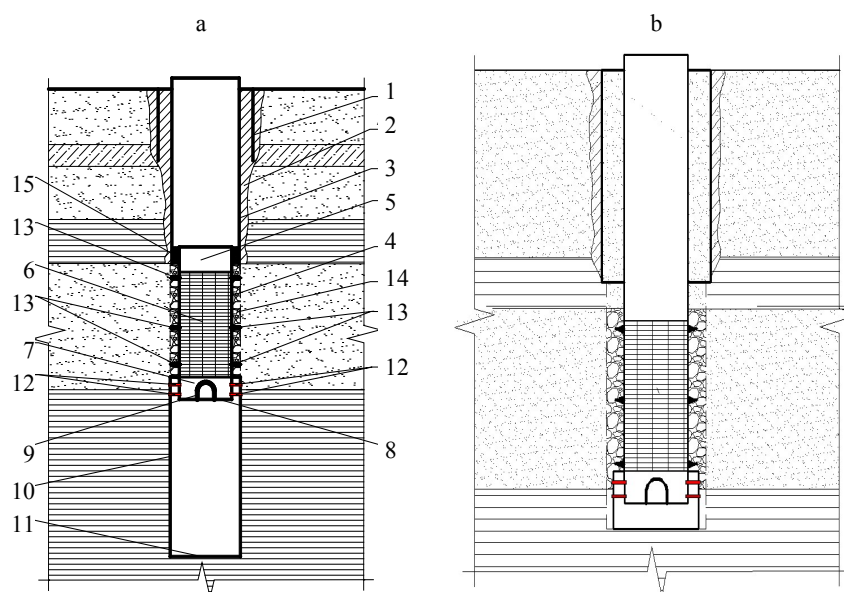


Рис. 2. Конструкции водозаборных скважин со смещаемыми вниз фильтрами, установленными: а – «впотай» с длинной гильзой; б – на «основной колонне» с короткой гильзой; 1 – кондуктор; 2 – затрубная цементация; 3 – эксплуатационная колонна; 4 – фильтровая колонна; 5 – надфильтровая труба; 6 – фильтр; 7 – отстойник; 8 – днище; 9 – захватная скоба; 10 – гильза; 11 – днище; 12 – шпильки; 13 – зубья; 14 – обсыпка; 15 – сальник

Fig. 2. Designs of the water wells with filters capable of downward biasing, installed:
а – 'flush' with long sleeve; б – on 'the main column' with short sleeve;
1 – conductor string; 2 – annular cementation; 3 – production column; 4 – filtering column;
5 – above-filter pipe; 6 – filter; 7 – settler; 8 – bottom; 9 – clevis; 10 – sleeve;
11 – bottom plate; 12 – drift pins; 13 – teeth; 14 – cushioning layer; 15 – gasket

При капремонте в ствол скважины с помощью лебедки бурового ударно-канатного станка (УКС) опускают буровые штанги до упора в торец надфильтровой трубы. Верхний конец буровых штанг выводят на устье скважины так, чтобы он возвышался над оголовком, снабжают ударником и сбрасывают на него с помощью лебедки бурового станка груз значительной массы. Ударное усилие через буровые штанги передается на фильтровую колонну. Если масса груза подобрана правильно, то под действием ударной нагрузки происходит срез материала шпилек и перемещение вниз фильтровой колонны внутри гильзы. Фильтровая колонна смещается вниз, преодолевая силы трения и сцепления с гравийной обсыпкой. Материал фильтровой колонны и сварных швов работает на сжатие, что исключает его разрушение. По мере смещения вдоль грунта зубья, выполненные из твердосплавного материала, разрыхляют гравийную обсыпку, что облегчает последующее извлечение фильтровой колонны наверх. Затем буровые штанги достают, в скважину опускают грузовой крюк, который вводят в зацепление с захватной скобой, и посредством лебедки бурового станка извлекают фильтровую колонну наверх.

При невозможности извлечения фильтровой колонны ее оставляют внутри «длинной» гильзы, соизмеримой с длиной фильтровой колонны (рис. 2b). Гравийную обсыпку выбуривают долотом, устанавливая новую фильтровую колонну и обсыпают ее новой гравийной обсыпкой.

Если надфильтровая колонна выведена на устье скважины (скважина с фильтром на «основной колонне»), то удары грузом значительной массы наносят по надфильтровой трубе, снабдив ее специальным наголовником, чтобы предотвратить смятие края трубы (рис. 2b). Скважина этой конструкции для экономии средств должна быть снабжена «короткой» гильзой.

Наличие гильзы в нижней части скважины обеспечивает возможность движения фильтровой колонны вниз при работе материала сварных швов на сжатие, что обеспечивает надежный срез цементирующих связей на контакте колонны и гравийной обсыпки и сохранение целостности колонны. Проверим, возможен ли разрыв шва. Определим для него допустимую величину растягивающей силы $P_{\text{ш}}$ и сравним ее с подъемным усилием $P_{\text{п}}$, необходимым для извлечения эксплуатационной колонны с фильтром только статической силой. В [5] рассмотрены основные подходы к определению подъемного усилия $P_{\text{п}}$ лишь статической нагрузкой при капитальном ремонте водозаборной скважины.

Условие прочности сварного шва встык на растяжение при извлечении колонны можно определить по формуле [6]

$$\sigma_p = \frac{P}{F} \leq [\sigma_p^3], \quad (1)$$

где F – площадь поперечного сечения трубы наружным диаметром $d_{\text{кол}}$ и толщиной δ в месте сварки, $F = \pi d_{\text{кол}} \delta$; $[\sigma_p^3]$ – допустимое напряжение для электросварных швов.

Тогда допустимая нагрузка на шов

$$P_{\text{ш}} \leq \pi d_{\text{кол}} \delta [\sigma_p^3]. \quad (2)$$

Допустимые напряжения для электросварочных швов, выполненных вручную толстопокрытыми электродами, равны $[\sigma_p^3] = 0,8[\sigma_p]$, где $[\sigma_p]$ – допустимое напряжение основного металла. Если металл шва Ст3, то $[\sigma_p] = 160$ МПа [6].

По формуле (2) находим допустимую силу для шва при извлечении трубы ($d_{\text{кол}} = 0,273$ м; $\delta = 7$ мм = 0,007 м; металл шва Ст3; $[\sigma_p] = 160$ МПа):

$$P = 0,8\pi d_{\text{кол}} \delta [\sigma_p] = 0,8 \cdot 3,14 \cdot 0,273 \cdot 0,007 \cdot 160 \cdot 10^6 = 770 \text{ (кН)}. \quad (3)$$

Расчет сделан для шва встык, выполненного равномерно по всей площади торца трубы. Однако на практике такой шов не обеспечивается,

поскольку трубы имеют фаски под углом 45° , их сваривают в вертикальном положении, поставив одну трубу на другую. В данном случае шов разрушается по плоскости, имеющей площадь $F' = \pi d_{\text{кол}} \delta \cos 45^\circ = 0,7F$. Поэтому допустимая сила при извлечении будет на 30 % меньше, т. е.

$$P' = 0,7P = 0,7 \cdot 770 = 540 \text{ (кН)}. \quad (4)$$

В то же время в [3, с. 294] указывается, что при нагрузках до 950–1000 кН фильтры, как правило, не извлекаются. Это значит, что при таких нагрузках произойдет разрыв сварного шва.

Подъемное усилие $P_{\text{п}}$ при извлечении эксплуатационной колонны с фильтром только статической силой находим по формуле согласно [5]

$$P_{\text{п}} = G + F_{\text{тр.к}} + F_{\text{тр.ф}} = g(q_{\text{кол}} l_{\text{кол}} + q_{\text{ф}} l_{\text{ф}}) + Nf + F_{\text{тр.ф}}, \quad (5)$$

где G – общий вес извлекаемой эксплуатационной колонны и фильтра; $F_{\text{тр.к}}$, f – сила и коэффициент трения эксплуатационной колонны о породу; $q_{\text{кол}}$, $q_{\text{ф}}$ – соответственно масса 1 м пог. колонны и фильтра, имеющих длины $l_{\text{кол}}$ и $l_{\text{ф}}$; N – горизонтальная составляющая бокового давления породы на колонну; $F_{\text{тр.ф}}$ – сила трения фильтра с «кольматационной коркой» о породу.

Силу N можно определить по методике расчета сил давления на подпорные стенки [7]. Найдем N (при допущении о треугольной эпюре распределения горизонтальных напряжений от горного давления по глубине) как объем эпюры давления, действующего на колонну длиной $l_{\text{кол}}$ и наружным диаметром $d_{\text{кол}}$:

$$N = 0,5 l_{\text{кол}} (\sigma_{\text{в}} + \sigma_{\text{н}}) \pi d_{\text{кол}} = 0,5 l_{\text{кол}} \left[\sum K_{ai} \gamma_i h_i + \left(\sum K_{ai} \gamma_i h_i + K_{an} \gamma_{\text{п}} l_{\text{кол}} \right) \right] \pi d_{\text{кол}}, \quad (6)$$

где $\sigma_{\text{в}}$, $\sigma_{\text{н}}$ – напряжение на верхней и нижней отметках колонны; K_{ai} – коэффициент активного давления i -го слоя грунта толщиной h_i и удельным весом γ_i ; K_{an} , $\gamma_{\text{п}}$ – то же водонасыщенного грунта; $K_a = \text{tg}^2(45^\circ - 0,5\varphi)$; φ – угол внутреннего трения грунта; $\gamma_{\text{п}} = g\rho_{\text{с}}(\rho_{\text{п}} - 1000)/\rho_{\text{п}}$; $\rho_{\text{с}}$, $\rho_{\text{п}}$ – плотность скелета и грунта водоносного пласта.

Силу трения фильтра о породу определим по [8] как несущую способность буронабивной сваи, работающей на выдергивающие нагрузки:

$$F_{\text{тр.ф}} = \gamma_{\text{с}} \sum u \gamma_{\text{сф}} R_{\text{ф}} h_i, \quad (7)$$

где $\gamma_{\text{с}}$ – коэффициент условий работы, $\gamma_{\text{с}} \approx 0,8$; u – осредненный периметр поперечного сечения фильтра с «кольматационной коркой», состоящей из частиц гравийной обсыпки, скрепленной цементом обрастания, в i -м слое водоносного пласта, м; $\gamma_{\text{сф}}$ – коэффициент условий работы грунта на боковой поверхности «кольматационной корки», зависящий от прочности от-

ложений, $\gamma_{cf} = 0,6-0,8$; R_{fi} – расчетное сопротивление трению грунта в пределах i -го слоя водоносного пласта толщиной h_i .

Теперь рассмотрим задачу о нахождении потребной энергии удара для преодоления бокового сопротивления грунта по всей длине колонны труб и лобового сопротивления грунта для смещения ее на заданное расстояние в скважине и обеспечения срезки шпилек гильзы. Используем энергетический подход, применяемый для прогнозирования погружения свай в грунте [9].

Уравнение энергетического баланса для вертикального смещения колонны труб скважины имеет вид: полезная работа удара при погружении колонны труб скважины в грунт на заданное расстояние равна сумме работ сил бокового сопротивления грунта по всей боковой поверхности колонны и сил лобового сопротивления, плюс работа сил сопротивления материала шпилек при их срезке. Расчетные схемы для определения энергии удара для различных конструкций нижней части скважины представлены на рис. 3.

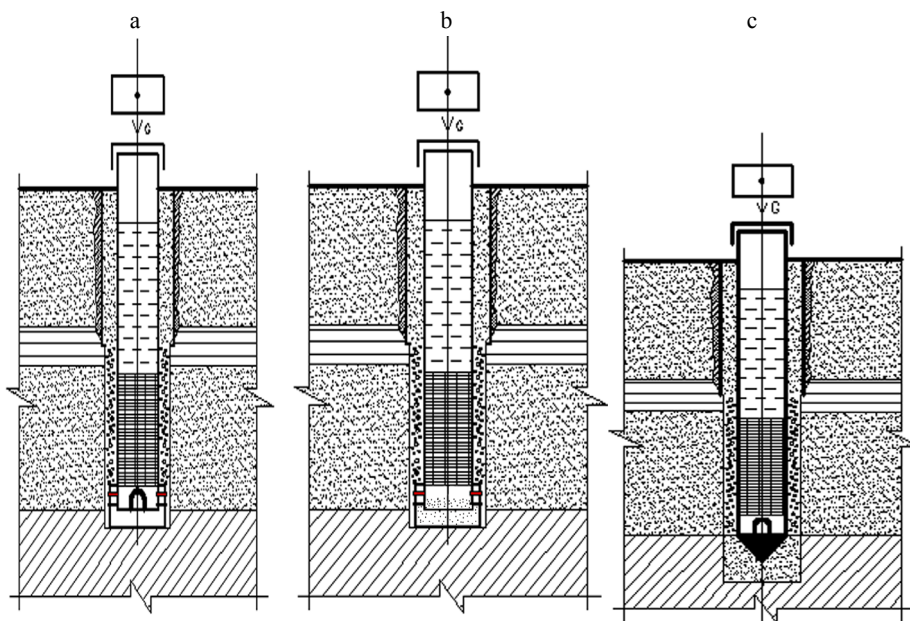


Рис. 3. Расчетные схемы определения энергии удара:

а – шпильки рассчитаны на вес всей колонны; б – шпильки рассчитаны только на вес гильзы; в – отстойник имеет внедряемый в грунт наконечник

Fig. 3. Design models for the blow energy determination:

а – drift pins designed for the entire column weight; б – drift pins designed only for the sleeve weight; в – settler has an end bit embedding into the ground

Для анализа системы «молот – колонна – грунт» используем наиболее простую пластическую модель, построенную с учетом следующих допущений: скважина представляет собой абсолютно твердый трубчатый стержень; окружающий скважину грунт неподвижен; силы трения между боковыми поверхностями элементов конструкции скважины и грунтом не зависят от скорости движения (кулоновское сухое трение).

Для общего случая уравнение энергетического баланса имеет вид

$$aE = (R_{\phi} + R_k + R_{\text{лоб}})e + [\tau_{\text{ср}}]\omega\delta n / 2, \quad (8)$$

где a – поправочный коэффициент; E – энергия удара; R_{ϕ} , R_k – силы трения боковых поверхностей соответственно фильтра и эксплуатационной (надфильтровой) колонны о грунт; $R_{\text{лоб}}$ – лобовое сопротивление конструкции; e – перемещение конструкции вследствие удара; $[\tau_{\text{ср}}]$ – прочность материала шпилек на срез; ω – площадь поперечного сечения шпильки; δ – перемещение конструкции при срезе шпильки, равное диаметру шпильки; n – количество шпилек.

Величину энергии, идущей непосредственно на погружение конструкции, в случае молота свободного падения определим из [10]

$$E = 0,9GH\eta, \quad (9)$$

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

$$\eta = \frac{1 + m\varepsilon^2}{1 + m}, \quad (10)$$

где m – отношение массы конструктивных элементов скважины M_c к массе молота M_m ; ε – коэффициент восстановления при ударе через наголовник с прокладкой, $\varepsilon = 0,45\text{--}0,55$ [9].

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) предложена зависимость [9]

$$a = k \sqrt{\frac{M_m}{M_c}}, \quad (11)$$

где k – коэффициент, характеризующий степень совершенства модели, т. е. соответствие фактическим данным, для подвешного молота рекомендуется $k = 0,5\text{--}0,7$ [9].

Силы трения боковых поверхностей R_k , R_{ϕ} эксплуатационной и фильтровой колонн о грунт при ударе определим по общей формуле

$$R_i = u_i f_i l_i, \quad (12)$$

где u – периметр поперечного сечения колонны; f – расчетное сопротивление грунта [11]; l – длина колонны.

Лобовое сопротивление $R_{\text{лоб}}$ нижней части конструкции при внедрении в грунт найдем из выражениям

$$R_{\text{лоб}} = R_d F, \quad (13)$$

где R_d – лобовое сопротивление грунта [11]; F – площадь поперечного сечения отстойника.

Предложенная методика расчета позволяет определить необходимые усилия для смещения вниз и извлечения фильтровой колонны при выполнении капитального ремонта скважин новой конструкции.

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрены недостатки и преимущества отдельных видов капитальных ремонтов вышедших из строя скважин. На примере капитального ремонта типовой скважины № 3Б (128290/96) водозабора «Северный» г. Жодино глубиной 94 м показано, что перед установкой ремонтного фильтра внутрь вышедшего из строя необходимо проведение декольматации. Посредством газоимпульсной обработки удельный дебит скважины удалось увеличить в два раза (с 6 до 12 м³/ч). Эта операция необходима, так как после капремонта у скважины с двойным фильтром она неэффективна. Показано, что такой капитальный ремонт возможен только в фильтрах с внутренними диаметрами ≥ 200 мм и является временной мерой, поскольку дебит скважины и срок ее службы будут существенно снижены.

2. Проверка прочности на разрыв колонны при извлечении фильтра показала, что требуемое подъемное усилие может превышать допустимую растягивающую силу для сварных швов из-за высоких сил трения колонны о грунт. В этой связи предложена усовершенствованная конструкция скважины со смещаемым вниз фильтром, признанная изобретением. Такая конструкция скважины позволяет при выходе фильтра из строя внешними ударными усилиями сместить вниз всю фильтровую колонну внутрь гильзы и далее при возможности извлечь ее из скважины тяговым усилием.

3. Из уравнения энергетического баланса для вертикального смещения колонны труб получено выражение для расчета веса ударной части молота и высоты ее падения при капремонте скважины усовершенствованной конструкции. Предложены формулы для определения величины тягового усилия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Башкатов, А. Д. Предупреждение пескования скважин / А. Д. Башкатов. М.: Недра, 1991. 176 с.
2. Волоховский, Г. А. Эксплуатация и ремонт систем сельскохозяйственного водоснабжения / Г. А. Волоховский. М.: Россельхозиздат, 1982. 224 с.
3. Гаврилко, В. М. Фильтры буровых скважин / В. М. Гаврилко, В. С. Алексеев. 3-е изд. М.: Недра, 1976. 345 с.

4. Водозаборная скважина: пат. 19304 Респ. Беларусь: МПК Е 21В 43/00 / В. В. Ивашечкин, А. М. Шейко, П. А. Автушко; дата публ.: 30.06.2015.
5. Ивашечкин, В. В. Сооружение и ремонт водозаборной скважины с системой циркуляционной регенерации / В. В. Ивашечкин, П. А. Автушко // *Энергетика...* (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). 2011. № 4. С. 64–73.
6. Кочетов, В. Т. Сопротивление материалов / В. Т. Кочетов, А. Д. Павленко, М. В. Кочетов. Ростов-на-Дону: Феникс, 2001. 366 с.
7. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Подпорные стены и крепления котлованов. Правила проектирования и устройства: ТКП 45-5.01-237–2011 (02250). Введ. 01.07.2011 (с отменой П 17-02 к СНБ 5.01.01–99). Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2011. 100 с.
8. Проектирование и устройство буронабивных свай: П 13-01 к СНБ 5.01.01–99. Введ. 01.01.2002. Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2002. 43 с.
9. Новожилов, Г. Ф. Бездефектное погружение свай в талых и вечномёрзлых грунтах. Л.: Стройиздат, 1987. 112 с.
10. 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.
11. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-5.01-254–2012 (02250). Введ. 01.07.2012 (с отменой СНБ 5.01.01–99). Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2012. 102 с.

Поступила 06.04.2015 Подписана в печать 03.06.2015 Опубликовано онлайн 30.03.2016

REFERENCES

1. Bashkatov A. D. (1991) *Admonishment of the Water Well Sand Addition*. Moscow, Nedra. 176 p. (in Russian).
2. Volokhovskiy G. A. (1982) *Operation and Maintenance of the Agricultural Water Supply Systems*. Moscow, Rosselkhozizdat. 224 p. (in Russian).
3. Gavrilko V. M., Alekseev V. S. (1976) *Screens for the Drilled Holes*. 3^d ed. Moscow, Nedra. 345 p. (in Russian).
4. Ivashechkin V. V., Sheyko A. M., Avtushko P. A. (2015) *Water Source Well*. Patent Republic of Belarus no 19304 (in Russian).
5. Ivashechkin V. V., Avtushko P. A. (2011) *Construction and Maintenance of a Water Source Well with Circulatory Regeneration System*. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG* [Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations], (4), 64–73 (in Russian).
6. Kochetov V. T., Pavlenko A. D., Kochetov M. V. (2001) *Theory of Strength of Materials*. Rostov-on-Don, Phoenix. 366 p. (in Russian).
7. ТКП 45-5.01-237–2011 (02250). Basements and Foundations of Buildings and Structures. Retaining Walls and Foundation Pit Shorings. Design and Installation Codes. Introduced 01.07.2011 (with Cancellation of P 17-02 to SNB 5.01.01–99). Minsk: Minstroyarchitecture of the Republic of Belarus, 2011. 100 p. (in Russian).
8. P 13–01 to SNB 5.01.01–99. Project Engineering and Arrangement of Augered Piles Introduced 01.01.2002. Minsk: Minstroyarchitecture, 2002. 43 p. (in Russian).
9. Novozhilov G. F. (1987) *Free from Defects Pile Sinking in Thawed and Permanently Frozen Soils*. Leningrad, Stroyizdat. 112 p. (in Russian).
10. Vasenin V. A. (2003) *Ground Vibration Parameter Estimation at Hammering of Piles. Major Effects*. *Rekonstruktsiia Gorodov i Geotekhnicheskoe Stroitelstvo* [Urban Redevelopment and Geotechnical Construction], (7), 210–224 (in Russian).
11. ТКП 45-5.01-254–2012 (02250). Foundations of Buildings and Structures. Main Provisions. Construction Design Standards. Introduced 01.07.2012 (with Cancellation of SNB 5.01.01–99). Minsk: Minstroyarchitecture of the Republic of Belarus, 2012. 102 p. (in Russian).

Received: 6 April 2015

Accepted: 3 June 2015

Published online: 30 March 2016