

ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ РОМАНЕНКО,
ЭЛЕОНORA МИХАЙЛОВНА ВОЛЬНИЦКАЯ

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН

УДК 622.245.5

Романенко В. А., Вольницкая Э. М. Восстановление производительности водозаборных скважин. — Л.: Недра, 1986. — 112с.

Рассмотрены причины снижения дебита водозаборных скважин в процессе их сооружения и эксплуатации. Изложены импульсные способы восстановления дебита путем разрушения и диспергирования кольматирующих отложений. Рассмотрены способы восстановления производительности скважин прострелочной перфорацией и комбинированные, сочетающие разрушение осадков с их растворением в реагентах. Дано описание оборудования и оснастки, изложены вопросы технологии и расчета основных параметров. Показаны эффективность методов и области их применения.

Для инженеров и техников, занимающихся сооружением и эксплуатацией водозаборных скважин; может также использоваться студентами вузов.

Табл. 32, ил. 35, список лит. 48 назв.

Рецензент — д-р техн. наук. Б. Ф. Лямаев

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ИЗДАНИЕ

© Издательство «Недра», 1986

ПРЕДИСЛОВИЕ

Ежегодно в нашей стране сооружают около 50 тыс. скважин на воду, которые используются в народном хозяйстве для целей хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения, мелиорации, понижения уровня грунтовых вод на строительных площадках и горных предприятиях, добычи минеральных и термальных вод, а также рассолов, при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях. Общее потребление подземных вод в СССР превышает 80 млн. м³/сут, при этом около 50 млн. м³/сут используется для водоснабжения [2].

Наиболее эффективными сооружениями для добычи подземных вод являются буровые скважины. Около 80% всех скважин извлекают подземные воды из рыхлых и неустойчивых водоносных пород, в связи с чем они оборудуются фильтрами различных конструкций [6].

В процессе эксплуатации скважин фильтры, как правило, засоряются механическими частицами и зарастают соединениями кальция, магния, кремния, железа и другими солями, содержащимися в подземных водах, что снижает дебит скважин. Для поддержания производительности водозаборов во многих случаях прибегают к сооружению новых скважин, стоимость которых достаточно высока. Количество вновь сооружаемых скважин можно в значительной степени уменьшить за счет восстановления производительности скважин путем очистки их фильтров от кольматирующих отложений, что обеспечит значительный экономический эффект.

В последние годы для восстановления дебита скважин применяются импульсные методы, основанные на разрушении кольматирующих отложений гидродинамическим действием взрыва тротилового шнуря, пневмовзрыва, электровзрыва, газовой детонации, механических колебаний. Эффективным средством интенсификации работы скважин является прострелочная перфорация. Восстановление высокой производительности достигается при комбинированной обработке фильтров и призабой-нои области водоносного пласта, совмещающей механическое разрушение осадков и растворение их реагентами.

Материалы по применению импульсных и комбинированных методов обработки водозаборных скважин представлены только лишь в разделах книг, статьях, информационных и патентных материалах, ведомственных изданиях, которые не отражают накопленный опыт и достижения в этой области, что ограничивает возможность ознакомления заинтересованных лиц и организаций с прогрессивными методами восстановления производительности скважин. Авторы попытались обобщить имеющиеся практические и экспериментальные данные о применении методов восстановления дебита водозаборных скважин и перспективах развития этих методов и надеются, что приведенные в книге сведения будут способствовать применению этих методов в организациях, которые занимаются сооружением и ремонтом водозаборных скважин.

Разделы о методах восстановления производительности скважин взрывом заряда твердых ВВ, пневмовзрывом, прострелочной перфорацией написаны Э. М. Вольницкой, остальные — В. А. Романенко.

Авторы выражают глубокую благодарность д-ру техн. наук Б. Ф. Лямаеву за ценные замечания и предложения при подготовке рукописи к изданию.

КОЛЬМАТАЦИЯ ФИЛЬТРОВ И ПРИФИЛЬТРОВЫХ ЗОН СКВАЖИН

В процессе эксплуатации скважин, как правило, происходит снижение их производительности. Одной из основных причин уменьшения дебита скважин является кольматация фильтров и прифильтровых зон водоносного пласта, которая вызывает увеличение гидравлических сопротивлений и снижение притока воды в скважины [14]. Различают три вида кольматации: механическую, химическую, биологическую.

Механическая кольматация наблюдается в сетчатых, щелевых, блочных фильтрах вследствие несоответствия проходных отверстий фильтров гранулометрическому составу водовмещающих пород. В результате механической кольматации водоприемные отверстия фильтров заклиниваются или перекрываются песком, глиной, гравием, в связи с чем удельный дебит скважин снижается на 20 — 30%. Снижению механической кольматации способствует создание фильтра из крупнозернистого песка и правильно выполненная гравийная обсыпка вокруг водоприемной части искусственного фильтра [2, 14].

К механической кольматации можно отнести глинизацию фильтра и прифильтровой зоны при роторном бурении скважин с промывкой глинистым раствором, когда на стенке скважины образуется плотная глинистая корка толщиной 3 — 6 мм, ограничивающая поступление глинистого материала и шлама в пласт. Проницаемость глинистой корки в 10^3 — 10^4 раз меньше проницаемости пласта, поэтому в водовмещающие породы попадает только глинистый раствор, содержащий тонкодисперсные и коллоидные частицы глины.

Глинистые частицы набухают в водной среде, и в связи с этим изменяется внутренняя геометрия норового пространства водоносной породы, а ее коэффициент фильтрации уменьшается в 50 раз и более. При установке фильтра в скважине, заполненной глинистым раствором, происходит его глинизация.

С течением времени глинистая корка уплотняется за счет усиления адсорбционных и молекулярных связей между глинистыми частицами, и ее удаление представляет значительную сложность. Поэтому необходимо стремиться к сокращению времени контакта глинистого раствора с водовмещающими породами, т. е. к оперативному выполнению работ по вскрытию пласта, полному удалению бурового шлама и глинистого раствора и оборудованию скважины фильтром [6, 46].

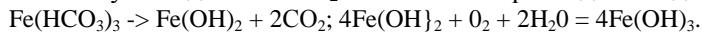
При установке фильтра необходимо стремиться к уменьшению его глинизации. Для этого рекомендуется опускать фильтр с нижним открытым концом или с промывочными окнами, устанавливать выше фильтра цементный мост, разбуриваемый после установки фильтра, покрывать фильтр специальными составами, растворямыми после спуска его в скважину.

Химическая кольматация обусловлена нарушением химического состава подземных вод в результате изменения гидродинамических параметров фильтрационного потока. При уменьшении давления воды в ней уменьшается растворимость газов (в основном CO_2), происходит их выделение и нарушается углекислотное равновесие:

Присутствие в воде катионов кальция и магния и нарушение угле-кислотного равновесия приводят к образованию труднорастворимых осадков CaCO_3 и MgCO_3 . Интенсивно происходит выделение карбонатных осадков в зоне фильтров, при удалении от них интенсивность выпадения осадков уменьшается. В фильтрах, имеющих большие гидравлические сопротивления, возрастают потери давления, что приводит к более активному выделению из воды CO_2 и увеличению количества карбонатных осадков. Этому также способствует турбулизация потока грунтовых вод и их перемешивание при прохождении через водоприемную часть фильтра. Зарастание фильтров и прифильтровых зон карбонатными отложениями происходит в основном в скважинах, заложенных в известняках и доломитах [2, 14].

Если кольматация происходит только карбонатными соединениями, то осадки по структуре близки к кристаллическим и имеют серовато-белый цвет. При их взаимодействии с соляной кислотой наблюдается интенсивное выделение углекислого газа.

Наиболее распространенными кольматирующими отложениями являются железистые осадки, которые выделяются при заборе подземных вод, содержащих закисное железо. Переход железа из за-кисного в окисное и выпадение в осадок происходит при наличии в воде растворенного кислорода. Этому также способствует выделение CO_2 и повышение pH воды вследствие нарушения углекислотного равновесия:



Гидрат оксида железа, имеющий студнеобразный вид, откладывается на поверхности фильтров и в поровом пространстве прифильтровых зон пласта. Интенсивность выпадения железистых осадков возрастает при неравномерной откачке воды из скважины, использовании эрлифта или инжектора, способствующих насыщению воды кислородом воздуха. Особенно активно происходит зарастание фильтров такими осадками при обнажении водоприемных отверстий и непосредственном контакте их с

атмосферой. Железосодержащие осадки отличаются характерным желто-коричневым цветом, пачкают руки. Наличие их в подземных водах можно выявить визуально по осадкам на водоподъемных трубах и насосах.

Нарушение химического состава подземных вод эксплуатируемого пласта может происходить при взаимодействии с водами других водоносных горизонтов при недостаточной мощности разделяющего водоупора и отсутствии или плохой цементации затрубного пространства. В этом случае подземные воды нижних пластов могут обогащаться железом и кислородом, что ведет к осаждению нерастворимых карбонатных и железистых соединений. При смешивании жестких и мягких вод может увеличиться концентрация углекислоты, что вызывает образование карбонатных осадков.

На зарастание скважин большое влияние оказывает наличие в подземных водах сероводорода H_2S . Содержание гидросульфитов HS^- приводит к образованию труднорастворимых и непроницаемых сернистых отложений железа, меди, цинка в результате реакции подземных вод с материалом каркаса фильтра. Сульфиды металлов в виде корковидных наростов черного цвета образуют прочное пленочное покрытие на сетках, проволочных обмотках, каркасах фильтров и способствуют постепенному разрушению их. При взаимодействии с кислотой эти осадки бурно выделяют сероводород, весьма опасный для здоровья человека. Сернистые отложения металлов практически не откладываются в прифильтровых зонах водоносного пласта, и после замены фильтров дебиты таких скважин обычно близки к первоначальным.

При наличии в железосодержащих подземных водах кремне-кислоты наблюдается образование труднорастворимых силикатных отложений с примесью закисного железа, придающий им бурую окраску. Такие осадки характеризуются высокой прочностью [20] и практически нерастворимы в кислотах.

Относительно редко отлагаются осадки фосфатно-железистого состава. Выпадение фосфатов происходит при увеличении щелочности.

Предотвратить химическую кольматацию скважин при использовании вод с неустойчивым химическим составом невозможно, поскольку ее причиной является нарушение естественного режима водоносного пласта. Для уменьшения интенсивности кольматации следует не допускать неравномерного режима эксплуатации скважин, из-за которого происходит аэрация подземных вод, не использовать эрлифтные подъемники, необходимо проверять работу обратных клапанов погруженных насосов, чтобы предотвратить поступление аэрированных вод в зону фильтра. Высота столба воды от верхней секции насоса до динамического уровня воды в скважине, при которой не происходит активного аэрирования воды и интенсивного осадкообразования, не должна превышать 6 — 7 м [24].

Помимо выпадения осадков накопление отложений может происходить в результате коррозии самого фильтра вследствие агрессивности подземной воды, обладающей свойством электролита. Этот процесс протекает наиболее активно при наличии различных металлов в конструкциях фильтров и отсутствии надежной антакоррозионной защиты.

Электрохимической коррозии в большей степени подвержены сетчатые фильтры, представляющие собой стальную перфорированную трубу, обмотанную стальной проволокой и медной сеткой. Электрохимические процессы могут быть значительно ослаблены путем изготовления каркасов фильтров из пластмасс или стальных труб с антакоррозионным покрытием, использования фильтрующей сетки из нержавеющей стали, применения вместо обмоточной проволоки шнуром из полимерных материалов.

Биологическая кольматация обусловлена жизнедеятельностью микроорганизмов. Наиболее активно бактерии размножаются у фильтров, где в основном скапливаются осадки, образовавшиеся под действием химических и электрохимических процессов. В результате жизнедеятельности бактерий (железобактерий) выделяется гидрат окиси железа, что способствует переводу закиси железа в нерастворимую окисль, осаждающуюся на рабочей поверхности фильтров, внутренних стенках ствола скважин и насосном оборудовании. Присутствующие в подземных водах марганцевые бактерии используют энергию окисления закисных соединений и переводят их в малорастворимые окисные соединения. Интенсивная биологическая кольматация характерна для подземных вод с содержанием кислорода 5 мг/л и более, находящихся в первых от поверхности земли водоносных горизонтах. Бактерии обнаруживаются не только в водоносных пластах вблизи поверхностных водоисточников, но и на больших глубинах в зонах, значительно удаленных от водотоков и водоемов [14].

Благоприятные условия для развития железобактерий имеются в большинстве гидрологических районов, поэтому для подавления их жизнедеятельности необходимо проводить периодически, не менее одного раза в 3 — 4 месяца, хлорирование скважин.

СОСТАВ И СТРУКТУРА КОЛЬМАТИРУЮЩИХ ОСАДКОВ

В большинстве случаев осадки, кольматирующие фильтры и прифильтровые зоны скважин, являются многокомпонентными и могут содержать одновременно соли железа, марганца и их гидрооксиды, карбонаты кальция или магния, соединения кремнекислоты и сульфиды, а также песок и глину. Они

осаждаются на поверхности фильтров и в порах прилегающих водоносных пород под действием силы тяжести или адсорбируются под действием сил поверхностного натяжения. Со временем осадки обезвоживаются и уплотняются.

Отложения имеют рыхлопористую и конгломератовидную структуру и на различных стадиях образования характеризуются различной прочностью и активностью к вступлению в реакцию. В начальной стадии образования они имеют сравнительно небольшую прочность и легко могут быть удалены при использовании любых методов обработки скважин.

Рыхлопористые образования характерны для осадков биологического происхождения. Они имеют незначительную прочность и при высыхании легко разрушаются. Образование конгломерато-образных осадков связано с процессами химической и механической цементации прилегающих к фильтру водоносных пород или гравийной обсыпки химическими отложениями. Такие осадки характеризуются высокой прочностью, которая с течением времени увеличивается [20].

В процессе эксплуатации скважин осадки отлагаются на внутренней и наружной поверхностях и в проходных отверстиях фильтров, между каркасом и водоприемной поверхностью, в гравийной обсыпке, в породах, прилегающих к фильтру, на насосном оборудовании и водоподъемных трубах. Интенсивность кольматации в значительной степени зависит от конструкции фильтров.

В наибольшей степени подвержены механической и физико-химической кольматации сетчатые фильтры, имеющие наибольшие входные сопротивления, способствующие увеличению скорости движения воды, турбулизации и сильному перемешиванию потока в прифильтровой зоне. При отборе воды посредством фильтров с сетками большая часть осадков скапливается непосредственно у водоприемной поверхности; глубина кольматажа прифильтровой области, как правило, невелика и обычно не превышает 10 — 15 см. Такие фильтры имеют ограниченную механическую прочность, которая в процессе эксплуатации скважин снижается вследствие электрохимической коррозии каркаса и сетки. В связи с этим очистка сетчатых фильтров от кольматирующих отложений представляет значительную сложность [14].

В меньшей степени подвержены кольматации щелевые и прово-лично-каркасные фильтры, которые по сравнению с сетчатыми имеют меньшие потери давления и оказывают не столь значительное влияние на физико-химические изменения в окружающем водоносном слое. Такие фильтры имеют значительную механическую прочность, что уменьшает опасность их повреждения или разрушения при использовании известных способов восстановления производительности скважин.

Пористые фильтры блочного типа (керамические и гравийно-клевые) обычно имеют высокий первоначальный дебит, который в процессе эксплуатации резко снижается вследствие интенсивной кольматации механическими примесями и осадками.

При ремонте скважин важной задачей является правильное определение причин, вызвавших уменьшение производительности скважин. Для этой цели может быть использована методика, основанная на анализе удельного дебита скважин и описанная в работе [20].

ВЫЯВЛЕНИЕ КОЛЬМАТАЦИИ СКВАЖИН

Исходными данными для выявления причин снижения производительности скважин являются сведения о конструкции скважин, статическом и динамическом уровне грунтовых вод, содержании механических примесей в воде, характеристике водоносного пласта. Если во всех скважинах, пробуренных в различное время, наблю-

дается снижение статического уровня грунтовых вод, то это свидетельствует об истощении водоносного горизонта. Причины уменьшения производительности скважин могут быть различны: пескование в результате нарушения естественного фильтра при неправильном режиме отбора воды из скважины; повреждение водоприемной поверхности фильтров или пробки отстойников; некачественное тампонирование затрубного пространства; разрушение обсадных труб и фильтра; повреждение сальника; неисправность насоса; утечки в водоподъемной трубе; просадки гравийной обсыпки фильтров; попадание в ствол скважины посторонних предметов и др. [46].

Если при обследовании скважины, подлежащей ремонту, установлено, что механические примеси в воде отсутствуют, а удельный дебит уменьшился вследствие увеличения общих сопротивлений, т. е. наблюдается понижение динамического уровня при неизменном статическом уровне и общем дебите, то это косвенно указывает на кольматацию фильтра и прифильтровой зоны [20].

Анализ работы одиночных скважин во времени может быть произведен по эмпирической зависимости, полученной Н. Д. Бессоновым по результатам наблюдений удельных дебитов скважин на Ульяновском глубоком дренаже [15]:

$$q_t = q_0 e^{-ut},$$

где q_0 и q — удельные дебиты скважин в начальный и рассматриваемый моменты времени; u — коэффициент старения скважины.

По данным наблюдений установлено, что для каркасно-стержневого фильтра с двухслойной гравийной

обсыпкой $a = 0,015\text{-}0,019$, с однослойной гравийной обсыпкой $a = 0,03$, а для фильтров из пористой керамики $a = 0,043\text{-}0,075$. Аналогичные значения a получены и на других водозаборах.

В. С. Алексеевым [1] отмечается, что в начальный период дебит скважины сохраняется почти постоянным, поэтому приведенная выше зависимость устанавливается после некоторого периода работы скважины. В связи с этим при анализе работы скважины во времени необходимо на графике зависимости $q=f(\lg t)$ определить точку перегиба, координаты которой принимаются за начальные do и qt , и после этого по приведенной выше экспоненциальной зависимости определить коэффициент старения a . Это позволяет дать прогноз об изменении удельного дебита скважины при дальнейшей ее эксплуатации.

Длительные исследования на водозаборах в различных гидрологических условиях, проведенные ВНИИВОДГЕО, показывают, что время стабильной работы скважин зависит от химического состава подземных вод, от конструктивных особенностей скважин и условий водоотбора.

МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СКВАЖИН

Для восстановления дебита скважин путем разрушения и диспергирования кольматирующих отложений, препятствующих притоку воды в скважины, широко используются импульсные методы обработки фильтров и прифильтровых зон, основанные на использовании энергии взрывов торпед из детонирующего шнура (ТДШ), электрических разрядов в жидкости, пневмовзрывов, газовой детонации. Под действием ударных волн, возникающих при взрывах, нарушается сплошность кольматирующих отложений, формируются дополнительные трещины в водоносных породах, частично разрушающиеся у стенок скважин. Если водоносный горизонт представлен песчаными отложениями, ударная волна вызывает перераспределение частиц породы, нарушает связи между кольматирующими осадками, породой и фильтром. Гидродинамические и фильтрационные потоки воды, сопровождающие взрывы, способствуют удалению разрушенного осадка с поверхности фильтра, из пор и трещин.

Из применяемых в практике импульсных энергоносителей для восстановления дебита скважин наибольшая энергия выделяется при взрыве зарядов из твердых ВВ. Однако в этом случае давление на фронте ударной волны значительно увеличивается, что ограничивает применение этого способа регенерации скважин.

Весьма эффективной оказалась обработка скважин воздействием пневмовзрывов и электрических разрядов, последовательно производимых по всей длине фильтра. Указанными энергоносителями можно восстанавливать приток воды в скважины многократным импульсным воздействием, что позволяет использовать их в широком диапазоне гидрологических условий, а также в скважинах, оборудованных различными типами фильтров.

Способ обработки скважин газовой детонацией отличается простотой, доступностью, низкой стоимостью, однако требует больших затрат труда и времени по сравнению с другими способами обработки.

Для восстановления производительности водозаборных скважин прострелочной перфорацией разработан кумулятивный перфоратор ПРВ-280, предназначенный для вскрытия водоносных горизонтов и обеспечивающий последующую эксплуатацию скважин.

Проведение гидродинамической обработки скважин способом механических колебаний обеспечивает разрушение кольматирующих отложений, нарушение структурных связей между водоносной породой и кольматантами и удаление разрушенных осадков в ходе прокачки. Этот способ целесообразно применять для декольматации скважин, снизивших свой дебит вследствие застания фильтров и прилегающих к ним водоносных пород рыхлыми и пластиобразными осадками, содержащими преимущественно необезвоженные гидроокислы железа.

Однако импульсные и вибрационные методы обработки в большинстве случаев не обеспечивают эффективного извлечения кольма-танта из прифильтровой зоны скважин, что приводит при их последующей эксплуатации к интенсивному образованию и отложению осадков в поровом пространстве водоносной породы и в конечном счете снижению дебита скважин.

Более высокая степень извлечения кольматирующих образований из водоносного пласта обеспечивается при растворении их в реагентах. Однако реагентные методы тоже не всегда обеспечивают эффективную регенерацию скважин, так как растворители не способны проникнуть в сцепментированную зону пласта из-за низкой ее проницаемости и фильтрационной неоднородности.

Полнее извлекаются кольматирующие образования с поверхности фильтра и призабойной области и эффективнее восстанавливаются структура и пористость водоносной породы при применении комбинированных способов обработки скважин, сочетающих импульсное или вибрационное воздействие на фильтр и прилегающий к нему пласт с последующим или одновременным растворением разрушенных и диспергированных кольматирующих образований в реагентах.

К импульсно-реагентным методам обработки относятся методы, сочетающие воздействие на фильтр и прифильтровую область взрыва заряда ВВ, электровзрыва, пневмовзрыва с реагентной обработкой. Более

высокая степень восстановления производительности скважин во многих случаях обеспечивается осуществлением взрывов различных видов непосредственно в реагентах, так как при этом интенсифицируется массообмен между растворителями и кольматантами, под действием импульсных нагрузок реагенты более глубоко проникают за контур фильтра, а растворенные вещества лучше отводятся от зоны контакта.

Виброреагентная обработка скважин, совмещающая механическую обработку дисковым или поршневым рабочим органом с обработкой реагентом, обеспечивает интенсификацию процесса растворения кольматирующих отложений за счет пульсации реагента в прифильтровой зоне скважины.

Метод электровибрационной обработки основан на создании в реагенте низковольтных электрических разрядов, сопровождающихся образованием импульсных давлений и пульсирующего движения реагента, способствующих лучшему растворению кольматирующих образований.

Импульсные и вибрационные методы обработки фильтров и прилегающих к ним водоносных пластов успешно применяются также при освоении (разглинизации) скважин, пробуренных роторным способом с промывкой глинистым раствором.

ВЗРЫВ ЗАРЯДА ТВЕРДЫХ ВВ

Одним из наиболее перспективных методов регенерации скважин является взрывной, использующий энергию детонационного превращения твердых ВВ.

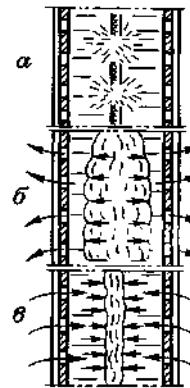
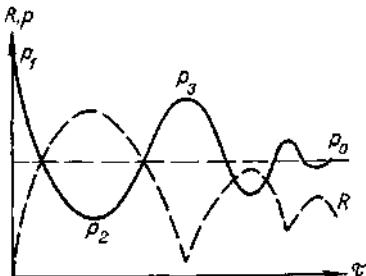


Рис. 1. Пульсация газового пузыря при взрыве заряда ВВ.

p — давление в газовом пузыре; R — радиус газового пузыря; t — время.

Рис. 2. Схема действия взрыва при очистке фильтра.

а — тротиловый шнур в момент взрыва; б — расширение газового пузыря; в — сжатие газового пузыря.

При взрыве в скважине небольшого заряда ударная волна распространяется со скоростью, близкой к скорости звука, вызывая при этом перемещение жидкости в направлении своего движения. Давление на фронте волны быстро падает по мере удаления от места взрыва [22].

Встречаясь с преградой (фильтром), ударная волна частично отражается, а частично уходит в затрубное пространство. Давление на фронте волны на границе с преградой при взрыве торпеды из детонирующего шнура в скважине достигает десятков мегапаскалей при времени действия тысячные доли секунды. Благодаря кратковременности действия, давление не разрушает преграды из материалов с высокими пластичными свойствами (стальные трубы и каркасы фильтров, фильтрующие покрытия из латунной и стальной сетки и т. п.). Но резкий, сильный удар, наносимый ударной волной p_1 (рис. 1 и 2, а), разрушает хрупкие, имеющие относительно малую прочность осадки.

Вторая фаза действия взрыва заключается в «расщатывании» разрушенного осадка при пульсации образовавшихся продуктов взрыва (рис. 1 и 2, б, в). Высокое в момент взрыва давление p_1 при расширении газового пузыря резко падает сначала до гидростатического p_0 , а затем по инерции до p_2 , меньшего p_0 . При этом на участке $p_1 — p_2$ расширяющиеся газы отжимают жидкость из скважины в пласт. Затем на газовый пузырь начинает действовать гидростатическое давление, сжимая его сначала до p_0 , а затем по инерции до p_3 , большего, чем p_0 . На участке $p_4 — p_3$ сжимающая газовый пузырь жидкость будет стремиться из пласта в скважину (рис. 2, в). Пульсация с затухающими амплитудами повторяется несколько раз, способствуя удалению осадка из отверстий фильтра [48].

Рассмотрим механизм действия ударной волны на зафильтровое пространство, представленное водонасыщенным песком. Известно явление разжижения при взрыве водонасыщенных песков, которое объясняется потерей контактов между частицами скелета породы при прохождении ударной волны. Следствием нарушения контактов между частицами может быть переукладка зерен скелета породы и изменение ее структуры.

В работах Г. М. Ляхова, Ф. А. Флорина и других авторов показано, что изменению структуры водонасыщенных песков при взрыве в первую очередь способствует наличие в порах пласта защемленного воздуха [23, 47]. Экспериментальными работами, проведенными М. А. Шляйфертом, установлено, что для реальных водоносных горизонтов, расположенных на глубинах около 100 м и с 0,01 — 0,02% защемленного воздуха, предельное уменьшение коэффициента проницаемости за счет уплотнения водонасыщенной породы при действии ударных нагрузок составит 1,7 — 19% [48].

Объектом этих исследований были чистые пески, поровое пространство которых заполнено водой. Случаи реальных скважин, когда пласт включает дополнительные частицы, не входящие в скелет породы (глину, частицы бурового шлама и др.), являются более сложными. С учетом приведенных выше соображений можно было ожидать успешного применения взрыва при разглинизации только для разрушения глинистых корок на внутренних поверхностях зон фильтрации в скважинах. Однако, многочисленные примеры из практики и результаты исследований показали, что в процессе бурения скважин, как и при их эксплуатации, зона кольматации не ограничивается конструкционным элементом фильтра, а захватывает в той или иной степени прилегающий к фильтру участок пласта. Закольматированный участок в эксплуатационных скважинах может иметь глубину 1 м и более.

Существенным является вопрос о характере взаимодействия ударной волны с породой пласта в реальных условиях, а также о радиусе эффективного действия взрыва. Поскольку в скважинах, сооружаемых, как правило, в рыхлых водовмещающих породах, параметры взрыва ограничены прочностью фильтра, в них целесообразно применение зарядов из детонирующего шнуря, при использовании которых сохранность фильтра не нарушается.

Для разглинизации водоносных пластов, представленных крупнозернистыми песками, допускающими весьма значительные зоны проникания глинистого раствора в пласт, по-видимому, требуются иные импульсные источники воздействия, имеющие меньшее затухание параметров и большую протяженность зоны эффективного воздействия.

Исследованиями установлено, что в фильтре с диаметром каркаса 73 мм и скважностью 20% после повторного взрыва детонирующего шнуря наблюдались локальные порывы сетки в зоне отверстий. При таком же диаметре фильтра со скважностью каркаса 40% после двух взрывов детонирующего шнуря сетка была деформирована в зоне отверстий без образования видимых повреждений. Сетчатое покрытие фильтра диаметром 114 мм, имеющего скважность 20%, без нарушения целостности выдержало четыре последовательных взрыва детонирующего шнуря. Отсюда можно сделать вывод о том, что с повышением скважности относительные деформации фильтрующих покрытий при взрыве равных зарядов уменьшаются, несмотря на возрастание при этом параметров ударной волны в соответствующих точках. Такое явление указывает на значительную роль гидропотока, следующего за фронтом ударной волны, в создании деформирующих нагрузок.

Опыты также показали, что сохранность фильтрующих покрытий при взрыве в значительной степени зависит от диаметра фильтра, и этот фактор должен быть учтен при восстановлении проницаемости фильтров малого диаметра.

Была также проверена возможность применения взрыва в фильтрах с каркасом из перфорированных полиэтиленовых труб. Установлено, что полиэтилен является практически «прозрачной» преградой для ударной волны; параметры волны, вышедшей за полиэтиленовую трубу, близки к параметрам взрыва в воде.

В силу многообразия условий, влияющих на картину взрыва в скважине (масса и форма заряда, конструкция, диаметр и материал фильтра, гидростатическое давление, характер затрубной среды и др.), полное изучение этого вопроса в лабораторных условиях практически невозможно. Объективные данные о действии взрыва на фильтр и призабойную зону, существенно дополняющие результаты лабораторных исследований, можно получить путем проведения экспериментов непосредственно на производственных скважинах, а также в ходе выполнения комплекса дополнительных исследований, приуроченных к взрывным работам. Основным критерием оценки эффективности операции восстановления дебита взрывом ТДШ является увеличение его. Кроме того, эффективность взрыва может быть определена и другими показателями: количеством выносимых осадков, изменением сопротивления прифильтровой зоны пласта.

В ряде скважин для изучения явления действия взрыва на фильтр и породу наряду с оценкой эффективности по результатам откачек были проведены работы по фотографированию зон водопритока скважин до и после взрыва. Фотографирование выполнялось с помощью скважинных фотоаппаратов ФАС-1 и ФСГ.

Устройство торпед из детонирующего шнуря (ТДШ)

Наибольшее распространение взрывные методы увеличения производительности скважин получили в нефтедобывающей промышленности. Методы интенсификации нефтяных скважин могут быть исполь-

зованы и в скважинах на воду с учетом особенностей последних. ВНИПИвзрывгеофизикой МИНГЕО СССР были разработаны шнуровые торпеды ТДШ-25 и ТДШ-50 с диаметром кабельной головки 25 и 50 мм (рис. 3, а) для очистки зон притока воды к фильтрам и ликвидации прихватов бурового инструмента.

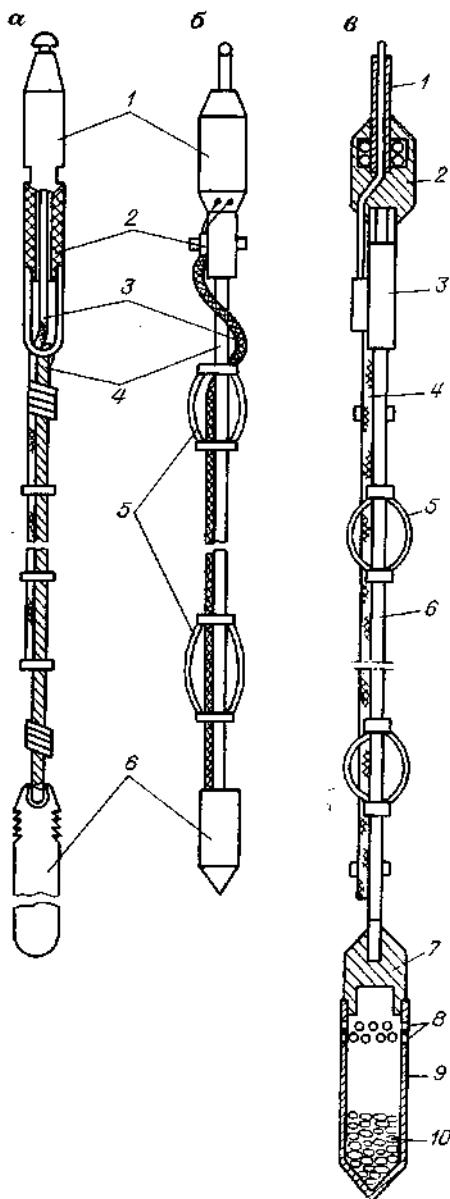


Рис. 3. Торпеды из детонирующего шнура.

а — ТДШ-25; б — ТДШ-В: 1 — головка, 2 — взрывной патрон, 3 — детонирующий шнур, 4 — трос, 5 — центраторы, 6 — натяжной груз; в — ТДШ для обработки малопрочных фильтров (авт. свидет. 859559 (СССР)); 1 — кабель, 2 — головка, 3 — взрывной патрон, 4 — детонирующий шнур, 5 — центраторы, 6 — стальные стержни, 7 — натяжной груз, 8 — отверстия, 9 — полый цилиндр, 10 — газовыделяющий реагент.

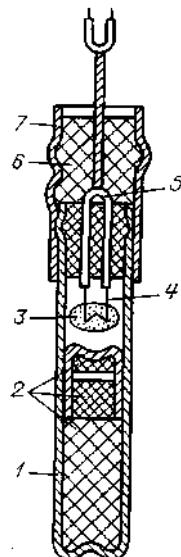


Рис. 4. Электродетонатор мгновенного действия сейсмический.

1 — гильза; 2 — заряд детонатора; 3 — воспламенительная головка; 4 — мостик накаливания; 5 — выводные провода; 6 — пластмассовая пробка; 7 — герметизационная

Таблица 1
Техническая характеристика торпеды ТДШ

Показатели	ТДШ-50	ТДШ-25	ТДШ-В
Максимальный наружный диаметр торпеды без центраторов, мм	50	24	60
Длина груза, мм	1000	2200	500
Масса груза, кг	16	7	5
Длина торпеды, м	1 — 100	1 — 100	1 — 10
Число отрезков детонирующего шнура	1 — 5	1 — 5	1 — 2
Тип центраторов	Сменные	Сменные	Сменные

Использование их для разглинизации скважин на воду, в которых водоносные горизонты были представлены устойчивыми породами, также давало положительные результаты. В скважинах, оборудованных сетчатыми фильтрами, в тех случаях, когда отсутствовало центрирование заряда (установка по оси фильтра), применение этих торпед часто сопровождалось разрывом фильтрующих покрытий и, как следствие, пескова-нием скважин [22]. Для водозаборных скважин были разработаны специальные

торпеды ТДШ-В (рис. 3, б), имеющие устройства для надежного центрирования заряда при подрыве в зоне фильтра [19, 48]. Техническая характеристика шнуровых торпед приведена в табл. 1. Торпеды ТДШ могут применяться при максимальной температуре воды в скважине 80° С и наибольшем гидростатическом давлении 50 МПа.

Шнур детонирует от взрывного патрона или от электродетонатора (рис. 4), или других инициирующих устройств [19].

При взрыве ТДШ образуются высокие импульсные давления, достигающие у поверхности фильтра диаметром 150 мм 50 МПа, что не позволяет использовать шнуровые торпеды для обработки фильтров, изготовленных из материалов с ограничением механической прочностью (керамических, пластмассовых) или ослабленных коррозией в процессе длительной эксплуатации скважин. В этом случае может использоваться разработанная в ЛИСИ торпеда [40], представленная на рис. 3, в.

Торпеда состоит из детонирующего шнура 4 в водостойкой оболочке (1 м детонирующего шнура содержит 12,5 г взрывчатого вещества), который крепится к шарнирно скрепленным друг с другом стальным стержням 6 с центраторами Я. Головка 2 служит для крепления торпеды к кабелю 1, на котором ее опускают в скважину. Детонирующий шнур 4 соединен с термостойким взрыв-патроном или электродетонатором 3. В нижней части торпеды на стержне 6 закреплен цилиндрический натяжной груз 7, на котором посредством резьбового соединения установлен полый цилиндр 9 с отверстиями 8 на боковой поверхности в верхней его части. Нижняя часть цилиндра 9 заполнена реагентом 10, способным к интенсивному газовыделению, например сухим льдом.

Перед обработкой скважины полый цилиндр заполняется реагентом и навинчивается на груз 7. Заряженная торпеда опускается на

кабеле 1 через ствол скважины и устанавливается внутри фильтровой трубы. Газ, выделяющийся внутри замкнутой камеры 9, выходит под давлением в виде пузырьков через отверстия 8 и поднимается вверх, образуя завесу, обволакивающую внутреннюю поверхность фильтра. Под действием ударной волны от взрыва детонирующего шнура 4, у внутренней поверхности фильтровой трубы возникает кавитация, под действием которой происходит разрушение и диспергирование осадков, колмитирующих поверхность фильтра и при-, фильтровую зону пласта.

Опасность разрушения фильтров при использовании такого устройства значительно уменьшается, так как мощная первичная ударная волна, возникающая при взрыве детонирующего шнура, как бы дробится на множество более слабых вторичных импульсов давления, действующих локально на малых участках фильтра, соразмерных с диаметром пузырьков газа. Так, в результате проведенных в ЛИСИ опытных исследований установлено, что если при взрыве тротилового шнура на поверхность фильтра скважины действует импульсное давление, равное 50 МПа, то при использовании предложенного устройства, создающего пузырковую завесу, напряжение в стенках скважины уменьшается до 16 МПа.

Обработку скважины с помощью шнуровой торпеды производят в такой последовательности. Монтируют эрлифт и прокачивают скважину до полного удаления шлама из отстойника. Измеряют дебит скважины, определяют понижение и демонтируют эрлифт. Затем собирают торпеду, причем ее длину принимают равной длине фильтра или его интервала, подлежащего ремонту. Собранную торпеду опускают в скважину. Торпеда должна быть центрирована по оси скважины, так как при отклонении ее на 0,3 радиуса фильтра энергия, передаваемая на каркас фильтра, удваивается, а при смещении на 0,5 радиуса фильтра увеличивается в 4 раза. Соосность торпеды и фильтра обеспечивается центраторами. Детонатор устанавливают, на торпеду только перед самым спуском ее в скважину так, чтобы детонатор находился вне зоны рабочей части фильтра. Детонатор следует выводить на 0,5 — 1,0 м от места сварки труб и сальников. Торпеда ни в коем случае не должна упираться грузом в отстойник скважины. После подрыва торпеды монтируют эрлифт и прокачивают скважину до полного удаления шлама [19].

Применение ТДШ

В настоящее время взрывные методы восстановления дебита скважин используются водохозяйственными организациями достаточно часто. Такие работы выполнялись в Алтайском и Краснодарском краях, Омской, Новосибирской, Воронежской, Курской и других областях, Прибалтике, Молдавии и Узбекистане, на Украине и в других районах страны. Как и для случая разглинизации, приводить подробный перечень работ и их результаты не представляется возможным. Остановимся на наиболее характерных вопросах внедрения взрывного метода для восстановления дебита скважин.

Таблица 2

Результаты применения взрыва ТДШ в скважинах с известняковыми водоносными горизонтами

Местоположение скважины	Год строительства	Дебит, м ³ /ч	Вид взрывных операций

		при вводе в эксплуа- тацию	к моменту торпеди- рования	после взрыва	
г. Краснозаводск, Московская обл.:					тдш (3 нитки ДШ-В)
скв. 9	1937	150	10	130	
скв. 12	1942	150	15	150	
ст. Царицино, Московская обл.	Нет свед.	Нет свед.	0	18	тдш (4 нитки дш-в)
г. Апрелевка, Московская обл., скв. 3	1937	Нет свед.	21	40	тдш (2 нитки ДШУ-60)
с. Чепелево, Серпуховский р- н, Московской обл.	1929	2	2	8	То же
г. Калинин, скв. 17	1958	40	5	55	ТДШ (3 нитки ДШУ-60)

Как указывалось ранее, проведение взрывов с целью восстановления проницаемости водоносных пластов, представленных скальными и полускальными породами, не вызывает каких-либо затруднений. Очистка зон водопритока в таких скважинах может осуществляться как шнуровыми ТДШ в несколько нитей детонирующего шнура, имеющими заряд 50 — 150 г взрывчатого вещества на метр, так и небольшими фугасными торпедами. В табл. 2 приведены результаты применения взрыва для восстановления дебита в скважинах, водоносные горизонты которых представлены известняками.

Результаты применения взрывных методов для увеличения проницаемости зон водопритока оценивались в основном по изменению дебита при откачках до и после взрыва. Измерить понижение уровня при откачке эксплуатационных скважин не всегда представлялось возможным, но поскольку откачки до и после торпедирования производились одним и тем же водоподъемным оборудованием и в одинаковых условиях, то можно допустить для грубой оценки, что полученные дебиты характеризовали относительное изменение водопритока в скважину в результате взрыва.

Кроме того, на скважинах в г. Апрелевка, с. Чепелево и г. Ло-сино-Петровск Московской области были выполнены исследования, позволившие проанализировать осадки, выносимые на поверхность при откачках. Подобные работы давали дополнительную количественную характеристику эффективности действия взрыва. Для этого при откачке после взрыва через определенные промежутки времени отбирались и фильтровались пробы воды до ее полного осветления. Отфильтрованный осадок высушивался и взвешивался. Количество осадка, вынесенного при откачке из этих скважин, приводится в табл. 3.

Таблица 3
Вынос осадка с торпедируемого пласта

Местоположение скважины	Литологический состав водоносного горизонта	Торпеди-руемый интервал, м	Вынос осадка с 1 м торпе-дируемого пласта, кг	Суммарное количество осадка, кг	Дебит, м ³ /ч	
					до тор-педиро-вания	после торпедирования
г. Апрелевка	Трещиноватый известняк	40	1,2	49	21	40
с. Чепелево	То же	12	30	359	2	8
г. Лосино-Петровск	— » —	27	12,9	348	80	150

Осадок, вынесенный из скважин, состоял из частиц бурового шлама, глинистых частиц и гидроокиси железа. При откачке скв. 9 и 12 г. Краснозаводска после торпедирования выносился осадок, состоящий в основном из гидроокиси железа. Следует отметить, что при обычных ремонтных прокачках скважины,

несмотря на большую длительность работ, общее количество осадков бывает значительно меньшим.

Проведение взрывных работ с целью восстановления проницаемости фильтров и призабойных зон скважин сопряжено с опасностью повреждения фильтрующих покрытий, снизивших механическую прочность в процессе эксплуатации. Однако при соблюдении правильной технологии взрывных работ повреждения фильтрующих покрытий не наблюдались даже при малых диаметрах фильтровых колонн. Это, в частности, подтверждается данными табл. 4, где приводятся результаты капитального ремонта фильтровых скважин в тресте «Алтайводстрой». Во всех случаях был получен хороший результат, причем диаметры фильтров, в которых выполнялись взрывы, были от 73 до 219 мм.

Экономическая эффективность метода капитального ремонта скважин помимо прироста дебита, сокращения сроков ремонта и его стоимости определяется устойчивостью во времени достигнутого эффекта. После восстановления дебита скважин взрывом торпед из детонирующего шнуря были проведены наблюдения, позволяющие оценить долговечность прироста дебита.

В качестве объектов наблюдений были выбраны дренажные фильтровые скважины г. Ульяновска, вскрывающие рыхлые водо-вмещающие породы, и скважины г. Краснозаводска Московской области, пробуренные в устойчивых породах (табл. 5).

Параллельно с наблюдениями за дебитом скважин, подвергавшихся торпедированию, осуществлялись наблюдения за соседними скважинами, сооруженными в тех же геолого-технических условиях, но не подвергавшихся взрывной очистке. Система установки водоподъемного оборудования на скважинах не обеспечивала измерения

Таблица 4

Результаты применения ТДШ в тресте «Алтайводстрой»

Местоположение скважины	Срок эксплуатации до торпедирования, лет	Интервал установки и рабочей части фильтра, м	Литологическая характеристика водоносного горизонта	Конструкция фильтра	Диаметр фильтра, мм	Длина фильтра, м	Дебит, м ³ /ч	
							до торпедирования	после торпедирования
Алейский совхоз	4	86 91	Песок	Гравийно-сетчатый	108	5	0	20
Алейская нефтебаза	4	80 -90	Песок мелко-зернистый	То же	108	9	0	8
Топчихинская база «Сельхозтехника»	18	94 98	Нет свед.	— » —	168	4	0	7
Каменский банный прачечный комбинат	9	39,6-45	— » —	— » - -	73	5,5	2	8
Колхоз им.. Кирова Благовещенского р-на	1	215 235	Песок крупно-зернистый со щебнем и галькой	— » —	73	16	4	20
с. Благовещенское	1	215 235	Нет свед.	— » —	73	16	4	45
Совхоз «Серебропольский», с. Лебедино Кулундинского р-на	1	36,5 41,5	Песок мелко-зернистый	Гравийно-проводочный	219	5	15	40
Колхоз «Первое Мая» Родинского р-на	1	194 180	То же	Гравийно-сетчатый	108	6	6	12

Таблица 5 Результаты торпедирования эксплуатационных скважин г. Краснозаводска

Скважина	Срок эксплуатации, лет	Дебит при вводе в эксплуатацию, м ³ /ч (по паспорту)	Дебит момента торпедирования, м ³ /ч	Вид очистки	Дебит после взрыва, м ³ /ч
9	24	150	10	ТДШ В 3 нитки ДШ-В	134
12	19	150	15	То же	150

динамического уровня при откачке. Поэтому в качестве исходных данных для оценки дебитов по

всем скважинам принимался статический уровень $H_{ст}$ и глубина установки насоса, обеспечивающая бесперебойную его работу при постоянном фиксированном дебите.

При сравнении работы скважин, подвергшихся взрывной обработке и пробуренных позже, но эксплуатирующих тот же водоносный горизонт, можно сделать вывод: в условиях данного водоносного горизонта взрыв обеспечивает стабильное увеличение дебита. Скважины, подвергавшиеся торпедированию с целью восстановления их дебита, имели те же параметры снижения дебита во времени, что и соседние с ними скважины.

На дренажных скважинах г. Ульяновска метод интенсификации притоков с помощью ТДШ начал применяться после испытаний метода, проведенных совместно сотрудниками ВНИПИ взрывгеофизики и ВНИИ ВОДГЕО.

Скважины Ульяновского дренажа эксплуатируют песчаные отложения и оборудованы преимущественно каркасно-стержневыми фильтрами, имеющими длину рабочей части 10 м, внутренний диаметр опорного каркаса 150 мм и толщину слоя гравийной засыпки около 100 мм. Малый контур гравийной засыпки приводит к пескованию скважин и выходу их из строя: за 20 лет эксплуатации из 700 пробуренных скважин запесковала 241 скважина. Применение различных методов интенсификации в ряде случаев может способствовать пескованию скважин.

Для анализа эффективности методов интенсификации с учетом прироста дебитов большой интерес представляют многолетние измерения параметров скважин, выполняемые сотрудниками станции г. Ульяновска.

График работы скв. 266^а (рис. 5, *a*) показывает, что метод шнурового торпедирования дает возможность периодически возвращать скважину к условиям эксплуатации, близким к первоначальным. В условиях этой скважины эффективность взрывного метода оказалась выше, чем эффективность пневмообработки с помощью аппарата конструкции АЗНИИ водных проблем [44].

На рис. 5, б представлен график работы характерной для Ульяновского дренажа скв. 88, увеличивающей производительность после каждой последующей операции по интенсификации притока.

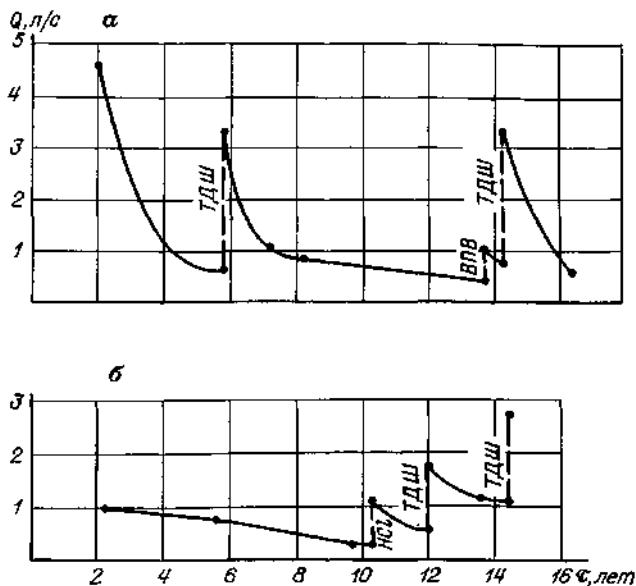


Рис. 5. Графики работы скважин Ульяновского водозабора после их обработки торпедированием (ТДШ), соляной кислотой и пневмовзрывами (ВПВ) при относительно устойчивом режиме работы (а) и при режиме нарастающей интенсивности (б).

Применение взрывного метода в условиях Ульяновского водозабора позволило неоднократно восстанавливать дебит скважин. После взрыва торпед практически каждая скважина работает в том же гидродинамическом режиме, в котором она работала до обработки. Стабильность дебита определяется, по-видимому, не применением того или иного метода восстановления производительности, а геологотехническими условиями и гидрохимической обстановкой.

Таким образом, взрывные методы обработки скважин нашли широкое и успешное применение в различных организациях страны, осуществляющих бурение и ремонт скважин на воду различного назначения.

Для определения оптимального режима торпедирования скважин с учетом размеров и конструкции фильтров, их прочности и способа установки, состава водовмещающих пород, условий эксплуатации

следует руководствоваться данными табл. 6 [19].

ЭЛЕКТРОВЗРЫВ

Электровзрывной или электрогидравлический (ЭГ) способ обработки скважин основан на импульсном выделении- электрической энергии в виде искрового разряда. Для реализации этого способа обычно используются генераторы импульсов тока (ГИТ) с накопителем электрической энергии в виде конденсаторной батареи. Принципиальная схема установки для осуществления электрических разрядов в жидкости представлена на рис. 6.

Таблица 6
Режим обработки скважин ТДШ

Конструкция фильтра	Диаметр фильтра, мм	Диаметр проволоки фильтрового покрытия, мм	Состав водоносного пласта пород	Число отрезков ДШ-1 на один взрыв	Рекомендуемое коли-чество взрывов в одном интервале
Для разгленизации скважин					
Все виды металлических сеток	108 — 168		Песок от мелкозернистого	1	1
Проволочный каркасно-стержневой	219 и более		до крупнозернистого	1	1
	108 — 168	До 2	Песок среднезернистый,	1	1
	219 и более	Свыше 2	крупнозернистый	1	1 — 2
		До 2		1	1 — 2
		Свыше 2		2	1 — 2
Проволочный на перфорированной трубе	108-168	До 2		1	1
	219 и более	Свыше 2		1 2	1 — 2
		До 2		1 — 2	1 — 2
		Свыше 2		2	1 — 2
		Свыше 3		3	1
Перфорированная труба (щелевая)	108 168		Гравий, валуны,	2 — 3	1
	219 и более		скальные, нолускальные породы	3 — 5	1 — 2
Для восстатьяния дебита					
Сетчатый без засыпки	108 — 168		Песок мелкозернистый,	1	1
	219 и более		крупнозернистый	1	1
Сетчатый с гравийной засыпкой	108 — 168		— » —	1	1
	219 и более		— » —	1	2
Проволочный каркасно-стержневой без гравийной засыпки	До 168	До 2	Песок, галька, гравий	1	1
		Свыше ?	То же	1 — 2	1 — 2
	219 и более	До 2	— » —	1	2
		Свыше 2	— » —	1 — 2	2

Продолжение табл. 6

Конструкция фильтра	Диаметр фильтра, мм	Диаметр проволоки фильтрового покрытия, мм	Состав водоносно гирод 10 пласта	Число отрезков ДШ-1 на один взрыв	Рекомендуемое количество взрывов в одном интервале
Проволочный на перфорированной трубе без гравийной засыпки					
	До 168	До 2	— » —	1	1
		Свыше 2	— » —	1 — 2	1 — 2
	219 и более	До 2	— » —	1 — 2	1 — 2
		Свыше 2	— » —	2	1 — 2

Проволочный стерж- невой с засыпкой	каркасно- гравийной	До 168	До 2	— » —	1	1
			Свыше 2	— » —	1 — 2	1 — 2
	219 и более		До 2	— » —	2	1
			Выше 2	— » —	2	1 — 2
Проволочный перфорирован- ном каркасе с гравийной за- сыпкой	на	До 168	До 2	Галька, гравий	1	1
			Свыше 2	То же	1 — 2	1-2
	219 и более		До 2	— » —	1 — 2	1 — 2
			Свыше 2	— » —	2	1 — 2
Перфорированная (щеле- вая)	труба	До 168 219 и более		Гравий, галька, валуны, скользкие и полускальные	2 — 3 1	

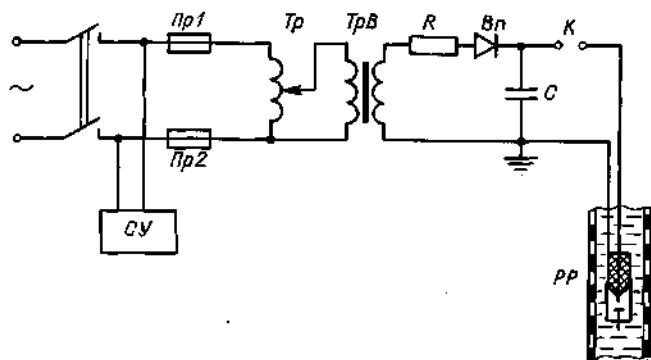


Рис. 6. Электрическая схема электровзрывной установки.

СУ — система управления; Пр 1, Пр 2 — предохранители; Тр — автотрансформатор; ТрВ — высоковольтный трансформатор; К — зарядное сопротивление; Вн — выпрямитель; С — конденсатор; К — коммутатор; РР — рабочий разрядник.

При создании электрического разряда внутри фильтровой трубы ударная волна, распространяясь в радиальном направлении, производит разрушение и диспергирование осадков, колышающих внутреннюю и наружную поверхность фильтра и прифильтровую область, а последующее интенсивное движение воды при расширении и захлопывании парогазового пузыря вызывает отделение разрушенных осадков от поверхности фильтра и вынос их в затрубное пространство и в ствол скважины [38]. Электрический разряд в воде также сопровождается кавитацией, ультра- и инфразвуковыми колебаниями, которые способствуют дополнительной очистке.

По сравнению с взрывом твердых ВВ энергетические возможности электрического разряда значительно ниже, так как они ограничены допустимым напряжением зарядки и емкостью конденсаторных батарей установок.

В то же время электровзрывной способ очистки фильтров скважины имеет существенные преимущества по сравнению со способом восстановления проницаемости фильтров взрывом ВВ (ТДШ) в возможности многократного воспроизведения электрических разрядов и регулирования гидродинамических параметров путем изменения емкости и напряжения конденсаторов.

Устройство электровзрывных установок

Для обработки скважин используют электрогидравлические установки ЭГУ-69, ЭГУ-76, разработанные в Новочеркасском инженерно-мелиоративном институте (НИМИ); самоходную электрогидравлическую установку СЭУ, разработанную опытно-конструкторским бюро электротехнологии г. Николаева; установки, разработанные в управлении Водоканал г. Вильнюса; электрогидроударный ремонтный агрегат ЭРА-300-50/1, созданный в НИМИ и Гипроэнерго-

проме г. Новочеркасска, и установку, разработанную Ленинградским инженерно-строительным

институтом (ЛИСИ). Их технические характеристики приведены в табл. 7.

Эти установки различаются мощностью, массой, габаритными размерами, компоновкой, конструкцией некоторых узлов и деталей, уровнем механизации и автоматизации и другими показателями, но все они используют в качестве источника высоковольтных импульсных токов ГИТ с конденсаторным накопителем энергии.

ГИТ работает следующим образом. При подключении генератора к питающей сети происходит повышение напряжения и батарея конденсаторов заряжается через выпрямитель и ограничительное сопротивление до рабочего напряжения. Время зарядки определяется мощностью и КПД зарядного устройства, а также емкостью конденсаторов. При срабатывании высоковольтного коммутатора накопленная в емкости электрическая энергия в виде импульса тока высокого напряжения подается по кабелю на электроды рабочего разрядника, установленного внутри заполненного водой фильтра, где и выделяется в виде электрического разряда.

Зарядное устройство всех ЭГ-установок для очистки фильтров скважин состоит из высоковольтного трансформатора, выпрямителя и зарядного сопротивления, которые в большинстве случаев объединяются в один выпрямительный агрегат.

Напряжение к первичной обмотке трансформатора подводится от источника тока через пуско-регулирующую аппаратуру. Отрицательный полюс трансформатора заземлен, а положительный полюс посредством токопровода подключен к выпрямителю через зарядное сопротивление. Выпрямленный ток подводится к батарее конденсаторов.

В генераторах для электровзрывной обработки скважин используются выпрямительные агрегаты с кенотронными и селеновыми выпрямителями, способными выдерживать кратковременные перегрузки. Однако такие зарядные устройства имеют большие габаритные размеры, поэтому предпочтительно использовать агрегаты с кремниевыми выпрямителями, которые обладают более высокой надежностью в работе и позволяют уменьшить массу и габаритные размеры генераторов. Вместо агрегатов с кремниевыми выпрямителями можно использовать установки для испытания диэлектриков АМИ-60, АИМТИ-60, В-100-20 и др.

Мощность выпрямительных агрегатов определяет время зарядки конденсаторов, частоту следования электрических импульсов и в конечном счете длительность обработки скважин. Но так как с увеличением мощности значительно возрастает масса, размеры и стоимость установки, а время обработки скважин, как правило, не имеет существенного значения, целесообразно использовать выпрямительные агрегаты меньшей мощности.

Устройство преобразования энергии служит для формирования импульса разрядного тока и преобразования на нагрузке электрической энергии, запасенной накопительной емкостью, в механическую

Таблица 7
Технические характеристики электровзрывных установок

Показатели	ЭГУ-69	ЭГУ-76	ЭРА-300-50/1	Водоканал (Вильнюс)	лиси	СЭУ
Рабочее напряжение питающей сети, В	220	220	380	380	220	380
Напряжение разрядного контура ГИТ, кВ	60	50	50	50	30	50
Емкость конденсаторной батареи, мкФ	0,686	0,5	1	18	2	12
Энергия в импульсе, кДж	1,23	1,03	2,10	6,1	0,45	1,25
Частота импульсов, Гц	0,4	0,4	0,4	0,16	0,2	5,0
Максимальная погружения разрядника, м	140	150	300	100	150	130
Потребляемая мощность, кВт	17	4	10	15	4	20
Обслуживающий персонал, чел.	3	4	4	3	2	2
Общая масса аппаратуры, кг	1500	500	2000	3100	500	2500
Тип автомобиля	КрАЗ-256	УАЗ-452	ЗИЛ-131	Урал-337	КАВЗ-651	ЗИЛ-157К

энергию ударной волны и гидропотока. В ЭГ-установках для очистки фильтров скважин применяется

наиболее простая и распространенная схема разрядного контура, в котором все основные элементы (конденсатор C , высоковольтный коммутатор K и рабочий разрядник PP) соединены последовательно (рис. 6).

В устройство преобразования энергии входят накопитель энергии, коммутатор, передающий кабель и рабочий разрядник. В качестве накопителя обычно используются импульсные конденсаторы, рассчитанные на большие импульсные токи. Целесообразно использовать не один конденсатор большой емкости, а несколько конденсаторов меньшей емкости, параллельное соединение которых позволяет варьировать емкость ГИТ и соответственно величину ударных нагрузок, возникающих при электрических разрядах.

В таких установках высокие требования предъявляются к сроку службы конденсаторов и их стоимости. В связи с этим предпочтительно использовать новые конденсаторы типа КЭМ, ИК, ИКВГ, ИКГ с более высокими технико-экономическими показателями. Срок службы таких конденсаторов на 2 — 3 порядка выше, чем конденсаторов типа КВГ, ИМ и ИМГ. Они имеют меньшие габаритные размеры, массу, стоимость одного разряда и более удобны при монтаже.

В ЭГ-установках отрицательные выводы конденсаторов или их корпуса соединяются между собой общей шиной и присоединяются с одной стороны к заземляющему проводу или наружной оплётке коаксиального кабеля, соединяющего рабочий разрядник с ГИТ, а с другой стороны к заземляющему выводу выпрямительного агрегата. Положительные выводы конденсаторов соединяются между собой общей шиной и присоединяются с одной стороны к высоковольтному коммутатору, а с другой стороны к положительному выводу выпрямительного агрегата (рис. 6).

Высоковольтный коммутатор предназначен для разъединения разрядной цепи в период зарядки конденсаторов и подключения конденсаторов к нагрузке при достижении на них зарядного напряжения. Во всех электровзрывных установках для очистки фильтров скважин в качестве коммутаторов используются воздушные искровые разрядники в виде двух шаров или полусфер, расположенных на некотором расстоянии друг от друга. Величина воздушного зазора определяет степень зарядки конденсаторов и соответственно частоту следования импульсов, а также напряжение и энергию разряда. Для работы такого коммутатора в схему ГИТ не требуется вводить дополнительных элементов, и электрический пробой воздушного промежутка происходит самопроизвольно по мере накопления энергии в конденсаторах.

Для удаления образующихся при разрядах вредных газов и повышения стабильности работы все генераторы снабжены вентиляторами.

Важным элементом разрядного контура ГИТ является рабочий кабель, соединяющий коммутатор с рабочим разрядником. Для ЭГ-установок, работающих при напряжении до 30 кВ, достаточно надежным оказался кабель типа ВПП, который применяется для питания электродвигателей артезианских насосов с заземляющим проводом типа АПВ [38]. Опыт эксплуатации установок, разработанных в НИМИ и ОКБЭ, для ЭГ-очистки фильтров скважин показал, что при напряжении разрядного контура 50 кВ и выше целесообразно использовать коаксиальные кабели с заземляющей оплёткой типа РК [8].

Кабель обычно наматывается на барабан лебедки. Чтобы исключить возможность перекрутки кабеля при спуске и подъеме разрядника, один из шаров коммутатора устанавливается на изоляторе, который крепится к раме лебедки, а другой шар соединяется с тоководом кабеля, установленным внутри изолятора, проходящего через ось кабельного барабана. Заземляющий провод или оплётка коаксиального кабеля заземлены с помощью скользящего токосъемника, расположенного на щеке барабана.

Барабан лебедки соединен с электродвигателем через червячный редуктор. При мощности двигателя 0,5 — 1,0 кВт и длине кабеля 100 — 150 м частота вращения барабана 6 — 10 об/мин, что соответствует линейной скорости перемещения разрядника 0,25 — 0,4 м/с. В некоторых установках барабан снабжен кабелеукладчиком, выполненным на базе реверсивного винта [43].

Наиболее ответственной частью ЭГ-установки является рабочий разрядник, который служит для преобразования электрической энергии искрового разряда в механическую энергию ударной волны и гидропотока, под действием которых происходит разрушение осадков, препятствующих притоку воды в скважину. Рабочий разрядник представляет собой систему электродов, закрепленных в корпусе из изоляционного материала. Рабочие разрядники работают в весьма жестких условиях при больших динамических нагрузках, сильных электрических и магнитных полях, высоких температурах. Надежность их работы определяется в конечном счете эксплуатационные показатели электровзрывных установок.

В установках для очистки фильтров скважин чаще применяют рабочие разрядники с электродной системой типа острье — плоскость.

Существует большое число вариантов исполнения рабочих разрядников с противостоящими электродами, которые конструктивно незначительно отличаются друг от друга.

Наиболее простым и надежным является разрядник, который используется в большинстве электровзрывных установок, схематически представленный на рис. 7 [8].

Необходимый межэлектродный промежуток (МЭП) в разряднике устанавливается перемещением

коаксиального кабеля, центральный провод которого является положительным электродом. Через 1500—2000 импульсов расстояние между электродами увеличивается из-за электрической эрозии медного провода. В этом случае разряды становятся нестабильными, увеличивается пауза между разрядами, характерно усиливается звук при пробое воздушного промежутка в установке. При появлении перечисленных признаков установку отключают, поднимают разрядник, разбирают его и устанавливают необходимое расстояние, предварительно обрезав разрушенный конец коаксиального кабеля.

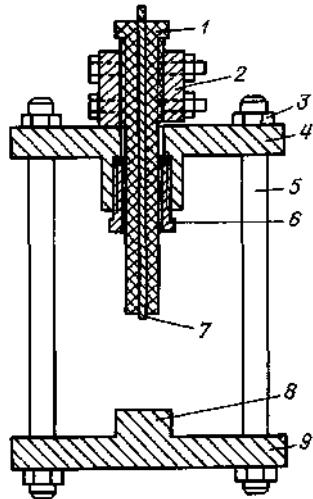


Рис. 7. Рабочий разрядник для электровзрывной обработки фильтров.

1 — коаксиальный кабель; 2 — болтовой зажим; 3 — гайка; 4 — верхний фланец; 5 — болт; 6 — сальниковое уплотнение; 7 — центральная жила кабеля (положительный электрод); 8 — выступ фланца (отрицательный электрод); 9 — нижний фланец.

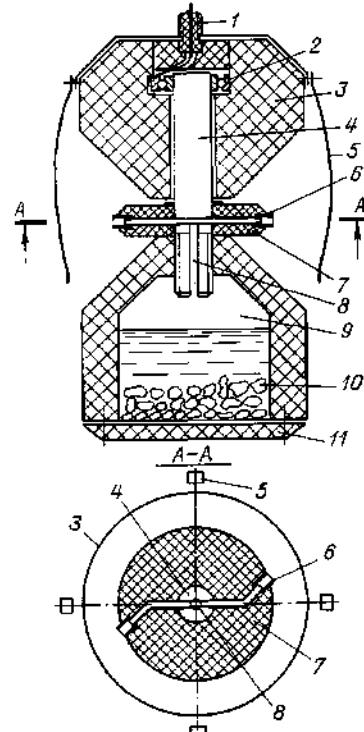


Рис. 8. Рабочий разрядник с пузырьковым каналом проводимости [Авт. свидет. 476907 (СССР)].

1 — коаксиальный кабель; 2 — подшипник; 3 — диэлектрический корпус; 4 — болт; 5 — центрирующие скобы (отрицательные электроды!); 6 — положительные электроды; 7 — изоляционная пластина; 8 — газовыводящий канал; 9 — полость; 10 — газообразующий реагент; 11 — крышка.

В этом разряднике МЭП заполнен скважинной водой, обычно повышенного солесодержания, и значительная часть запасенной в конденсаторной батарее энергии расходуется на создание канала проводимости в первой стадии разряда. Это приводит к уменьшению энергии, расходуемой на расширение канала и создание ударной волны, что снижает КПД установки. Надежное инициирование электрических разрядов обычно обеспечивается при высоких напряжениях разрядного контура ГИТ (30 кВ и более), что усложняет эксплуатацию установок.

Предпробивные потери электрической энергии и необходимые рабочие напряжения оказываются меньшими при создании искусственного канала проводимости из потока пузырьков газа или струйки электролита.

Разрядник для обработки фильтров скважин с принудительным инициированием разряда (потоком пузырьков газа) схематически представлен на рис. 8 [37].

При подготовке разрядника к работе полость 9 заполняется материалом, способным к интенсивному газовыделению, например твердой углекислотой, и закрывается крышкой 11, после чего разрядник опускается в скважину. Труба присоединяется к отрицательному полюсу генератора импульсов тока через прижатые к его поверхности центрирующие скобы 5 и заземляющий вывод кабеля 1. На электроды 6 через центральный вывод кабеля 1, подшипник 2 и болт 4 от ГИТ подаются импульсы тока высокого напряжения. Через канал 8 газ поступает к электродам 6 и выходит из них под давлением в виде потока мелких пузырьков, образующего искусственный канал проводимости, замыкающий МЭП, образованный трубчатыми наконечниками электродов 6 и поверхностью фильтра.

При электрическом пробое МЭП поверхность, прилегающая к каналу разряда, очищается от осадков.

При этом под действием динамических нагрузок, сопровождающих разряд, электроды 6 перемещаются вместе с нижней частью корпуса 3 по окружности на некоторый угол, зависящий от параметров генератора и подбирается опытным путем.

Разрядник испытывался на опытной установке, схематически представленной на рис. 9 [38]. Установка состояла из цилиндрической емкости 3 с расположенной внутри нее сеткой 5. В центральной части бака 3 устанавливались отрезки фильтров 6 высотой 1,0 — 1,5 м, обтянутых сеткой галунного плетения. Пространство между сеткой 5 и поверхностью фильтров 6 заполнялось средне- и мелкозернистым песком 4. Установка была оборудована трубой 7 для подачи воды в бак 3, переливной воронкой 8 для поддержания постоянного уровня воды, трубой 2 для отвода воды из фильтра, мерным сосудом 1, а также пьезометрами 9 для определения потерь напора в фильтре.

При проведении исследований сетчатая поверхность фильтра покрывалась слоем глины толщиной 3 — 5 мм для имитации кольма-тажа. Эффективность очистки фильтров определялась по изменению притока воды в фильтр, потери напора в нем, а также визуально до и после воздействия электрических разрядов.

При использовании описанного разрядника эффективная очистка фильтра обеспечивалась при напряжении разрядного контура $U= 15-20$ кВ и емкости конденсаторов $C=2-3$ мкФ, в то время как при использовании обычных разрядников такой же эффект достигался при $U=20-25$ кВ. При одних и тех же параметрах ГИТ разрядник с принудительным инициированием создавал давление волны сжатия, в 1,2 — 1,3 раза превышающее импульсное давление, образующееся при обычном высоковольтном электрическом пробое жидкости.

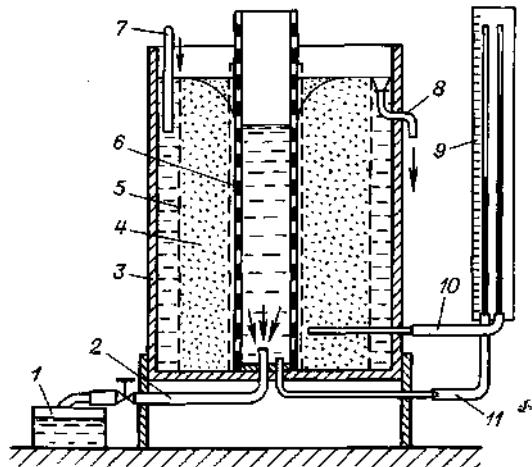


Рис. 9. Лабораторная установка для испытания скважинных аппаратов.

1 — мерный сосуд; 2, 7, 10, 11 — трубы; 3 — бак; 4 — песок; 5 — цилиндрическая сетка; 6 — фильтровая труба скважины; 8 — воронка; 9 — пьезометры.

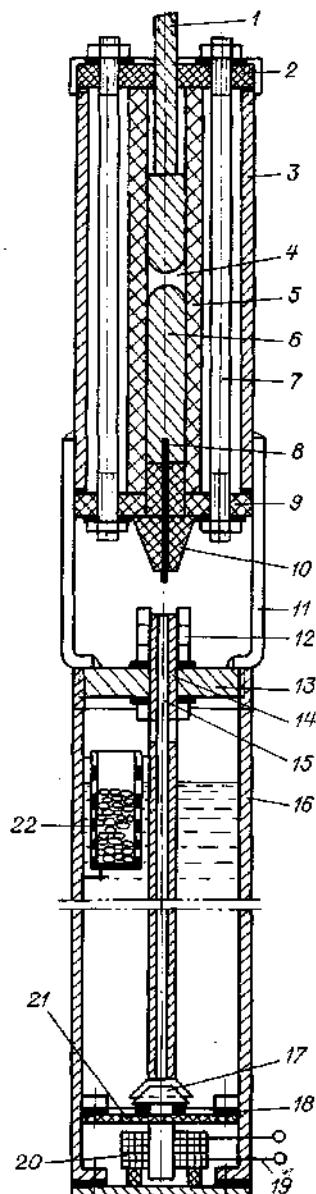


Рис. 10. Рабочий разрядник с жидкостным каналом проводимости.

1 — коаксиальный кабель; 2 — верхняя крышка; 3 — металлический кожух; 4 — дополнительный межэлектродный промежуток; 5 — изолирующая трубка; 6 — токопровод; 7 — болт; 8 — положительный электрод; 9 — нижняя крышка; 10 — изоляционный наконечник; 11 — стержень-держатель; 12 — гайка; 13 — диск; 14 — отрицательный электрод; 15 — осевой канал; 16 — цилиндр; 17 — клапан; 18 — резиновая прокладка; 19 — выводы электромагнита; 20 — электромагнит; 21 — промежуточная перегородка; 22 — реактор.

Такие разрядники могут быть использованы для обработки каркасных или проволочных фильтров, так как электрические разряды воспроизводятся непосредственно у поверхности фильтра, и на него действуют мощные импульсные нагрузки даже при сравнительно небольших напряжениях разрядного контура.

Для обработки фильтров с сетчатой водоприемной поверхностью целесообразно использовать электрический разрядник с искусственным каналом проводимости из струйки электролита, схематически представленный на рис. 10 [36].

При подготовке разрядника к работе цилиндр 16 заполняется электролитом, а в реактор 22 закладывается материал, обеспечивающий интенсивное газовыделение, например твердая углекислота. После этого цилиндр 16 навинчивается на диск 13 и разрядник на кабеле 1 опускается в скважину и устанавливается внутри фильтровой трубы.

Включается ГИТ и замыкается электрическая цепь электромагнита 20 выключателем, расположенным на поверхности. Клапан 17 притягивается к сердечнику электромагнита, и электролит, находящийся под давлением сжатого газа, выходящего из реактора 22, поступает в осевой канал 15 отрицательного электрода 14 и впрыскивается в виде тонкой струйки в МЭП, замыкая его и создавая искусственный канал проводимости. Струйка электролита инициирует электрический разряд между электродами 8 и 14, сопровождающийся образованием ударной волны и гидродинамического потока, под действием которых очищается прилегающий к МЭП участок фильтра скважины. Дополнительный формирующий промежуток 4 увеличивает крутизну фронта и уменьшает длительность импульса тока, что способствует увеличению давления ударной волны и соответственно эффективности обработки фильтра.

После осуществления электрического разряда цепь электромагнита размыкается, и клапан 17 под

действием упругой прокладки 18 прижимается к нижнему концу электрода 14, закрывая доступ электролиту в канал 15. Следующий разряд производится в описанной выше последовательности. Включение и выключение электромагнита 20 целесообразно производить с помощью реле времени с интервалами, соответствующими времени зарядки конденсаторов ГИТ.

Полная очистка фильтровой трубы скважины производится последовательным перемещением разрядника по всей длине фильтра с интервалами 20 — 30 см, соответствующими зоне воздействия гидродинамических нагрузок на поверхность фильтра.

Разрядник испытывался в лабораторных условиях при очистке моделей фильтров скважин, искусственно закольматированных слоем гипса и цемента, имитирующих естественные кольматанты. В качестве электролита использовался раствор поваренной соли 10%-ной концентрации по массе, имеющий плотность 1,080 г/см³ и электропроводность 1200 Ом⁻¹см⁻¹. При испарении твердой углекислоты в реакторе создавалось избыточное гидростатическое давление $P = -0,5\text{--}0,6$ МПа, достаточное для образования компактной струйки электролита диаметром 0,5 мм на глубине до 40 м от уровня воды в скважине.

При испытаниях установлено, что при использовании разрядника с искусственным каналом проводимости разрушение кольматирующих отложений обеспечивалось при напряжении разрядного контура $U=25\text{--}30$ кВ и емкости конденсаторов 3,0 мкФ, в то время как при использовании обычного разрядника такой же эффект достигался при $U=32\text{--}38$ кВ. Кроме этого в разряднике с вспрыскиванием электролита в МЭП значительно уменьшается степень эрозии электродов и разрушения изоляции.

Таким образом, использование рабочих разрядников с искусственным каналом проводимости позволяет уменьшить напряжение разрядного контура ГИТ и соответственно его массу, размеры, стоимость.

Блок защиты генераторов предназначен для обеспечения безопасности обслуживания. Чтобы снять напряжение с конденсаторов после их отключения, используют высоковольтные блокировки, замыкающие разрядный контур накоротко. Разрядная штанга блокировки удерживается в рабочем положении с помощью электромагнита, а при отключении последнего под действием возвратной пружины замыкает обкладки конденсатора. Генераторы также оснащаются разрядной штангой. Зарядный контур генераторов обычно снабжается предохранителями или автоматами, отключающими питание в случае превышения допустимого значения тока [38].

Система управления имеет регулятор напряжения, устройство для измерения длины кабеля, счетчик импульсов, а также элементы контроля и сигнализации электрических цепей генератора.

Напряжение разрядного контура устанавливается в зависимости от конструкции фильтра и состава водоносных пород. В качестве регулятора напряжения обычно используется автотрансформатор, устанавливаемый в первичной цепи ГИТ и позволяющий изменять напряжение, подаваемое на обкладки конденсаторов (см. рис. 6).

При очистке фильтров рабочий разрядник должен перемещаться по оси скважины. Глубина расположения фильтра определяется по геолого-техническому разрезу скважины. Положение разрядника внутри скважины можно определять по меткам на кабеле, но этот способ не всегда безопасен. Обычно длина кабеля определяется счетчиком оборотов, установленным на оси с роликом, через который проходит кабель [46]. Счетчик расположжен либо рядом с барабаном, либо в направляющем аппарате.

ЭГ-установки, разработанные в НИМИ и ОКБЭ, оборудуются следящими системами, в которые входят сельсин-датчик, устанавливаемый на оси с роликом, и сельсин-приемник со счетчиком оборотов на пульте управления. При перемещении рабочего разрядника на некоторое расстояние сельсин-датчик совместно с роликом выполняет определенное число оборотов. Такое же число оборотов повторяет и сельсин-приемник, при этом указатель счетчика перемещается на угол, соответствующий этому числу оборотов [38].

При очистке фильтров существенную роль играет число разрядов, определяющее эффективность процесса. Поэтому ЭГ-установки, как правило, оборудуются счетчиками импульсов, вынесенных на пульт управления. Как показал опыт эксплуатации установок, разработанных в ОКБЭ, достаточно простым и надежным является реле счета импульсов, принцип действия которого основан на преобразовании светового импульса, возникающего при высоковольтном пробое воздушного промежутка, в электрический сигнал, фиксируемый счетчиком импульсов [38].

ЭГ-установки, изготовленные в последние годы, оборудуются блоком программного управления, выполненным на базе реле времени или шагового исполнителя. Этот блок обеспечивает возвратно-поступательное движение рабочего разрядника в заданных пределах путем переключения контактов реверса привода кабельного барабана через определенные промежутки времени, соответствующие перемещению разрядника из верхнего участка фильтра в нижний и наоборот. Этим достигается частичная автоматизация работы ГИТ, при этом задача оператора заключается в установке разрядника в верхней части фильтра, подаче высокого напряжения, включении блока программного управления, контроле за работой и выключении ГИТ в тот момент, когда произведено заданное число разрядов [43].

Контроль за работой ЭГ-установок производится с помощью вынесенных на пульт управления следующих

приборов:

- а) вольтметра, установленного в первичной цепи ГИТ для определения питающего напряжения с учетом коэффициента трансформации;
- б) амперметра, фиксирующего потребляемый ЭГ-установкой ток;
- в) миллиамперметра, показывающего ток в зарядной цепи импульсных конденсаторов.

Транспортной базой ЭГ-установок для обработки фильтров скважин являются автомобили обладающие достаточно высокой проходимостью и необходимой грузоподъемностью. Закрытый кузов автомобиля разделен экранированной перегородкой на два отделения: высоковольтное и операторское. В высоковольтном отделении находится генератор, состоящий из высоковольтного трансформатора с выпрямителем, конденсаторной батареи, коммутатора, кабельного барабана с электроприводом, обычно располагаемого напротив кабельного люка или идвери. Здесь же устанавливаются и понижающий трансформатор, необходимый для подачи тока напряжением 220 В на электропривод кабельного барабана, вентилятор, пуско-регулирующая аппаратура.

В меньшем, операторском отделении размещается пульт управления и электрощит. На пульте управления располагается контрольно-измерительная аппаратура, а также сигнальные лампы, фиксирующие включение системы управления и высокого напряжения. Здесь же устанавливаются регулятор напряжения, различные реле и пускатели для включения отдельных элементов генератора, указатель глубины погружения разрядника и блок программного управления. Электрощит служит для распределения электроэнергии между отдельными узлами и элементами. Возможно оборудование установки выносным пультом управления, частично дублирующим стационарный [38].

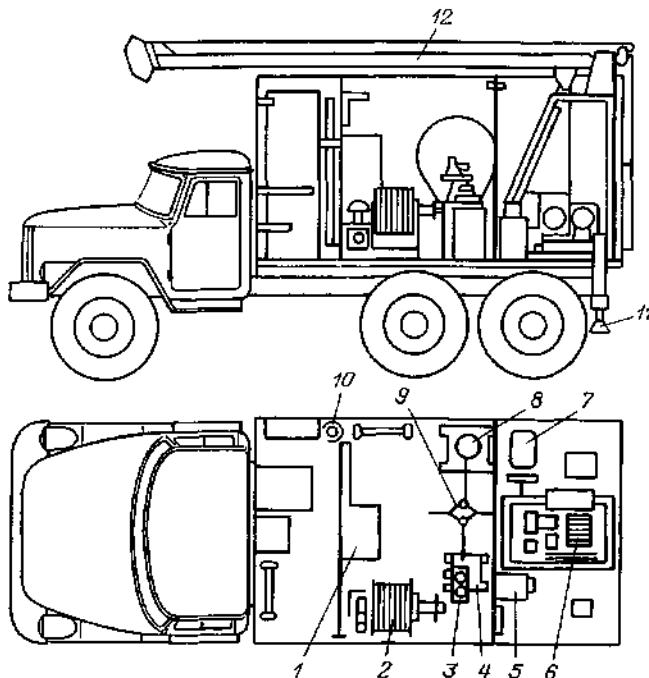


Рис. 11. Схема размещения оборудования электровзрывной установки ЭРА-300-50/1 в автомобиле ЗИЛ-131.

1 — пульт управления; 2 и 6 — кабельные лебедки; 3 — воздушный разрядник; 4 — импульсный конденсатор; 5 — сварочный трансформатор; 7 — водяной насос; 8 — высоковольтный трансформатор; 9 — выпрямитель; 10 — погружной насос, 11 — гидродомкраты; 12 — грузоподъемная стрела.

В зависимости от вида транспортного средства возможна и другая компоновка оборудования ЭГ-установок. Так, например, установка ЭГУ-76 смонтирована на автомобиле УАЗ-452. Пульт управления установкой размещен в кабине, а высоковольтное оборудование — в салоне автомобиля.

При ремонте скважин кроме ГИТ требуется автокран или буровой станок для извлечения водоподъемного оборудования и насосная установка для прокачки скважин. Все оборудование, необходимое для выполнения комплекса работ, содержит электрогидроударный ремонтный агрегат ЭРА-300-50/1 (рис. 11). Кроме высоковольтного и операторского отсека агрегат, расположенный в закрытом кузове автомобиля ЗИЛ-131, содержит также грузоподъемный отсек, в котором смонтированы лебедка, гидронасос, гидрораспределитель, электрощит, сварочный трансформатор и основание грузоподъемной стрелы. Под кузовом размещаются водоподъемные трубы к погружному насосу. Питание установки осуществляется трехфазным током напряжением 380 В от внешней сети [29].

Магнитно-гидравлический способ обработки скважин

Существенным недостатком электровзрывных устройств для обработки скважин является интенсивный

износ электродов рабочих разрядников и разрушение изоляции, что требует частой их замены. Указанные недостатки устранены в аппарате для магнитно-гидравлической обработки скважин, в котором электродная система вообще отсутствует [32].

При обработке скважины аппарат, представленный на рис. 12, устанавливается в верхней части фильтровой трубы. От ГИТ через кабель 9 и токопровод 8 на электромагнитную катушку 3 подается импульс тока высокого напряжения, благодаря чему вокруг катушки 3 образуется сильное импульсное магнитное поле. В упругой цилиндрической диафрагме 5, выполненной из бронзы, индуцируются вихревые токи, взаимодействие которых с током, проходящим через электромагнитную катушку 3, приводит к возникновению вы-

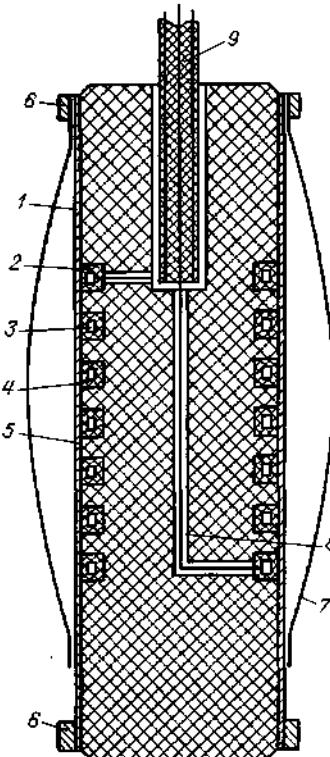


Рис. 12. Аппарат для магнитно-гидравлической обработки фильтров [Авт. свидет. 700609 (СССР)].

1 — цилиндрический корпус; 2 — паз; 3 — электромагнитная катушка; 4 — изоляция; 5 — цилиндрическая диафрагма; 6 — хомуты; 7 — центрирующая скоба; 8 — токопровод; 9 — коаксиальный кабель.

сокого давления импульсного характера. Диафрагма 5 деформируется с высокой скоростью и на поверхности образуется ударная волна, которая распространяется в радиальном направлении.

Ударная волна многократно отражается от неперфорированных частей каркаса фильтра, что вызывает его колебания, которые в свою очередь становятся источником импульсных нагрузок. Это приводит к тому, что фильтр очищается от осадков не только на участках, расположенных напротив отверстий, но и на глухих участках, не подверженных непосредственному воздействию ударной волны.

После очистки участка фильтра аппарат опускается ниже на расстояние, равное его высоте, и обрабатывается следующий участок фильтровой трубы. Таким образом производится поинтервальная очистка фильтра по всей его длине.

Исследования эффективности очистки фильтров скважин магнитно-гидравлическим методом проводились на лабораторной установке. Импульсы тока подавались на аппарат для магнитно-гидравлической очистки от ГИТ, собранного по обычной схеме, позволяющего варьировать напряжение разрядного контура от 5 до 20 кВ, емкость конденсаторов от 1 до 6 мкФ, длину коаксиального кабеля типа РК-50 от 10 до 100 м.

При проведении исследований сетчатая поверхность фильтрующих элементов высотой 1,2 м и диаметром 100 мм покрывалась слоем цемента и глины толщиной 1 — 2 мм, имитирующих естественные колматирующие отложения. Эффективность очистки определялась по изменению расхода фильтрационного потока, а также визуально.

В результате опытов установлено, что при воздействии ударной волны на поверхность фильтра, искусственно заколматированного слоем цемента, не обеспечивалось эффективное разрушение и удаление осадка, так как сила сцепления цементной корки с сеткой превышает разрушающее усилие, создаваемое аппаратом [32].

Более высокая степень очистки наблюдалась при искусственной колматации фильтров слоем глины. По сравнению с обработкой фильтров ударным воздействием [38], которое носит локальный характер, при использовании предложенного аппарата обеспечивалась равномерная очистка по всей площади обрабатываемого участка фильтра. Степень восстановления проницаемости фильтра возрастала при

увеличении числа импульсов на каждом интервале от 1 до 6. Обследование элементов фильтров, обработанных предложенным аппаратом, показало, что сетчатая поверхность лучше всего очищалась на участках, расположенных напротив аппарата.

Применение электровзрывных установок

Восстановление дебита скважин действием электрических разрядов производилось на карьерах Курской магнитной аномалии (КМА), объектах сельскохозяйственного и коммунального водоснабжения на территории РСФСР, Белоруссии, Украины, водозаборах г. Вильнюса. Скважины обрабатывались электровзрывным способом в такой последовательности. Производился демонтаж водоподъемного оборудования, после чего измерялась общая глубина скважины, которая сопоставлялась с паспортной глубиной, что позволяло определить величину заноса забоя скважины шламом или песком. При необходимости шлам удалялся желонкой или эрлифтом. При разглинизации скважина промывалась до полного восстановления статического уровня и замены глинистого раствора водой.

В соответствии с инструкцией или паспортом установки производилась подготовка оборудования к включению: на обсадной трубе устанавливался ролик или скважинный блок, подавалось напряжение в систему питания электродвигателя кабельного барабана. Рабочий разрядник погружался до верхней отметки фильтра, определяемой по паспорту скважины, включалось высокое напряжение, которое с помощью регулятора поднималось до рабочего значения. Обработка фильтров действием электрических разрядов производилась при возвратно-поступательном перемещении разрядника вдоль фильтровой трубы, осуществляя с помощью реверса электропривода лебедки и контролируемым указателем глубины погружения разрядника или метками на кабеле. Для предотвращения повреждения сальников в скважине разряды производились на расстоянии не менее 1 м от них. Количество разрядов определялось либо счетчиком импульсов, либо временем с предварительным подсчетом числа импульсов в единицу времени. Обработка фильтра считалась завершенной после воспроизведения заданного числа разрядов на 1 м фильтра.

После окончания обработки фильтров отключалось высокое напряжение, разрядник поднимался на поверхность и извлекался из скважины, снималось остаточное напряжение с конденсаторов, отключалось энергопитание всей установки, снималось заземление. После монтажа эрлифта производилась прокачка скважины до полного удаления шлама из скважины. Эффективность обработки оценивалась по приращению дебита скважин [38].

На карьерах КМА электровзрывной обработке подвергались сквозные фильтры, выполненные в виде трубчатых каркасов с проволочной обмоткой и гравийной обсыпкой, служащие для осушения сеноман-альбского водоносного горизонта, и перфорированных труб, установленных в рудно-кристаллической толще. Наряду с колыматацией фильтров в процессе эксплуатации железистыми и карбонатными отложениями, прифильтровые зоны скважин претерпели существенные изменения фильтрационных характеристик вследствие глинизации гравийной обсыпки и прилегающих водоносных пород.

При обработке водопонизительных скважин ЭГ-способом разрядник плавно перемещается вдоль фильтровой трубы с одновременной подачей на его электроды импульсов тока при энергии разрядного контура 1,2 кДж ($U=60$ кВ, $C=0,686$ мкФ), при этом на каждый метр фильтра приходилось в среднем 400 разрядов. Эффективность электровзрывного способа очистки фильтров подтверждается данными табл. 8, из которой следует, что после обработки 51 фильтра дебит скважин увеличился в среднем в 1,5 раза [8, 29].

Таблица 8 Результаты обработки водопонизительных скважин на карьерах КМА

Год	Число обработанных фильтров	Суммарный дебит, м ³ /ч		Прирост дебита, м ³ /ч	Средний дебит одного сквозного фильтра, м ³ /ч	
		до обработки	после обработки		до обработки	после обработки
1969	13	159	251	92	12,2	19,4
1970	31	340	577	237	11,0	18,8
1971	7	146	170	24	20,8	24,8

Водоносные пласти в районе г. Вильнюса сложены из крупнозернистого песка, гравия, галечника и залегают на глубине 40 — 90 м от поверхности земли, а их мощность составляет 10 — 30 м. Скважины оборудованы каркасно-стержневыми или проволочными фильтрами, имеющими достаточно высокую механическую прочность. В процессе эксплуатации происходит интенсивная колыматация фильтров в основном окислами железа или кремния, которые осаждаются на внутренней и наружной поверхности фильтров в виде плотного конгломератовидного осадка и перекрывают проходные отверстия фильтров.

Зарастание фильтров приводит к тому, что после трех лет эксплуатации скважин начинается снижение их дебита, а после 10 лет работы производительность скважин составляет только лишь 25 — 30% от первоначальной.

За период с 1971 по 1980 гг. было обработано около 150 эксплуатационных скважин. Фильтры скважин подвергались гидродинамическому воздействию электрических разрядов при ступенчатом возвратно-поступательном перемещении разрядника вдоль фильтровой трубы при различных параметрах ГИТ, при этом на 1 м фильтра производилось около 50 разрядов. Результаты обработки некоторых скважин представлены в табл. 9. Удельный дебит водозаборных скважин после обработки фильтров действием электрических разрядов возрастает в среднем на 20 — 25%. Наибольший эффект обеспечивается при межремонтном периоде работы, не превышающем одного года [43].

Николаевское опытно-конструкторское бюро электротехнологии (ОКБЭ) с 1973 г. разрабатывает и изготавливает установки типа СЭУ (см. табл. 7), которые в настоящее время эксплуатируются в различных районах страны при обработке скважин в разных гидрогеологических условиях.

Максимальный эффект восстановления дебита этим способом обеспечивается для скважин, каптирующих воду из водоносных пород, представленных мелко- и среднезернистыми песками. Производительность таких скважин после электровзрывной обработки в среднем увеличилась в 3,5 раза, в то время как дебит скважин, забирающих воду из песчаника или известняка, возрастал в среднем в 2,1 раза. Скважины, каптирующие воду из скальных пород (гранита, мергеля), после обработки увеличивали свой дебит в 2,3 раза.

Таблица 9 Результаты обработки скважин на водозаборах г. Вильнюса

Водозабор	Скважина	Диаметр фильтра, мм	Длина фильтра, м	Дата сдачи эксплуатации	в	Дата обработки	Параметры обработки		Удельный дебит, м ³ /(ч м)		
							и, кВ	с, мкФ	в начале эксплуатации	до обработки	после обработки
I	32	200	8,0	1965	1976	20	18	8,2	2,8	3,1	
	44	307	10,0	1972	1976	40	18	14,0	2,2	2,8	
	40	178	7,0	1970	1976	30	18	15,0	2,8	3,2	
	28	307	8,4	1964	1976	20	18	8,3	2,0	2,4	
II	25	300	10,5	1968	1976	20	18	5,3	2,3	2,8	
	14	251	7,1	1971	1976	50	18	4,4	2,3	2,4	
	33	251	7,1	1971	1978	50	18	4,4	2,3	3,8	
	30	200	11,2	1971	1976	40	18	6,8	1,3	1,7	
	26	307	10,5	1963	1979	40	18	5,3	0,7	1,5	
IX	1	307	7,2	1966	1976	20	18	11,5	2,6	3,2	
	15	178	7,1	1971	1976	30	18	8,6	3,3	4,0	
	17	307	5,4	1972	1977	30	18	8,3	6,6	7,3	
	18	307	6,2	1966	1977	20	18	10,5	6,5	7,5	
X	4	178	10,0	1969	1978	20	18	10,1	3,3	4,1	
	5	200	13,0	1969	1977	20	18	12,0	5,4	7,6	
	7	200	13,0	1969	1977	20	18	35,3	15,7	17,4	
XII	3	251	8,5	1969	1977	50	18	4,7	2,0	3,5	
	1	251	6,0	1975	1980	60	18	12,0	6,2	8,0	

В результате очистки фильтров 122 скважин ЭГ-способом достигнуто общее увеличение дебита на 1072 м³/ч, что эквивалентно сооружению 74 скважин с производительностью 14,5 м³/ч, соответствующей среднему дебиту обработанных скважин в начале их эксплуатации.

Выбор параметров электровзрывной установки (напряжения разрядного контура U , емкости конденсаторов C , числа разрядов для обработки 1 м фильтра) производится в зависимости от структуры водоносного горизонта, конструкции и механической прочности фильтров. Рекомендуемые параметры, при которых обеспечивается эффективное восстановление проницаемости фильтров, работающих в различных гидрогеологических условиях, представлены в табл. 10 [33].

Таблица 10 Режимы обработки фильтров электровзрывным способом

Породы водоносного пласта	Тип фильтра	Режим ЭГ-обработки	Число импульсов на 1 м фильтра

			U, кВ	C, мкФ	
Песок	Сетчатый	30- 35	3 — 6	150 — 200	
»	Проволочный с гравий- ной засыпкой	35 — 40	6	100 — 120	
Известняк, песчаник	Сетчатый, проводочный	35 — 40	6	100 — 120	
То же	Трубчатый с перфора- цией	50	6 — 9	150 — 200	
Известняк, песчаник	Без фильтра	50	6 — 9	150 — 200	
Гранит	То же	50	9 — 12	150 — 200	

Условия обработки фильтров различных конструкций другими ЭГ-установками незначительно отличаются от режимов очистки, рекомендуемых ОКБЭ. Поэтому указанные в табл. 10 режимы обработки могут быть приняты за основу при выборе параметров очистки фильтров электровзрывным способом. Также необходимо учитывать факторы, снижающие давление ударной волны и гидропотока (повышенное содержание солей в подземной воде, значительную глубину расположения фильтра и соответственно длину кабеля). В этом случае целесообразно увеличить число разрядов на 1 м фильтровой трубы в 1,2 — 1,5 раза. Если же есть подозрение на уменьшение механической прочности фильтров вследствие коррозии, то следует уменьшить энергию импульса, но увеличить число импульсов [33].

Таким образом, опыт применения ЭГ-способа восстановления производительности водозаборных скважин показывает, что образующиеся при электрических разрядах импульсные давления обеспечивают эффективное разрушение и диспергирование кольматирующих отложений и восстановление притока воды в скважины. Анализ приведенных данных показывает, что электровзрывной обработке могут подвергаться скважины с фильтрами практически из любого материала, используемого в настоящее время при сооружении скважин.

При определении режима обработки фильтров блочного типа и изготовленных из асбестоцементных, капроновых или винилластовых труб необходимо учитывать их ограниченную прочность. Такие фильтры с целью сохранения их целостности рекомендуется обрабатывать действием электрических разрядов при U не более 30 кВ.

Наблюдения за изменением производительности водозаборных скважин после обработки действием электрических разрядов показали, что дебит большинства из них начинает существенно уменьшаться через 10 — 12 месяцев эксплуатации и в связи с этим рациональный межремонтный период работы скважин, обрабатываемых электровзрывным способом, составляет не более 7 месяцев, а при многократных обработках подлежит уточнению.

ПНЕВМОВЗРЫВ

Пневмовзрыв (выхлоп сжатого воздуха) в окружающей жидкости возбуждает волны давления, действующие на фильтр и при-фильтровую зону.

Энергия сжатого воздуха при его мгновенном расширении преобразуется в механическую работу. Восстановление проницаемости фильтров и прифильтровых зон происходит за счет разрушающего действия пневмовзрыва. В результате пневмоимпульсного воздействия находящиеся на фильтровой поверхности и прифильтровой зоне глинистые осадки или химический кольматант разрушаются и выносятся гидропотоком в скважину, откуда в последующем удаляются при откачках [44].

К достоинствам пневмовзрыва можно отнести возможность регулирования его гидродинамических параметров и цикличности воздействия в широких пределах, доступность и безопасность рабочего реагента — воздуха.

Одним из параметров пневматической камеры, определяющих интенсивность воздействия импульсных нагрузок на фильтр и породу водоносного пласта, является скорость нарастания давления на фронте ударной волны. Скорость зависит от многих факторов: давления сжатого воздуха, качества обработки внутренних поверхностей пневмокамеры, площади выхлопных отверстий и т. д., которые в конечном итоге определяют быстродействие пневматической камеры [29].

Оборудование для пневмоимпульсной обработки скважин

Для восстановления производительности водозаборных скважин широко применяются установки АВПВ-150, разработанные в АЗНИИ водных проблем [44], и установки АСП-Т, разработанные во ВНИПИвзрывгеофизике и серийно выпускаемые Подольским экспериментальным заводом геологоразведочного оборудования (Мин-гео СССР).

Установки для обработки скважин пневмовзрывами имеют одну и ту же принципиальную схему (рис.

13), но различаются конструкцией пневмоизлучателей, компоновкой оборудования, источниками энергии, способом транспортировки к месту производства работ.

Рабочим органом установки для очистки фильтров скважин является пневмоизлучатель (скважинный пневмоснаряд), обеспечивающий быстрый выпуск сжатого до высокого давления воздуха из выходных отверстий, имеющих достаточно большие размеры. В установках АВПВ-150 широко применяется пневмоснаряд с клапаном типа ПСК-70/1, представленный на рис. 14 [29].

Он состоит из рабочей камеры 1, цилиндра 2 с золотником 3, перекрывающим выхлопные окна 4, клапана 5 с возвратной пружиной 6 и нижнего разрядного клапана 7, прижимаемого к седлу пружиной 8. Разрядная камера, расположенная между клапанами 5 и 7, вверху сообщается с рабочей камерой через клапан 5, а внизу со скважинным пространством через отверстия, перекрываемые клапаном 7.

Пневмоснаряд устанавливается внутри фильтровой трубы, и в рабочую камеру 1 подается сжатый воздух. В начальный момент давление по обе стороны золотника 3 равное, в связи с чем золотник находится в равновесном состоянии и перекрывает выхлопные окна 4. Как только давление воздуха повысится настолько, что превзойдет усилие, создаваемое пружиной 8 и гидростатическим давлением воды в скважине, клапан 7 начнет отходить от седла. При этом давление воздуха мгновенно распространяется на большую площадь, и клапан 7 быстро перемещается вниз, полностью открывая сечение канала. В связи с этим сжатый воздух из разрядной камеры сбрасывается в скважину, а между рабочей и разрядной камерами возникает разность давлений, под действием которой золотник 3 устремляется вниз и резко открывает выхлопные окна 4. Сжатый воздух врывается в скважинное пространство, и под действием возникающих при этом динамических нагрузок разрушаются и диспергируются отложения, препятствующие притоку воды в скважины. После выхлопа воздуха давление в рабочей камере уменьшится и клапаны 5 и 7 вернутся в первоначальное положение под действием усилия, создаваемого пружинами 6 и 8.

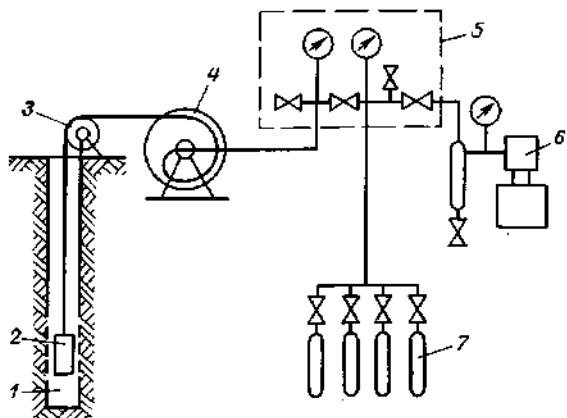


Рис. 13. Схема установки для пневмоимпульсной обработки скважин.

1 — скважина; 2 — пневмокамера; 3 — направляющий блок; 4 — лебедка; 5 — щит управления; 6 — компрессорный агрегат; 7 — воздухосборник.

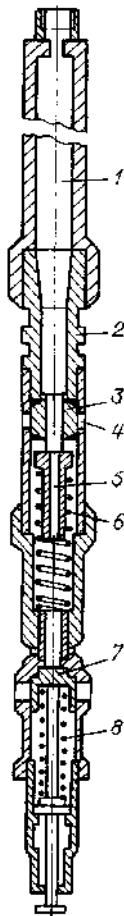


Рис. 14. Схема пневмоснаряда.

1 — рабочая камера; 2 — цилиндр; 3 — золотник; 4 — выхлопные окна; 5 и 7 — клапаны; 6 и 8 — пружины.

Рукав высокого давления подает сжатый воздух в пневмоснаряд и одновременно используется в качестве троса для спуска и подъема снаряда. Он должен быть достаточно гибким, прочным, герметичным, износостойчивым и должен выдерживать давление, не менее чем в 3 раза превышающее максимальное рабочее. Этим требо-

ваниям удовлетворяют рукава высокого давления с одной металлической оплеткой по ТУ 6-19-162-80.

Направляющий блок служит для направления рукава в скважину и его начальной центровки.

Лебедка выполняет спуско-подъемные операции пневмоснаряда в скважине. Для укладки рукава с жесткими соединительными узлами барабан лебедки должен иметь диаметр не менее 700 мм. Для подачи сжатого воздуха в движущийся пневмоснаряд конец рукава присоединяется к полому валу, на котором установлен вертлюг. Электропривод барабана лебедки обеспечивает 6 — 10 об/мин, что соответствует линейной скорости движения рукава 0,25 — 0,4 м/с.

Компрессорный агрегат вырабатывает сжатый воздух и состоит из компрессора и соединенного с ним упругой муфты электродвигателя. Для таких установок могут использоваться различные компрессорные агрегаты, обеспечивающие сжатие воздуха до 20 МПа. В настоящее время наиболее широкое применение находит электрокомпрессор АК-2-150 или КР-2 Мелитопольского компрессорного завода.

Воздухосборник накапливает сжатый воздух и комплектуется из трех или четырех 40-литровых стандартных баллонов, установленных горизонтально в виде кассеты. Такая емкость воздухосборника достаточна для обработки фильтра.

Щит управления объединяет в одну систему компрессор, воздухосборник и пневмоснаряд и служит для управления движением сжатого воздуха. На щите управления расположены вентили, установленные на линиях зарядки баллонов от компрессора, подачи сжатого воздуха из воздухосборника и компрессора и его сброса в атмосферу. Здесь же находятся манометры, показывающие давление в различных элементах пневмосистемы, а также элементы управления компрессором и лебедкой.

Установка АСП-Т располагается на одноосном закрытом прицепе к грузовому автомобилю (рис. 15 и 16). Она укомплектована набором пневмокамер, предназначенных для обработки водозаборных скважин, работающих в разных технико-геологических условиях. Сжатый воздух поступает в пневмокамеры от баллонов по гибкой пневматической магистрали высокого давления. Автономность установки и высокая

ее производительность обеспечивается компрессором высокого давления, с помощью которого производится дозаправка баллонов при пневмообработке скважин.

Основные параметры аппарата АСП-ТМ

Максимальное давление сжатого воздуха в баллонах, МПа 15,0

Максимальное рабочее давление воздуха в магистрали пневмо- 12,0 камеры, МПа

Минимальное рабочее давление в пневмокамере, МПА 3,0

Рабочий объем пневмокамеры, см³ 70, 200, 500

Диаметр пневмокамеры, мм 50, 75, 80

Частота срабатываний пневмокамеры, Гц 0,2 — 0,5

Суммарный объем сжатого воздуха, л 120

Минимальный диаметр обрабатываемой скважины, мм 70

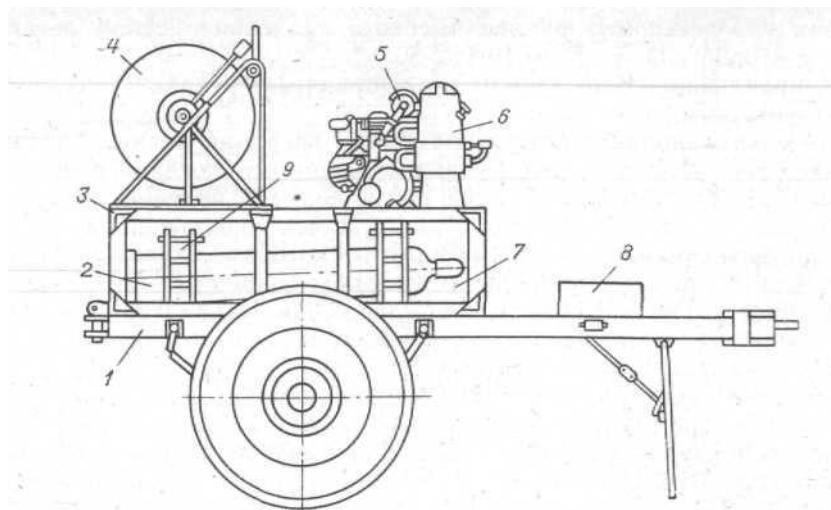


Рис. 15. Автоматическая скважинная пневматическая установка АСП-Т.

1 — одноосный придел; 2 — баллоны со сжатым воздухом; 3 — рама; 4 — лебедка; 5 — компрессор; 6 — ресивер; 7 — камера для баллонов; 8 — ящик для инструментов.

Установка может эксплуатироваться в различных дорожных и погодных условиях при температуре жидкости в скважине от 4 до 50° С и окружающей среды от — 20 до +30° С.

Применение АСП для разглинизации скважин

Испытания аппарата с пневматической камерой объемом 70 см³ проводилось в районе г. Вичуги Ивановской области.

Для организации водоснабжения города используется днепровско-окский водоносный горизонт. Водовмещающими породами являются пески разнозернистые, неравномерно глинистые с гравием и галькой. В верхней части разреза пески среднезернистые и мелкозернистые, преобладают последние. В песках, особенно в средней части разреза, встречаются линзы супесей и суглинков мощностью 2 — 5 м. Водоупорной кровлей водоносного горизонта являются плотные суглинки днепровской морены, мощность которых изменяется от 6 — 12 до 26 — 35 м. Необходимо отметить, что моренные суглинки являются относительным водоупором, так как на многих участках они содержат линзы и прослои супесей и песков, мощность которых достигает 10 — 12 м. Питание водоносного горизонта осуществляется в основном за счет инфильтрации атмосферных осадков через наиболее песчанистые моренные суглинки.

Водоносные горизонты вскрывались бурением с применением глинистых растворов. Результаты использования пневматических камер объемом 70 см³ для разглинизации гидрогеологических скважин в районе г. Вичуги приведены в табл. 11.

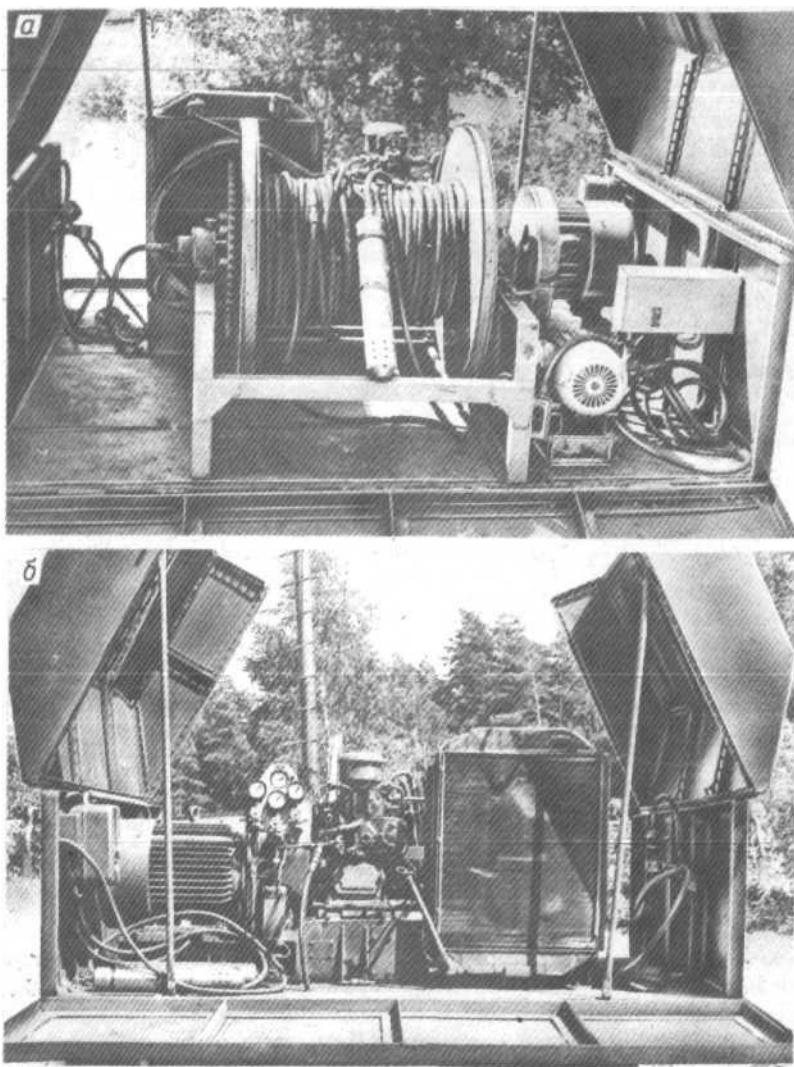


Рис. 16. Внешний вид установки АСПТ.

а — со стороны лебедки (на переднем плане — скважинный пневмоснаряд); б — со стороны компрессора и пульта управления.

Сравнительные испытания пневматических камер объемом 70 и 500 см³ были проведены в скважинах Усманского участка Липецкой гидрогеологической партии (ГГП). Водовмещающими породами являются разнозернистые пески, гранулометрический состав которых приведен в табл. 12.

Таблица 11

Данные об эффективности пневмоимпульсной обработки гидрогеологических скважин в районе г. Вичуги (Ивановская обл.)

Номер и местоположение скважины	Конструкция фильтровой колонны и интервал обработки	Дебит скважины			
		до пневмообработки		после пневмообработки	
		л / с	л/ (С-М 1)	л/с	л/(с-м)
24, Вичугский район, дер. Путковское	Фильтр сетчатый 0 168 мм в интервале 22,6 — 49,4 м	1,33	0,06	2,18	0,11
21, Вичугский район, дер. Жуковское	Фильтр сетчатый 0 168 мм в интервале 25,4 — 41,2 м	7,46	0,53	9,26	0,74
23, Кинешемский район, дер. Пешкове	Фильтр сетчатый 0 168 мм в интервале 21,2 — 37 м	0,74	0,06	4,00	0,34
17, дер. Пестовка	Фильтр сетчатый 0 168 мм в интервале 16,5 — 30 м	1,42	0,70	6,60	0,90

18, дер. Потехино	Фильтр сетчатый 0 108 мм в интервале 21,0 — 26,8 м	1.17	0,09	2,60	0,13
12, г. Вичуга	Фильтр сетчатый 0 108 мм в интервале 39,2 — 42,45 м	4,54	0,27	8,30	0,60

Таблица 12

Гранулометрический состав песков водоносного горизонта (Усманский участок Липецкой ГГП)

Фракция, мм	Количество массе, %	по Фракция, мм	Количество массе, %
>1,5	2	0,49 — 0,2	30
1,49 — 1,0	5	0,19 — 0,1	36
0,99 — 0,5	18	<0,1	9

Удельные дебиты скважин, пробуренных на небольшой территории в одинаковых гидрогеологических условиях, изменились от 0,27 л/(с-м) до 3,07 л/(с-м). Такой характер изменения удельных дебитов при довольно однородном гранулометрическом составе водоизмещающих пород в плане и в разрезе свидетельствовал о недостаточной разглинизации скважин. Проведенные работы по разглинизации скважин методами промывки, прокачки эрлифтом и другими оказались малоэффективными, а в некоторых скважинах (1030 н) при откачке пласта почти не работал, и только с помощью пневматического импульсного излучателя произвели разглинизацию скважины. Результаты приведены в табл. 13.

Сравнительные испытания показали, что применение пневмокамер объемом до 500 см³ обеспечивает более высокие приrostы дебита. При испытаниях было установлено, что сетчатые фильтры, изготовленные из латунной сетки на каркасах из перфорированных труб диаметром 108 мм не получают при обработке пневматическими камерами объемом 500 см³ повреждений, приводящих к последующему пескованию скважин. С учетом результатов испытаний в последующих работах в скважинах на воду, оборудованных новыми сетчатыми фильтрами диаметром 108 мм и более, использовались пневмокамеры объемом 500 см³.

Таблица 13

Данные сравнительных испытаний пневматических источников в скважинах Усманского участка Липецкой ГГП

Номер скважины	Удельный дебит, л/(с-м)		Коэффициент эффективности	Объем пневмокамер, см ³	Время обработки скважины, мин
	до пневмо-обработки	после пневмо-обработки			
1021н	0,13	0,50	3,80	70	45
1026н	0,12	2,20	18,30	500	25
Ю30н	0,04	0,78	19,50	500	40
1035н	0,39	1,20	3,07	70	25
Ю36н	1,10	2,50	2,27	70	25
1037н	1,92	2,18	1,13	70	25
1038н	0,79	1,10	1,39	70	45

Испытания АСП с целью определения эффективности применения пневмообработки при сооружении гидрогеологических скважин были проведены также при разведке подземных вод для хозяйствственно-питьевого водоснабжения на Жуковском и Знаменском участках Оскольского электрометаллургического комбината. На Жуковском участке были опробованы четвертично-нижнемеловой и юрский водоносные горизонты и комплексы. Четвертично-нижнемеловой водоносный комплекс характеризуется безнапорным режимом. Пески по гранулометрическому составу мелко- и среднезернистые. Преобладают фракции 0,5 — 0,2 и 0,2 — 0,1 мм. По площади распространения состав их остается выдержаным. Фильтрационные свойства водоносного комплекса относительно однородны. Удельные дебиты скважин 1,08 — 1,88 л/(с-м).

Бурение гидрогеологических скважин на участке производилось с применением жидкого глинистого раствора или водногипановой смеси. Скважины оборудовались в основном фильтрами из латунной сетки на перфорированных каркасах диаметром 108 — 168 мм. Откачки ряда скважин после бурения показали низкие дебиты, обусловленные глинизацией пласта и фильтра.

С целью разглинизации и получения более высоких притоков была проведена пневматическая обработка фильтров ряда скважин. Основные результаты работ приведены в табл. 14.

Как видно из табл. 13 и 14, большинство скважин значительно увеличивали дебит после пневмообработки.

На Знаменском участке пробурено 30 скважин. Глубины скважин изменялись в пределах 42 — 57 м. Водовмещающие породы неоднородны в разрезе. В верхней части разреза преобладают грубозернистые фракции с включением гравия до 5 — 10%. Ниже их сменяют в основном мелкозернистые пески с преобладанием фракций 0,5 — Г,2 и 0,2 — 0,1 мм (37 — 56%). Пылеватые и глинистые частицы во всем разрезе имеют подчиненное значение, суммарное их содержание не превышает 10%. В нижней части разреза пески разнозернистые. Подземные воды обладают слабонапорным режимом.

Таблица 14 Эффективность применения АСП на Жуковском участке Новооскольской ГГП

Номер скважины	Дебит скважины				Коэффициент эффективности	
	до пневмо-обработки		после пневмо-обработки			
	л/с	л/(с·м)	л/с	л/(с·м)		
100	0,75	Нет свед.	5,64	Нет свед.	7,52	
104	4,00	0,35	3,70	0,60	1,71	
105	3,55	0,28	4,00	0,80	2,85	
106	13,8	3,08	14,40	3,90	1,26	
107	0,24	Нет свед.	3,45	Нет свед.	14,37	
113	0,15	То же	2,91	То же	19,40	
114	0,68	»	3,76	»	5,53	
117	7,10	0,84	9,40	1,12	1,33	

Бурение гидрогеологических скважин производилось колонковым способом станком ЗИФ-650 в зимнее время и роторным способом установкой УРБ-ЗАМ в летнее время. В качестве промывочной жидкости применялся жидкий глинистый раствор. Две скважины (128г и 131г) пробурены с промывкой 2 — 3%-ным водогипановым раствором. Применение в качестве промывочной жидкости раствора гипана при бурении по водовмещающим песчаным породам горизонта положительно сказалось на производительности скважин при откачках.

Водоприемная часть всех разведочных и наблюдательных скважин была оборудована фильтровыми колоннами. Большинство пробуренных скважин было оборудовано сетчатыми фильтрами с применением сетки галунного плетения со скважностью 15 — 20%.

Применение глинистого раствора в процессе бурения гидрогеологических скважин пагубно сказалось на фильтрационных свойствах водовмещающих пород горизонта вблизи фильтровой колонны. Да и сам сетчатый фильтр частично кольматировался глинистыми частицами.

Таблица 15 Результаты применения АСП на Знаменском участке Новооскольской ГГП

Номер скважины	Диаметр фильтра, мм	Интервал установки фильтра, м	Удельный дебит скважины, л/(с·м)		Промывочная жидкость	Коэффициент эффективности
			до пневмо-обработки	после пневмо-обработки		
118г	146	24,3 — 38,9	1,1	5,0	Глинистый раствор	4,55
119г	146	23,7 — 39,3	8,1	9,0	То же	1,11
120г	146	28,0 — 43,7	0,1	4,2	»	42,00
121г	108	25,9 — 43,2	0,1	4,1	»	41,00
124г	108	28,6 — 45,0	0,2	4,0	»	20,00
125г	219	22,2 — 45,1	2,1	4,3	»	2,04
128г	108	70,4 — 80,7	5,8	7,0	Гипан	1,32
131г	108	33,2 — 46,9	5,3	5,7	»	1,00
135г	146	27,5 — 41,0	12,0	13,3	Глинистый раствор	1,11
137г	108	36,0 — 51,6	7,2	10,0	То же	1,40
138г	108	27,6 — 42,4	0,4	2,0	»	5,00
143г	108	32,8 — 44,5	5,0	5,7	»	1,14

Для разглинизации фильтра и пласта производилась промывка скважин чистой водой, желонирование и свабирование. В некоторых скважинах производилась зафильтровая промывка чистой водой через обратный клапан, устанавливаемый в нижнем торце фильтровой колонны. Вода закачивалась через бурильные штанги, которые соединялись с обратным клапаном. На поверхность вода выходила через затрубное пространство, вымывая глинистый раствор. Из-за низкой эффективности примененных методов для разглинизации применялся аппарат АСП. Результаты работ приведены в табл. 15.

Актуальными становятся вопросы качественного вскрытия водоносных горизонтов в сложной гидрогеологической обстановке. Работы по разглинизации скважин с помощью пневмоимпульсных источников проводились в Краснодарском крае, в Казахстане, в восточных районах БАМ. Условия их проведения и результаты в основном совпадают с приведенными примерами.

Применение АСП для восстановления производительности скважин

Эффективность применения пневмоимпульсного излучателя при восстановлении эксплуатационных водозаборных скважин оценивается так же, как и для гидрогеологических скважин, прямым увеличением дебита за счет снижения гидравлического сопротивления фильтра и пласта. Кроме того, для эксплуатационных скважин критерием оценки эффективности является также устойчивость полученного прироста дебита.

Работы по восстановлению дебита эксплуатационных скважин с помощью аппаратов АСП проведены в Воронежской, Курской, Калининской, Московской, Оренбургской областях, Приморском и Краснодарском краях, в Белоруссии, Казахстане, Узбекистане. При этом комплексы аппаратуры АСП использовались для обработки эксплуатационных скважин, вскрывающих как пески, так и скальные и полускальные водоносные породы и оборудованных фильтрами сетчатыми на каркасах из перфорированных труб, проволочными каркасно-стержневыми, дырчатыми и щелевыми, а также фильтрами из полимерных материалов. Ниже приводятся наиболее характерные результаты применения установки АСП в различных гидрогеологических условиях.

Большинство скважин на Киевском водозаборе г. Курска пробурено ударно-канатным способом и вскрывает водоносный горизонт, представленный крупно- и среднезернистыми аллювиальными песками с относительно однородными фильтрационными свойствами.

Таблица 16

**Результаты применения пневмообработки водозаборных скважин
на Киевском водозаборе г. Курска**

Номер скважины	Период эксплуатации, лет	Первоначальный дебит, м3/ч	Дебит до пневмообработки, м3/ч	Дата обработки	Дебит после пневмообработки, м3/ч	15.07.75 г.	Контрольные измерения из 15.12.75 г.	12.07.76 г.	ита в 16.08.76 г.	сплуатации 30.12.76 г.	после пневм 2.76 г.	ообр аботки 29.07.77 г.	1.1 1.77 г.	
32	32	32	36	32	24	22								
1	5	40	34	11.07.74 г.	41	36	32	32	32	30.1	32	24	22	
2	Новая	26	28	2.01.75 г.	50	Нет свед.	Нет свед.	32	32	22	22	30	39	
3	6	50	15	16.10.74 г.	23	29	32	32	32	25	26	22	26	
4	5	50	30	3.01.75 г.	40	40	50	50	47	44	50	23	50	
5	5	34	38	10.02.74 г.	41	Нет свед.	16	31	31	13	16	13	22	
7	1	16	13	12.03.75 г.	22	Нет свед.	Нет свед.	15	Нет свед.	14	15	10	26	
8	5	35	14	3.01.75 г.	23	13	23	26	26	22	22	10	10	
18	2	36	17	16.10.74 г.	30	Нет свед.	16	25	33	18	18	20	14	
19	5	36	10	13.02.75 г.	19	16	24	15	16	32	32	32	30	
21	6	58	12	17.10.74 г..	19	16	22	23	23	11	19	37	32	
23	6	50	4	1.03.74 г.	21	28	5	12	31	23	23	32	20	
25	6	40	13	1.08.74 г.	54	51	29	27	33	36	36	32	27	
28	6	44	12	2.07.74 г.	85	41	32	50	32	22	34	32	22	
29	6	40	13	3.10.74 г.	21	29	37	31	33	37	42	40	37	
32	6	36	10	8.07.74 г.	45	28	Нет свед.	14	Ремонт	57	52	56	Нет свед	
33	6	84	8	15.07.74 г.	28	29	37	16	насоса 18	20	26	18	. 16	
34	6	60	15	9.07.74 г.	41	41	10	7	16	12	12	14	10	
35	5	60	14 .	9.07.74 г.	34	13	23	10	Кислотная обработка	32	32	32	13	
36	5	60	40	9.07.74 г.	61	33	23	23	Кислотная обработка	37	42	48	23	
38	2	54	13	5.08.74 г.	32	16	19	18	20	34	36	25	27	
41	5	50	42	24.08.75 г.	50	НЕТ СВЕД.	Нет свед.	22	36	40	36	28	42	
46	5	50	10	5.09.74 г.	22	24	35	36	19	40	29	27		
					26									
47	5	52	9	6.07.74 г.	21	23	18	47	33	25	25	13	19	
50	5	48	9	7.07.74 г.	17	16	8	29	29	14	18	17	18	
53	5	45	6	6.09.74 г.	11	22	11	24	22	17	23	20	20	
54	5	40	10	7.03.74 г.	22	13	14	16	25	18	26	28	17	

55	5	51	7	7.03.74 г.	26	29	15	26	25	14	Нет свед.	39	36
56	5	40	11	7.03.74 г.	34	37	31	22	Ремонт	36	36	50	30
57	2	53	20	7.03.74 г.	65	30	19	19	24	24	24	25	24
58	2	40	16	20.09.74 г.	20	36	34	22	26	12	24	38	36
60	2	40	24	13.12.74 г.	48	Нет свед.	33	12	26	12	24	38	36
61	2	40	21	7.08.74 г.	43	14	11	15	19	19	18	18	17
62	2	40	16	21.10.74 г.	23	37	33	Нет	44	23	30	31	22
63	1	40	38	24.10.74 г.	57	56	53	свед. Нет	53	47	50	56	25
64	1	40	40	2.10.74 г.	60	! 56	61	свед. Нет	Нет свед.	22	23	32	8

Скважины оборудованы фильтрами из перфорированных труб диаметром до 306 мм с проволочной обмоткой и гравийной обсыпкой. Весь водозабор расположен вдоль реки Сейм по обоим ее берегам. По данным наблюдений, выполненных лабораторией инженерной гидрогеологии ВНИИВОДГЕО по 58 скважинам водозабора, наиболее интенсивное снижение дебитов эксплуатационных скважин (до 50% от первоначального) наблюдалось в первые три года эксплуатации. В последующие годы снижение дебита происходило менее интенсивно и стабилизировалось при 7 — 8 годах эксплуатации скважин.

Пневмоимпульсная обработка скважин водозабора производилась с целью восстановления дебита, снизившегося в процессе эксплуатации. Во всех скважинах использовалась пневматическая камера рабочим объемом 500 см³. Пневмоимпульсной обработке были подвергнуты 64 скважины водозабора (табл. 16). Эффективность работ определялась сравнением дебита по данным откачек скважин до и после пневмообработки одними и теми же серийными погружными насосами. Прокачка скважин с целью очистки их фильтровых зон от осадков производилась сразу же после пневмообработки. После осветления воды, наступающего примерно через 1,5 — 2,0 ч,

53

измерялся дебит скважин объемным способом и скважины включались в общую сеть городского водоснабжения.

В процессе откачки после пневмообработки двух скважин (54 и 32) были отобраны пробы воды для определения вынесенного осадка и его химического состава. Суммарное количество вынесенного при откачке осадка по скв. 54 составило около 146 кг, по скв. 32 около 110 кг. С целью определения доминирующего компонента 6 проб были изучены в иммерсионных препаратах под микроскопом, спектральным методом, методом рентгенографического и термического анализов. Все изученные пробы оказались одинаковыми по составу. В иммерсионных препаратах в них обнаружены следующие минералы: обломочный кварц (размеры зерен 0,01 — 0,1 мм — 20 — 30%); нонtronит зеленого цвета в виде бесформенных непрозрачных частиц (размером 0,05 — 0,2 мм — 30 — 40%); кальцит (размером 0,001 — 0,01 мм — 20 — 30%); примесь тончайших угловатых частиц металлов, углистого вещества и лимонита — всего в сумме до 10%. Другие методы анализа подтвердили преобладание илистого вещества в осадке.

В семи низкодебитных скважинах водозабора (12; 13, а; 17, а; 18; 22, а; 26 и 26, а), несмотря на двухкратное и более увеличение дебита в результате пневмообработки по сравнению с исходным, не удалось получить притоки, обеспечивающие рентабельную эксплуатацию скважин. После пневмообработки в 5 скважинах усилилось пескование и они были выключены из общей сети водоснабжения.

Суммарный дебит, измеренный сразу же после операций пневмообработки, составил 190% исходного перед пневмообработкой. Для определения стабильности прироста дебита в последующем, через 3 — 14 месяцев после пневмообработки были сделаны контрольные измерения дебита всех скважин, которые показали, что 16 скважин снизили часовую производительность по сравнению с достигнутой в результате пневмообработки, в то время как 32 скважины увеличили производительность (см. табл. 17). За работой скважин, подвергшихся пневмоимпульсной обработке, в последующие годы велись наблюдения сотрудниками ВНИПИвзрывгеофизики. Изменение дебита скв. 2, пробуренной с использованием обратно-всасывающей промывки представлено на рис. 17 а.

Результаты пневмоимпульсной обработки данной скважины показали, что метод бурения с обратно-всасывающей промывкой в гидрогеологических условиях, подобных условиям Киевского водозабора, не всегда обеспечивает высокое качество вскрытия и освоения водоносного горизонта и требует значительных затрат по освоению скважин с применением специальных средств для разгленизации.

Графики изменения дебита по скв. 7 и 19, также имевшим к моменту пневмообработки относительно низкие первоначальные дебиты, приведены на рис. 17, б и в. Скважины по крайней мере в течение 3 лет после пневмообработки имели повышенную по сравнению с исходной производительность. Необходимо отметить, что достоверность измерений зависит во многом от технического состояния водоподъемного оборудования. Практика показывает, что оценка эффективности того или иного метода интенсификации дебита скважин дает, как правило, заниженные результаты по сравнению с измерениями удельных дебитов.

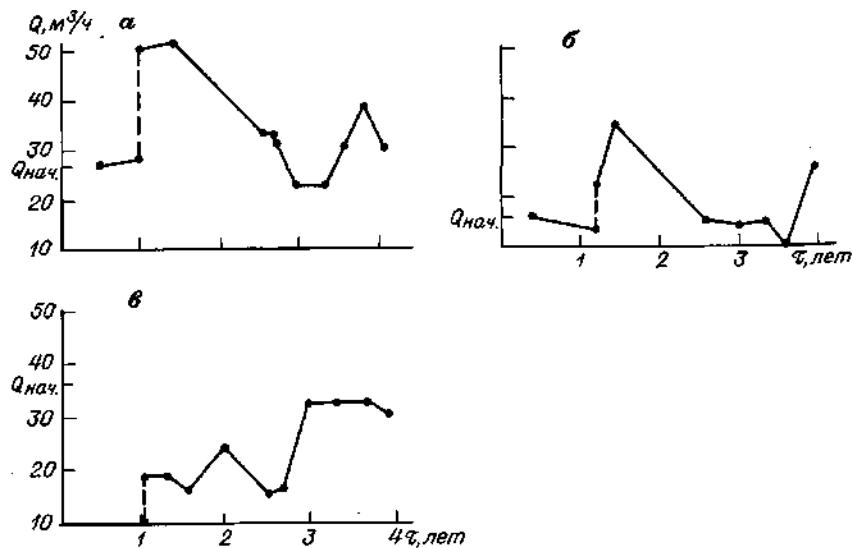


Рис. 17. Графики изменения дебита скважин Киевского водозабора г. Курска для вновь пробуренной скв. 2 (а), для скв. 7, сходящейся в эксплуатации до чоработки около 1 года (б) и для скв. 19, находящейся в эксплуатации до обработки 5 лет (в).

Анализируя результаты применения комплекса аппаратуры АСП для интенсификации притоков скважин в условиях Киевского водозабора г. Курска, можно сделать следующие выводы.

1. Применение пневмоимпульсной аппаратуры позволяет интенсифицировать работу скважин, снизивших дебит, и сделать эксплуатацию большинства из них рентабельной.

2. Сроки эксплуатации скважин до проведения пневмообработки не оказывают решающего влияния ни на абсолютные приросты дебита, ни на их стабильность во времени после обработки.

3. С учетом сроков работы скважин в режиме относительно высокой производительности межремонтный период для скважин водозабора может быть определен 1 — 1,5 годами.

В 1980 г. были проведены работы по восстановлению производительности скважин, обеспечивающих водоснабжение г. Оренбурга. Скважины эксплуатируют песчано-гравийно-галечниковые водоносные горизонты и оборудованы проволочными каркасно-стержневыми фильтрами диаметром 325 мм с гравийной засыпкой (фракции 1 — 10 мм).

При выполнении пневмообработки была применена технология, позволяющая исключить операцию освобождения скважины от ВОЈ доподъемного оборудования. Ввиду больших диаметров обсадной колонны и фильтра оказалось возможным спускать пневмокамеру в интервал обработки без подъема насоса. Такая технология обеспе-

Таблица 17
Результаты пневмоимпульсной обработки водозаборных скважин г. Оренбурга

Наименование водозабора	Число скважин	Суммарный дебит скважин						Коэффициент эффективности	
		в начале эксплуатации		перед пневмо-обработкой		после пневмо-обработки		по отношению к первоначальному удельному дебиту	по отношению к удельному дебиту перед пневмообработкой
		м³/ч	м	м³/ч	м³/ч	м³/ч	м³/(ч)		
Уральский	12	251	785,6	349,5	512,29	487,4	1085,2	1,38	2,12
Южно-Уральский	18	Нет свед.	Нет свед.	1388,5	649,90	1929,5	1284,4	Нет свед.	1,97

чивала незамедлительную прокачку скважины после или даже в процессе пневмообработки. При откачках после пневмообработки из скважин выносилось большое количество осадка темного или кирпично-красного цвета. Обобщенные результаты работ, позволяющие оценить суммарную эффективность применения метода на Уральском и Южно-Уральском водозаборах г. Оренбурга, приведены в табл. 17.

К сожалению, проследить стабильность прироста дебитов по этим водозаборам не представилось возможным, так как через месяц после пневмообработки во время аномально высокого паводка реки Урал большинство скважин попало в зону затопления и было занесено илом. При пневмоимпульсной обработке скважин в качестве рабочего реагента вместо сжатого воздуха использовался отработанный азот, получаемый на воздухоразделительных установках различных предприятий. При этом сохранялась вся технологическая схема выполнения операции пневмообработки, оставались без изменений пневмокамера и пневмомагистраль. Становился ненужным воздушный компрессор. По данным управления «Оренбурггазпром-энерго», где метод был опробован, скважины после обработки азотом работали в более устойчивом, чем после обработки воздухом, режиме, была увеличена продолжительность межремонтного цикла скважин.

Работы по применению ДСП для восстановления дебитов водозаборных скважин проводились также на территории Воронежской и Калининской областей.

Характерные результаты применения АСП по Воронежскому управлению треста Промбурвод приведены в табл. 18. Из таблицы видно, что применение АСП для восстановления скважин в условиях Воронежской области обеспечивает увеличение дебита как в случае консолидированных (известняки), так и в случае рыхлых пород (пески).

Таким образом, применение пневмоимпульсной обработки скважин позволяет увеличить дебиты скважин, эксплуатирующих месторождения подземных вод в различных геолого-технических условиях, и тем самым продлить их жизнь. Вместе с тем необходимо от-

метить, что пневмоимпульсная обработка скважин может быть применена неоднократно в целях поддержания относительно высоких значений дебита.

Приведенные результаты использования АСП для интенсификации притоков как во вновь осваиваемых, так и в эксплуатирующихся скважинах, охватывают достаточно широкий спектр геолого-технических условий. С учетом их можно прогнозировать перспективы применения аппаратурой в других районах со сходными условиями.

Однако многообразие условий эксплуатации водозаборных скважин как по геологическим, так и по гидрохимическим параметрам диктует необходимость детальной проверки средств и способов, предназначенных для обеспечения высокопроизводительной работы скважин, в каждом конкретном регионе. Решать вопрос о предпочтительности того или иного метода или средства интенсификации работы скважин можно только после объективной проверки их достоинств и недостатков. Критерием оценки при этом должны служить прямой прирост дебита в результате применения метода или аппарата, а также гарантия безопасных условий труда обслуживающего персонала, стоимость работ, их оперативность и т. п.

ГАЗОВАЯ ДЕТОНАЦИЯ

Способ основан на использовании энергии, выделяемой при взрывном горении окислительных и горючих газов, которая преобразуется в энергию ударной волны и гидропотока, действующих на фильтр. По сравнению со взрывом твердых ВВ (торпеды ТДШ) энергетические возможности этого способа значительно меньше, но он имеет существенные преимущества, а именно, достаточно просто реализуется при использовании доступных и широко применяемых в технике газов, имеет малую стоимость, безопасен в работе.

Химическое превращение газовых смесей происходит по двум основным режимам: нормального горения и газовой детонации. В первом случае распространение пламени от слоя к слою происходит за счет теплопроводности и диффузии, скорость перемещения фронта пламени сравнительно невелика и составляет несколько метров в секунду для смесей горючего газа с воздухом. Горение газовой смеси обычно происходит в камерах с постоянным замкнутым объемом, поэтому по мере сгорания смеси давление в них повышается и достигает максимального значения превышающего начальное давление в 8 — 12 раз [18].

Вторым видом реакции горения является режим взрывного химического превращения, называемый газовой детонацией. При детонации пламя распространяется от слоя к слою со скоростью, превышающей скорость звука и достигающей для некоторых смесей 3000 м/с. Для появления детонации необходимо возникновение ударной волны, которая сжимает смесь до очень высоких давлений. Это приводит к локальному нагреву смеси до нескольких тысяч градусов и самовоспламенению с выделением значительного количества энергии. Совокупность ударной волны сжатого слоя еще не реагирующей смеси и зоны реакции горения представляет собой детонационную волну, скорость распространения которой превышает скорость звука. Давление в детонационной волне до ее отражения от торца взрывной камеры может превышать начальное в 30 раз, а в отраженной волне в 50 — 100 раз [18].

Результаты применения АСП для восстановления дебита эксплуатационных скважин в Воронежской области

Местоположение скважины	Период эксплуатации, лет	Фильтр		Состав пород водоносного пласта	До пневмообработки		После пневмообработки		Коэффициент эффективности
		типа	диаметр, мм		дебит, м ³ /ч	удельный дебит, м ³ /(ч м)	дебит, м ³ /ч	удельный дебит, м ³ /(ч м)	
г. Воронеж, ВПС-9, 1 г. Воронеж, совхоз «Советский» Абрамовский мясоптицекомбинат	15 11	Гравийно-проволочный	268 156	Пески Переслаивающиеся	70,0 2,0	6,4 0,2	70,0 7,5	8,3 0,83	1,34 4,1
г. Воронеж, свед. 3	Нет свед. 3	Сетчатый Сетчатый	№ 12/90 306 306	известняки Пески Пески	0 35,0	20,0 2,0	4,0 70,0 7,0	3,5	

Ударная волна в газовой смеси может инициироваться достаточно сильным электрическим разрядом, взрывом заряда конденсированного ВВ и т. п. Воспламенение газовых смесей открытым пламенем, раскаленной проволокой, электрической искрой и другими слабыми источниками не способно вызвать детонацию и приводит лишь к горению смеси. Нормальное горение газовой смеси может перейти в детонацию в узких трубах с шероховатой внутренней поверхностью в результате непрерывного хвостования скорости распространения пламени из-за турбулизации смеси перед фронтом реакции.

По характеру выделения энергии детонационный взрыв газовых смесей близок к пневмовзрыву. Большая часть энергии расходуется на расширение продуктов взрыва и образование гидропотока, меньшая — на образование ударной волны. Благодаря этому при очистке фильтров скважин обеспечивается более «мягкое» воздействие на фильтр, что уменьшает опасность его разрушения или повреждения [22].

Для взрывчатых газовых смесей в качестве горючих газов могут быть использованы пропан, метан, водород, ацетилен, в качестве окислителя — кислород или воздух. Наиболее доступными газами являются воздух и ацетилен, который широко применяется при сварочных работах и может быть легко получен из карбида кальция. Поэтому при очистке фильтров целесообразно использовать ацетилено-воздушную смесь [42].

В результате исследований установлено, что степень очистки фильтра определяется концентрацией ацетилена A в газовой смеси; с увеличением A от 20 до 100% при постоянном начальном давлении ацетилено-воздушной смеси $p_h=0,4$ МПа разрушение осадка достигает максимального значения при взрывном распаде чистого ацетилена. Это связано с тем, что теплопроводная способность газовой смеси и, естественно, давление, возникающее при ее взрыве, оказываются тем больше, чем больше содержится в ней ацетилена. Однако для инициирования взрыва газовой смеси с $A>70\%$ требуется мощный электрический разряд с энергией более 100 Дж, полученный от высоковольтного генератора импульсов тока. Применение последнего значительно усложняет проведение работ по очистке фильтров скважин в полевых условиях. Поэтому целесообразно использовать газовые смеси с большим содержанием воздуха.

При взрыве газовой смеси наибольшая степень очистки фильтра имеет место непосредственно у торца взрывной камеры; по мере удаления от нее эффективность очистки снижается. Отсюда следует, что эффективная очистка фильтров водозаборных скважин может быть достигнута при последовательном воспроизведении нескольких взрывов газовой смеси по длине фильтровых труб с интервалом 0,8 — 1,0 м. Испытания показали, что устойчивый взрыв газовой смеси происходит при давлении от 0,1 до 0,5 МПа, что соответствует глубине 10 — 50 м погружения аппарата под уровень воды в скважине [42].

Технология обработки скважин

Для обработки фильтров газовой детонацией разработан аппарат, схематически представленный на рис. 18.

Аппарат состоит из цилиндрического корпуса 1, диаметр которого на 20 — 40 мм меньше диаметра фильтра скважины. В верхней части корпуса 1 приварена крышка 2, имеющая отверстие с внутренней резьбой. В это отверстие вворачиваются разгонная трубка 3, длина которой составляет 50 — 70 ее диаметров. Трубка

закрепляется контргайкой 11 с прокладкой 12, служащей для предотвращения попадания воды из скважины в полость корпуса 1, являющегося взрывной камерой. Внутри трубы 3 в верхней ее части на двухжильном кабеле 7 установлена спираль 10, выполненная из никромовой проволоки диаметром 0,1 мм и состоящая из 4 — 5 витков диаметром 5 — 10 мм. Спираль 10 через кабель, который одновременно

59

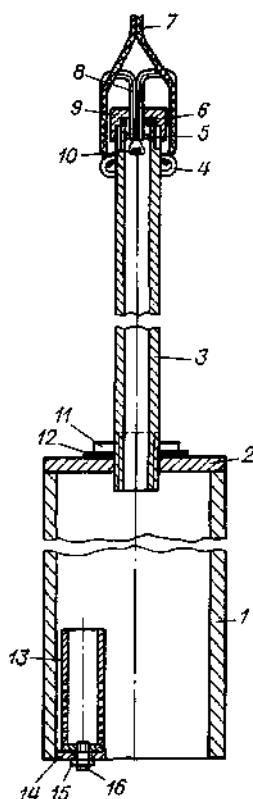


Рис. 18. Аппарат для обработки фильтров скважин газовой детонацией.

1 — взрывная камера; 2 — крышка; 3 — разгонная трубка; 4 — скоба; 5 — опорное кольцо; 6 — пробка; 7 — кабель-трос; 8 — провод; 9 — колпачок; 10 — спираль; 11 — контргайка; 12 — прокладка; 13 — газогенератор; 14 — подпятник; 15 — гайка; 16 — шпилька.

служит тросом для спуска и подъема аппарата, соединена с источником тока, расположенным на поверхности земли. Чтобы аппарат был автономным и не зависел от наличия сети напряжением 220 В, в качестве источника питания целесообразно использовать любой аккумулятор напряжением 6 — 12 В, обеспечивающий накаливание спирали. При отсутствии аккумулятора система зажигания может питаться от сети напряжением 220 В через трансформатор, понижающий напряжение до 12 В.

Для герметизации разгонной трубы 3 используется сальник 9, который выполнен в виде крышки с отверстием и внутренней боковой резьбой, прижимающей резиновую пробку с центральным отверстием, через которое проходит провод 8, соединенный с кабелем 7. Внутренняя поверхность разгонной трубы либо выполняется шероховатой, либо на ней устанавливается проволочная спираль, либо нарезается резьба с целью турбулизации горящей газовой смеси и перехода нормального горения в детонацию.

В верхней части разгонной трубы 3 приварены две скобы 4, на которых скруткой из мягкой проволоки крепится кабель 7. К открытому торцу камеры 1 приварен подпятник 14 имеющий вырез,

внутри которого посредством шпильки 16 и гайки 15 устанавливается перфорированный стакан 13 (газогенератор).

Забой скважины очищается от песка и посторонних предметов с помощью эрлифта или желонки при демонтированном водоподъемном оборудовании.

Для создания детонационных взрывов ацетилено-воздушной смеси внутри фильтровой трубы скважины выполняются следующие работы.

1. Проверяются все соединения и контакты электрической цепи, а также устанавливается спираль 10. Для этой цели сальник 9 выворачивается из разгонной трубы 3 и извлекается из нее вместе с пробкой и концом кабеля 7. На иголке диаметром 0,5 — 1,0 мм навивается спираль из 3 — 4 витков из никромовой проволоки диаметром 0,1 мм и концы ее прикрепляются к выводам кабеля, которые присоединяются к источнику постоянного тока. Проверяется степень накаливания спирали. Если спираль перегорает, то следует установить новую с удвоенным числом витков, если же спираль не нагревается докрасна, то необходимо уменьшить число ее витков.

2. Сальник 9 вместе со спиралью 10, резиновой пробкой и кабелем вворачивается в трубку 3, а последняя укрепляется посредством резьбового соединения в крышке 2 взрывной камеры 1. Для предотвращения попадания воды из скважины внутрь камеры 1 соединение герметизируется с помощью паронитовой прокладки

12 и контргайки 11. После выполнения указанных операций целесообразно еще раз проверить накаливание спиралей 10, просмотрев полость взрывной камеры 1 в горизонтальном положении аппарата.

3. Газогенератор 13 заполняется измельченным на куски размером 3 — 7 мм карбидом кальция в количестве M , которое находится из следующей эмпирической формулы: $M=4,0 W$ (г), где W — объем взрывной камеры. После этого газогенератор 13 вводится снизу внутрь взрывной камеры 1 в вырез под пятника 14 и закрепляется в этом положении гайкой 15, расположенной на шпильке 16. Так как газогенератор испытывает при взрыве газовой смеси значительное динамическое воздействие, крепление газогенератора должно быть достаточно надежным. Это относится также ко всем другим элементам аппарата.

4. После выполнения подготовительных операций аппарат на кабеле 7, отключенным от источника тока, опускается в ствол скважины и устанавливается в верхней части фильтровой трубы скважины на расстоянии 0,5 — 1,0 м от сальника, при этом правильность установки аппарата проверяется посредством меток на кабеле, а положение фильтровой трубы и уровень воды определяются по паспорту скважины. В период спуска аппарата карбид кальция реагирует со скважинной водой с образованием ацетилена, который заполняет газовую камеру, смешиваясь с находящимся там воздухом, при этом по мере погружения аппарата газовая смесь уплотняется в связи с увеличением гидростатического давления. Для полного смешивания ацетилена с воздухом требуется 15 — 20 мин, поэтому при фиксиру-

61

ванном положении аппарата через 15 мин после его установки следует к кабелю подключить источник тока, спираль 10 накалится и произойдет взрыв газовой смеси, который сопровождается глухим звуком, образованием буруна на поверхности воды и всплытием сажи. Если взрыв не произошел, необходимо отключить источник тока и снова его включить 3 — 4 раза с интервалом в 1 — 2 мин. Если и через указанный промежуток времени газовая смесь не взорвалась, необходимо аппарат поднять на 5 — 10 м выше и снова включить источник тока. Отсутствие взрыва в этом случае будет свидетельствовать о неисправности электрической цепи аппарата, попадании воды в разгонную трубку или об утечке газовой смеси из взрывной камеры вследствие недостаточной ее герметизации.

5. После взрыва ацетилено-воздушной смеси внутри фильтровой трубы аппарат на кабеле поднимается на поверхность, из взрывной камеры быстро извлекается стакан 13, который освобождается от шлама, образовавшегося при реакции карбида кальция с водой, выворачивается разгонная трубка 3 и в течение 10 — 15 мин производится его вентиляция естественным потоком воздуха с целью освобождения от газообразных продуктов сгорания и насыщения полости аппарата свежим воздухом.

Таким образом в указанной последовательности производится необходимое число взрывов внутри фильтровой трубы через 0,8 — 1,0 м. После этого скважина прокачивается эрлифтом или насосом, измеряются дебит и понижение уровня воды [38].

Результаты обработки скважин

Способ обработки фильтров скважин газовой детонацией используется с 1980 г. в тресте Спецкоммунводстрой при ремонте скважин сельскохозяйственного водоснабжения в центральных районах РСФСР. Общее время обработки определяется из расчета одного взрыва на 1 м фильтровой трубы. С учетом подготовительных операций для его осуществления требуется 30 — 40 мин, т. е. для обработки фильтра длиной 10 м необходимо затратить 5 — 7 ч.

Взрывы газовой смеси производились внутри фильтров сетчатых и с проволочной обмоткой, установленных в мелко- и среднезернистых водоносных породах, расположенных на глубинах, не превышающих 50 м от статического уровня подземных вод. При большой высоте столба жидкости аппарат работает ненадежно. Обработке газовой детонацией подвергались фильтры скважин, извлекающие воду, содержащую ионы Ca, Mg, Fe, что является косвенным признаком кольматации фильтров соединениями этих солей. После взрывов газовой смеси производилась откачка воды из скважин, и наличие в откачиваемой воде шлама из раздробленных частиц этих солей также свидетельствовало о зарастании фильтра нерастворимыми соединениями Ca, Mg, Fe.

Гидродинамическим действием взрывов газовой смеси были обработаны фильтры 22 скважин, находящихся в эксплуатации от 1 года до 6 лет. Опыт применения способа обработки газовой

детонацией показал, что эффективность восстановления производительности скважин в значительной степени определяется длительностью эксплуатации. Так, например, после обработки скважин, эксплуатируемых в течение 6 лет, их производительность повысилась на 15 — 40%, очистка скважин после 5 лет эксплуатации позволила повысить дебит до 30 — 60% от первоначального, обработка скважин, работающих в течение 3 лет, обеспечивала повышение их производительности до 50 — 70%. После одного года эксплуатации обработка фильтров действием газовых взрывов способствовала увеличению производительности скважин на 70 — 90%. В течение 6 — 8 месяцев после обработки все скважины работали устойчиво, после чего их производительность начинала снижаться.

Таким образом, эффективность восстановления производительности скважин, снизивших свой дебит вследствие кольматации фильтров, возрастает с уменьшением длительности их эксплуатации и оказывается весьма незначительной для скважин, находящихся в эксплуатации более 5 — 6 лет, а рациональный межремонтный период работы скважин, обработанных взрывами газовой смеси, составляет 6 — 8 месяцев. Недостатком способа очистки фильтров взрывами газовой смеси является необходимость перезарядки аппарата после каждого взрыва. В то же время этот способ отличается простотой, доступностью, дешевизной, благодаря чему

его можно использовать в производственных организациях, в которых по тем или иным причинам отсутствуют более производительные установки для восстановления производительности водозаборных скважин.

Рассмотрев, импульсные методы восстановления производительности водозаборных скважин, основанные на использовании энергии взрывов твердых ВВ, электровзрывов, пневмовзрывов, газовой детонации, необходимо отметить, что механизм воздействия на фильтр и прифильтровую зону импульсных нагрузок практически не зависит от источника их создания. О сущности явлений, происходящих при взаимодействии импульсных нагрузок со стенками скважин и разрушении осадков, пока существуют лишь качественные представления.

Действие взрывов внутри фильтров скважин при различных источниках их создания усиливается за счет отражения ударных волн от жестких неперфорированных частей поверхности каркасов фильтров. Давление на стенки каркаса при отражении возрастает не более чем в 2 раза по сравнению с максимальным в ударной волне. В результате дифракции ударная волна в отверстии усиливается, а ее давление возрастает, что способствует более эффективному разрушению осадков, перекрывающих перфорации фильтров.

Воздействие ударной волны на каркас фильтра вызывает возникновение в нем упругой волны, распространяющейся в радиальном направлении от места приложения нагрузки, а также колебания каркаса, которые в свою очередь становятся источником импульсных нагрузок в скважинах. При кольматации фильтров и водоносных пород прочными конгломератовидными осадками (с остаточной прочностью $a = 0,5\text{ч}-3,0 \text{ МПа}$) под действием ударной нагрузки

63

и колебательных процессов возникает напряжение, создающее растягивающие усилия, в результате которых в осадках и закольмированых породах образуются трещины. Так, например, по данным В. С. Алексеева, взрыв одной нитки детонирующего шнура вызывает разрушение кольматирующих образований в прифильтровой зоне в радиусе $0,5 — 0,7 \text{ м}$ [2]. Это приводит к тому, что фильтр очищается от твердых осадков не только на участках, расположенных напротив отверстий, но и на глухих участках, не подверженных непосредственному воздействию ударной волны. Для таких отложений характерно хрупкое разрушение.

Если же фильтры и призабойные области закольматированы осадками прочностью $b < 0,5 \text{ МПа}$, например рыхлыми и пластичными отложениями, то действие импульсных нагрузок вызывает в основном хрупкое и пластичное разрушение в результате перемещения частиц в сопутствующем ударной волне гидродинамическом потоке на участках фильтра, расположенных напротив перфораций.

Под действием ударной волны и гидропотока нарушается сплошность прилегающих к фильтру сцементированных водоносных пород, в них образуются трещины, а отложения частично удаляются с участка пласта, прилегающего к водоприемной поверхности фильтров. Так, например, обломки шлама, извлеченные из скважины после обработки каркасного фильтра электровзрывами, имели свежие поверхности сколов, началом образования которых являлись следы существовавших ранее трещин. Это указывает, что импульсные нагрузки вызывают разрушение материалов под действием тангенциальных напряжений, превосходящих силы сцепления и внутреннего трения между частицами отложений [33].

При выборе импульсных методов восстановления производительности водозаборных скважин необходимо учитывать энергетические показатели различных импульсных источников. Так, например, энергия, выделяемая при подводном взрыве 1 м детонирующего шнура ДШ-В, составляет около 70 кДж (тротиловый эквивалент $17 — 18 \text{ г}$). Несмотря на значительные энергетические возможности торпед ТДШ, их применение ограничено трудностью регулирования импульсных нагрузок, действующих на фильтр при взрыве и достигающих 50 МПа. В связи с этим взрывы тротиловых шнурков целесообразно использовать при восстановлении дебита скважин, оборудованных фильтрами в виде трубчатого или стержневого каркаса с фильтром из проволочной обмотки или штампованного листа, способными противостоять без разрушения значительным импульсным нагрузкам.

При газовой детонации единичного импульса составляет около 20 кДж при объеме газовой камеры $1,5 \text{ дм}^3$ (тротиловый эквивалент $5 — 6 \text{ г}$).

Пневматические источники типа АСП-Т при давлении поступающего в рабочую камеру сжатого воздуха 10 МПа обладают запасом энергии на производство единичного выхлопа около 25 кДж на $1,0 \text{ дм}^3$ рабочего объема камеры (тротиловый эквивалент $6 — 7 \text{ г}$).

При использовании пневмовзрывов можно регулировать давление ударной волны при выхлопе сжатого воздуха, что позволяет использовать этот способ при восстановлении производительности водозаборных скважин, работающих в различных гидрогеологических условиях и оборудованных фильтрами различных конструкций.

В электромеханических установках при напряжении разрядного контура $U = 60-70 \text{ кВ}$ и емкости конденсаторов $C = 0,5 \text{ мкФ}$ энергия единичного электрического разряда составляет около 1,25 кДж (тротиловый эквивалент $0,3 — 0,4 \text{ г}$). Несмотря на ограниченные энергетические возможности электровзрывных установок, они обеспечивают многократное импульсное воздействие с управляемыми гидродинамическими параметрами и надежное воспроизведение процесса от импульса к импульсу, что позволяет применять их в широком диапазоне гидрогеологических условий работы скважин, оборудованных различными типами фильтров.

При различных способах импульсной обработки скважин не было ни одного случая изменения качества воды до и после обработки за счет перетекания подземных вод из других водоносных горизонтов, что свидетельствует о сохранении конструктивных элементов и герметичности стыковых соединений.

ПРОСТРЕЛОЧНАЯ ПЕРФОРАЦИЯ

При сооружении и эксплуатации водозаборных скважин применение перфорации до недавнего времени носило случайный характер и ограничивалось единичными операциями в серии аварийных или ремонтных работ в скважинах. Потребность в таких работах вызывалась различными причинами:

- 1) недостаточной гидрогеологической изученностью районов, приводящей к тому, что скважины на проектных глубинах в ряде случаев вскрывают горизонты малой водообильности или с водами неудовлетворительного химического состава, что вызывает необходимость изыскания и вскрытия вышележащих водоносных горизонтов;
- 2) авариями в процессе бурения, например, прихват и обрыв долота, делающий невозможной дальнейшее бурение скважин до проектной глубины;
- 3) наличием ранее пробуренных и не эксплуатируемых низко-дебитных или «сухих» скважин, вскрывающих в разрезе водоносные горизонты, перекрытые обсадной колонной;
- 4) необходимостью ликвидации брака при бурении, связанного с ошибочным перекрытием обсадной колонной зоны перспективного эксплуатационного горизонта.

Серийные кумулятивные и пулевые перфораторы, выпускаемые для нужд нефте- и газодобывающей промышленности [27], по обычной методике их применения чаще всего оказываются непригодными для использования в водозаборных скважинах, имеющих в отличие от нефтяных сравнительно малые гидростатические давления (в по-

Таблица 19 Результаты перфорации гидрогеологических скважин в Московской области

Диаметр обсадной трубы, мм	Интервал перфорации, м	Дебит скважины до перфорации		Дебит скважины после перфорации		Коэффициент эффективности
		л/с	л/(с.м)	л/с	л/(с.м)	
273	108 —	23	4,6	69,4	11,6	2,0
	116 65 —					
	104					
168	168 145 —	10,0	0,7 2,7	34,7	2,7 26,7	3,7 1,0
273	273 165 145 —	25,5	3,0	Не опр.	34,7 18,0	Не опр.
273	273 175 65 —	3,0	2,8	0,3 0,1	12,0 4,2	0,5 0,7
273	70 66 —	1,4 6,9	0,2		9,7 18,0	0,6
	75 46 —					
	58 46 —					
	58 100 —					
	167					

давляющем большинстве скважин до 2,5 МПа) и относительно большие диаметры колонн (до 325 мм и более), а также, как правило, незацементированное в зоне пристрела затрубное пространство и пр. Применение серийных перфораторов в большинстве случаев не обеспечивало качественной перфорации обсадных труб, а иногда приводило к их разрушению или, напротив, давало мало пробитий. Несмотря на некачественную перфорацию обсадных труб, во многих скважинах, вскрывающих устойчивые или крупнообломочные породы, были получены после пристрела положительные результаты по притоку жидкости. В табл. 19 приведены результаты применения перфорации обсадных труб в зоне известняков в разведочных и разведочно-эксплуатационных скважинах на территории Московской области. Целью перфорации было увеличение дебита скважин путем вскрытия дополнительных зон притока.

Устройство кумулятивного перфоратора

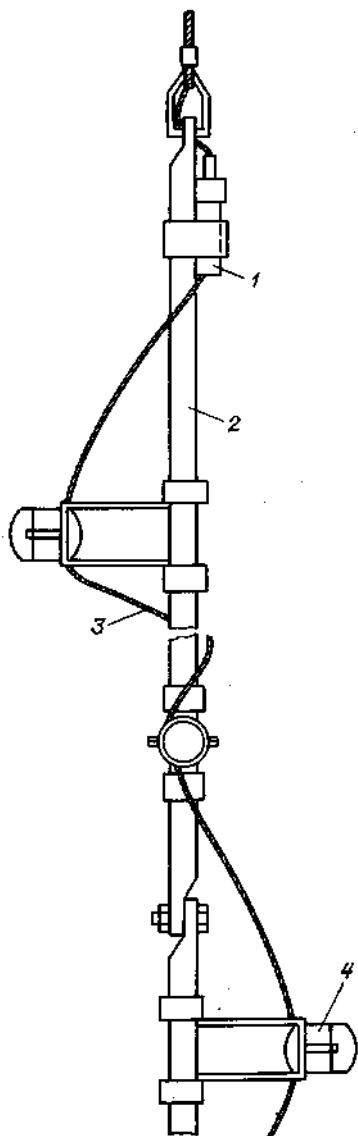
При перфорации скважин на воду целесообразно использовать заряды КПР-50 в герметичных корпусах с кумулятивной шашкой массой 8 г [25].

Был разработан бескорпусный кумулятивный перфоратор ПРВ-280 (рис. 19). В конструкции перфоратора использовались такие же штанги, как в ТДШ-В: из стального прутка диаметром 16 — 18 мм и длиной 1 м. Штанги скреплялись между собой болтами. Крепятся заряды КПР-50 к штангам с помощью специальных обойм и стоек из листов дюралиюминия. Такая система обеспечивает необходимую жесткость крепления, позволяет перфорировать трубы с плотностью от 1 до 10 отверстий на метр колонны и располагать заряды на расстоянии от 38 до 125 мм от штанги, а также менять угол поворота зарядов от 0 до 360°.

Перфоратор работает следующим образом. При подаче тока в цепь, взрывной патрон инициирует взрыв детонирующего шнуря ДШ-В и зарядов КПР-50. Скорость детонации по шнурю составляет примерно 8000 м/с, так что взрыв зарядов происходит практически

Рис. 19. Перфоратор кумулятивный ПРВ-280.

1 — патрон взрывной; 2 — штанга; 3 — шнур детонирующий; 4 — заряд КПР-50.



мгновенно. Заряды имеют выемку, облицованную медной воронкой, и при взрыве образуется тонкая металлическая струя, летящая со скоростью около 8000 м/с и создающая при встрече с преградой давление выше 30 000 МПа. Кумулятивная струя пробивает крышку заряда, обсадную колонну и горную породу, при этом глубина канала в породе средней прочности составляет 50 — 80 мм.

Процесс перфорации труб проверялся на стальной обсадной колонне с внутренним диаметром 143 мм и толщиной стенки 8 мм.

67

Заряд КПР-50 помещался на расстоянии 15 мм от внутренней стенки колонны. Во всех опытах отмечен четкий контур отверстия диаметром 6 — 8 мм и буртик вокруг него на наружной стороне колонны, который способствует задержанию частиц рыхлых водовмещающих пород в связи с образованием фильтрационных сводов над отверстиями.

Применение простреленной перфорации

В табл. 20 приведены результаты применения перфоратора ПРВ-280 в различных эксплуатационных скважинах на территории Пензенской области.

Опыт применения перфоратора ПРВ-280 в водозаборных скважинах показал, что вскрытие обсадных колонн обеспечивает возможность последующей эксплуатации скважин, имеющих водоносные горизонты как в рыхлых, так и в устойчивых породах. Для последующей успешной эксплуатации скважин в рыхлых водовмещающих породах необходимо четкое определение кровли пласта и вскрытие верхних 3 м продуктивного пласта.

В ходе испытаний была отмечена хорошая проходимость перфоратора в стволе; прихватов и зависаний при спусках и подъемах не наблюдалось. Извлекаемые на поверхность после выстрела штанги использовались многократно.

С помощью ПРВ-280 был произведен прострел обсадной колонны диаметром 325 мм в интервале 70 — 90 м в слое известняка скв. 452 на территории кондитерской фабрики им. Бабаева г. Москвы. Плотность перфорации 5 отверстий на метр. В результате прострела дебит скважины возрос с 2,5 м³/ч до 50 м³/ч.

При проведении скважинных испытаний была определена сравнительная эффективность использования в перфораторе ПРВ-280 малых зарядов КПР-50 с массой шашки 8 г и зарядов КПРУ-65-4 и ПКС-80 с массой шашки 20 г и более.

Скважины, обсадные колонны которых были вскрыты большими зарядами, имели средний дебит до перфорации $1,1 \text{ м}^3/\text{ч}$, после перфорации — $10,3 \text{ м}^3/\text{ч}$. На получение дополнительных $124,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ из этих скважин было израсходовано 252 заряда КПРУ-65-4 или ПКС-80, т. е. один заряд обеспечивал в среднем прибавку дебита на $0,5 \text{ м}^3/\text{ч}$. По скважинам, простреленным с помощью перфоратора ПРВ-280 с меньшими зарядами, средний дебит до прострела составлял $1,05 \text{ м}^3/\text{ч}$, а после прострела $14,5 \text{ м}^3/\text{ч}$. На получение дополнительных $215 \text{ м}^3/\text{ч}$ воды было израсходовано 404 заряда КПР-50. Таким образом, один заряд КПР-50 обеспечил прибавку $0,53 \text{ м}^3/\text{ч}$ воды.

Итак, применение более мощных зарядов не увеличивает эффективности перфорации и для водозаборных скважин нецелесообразно. Основным критерием выбора заряда для перфорации обсадных колонн в водозаборных скважинах является не размер пробиваемого отверстия, а обеспечение сохранности колонн. Плотность перфорации

68

Таблица 20

Результаты применения перфоратора ПРВ-280 в скважинах на территории Пензенской области

Характеристика скважины до перфорации	Интервал перфорации, м	Состав водо-вмещающих пород в интервале перфорации	Плотность перфорации на 1 м трубы	Дебит после перфорации, $\text{м}^3/\text{ч}$
Аварийная сухая, обсадной колонны 219 мм, дебит 0 $\text{м}^3/\text{ч}$	0 120 — 125	Пески	3	12
Аварийная, дебит 0 $\text{м}^3/\text{ч}$, обсадной колонны 219, мм	0 180 — 190	Глина с песком	2	15
Аварийная, дебит 0 $\text{м}^3/\text{ч}$, обсадной колонны 273 мм	0 55 — 58	Песчаник с прослойями песков	3	5
Аварийная, дебит 0 $\text{м}^3/\text{ч}$, обсадной колонны 168 мм	0 144 — 150	Песчаник	3	12
Аварийная, повреждение фильтра, запесковала, обсадной колонны 168 мм	0 45 — 49	Пески	3	40
Малодебитная, дебит 2 $\text{м}^3/\text{ч}$, дострел обсадной колонны 0 273 мм, глубина скв. 400 м	0 130 — 135	Песчаник с прослойями песков	2	12
Неудовлетворительный состав воды во вскрытом горизонте, обсадной колонны 168 мм, глубина скв. 404 м	0 40 — 45	Пески	3	Скважина запесковала
Малодебитная, дебит 6 $\text{м}^3/\text{ч}$, глубина 306 м, статический уровень 68 м	0 275 — 290	Известняк	3	15
Безводная обсадной колонны 168 мм, глубина скв. 235 м	0 130 — 140	Пески	3	15
Малодебитная, дебит 3,5 $\text{м}^3/\text{ч}$, обсадной колонны 219 мм, глубина скв. 160 м	0 90,5 — 98,5	Опоки	5	8
Малодебитная, дебит 3 $\text{м}^3/\text{ч}$, обсадной колонны 219 мм, глубина скв. 219 м	0 174 — 179	Слабые песчаники	1 — 2	20

скв. 272 м

Малодебитная, дебит 1 $\text{м}^3/\text{ч}$, 0 обсадной колонны 168 мм, глубина скв. 179 м	42 — 48	Песок крупно-зернистый с галечником	1 — 2	10
Аварийная, дебит 0 $\text{м}^3/\text{ч}$, 0 обсадной колонны 219 мм, глубина скв. 410 м	166 — 172	Слабые песчаники	1	5
Аварийная, дебит 0 $\text{м}^3/\text{ч}$, 0 обсадной колонны 168 мм, глубина скв. 80 м	140 — 143	Пески	1 — 2	5
Малодебитная, дебит 1,5 $\text{м}^3/\text{ч}$, 0 обсадной колонны 219 мм, глубина скв.- 160 м	140 — 160	Опоки	1	8

в 1 — 5 отверстий на метр ствола в подавляющем большинстве случаев является достаточной.

Прострелочно-взрывные работы в водозаборных скважинах нашли признание не только в организациях Мингео СССР, имеющих соответствующие службы, но и в других ведомствах.

Работы по перфорации скважин, в основном сельскохозяйственного водоснабжения, проводились в Калужской, Тамбовской, Белгородской, Пензенской, Воронежской, Рязанской, Московской, Тульской, Смоленской и Брянской областях. В 1981 — 1982 гг. перфорация была проведена в 90 скважинах, суммарный дебит при этом увеличился со 146,2 $\text{м}^3/\text{ч}$ до 1002,5 $\text{м}^3/\text{ч}$.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ УДАР

Способ основан на создании ударной волны и гидропотока, образующихся при движении твердого тела (пули) с высокой, скоростью в жидкости. Для реализации способа разработан скважинный аппарат, схематически представленный на рис. 20 [31].

Аппарат состоит из стандартного стреляющего механизма 3, жестко закрепленного посредством держателей 4 внутри тонкостенного металлического кожуха 10, снабженного перфорированной перегородкой 2, являющейся упором для стреляющего механизма 3. На перегородке 2 закреплен электромагнит 13 с якорем, соединенным тросиком 12 со спусковым крючком 11. Электромагнит 13 соединен кабелем 1 с источником постоянного тока, расположенным вблизи устья скважины.

Кожух 10 соединен посредством стержней-держателей 8 со стаканом 7, заполненным балластом, например песком, для задержания выстреливаемых пуль. Боковая поверхность кожуха обтянута оболочкой 5, выполненной из прочного материала, например армированной капроном резины. Полость цилиндрической оболочки 5 частично заполняется жидкостью 6 так, чтобы ее уровень всегда находился ниже стреляющего механизма 3. Для регулирования ударных нагрузок, передаваемых через оболочку 5 на поверхность фильтра, на стержнях 8 установлен перемещающийся в вертикальной плоскости цилиндр 9. Для обеспечения гидроизоляции устройства отверстие в кожухе 10, через которое проходит кабель 1, имеет сальниковое уплотнение 14.

При подготовке аппарата к работе, в зависимости от прочности фильтровой трубы, цилиндр 9 устанавливается в таком положении, которое обеспечивает необходимое значение давления ударной волны. После этого устройство с заряженным стреляющим механизмом 3 на кабеле 1 опускается в зону фильтра. При замыкании электрической цепи электромагнита 13 его якорь притягивается к сердечнику, передавая через тросик 12 усилие на спусковой крючок 11 стреляющего механизма 3. Кинетическая энергия пули трансформируется в энергию ударной волны, которая, рас-

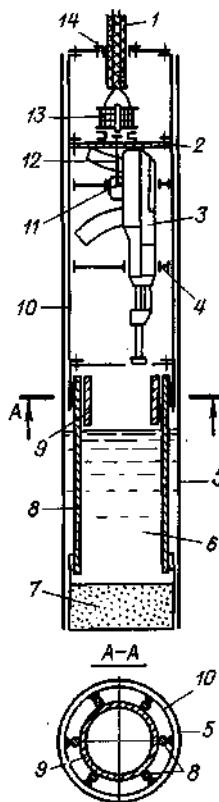


Рис. 20. Аппарат для обработки фильтров выстрелом в воду [Авт. свидет. 532685 (СССР)].

1 — кабель; 2 — перегородка; 3 — стреляющий механизм; 4 — держатели; 5 — упругая оболочка; 6 — жидкость; 7 — нижний стакан; 8 — стержни-держатели; 9 — цилиндр; 10 — кожух; 11 — спусковой крючок; 12 — тросик; 13 — электромагнит; 14 — уплотнение.

пространяясь в радиальном направлении, действует на оболочку 5. Благодаря своей упругости, оболочка 5 перемещается в радиальном направлении со значительным ускорением на малое расстояние. Это вызывает ударную волну в заполняющей скважину воде. После очистки верхнего пояса фильтра аппарат на кабеле 1 опускается на расстояние, определяемое опытным путем. Таким образом фильтр скважины очищается по всей высоте.

Испытания способа очистки гидродинамическим ударом проводились на опытной установке (см. рис. 9), внутри которой был установлен элемент фильтра скважины, представляющий собой перфорированную трубу диаметром 250 мм, длиной 1,5 м, обтянутую сеткой галунного плетения № 18/130. Сетчатая поверхность фильтра покрывалась слоем глины, и фильтр выдерживался в течение суток для уплотнения глинистой корки.

Установлено, что на расстоянии 30 — 40 см от поверхности воды выстреливаемая пуля теряет скорость, а ее кинетическая энергия преобразуется в потенциальную энергию ударной волны и гидродинамического потока, при этом максимальное давление ударной волны, зафиксированное с помощью пьезодатчика, на расстоянии

15 — 20 см от оси фильтра составляло 5 — 6 МПа и быстро уменьшалось при увеличении расстояния от канала, образуемого движущейся пулей в воде. Под действием этого давления глинистая корка разрушалась и диспергировалась, при этом зона эффективной очистки фильтра составляла 30 — 40 см.

Опробован способ при разглинизации сетчатого фильтра скважины, пробуренной роторным способом с промывкой глинистым раствором. Под действием гидродинамических нагрузок, создаваемых выстреливаемыми пулями, происходило разрушение и диспергирование слоя глины, благодаря чему длительность откачки сокращалась в 2 раза, при этом для обработки 1 м фильтровой трубы требовалось произвести 15 — 20 выстрелов, а время обработки 10 м фильтра с учетом перезарядки автомата не превышало 2 ч.

Выстреливающий механизм, заключенный в кожух, может быть также установлен на плаву на поверхности воды в скважине. В этом случае выстреливаемая пуля производит удар по поплавковой камере и создает импульс сжатия, который проходит через ствол воды в скважине и разрушает отложения, кольматирующие фильтр. Такой способ практически не отличается по механизму воздействия на фильтр от способа обработки ударом желонки на поверхности воды, однако при использовании многозарядного выстреливающего механизма отпадает необходимость в весьма тяжелой желонке и подъемном кране, при этом снижаются затраты труда, времени и средств на обработку скважины.

МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

При механических колебаниях в столбе жидкости внутри скважины возникают знакопеременные гидродинамические давления или кавитация, разрушающее воздействие которых с одновременной откачкой

или промывкой скважины вызывает разжижение грунта и вынос из призабойной зоны мелких фракций водоносного пласта (частиц глины или кольматанта).

Механические колебания столба жидкости с частотой до 1000 Гц могут создаваться механическими или гидравлическими вибраторами. Механические колебания с частотой более 1000 Гц создаются ультразвуковыми генераторами различных типов.

При обработке скважин действием механических колебаний разрушаются кольматирующие отложения в прифильтровой зоне, нарушаются структурные связи между кольматантом и водоносной породой и удаляется кольматант в ходе прокачки скважины при незначительном (до 30%) уплотнении пород или гравийной обсыпки. Указанные способы восстановления производительности скважин предпочтительно применять при небольших зонах кольматации пород (до 20 см от стенки фильтра) и слабосцементированных кольматирующих осадках. Такое состояние скважины наблюдается через 12 — 18 месяцев после ремонта.

72

Устройство электромеханических виброустановок

Сущность вибрационного способа восстановления производительности водозаборных скважин заключается в том, что одновременно с промывкой или откачкой скважины на фильтр и прилегающий к нему водоносный пласт воздействуют гидравлические импульсы, которые возбуждаются в столбе воды вибрирующим вдоль продольной оси скважины рабочим органом, представляющим собой трубу с закрепленными на ней дисками (рис. 21). Способ предложен и разработан ВНИИГС совместно с трестом Промбуровод под руководством В. В. Верстова [9].

При лабораторном исследовании процесса вибрационной разглинизации установлено, что интенсивность разрушения глинистой корки на стенках скважины и фильтра определяется возбуждаемым в воде гидродинамическим давлением.

Давление зависит от амплитуды и частоты колебаний рабочего органа, радиального зазора между диском и стенками фильтра, шага расположения дисков, толщины диска, а также от степени кольматации фильтра. Оптимальное гидродинамическое давление лежит в пределах 0,2 — 0,5 МПа. Такое давление возникает в тех случаях, когда рабочий орган совершает колебания с амплитудой 5 — 10 мм при частоте не менее 8,3 Гц и зазоре между дисками и стенками фильтра не более 10 мм. В то же время при частоте колебаний рабочего органа, превышающей 16,6 Гц, потребляемая двигателем виброустановки мощность достигает таких значений, которые в большинстве случаев не могут быть обеспечены имеющимися на буровых площадках источниками энергопитания. Поэтому рекомендуемые для практического использования частоты колебаний рабочего органа должны находиться в пределах 10 — 14 Гц [28]. Этим требованиям удовлетворяют разработанные во ВНИИГС поверхностные виброустановки ВУР-2 и ВУР-3 и погружная виброустановка ВУР-4, показатели которых приведены в табл. 21.

Установки ВУР-2 и ВУР-3 состоят из дебалансного вибратора продольно-направленного действия, установленного посредством направляющих стержней и амортизационных пружин на опорной раме. Привод вибратора осуществляется цепной передачей от электродвигателя. Опорная рама устанавливается на обсадной трубе скважины с помощью патрубка с резиновой диафрагмой, служащей для герметизации устья скважины. При вращении шестерен вибратора, выполненных в виде дебалансов, возбуждаются механические колебания, которые передаются колонне труб, установленному в интервале фильтра рабочему органу и прилегающему к нему столбу воды. Вибрационную обработку скважин целесообразно совмещать с эрлифтной откачкой. Для этого воздух подается в колонну труб, на конце которой установлен смеситель, а водо-воздушная смесь выносится из скважины по кольцевому пространству, образованному эксплуатационной колонной и трубами (рис. 21).

73

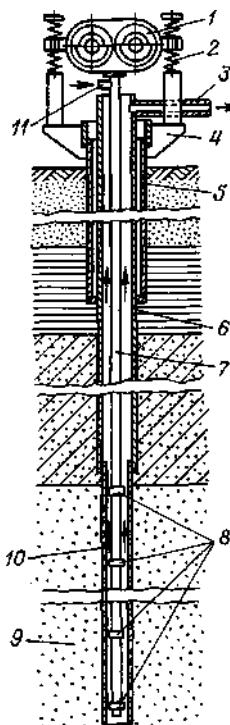


Таблица 21 Технические характеристики виброустановок [28]

Показатели	ВУР-2	ВУР-3	ВУР-4
Предельная глубина обрабатываемой скважины, м	120	250	800
Минимальный диаметр колонны, мм:			
эксплуатационной	168	168	219
фильтровой	114	114	114
Максимальная масса рабочего органа, кг	1000	2000	400
Амплитуда колебаний рабочего органа при его максимальной массе, мм	6	6	7
Частота колебаний рабочего органа, Гц	11,6	11,6	13,3
Мощность приводного электродвигателя, кВт	7,5	13,0	5,5
Масса (без рабочего органа), кг	800	1300	240
Размеры в плане, мм	780X510	1400X680	—
Высота (без рабочего органа), мм	1300	1200	3260
Тип агрегата, которым может работать вибростанция	2	1	1,
			АВО-2 или буровая установка

Рис. 21. Схема вибрационной гидродинамической обработки скважины.

1 — вибратор; 2 — амортизационные пружины; 3 — патрубок для вывода воды со шламом; 4 — опорная рама; 5 — обсадная труба; 6 — эксплуатационная труба; 7 — насосно-компрессор-ная труба; 8 — диски; 9 — водоносная порода; 10 — фильтр скважины; 11 — патрубок для подачи воды или воздуха.

Установки ВУР-2 и ВУР-3 могут быть использованы при обработке фильтров скважин глубиной до 200 м.

Применение поверхностных виброустановок для более глубоких скважин неэкономично, так как значительная масса вибрирующей колонны труб требует вибратора большой мощности.

Погружная виброустановка ВУР-4 подвергает виброрированию не всю колонну труб, а лишь рабочий орган с дисками, что позволяет использовать ее на скважинах глубиной более 200 м. Установка ВУР-4 состоит из глубинного вибратора кинематического типа, выполненного на базе водозаполненного электродвигателя от погружного насоса, заключенного в полый стальной каркас. Электродвигатель передает вращающий момент через зубчатую передачу

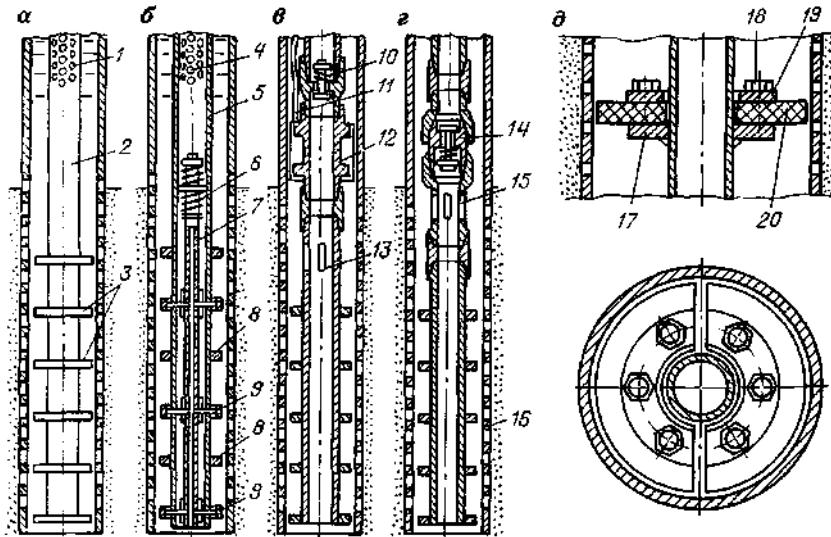


Рис. 22. Схемы вибрационных рабочих органов.

а — с жестко закрепленными стальными дисками; б — со встречным движением дисков; в — с вибронагнетателем; г — с вибронасосом; д — диск с резиновыми полукольцами;

1, 4 — смесители эрлифта; 2 — штанга; 3 — диски; 5 — наружная штанга; 6 — узел пружинной подвески; 7 — внутренняя штанга; 8, 9 — диски, закрепленные соответственно на наружной и внутренней штанге; 10 — клапанный узел вибронагнетателя; 11 — шланг подачи сжатого воздуха к пакеру; 12 — пакерный узел; 13 — отверстия для выхода реагента; 14 — клапанный узел вибронасоса; 15 — приемные отверстия вибронасоса; 16 — фильтровая труба; 17 — опора; 18 — болт; 19 — прижимное кольцо; 20 — резиновое полукольцо.

экцентриковому валу, к которому присоединен рабочий орган, состоящий из штанги с дисками. В случае выполнения рабочего органа с коаксиально расположенным трубами, присоединенным к шатунам вибратора, движущимся в противофазе, может быть получено встречное движение соседних дисков.

Перепад гидродинамических давлений, создаваемых установкой ВУР-4, составляет 0,25 — 0,30 МПа, что является достаточным для эффективной разглинизации фильтра и призабойной зоны водоносного пласта.

Рабочий орган виброустановок представляет собой насосно-компрессорную трубу диаметром 60 — 73 мм, в нижней части которой на длине, равной высоте фильтра, с шагом 0,5 м прикрепляют диски (рис. 22, а) толщиной 10 мм, наружный диаметр которых на 2 — 5 мм меньше внутреннего диаметра фильтра.

Диски выполняются из стальных колец, на которых закрепляют сменные (в зависимости от диаметра фильтровой колонны скважины) резиновые полукольца (рис. 22, д). Такая конструкция дисков позволяет легко монтировать рабочий орган и дает возможность увеличивать эффект гидродинамического воздействия за счет малого (1 — 2 мм) радиального зазора между каркасом фильтра скважины и наружным диаметром дисков. Вибрационный рабочий орган со стальными дисками можно использовать в фильтрах диаметром

75

114 и 127 мм, рабочий орган с резиново-металлическими дисками предназначен для работы в фильтрах диаметром 168, 219, 273 и 326 мм.

Можно также применять рабочий орган, соседние диски которого совершают по отношению друг к другу встречные колебательные движения, обеспечивающие возбуждение в столбе воды импульсов гидродинамического давления встречного направления. Эти импульсы способствуют повышению эффекта очистки фильтра и призабойной зоны скважины.

В случае необходимости в верхней части рабочего органа (над фильтром) могут быть смонтированы специальные клапанные узлы. Одни из них — вибронасос (рис. 22, г) — обеспечивает откачуку воды из скважины без эрлифта.

Вибронасос выполнен в виде подпружиненного обратного клапана, пропускающего воду только в одном направлении — снизу вверх. При возвратно-поступательном движении рабочего органа в воде, заполняющей скважину, создаются попеременные усилия сжатия и разрежения. В момент разрежения жидкость через обратный клапан поступает в трубу, а инерционные силы, возникающие при вибрации, перемещают ее вверх. Вибронасосы, используемые с установками ВУР-2 и ВУР-3, обеспечивают высоту подъема воды 8 — 10 м и подачу до 6 м³/ч.

Вибронагнетатель (см. рис. 22, в) позволяет принудительно нагнетать реагент через фильтр в призабойную

зону и достигать за счет этого значительного эффекта восстановления производительности скважины. Он представляет собой подпружиненный обратный клапан, пропускающий жидкость сверху вниз.

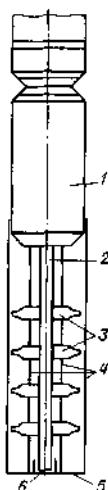
Рабочий орган может быть выполнен также в виде поршня из эластичного материала, прилегающего к внутренней поверхности фильтра. Поршень значительно легче трубы с дисками, и для обработки скважины с поршнем требуется меньшая мощность приводного механизма вибратора. Поршень более технологичен при монтаже вибрационной установки и может быть использован для обработки фильтров любой конструкции. Он обеспечивает большее гидродинамическое давление за счет отсутствия зазора между боковой поверхностью и внутренней поверхностью фильтра и соответственно более высокую степень восстановления проницаемости фильтров и прифильтровых зон водоносных пластов [17].

Вибратор установки ВУР-4, выполненный на базе погружного насоса, имеет сложную кинематическую схему, что затрудняет его изготовление и эксплуатацию. Указанные недостатки частично устранены в вихревом скважинном аппарате, схематически представленном на рис. 23.

Аппарат выполнен на основе устанавливаемого внутри фильтра погружного агрегата типа АП или ЭЦВ с водозаполненным электродвигателем. Вал электродвигателя имеет шлицевое соединение с пропущенной через пяту электродвигателя штангой 2. В месте сопряжения вращающейся штанги 2 с пятой электродвигателя

Рис. 23. Вихревой скважинный аппарат [Аvt. свидет. 947312 (СССР)].

1 — насос; 2 — вал; 3 — пластинчатые лопасти; 4 — стержневой каркас; 5 — опорный диск; 6 — подпятник.



установлено сальниковое уплотнение. На штанге через 0,4 — 0,5 м закреплены радиально расположенные пластинчатые лопасти 3, имеющие на концах криволинейное сужение. Вал 2 с лопастями 3 заключен в стержневой цилиндрический каркас 4, предотвращающий касание лопастями поверхности фильтра. Основание каркаса 4 выполнено в виде диска 5 с подпятником 6 для вала 2.

При обработке скважины аппарат устанавливается на напорной трубе в верхней части фильтра, после чего включается насос 1. При вращении вала 2 на концах его лопастей, имеющих криволинейную форму, происходит образование вихрей. Воздействие вихревых пульсирующих токов воды обеспечивает разрушение, диспергирование и вымывание малопрочных слабосцементированных колматирующих отложений. Одновременно при работе аппарата скважинная вода вместе с находящимся в ней диспергированным шламом, отделившимся от фильтра под действием вихревых пульсирующих токов жидкости, откачивается насосом 1 из скважины и по нагнетательной трубе выносится к устью скважины.

После обработки верхнего интервала фильтра аппарат опускается ниже путем наращивания напорной трубы насоса и производится очистка следующего участка фильтровой трубы. Перемещение аппарата вдоль фильтра соответствует расстоянию от насоса 1 до диска 5. Таким образом фильтр последовательно очищается по всей длине.

Для освоения и текущего ремонта скважин на воду ВНИИГС и трестом Промбуровод разработаны агрегаты АВО (рис. 24). Агрегаты позволяют осуществлять вибрационную обработку фильтра и прифильтровой зоны в сочетании с эрлифтной откачкой и откачкой вибронасосом; спуско-подъемные операции при монтаже (демонтаже) рабочего органа, насосно-компрессорных труб и водоподъемного оборудования; запуск в работу погружных электронасосов

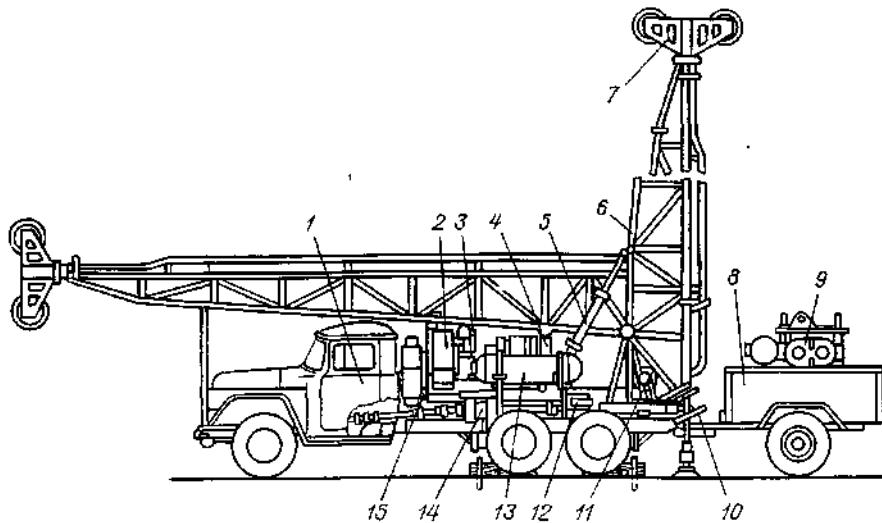


Рис. 24. Самоходный агрегат АБО-1.

1 - базовый автомобиль ЗИЛ-131; 2 — компрессор; 3 — станция управления виброустановкой ВУР-3; 4 - электрический генератор; 5 — гидравлический механизм подъема мачты; 6 — мачта; 7 — кронблок; 8 — прицеп; 9 — виброустановка ВУР; 10 — рычаги управления; 11 — лебедка; 12 — регулятор скоростей; 13 — воздухосборник; 14 — главный трансмиссионный вал; 15 — щит управления генератором.

и их опробование после монтажа в скважине; чистку ствола скважины желонками.

Для этого агрегаты снабжены грузоподъемной лебедкой, монтажной мачтой, электрическим генератором с пультом управления и поршневым компрессором с воздухосборником. Все механизмы смонтированы на шасси автомобиля и имеют привод от его двигателя. Вибрационные установки транспортируют на одноосном прицепе и приводят в работу от электрического генератора агрегата [И]. Эксплуатация агрегатов типа АБО трестом Промбурвод показала, что они успешно решают задачу освоения и текущего ремонта скважин. Один такой агрегат позволяет получить экономический эффект до 20 тыс. руб. в год.

Вибрационная обработка скважин с целью разглинизации или декольматации производится в такой последовательности [9]. В скважине устанавливают вибрационное оборудование и собирают эрлифтную систему, после чего производят откачку воды из скважины эрлифтом с периодическим включением виброустановки на 3 — 5 мин. При возобновлении откачки вслед за окончанием вибрационной обработки следят за содержанием в воде частиц песка и глины.

После того как произойдет осветление воды, виброустановку вновь включают. Если при последующей откачке в воде вновь увеличивается количество частиц глины, то откачку продолжают до осветления воды, а затем еще раз включают виброустановку. Вибрационную гидродинамическую обработку и откачку производят до тех пор, пока после очередного включения виброустановки в воде

Таблица 22 Результаты вибообработки при разглинизации скважин

Местоположение скважины	Г.! у- би- на сква- жин- ы, м	Состав пород водоносного пласта	Вибр- о- установ- ка	Вр- емя рабо- ты вир- а- тора, мин	Продо- лжи- тельнос- ть вибро- бра- ботки, сут	Дебит скважины, м3/ч	
						до вибр- о- обра- ботк- и	пос- ле вибр- о- обра- ботк- и
пос. Громове	12	Песчаник средне- зернистый	ВУР- 3	6	4,0	1,5	5,0
	2						
пос. Лосеве	75	Песчаник мелкозернистый	ВУР- 3	7	1,5	4,5	11, 0
д. Горка	77	Песок разно- зернистый	ВУР- 3	15	0,2	0,5	0,7
пос.	15	То же	ВУР- 3	20	2,0	0,0	10, 0
Солнечное	4						
г. Кингисепп	15	»	ВУР- 3	28	0,5	2,0	5,0
	2						
пос. Ковалеве	42	»	ВУР- 3	13	0,3	0,2	1,0

ст. Заходское *	50	Галечник	ВУР-	20	1,0	1,0	4,3
			4				

* Скважина была пробурена ударно-канатным способом, глинизация водоносного пласта вызвана наличием толщи глин в его кровле.

не будет наблюдаться заметного увеличения количества глинистых частиц. В процессе откачки после каждого включения вибратора измеряют дебит скважины, а динамический уровень воды определяют по показанию манометра компрессора эрлифтной системы.

При использовании вибронасосов гидродинамическую обработку и прокачку скважины выполняют одновременно, виброустановку включают в работу на 20 — 30 мин с перерывами на 10 — 15 мин.

Обработку прекращают в тот момент, когда после очередного включения виброустановки в откачиваемой воде не наблюдается заметного увеличения песчаных или глинистых частиц.

Трест Промбурвод изготавливает 10 установок типа ВУР, 4 агрегата АВО-1 и 5 агрегатов АВО-2, укомплектованных рассмотренным выше оборудованием.

В течение последних лет вибрационная гидродинамическая обработка использована трестом Промбурвод при освоении и восстановлении нескольких сотен скважин.

О существенном сокращении сроков освоения скважин с разглинизацией свидетельствуют данные опытов, в которых после прокачки скважин эрлифтом осуществлялась вибрационная гидродинамическая обработка (табл. 22). Во всех случаях достигнуто значительное увеличение производительности скважин. Опыты показывают, что при вибрационной обработке скважин, пробуренных с глинистым раствором, нет необходимости в применении дополнительных средств, способствующих удалению глинистых частиц из прифильтровой зоны скважины — коагулянтов и флокулянтов.

Вибрационная гидродинамическая обработка оказалась весьма эффективной при декольматации скважин, эксплуатирующихся относительно короткие периоды времени (до 5 лет) и снизившие

Таблица 23

Местоположение и номер скважины	Глубина скважины, м	Состав пород водоносного пласта	Длительность эксплуатации, лет	Виброустановка	Время работы вибратора, мин	при с эксплуа					
						7	5	15	20	12	7,2
ст. Войбокало, 22635	35 65 50	Песок	7 5 9 7 6 4	ВУР-2 ВУР-3 ВУР-3	5						98
г. Воронеж, 32158	27 44 61	разнозернистый		ВУР-2 ВУР-3 ВУР-3	15						220
16070 24456	28311	Песок крупнозернистый			20						80
32271		То же » »			3						

при декольматации скважин Результаты виброобработки

дебит вследствие отложения на фильтрах и в прифильтровых зонах необезвоженных гидроокислов железа. Полевые работы, проведенные трестом Промбурвод в Воронежской области, свидетельствуют о достижении в ряде случаев первоначальной производительности скважин (табл. 23) [12].

Устройство гидравлического вибратора

Установка роторного бурения скважин комплектуются промывочными насосами типа ГР, создающими давление $p = 5-10$ МПа, которые при отсутствии виброустановок типа ВУР могут быть использованы для разглинизации или декольматации скважин. В этом случае в качестве рабочего органа применяется гидравлический вибратор (рис. 25) [34].

Гидравлический вибратор выполнен в виде цилиндрического корпуса 15, внутри которого между фланцами 14 жестко закреплена мембрана 13 из упругой стали или резины. Через мембрану 13 по оси корпуса пропущена труба 16, жестко закрепленная на мембране. На трубе 16 установлен перепускной клапан 17, который перекрывает отверстие 6 в основании корпуса 15. Клапан 17 прижат к седлу пружиной 11, расположенной между направляющей трубкой 10 и кольцом 12, прикрепленным к трубе 16. Подача воды в полость 7 между мембраной 13 и клапаном 17 производится по трубкам 8, сообщающимся с буровой трубой 9, присоединенной к насосу высокого давления, расположенному на поверхности земли вблизи устья скважины.

Под отверстием 6 установлена замкнутая камера 18, через основание которой проходит труба 16, при этом место стыка снабжено сальником 19, предотвращающим утечку воды. Внутри камеры 18 труба 16 имеет на боковой поверхности входные отверстия 5. За пределами камеры 18 на трубе 16 установлены с интервалом 40 — 50 см диски 4, диаметром на 0,5 — 1,0 см меньше диаметра фильтра. Между дисками 4 на боковой поверхности трубы 16 находятся выходные отверстия 3. Труба 16 с дисками 4 заключена в цилиндрический стержневой каркас 2, служащий для предотвращения касания дисками 4 боковой поверхности фильтров. Каркас 2 сверху крепится к корпусу 15, а снизу к опорному диску 1.

Скважинный аппарат монтируется на колонне буровых труб 9 и устанавливается внутри фильтра скважины, после чего вода нагнетается насосом по трубе 9 и трубкам 8 в полость 7. Под действием давления воды мембрана 8 отжимается, и жестко связанный с ней клапан 17 открывает отверстие в днище корпуса 15. Вода

устремляется в камеру 18, входит в отверстие 5, проходит по трубе 16 и выбрасывается из отверстий 3, расположенных между дисками 4.

После этого давление воды в полости 7 падает, и под действием пружины 11 мембрана 13 и клапан 17 возвращаются в начальное положение, перекрывая отверстие в днище корпуса. Затем цикл повторяется в той же последовательности.

При вибрации трубы 16 с дисками 4 в воде, заполняющей фильтр, образуются гидродинамические импульсы с давлением 0,2 — 0,5 МПа. При одновременном воздействии импульсных высокочастотных нагрузок и высоконапорных пульсирующих струй воды кольмати-рующие фильтр и прифильтровую зону отложения разрушаются, диспергируются и выносятся с потоком воды через затрубное пространство.

После обработки первой зоны фильтра, соответствующей длине трубы 16 наращивают колонну труб 9 на указанную длину и производят обработку следующего интервала фильтровой трубы. Таким образом фильтр скважины обрабатывают по всей длине.

Испытания показали, что гидравлический вибратор при давлении 5 МПа и расходе воды 5,0 л/с обеспечивает частоту колебаний 8 — 10 Гц при амплитуде 4 — 6 мм, т. е. имеет такие же параметры, как широко используемые установки типа ВУР.

Испытания опытного образца гидравлического вибратора проводили на скважине, пробуренной на глубину 125 м с промывкой глинистым раствором плотностью 1,1 — 1,2 г/см³ (водоносный горизонт — мелкозернистый песок с прослойками глины). Скважина в интервале 105 — 120 м была оборудована сетчатым фильтром диаметром 168 мм. Для подачи воды в гидравлический вибратор по колонне напорных труб диаметром 37 мм был использован промывочный насос типа ИГР производительностью $Q=300$ л/мин и давлением $p = 5$ МПа, входящий в комплект буровой установки.

После промывки скважины в течение 2-х суток производилась откачка воды насосом до окончательного ее осветления, при этом

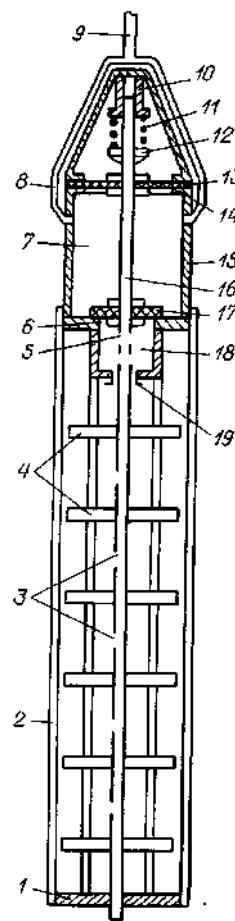


Рис. 25. Гидравлический вибратор для обработки фильтров [Авт. свидет 966174 (СССР)].

1 — опорный диск; 2 — стержневой каркас; 3 — выходные отверстия; 4 — диски; 5 — входные отверстия; 6 — отверстие; 7 — полость; 8 — распределительные трубы; 9 — бурильная труба; 10 — направляющая трубка; 11 — пружина; 12 — опорное кольцо; 13 — упругая мембрана; 14 — фланцы; 15 — цилиндрический корпус; 16 — труба; 17 — клапан; 18 — замкнутая камера; 19 — уплотнение.

дебит достиг $8,0 \text{ м}^3/\text{ч}$. Затем насос был извлечен из скважины а внутри фильтровой трубы был установлен вибратор. Было проведено 5 циклов виброобработки с интервалом 3 м и длительностью 3 мин каждый с одновременной промывкой рабочей поверхности пульсирующими струями воды. В процессе виброобработки

из скважины поступала вода, содержащая глинистые частицы и мелкий песок.

После извлечения гидравлического вибратора в скважине вновь был установлен погружной насос, и в течение 5 ч производилась откачка воды до окончательного ее осветления, при этом дебит достиг $12,4 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Таким образом, результаты испытаний подтвердили работоспособность гидравлического вибратора и возможность получения таких параметров виброравнения, которые обеспечивают эффективную разглинизацию скважин на воду. Не вызывает сомнений возможность использования гидравлического вибратора для разрушения и измельчения слабосцементированных кольматирующих отложений. Такой аппарат не требует источника электроэнергии и сжатого воздуха, имеет простое устройство, высокую надежность и может быть изготовлен непосредственно в организациях, которые занимаются сооружением и ремонтом водозаборных скважин. Гидравлический вибратор может работать при наличии некоторого запаса чистой воды, которая не всегда имеется на строительной площадке.

Устройство магнитострикционной установки

Акустический способ освоения и регенерации скважин на воду основан на способности звукового поля, создаваемого внутри фильтра, нарушать связи между частицами кольматанта, а также отслаивать кольматирующие образования от поверхностей, на которых они находятся в виде слабосцементированного или пастообразного осадка. Акустические колебания вызывают в скважинной жидкости кавитацию (создание импульсов высокого давления в результате захлопывания парогазовых пузырьков), акустические потоки, звуковое давление, составляющее $0,15 — 0,3 \text{ МПа}$, активно воздействующие на кольматирующие отложения.

Акустический способ обработки скважин разработан в НИИ оснований и подземных сооружений под руководством А. Б. Мещанского [28].

Для реализации акустического способа регенерации скважин создана установка УЗРС, смонтированная на автоприцепе грузоподъемностью 4 т. В комплект установки входят генератор тока высокой частоты ВПЧ-30/8000, щит управления и контроля, электролебедка с силовым кабелем типа КРПТ для питания излучателей ультразвукового снаряда, центробежный насос для водяного охлаждения преобразователя частоты, проволочный ерш для обработки внутренней полости фильтра, два резиновых шланга длиной по 150 м, вентилятор и электронагреватель.

Основным рабочим органом установки является ультразвуковой снаряд (рис. 26). Он состоит из двух магнитострикционных излучателей 7, соосно закрепленных на стальной опорной трубе 8. Излучатели представляют собой полые цилиндры, набранные из плоских никелевых колец толщиной $0,1 — 0,2 \text{ мм}$. Внешний диаметр излучателя 220 мм, внутренний 150 мм, высота активной части 250 мм. Резонансная частота питающего тока 8 кГц. Обмотка излучателей выполнена в закрытых вертикальных пазах.

Излучатели сверху и снизу ограничены пневматическими паке-рамами 1 с резиновыми оболочками, закрепленными на опорной трубе 8. Между излучателями и трубой имеется полость шириной 30 мм. Участок трубы между пакерами перфорирован отверстиями диаметром 18 мм. Общая длина снаряда 1500 мм, внешний диаметр (излучатели и пакеры) — 240 мм. Длина рабочей части 750 мм.

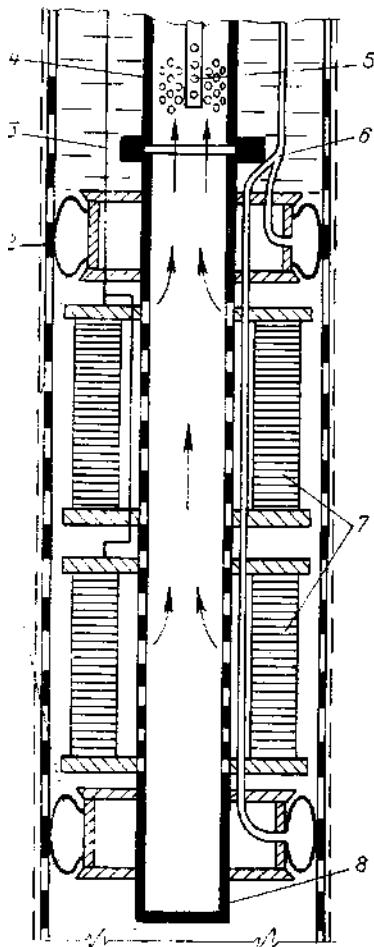


Рис. 26. Схема установки ультразвукового снаряда в фильтре скважины.

1 — пневматические пакеры; 2 — фильтр; 3 — электрический провод; 4 — водоподъемная труба; 5 — смеситель эрлифта; 6 — шланг; 7 — магнитострикционные излучатели; 8 — опорная труба.

Технические характеристики установки УЗРС

Предельная глубина обработы- 120 — 130

ваемой скважины, м Диаметр фильтровой колонны 273

обрабатываемой скважины, мм Потребляемая мощность, кВт 25

Потребляемый ток:

напряжение, В 380

сила тока, А 35 — 40

частота, Гц 50

Длительность обработки фильтра

(в зависимости от степени

кольматации), ч 1,5 — 3

Количество обслуживающего

персонала, чел 2

Масса установки, т 7

Снаряд устанавливается на колонне водоподъемных труб 4.

Провод 3 обмоток излучателей подсоединяется к силовому высокочастотному кабелю установки, а пневматические пакеры — к резиновому шлангу. Кабель и шланг закрепляются на колонне водоподъемных труб.

Предварительные испытания были проведены на водопонизительной скв. 48 на Каневской ГЭС, находящейся в эксплуатации 5 лет. Начальный дебит скважины составлял $36 \text{ м}^3/\text{ч}$, а перед обработкой $17,1 \text{ м}^3/\text{ч}$. Причиной снижения дебита явилась кольматация скважины гидроокислами железа. Внутренняя полость скважины была очищена проволочным ершом. Затем в скважину было подано $1,5 \text{ м}^3$ 0,5%-ного раствора ПАВ марки ОП-10 с целью предотвращения коагуляции частиц кольматанта после его диспергирования ультразвуком.

Обработка фильтра производилась сверху вниз по интервалам высотой 0,5 м. Время обработки одного интервала 20 мин. Эрлифт включался на последние 10 мин. Пульпа, удаляемая из скважины, содержала большое количество взвешенных частиц и пены, образовавшейся в результате действия ПАВ. Дебит после обработки, определенный тем же насосным оборудованием, составил 80% от первоначального, что на 76% больше, чем перед обработкой.

На дренажной системе Сарбайского карьера обработка ультразвуковым способом была осуществлена на скв. 518, которая эксплуатировалась более 13 лет. После обработки внутренней полости скважины ершом была произведена чистка ее от осадка эрлифтной откачкой без гидравлического размыва, что не дало хороших результатов. Была проведена поинтервальная обработка 5 участков фильтра общей высотой 3,5 м. Длительность обработки одного интервала 15 мин. В пульпе содержался кольматант черного цвета. После обработки дебит скважины составил $5 \text{ м}^3/\text{ч}$, что в

2,5 раза превышает значение дебита до обработки.

На дренажной системе Соколовского карьера были обработаны ультразвуковым способом еще 2 скважины, сильно закольматированные гидроокислами железа. У скв. 173 начальный дебит составлял $10 \text{ м}^3/\text{ч}$, а перед обработкой $9,8 \text{ м}^3/\text{ч}$. После обработки ультразвуковым способом дебит скважин увеличился до $13,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ (очевидно, за счет не только декольматации, но и разглинизации скважины). Скв. 174 имела начальный дебит $10 \text{ м}^3/\text{ч}$, а перед обработкой

$2,6 \text{ м}^3/\text{ч}$. После обработки дебит возрос до $3,8 \text{ м}^3/\text{ч}$, что составило 38% от первоначального.

На Киевском водозаборе г. Курска при помощи ультразвука проведена обработка скв. 41. К началу работ ее удельный дебит составлял $3,3 \text{ м}^3/\text{ч}$ (37% от первоначального). Весь отстойник и нижний участок фильтра были заилены до глубины 27,3 м. Внутренняя полость скважины и отстойника была очищена ершом с эрлифтной откачкой. Затем была проведена поинтервальная обработка фильтра ультразвуком. Время обработки одного интервала 10 — 18 мин в зависимости от насыщенности пульпы веществом кольматанта. После обработки скважины удельный дебит увеличился до $6,3 \text{ м}^3/\text{ч}$ (90% от начального) [28].

Устройство гидродинамического и газоструйного аппаратов

Установка для создания акустических полей внутри скважины типа УЗРС, выполненная на основе магнитострикционного преобразователя, имеет сложное устройство, высокую стоимость, значительную массу, что ограничивает возможности ее применения. Скважинные аппараты, создающие акустические колебания под действием упругой струи жидкости, разработанные в ЛИСИ, просты по устройству, дешевы, компактны, позволяют совместить обработку акустическими колебаниями с промывкой, используют промывочные насосы, которыми укомплектованы установки роторного бурения.

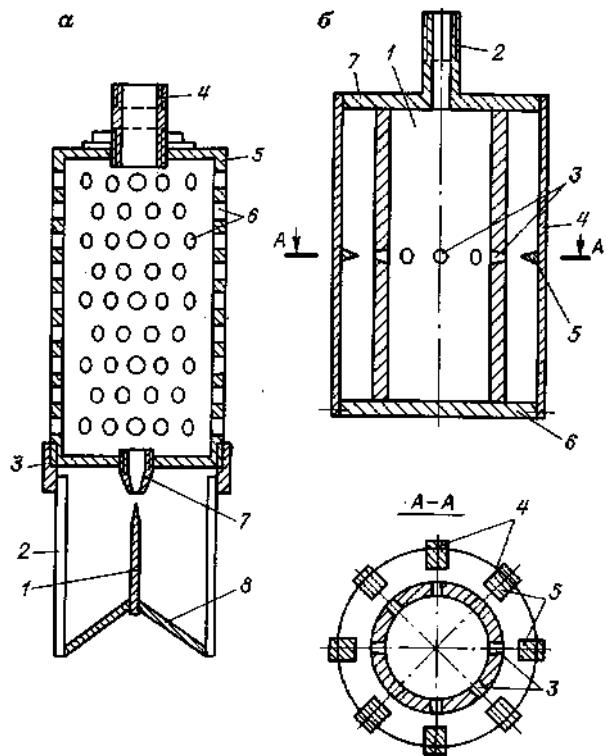


Рис. 27. Гидродинамические излучатели для акустической обработки фильтров [Авт. свид. 637497 и 859557 (СССР)].

о — с одностержневым колебательным устройством: 1 — резонансная пластина; 2 — стержневой каркас; 3 — муфта, 4 — бурильная труба. 5 — цилиндрическая камера, 6 — отверстия, 7 — сопло, 8 — опорный диск (экран);

б — с многостержневым колебательным устройством: 1 — цилиндрическая камера. 2 — труба, 3 — отверстия, 4 — резонансные пластины. 5 — выступы, 6 — нижняя крышка, 7 — верхняя крышка.

Аппарат с одностержневым резонансным устройством схематически представлен на рис. 27, а [41]. Он состоит из цилиндрической камеры 5, диаметр которой на 2 — 3 см меньше диаметра фильтровой трубы скважины. На боковой поверхности камеры находятся отверстия диаметром 0,4 — 0,6 см с шагом 3 — 5 см. Камера посредством бурильной трубы 4 присоединена к промывочному насосу, расположенному на поверхности

земли вблизи устья скважины. В центральном отверстии диаметром 10 — 12 см на дне камеры установлен конический насадок 7. На нижнюю часть камеры навинчена муфта 3, к которой прикреплены стержни-держатели 2 с экраном 8, выполненным в виде конуса, на вершине которого закреплена заостренная резонансная пластина 1 длиной 0,4—0,5 м, выполненная из материала с максимальным модулем упругости (титана, стали У7 и т. п.).

Для обработки фильтровой трубы в камеру насосом под давлением 1 — 2 МПа подается вода. Большая часть воды выбрасывается

в радиальном направлении в виде струй высокого давления, которые размывают глинистую корку. Часть воды вытекает с большой скоростью из насадки 7 и, попадая на пластину 1, вызывает возникновение вихрей. В результате изменения давления в зоне вихрей возникают резонансные колебания пластины, которая начинает излучать акустические колебания. Воздействие колебаний на осадки, закупоривающие проходные отверстия фильтров, вызывает их разрушение и диспергирование.

Эффективность обработки скважин возрастает за счет вытекающей из насадки воды при взаимодействии с экраном растекающейся в виде радиальных потоков.

После очистки первой зоны буровая труба наращивается, и аппарат устанавливается в таком положении, чтобы радиальные струи воды, выбрасываемые из отверстий, воздействовали на фильтрующую поверхность, предварительно обработанную акустическими колебаниями. И этот аппарате упругая пластина расположена на достаточно большом расстоянии от поверхности фильтра, в связи с чем акустические колебания доходят до нее значительно ослабленными. Кроме этого пластина имеет ограниченную излучающую поверхность и не обеспечивает равномерного поля излучения, так как колебания производятся только в одной плоскости.

Указанные недостатки частично устранены в аппарате со многостержневым резонансным колебательным устройством, схематически представленным на рис. 27, б [41]. Аппарат состоит из замкнутой толстостенной камеры 1, присоединенной посредством буровой трубы к насосу, расположенному на поверхности земли вблизи устья скважины. На боковой поверхности камеры 1 просверлены по центральному кольцевому поясу конические отверстия 3 диаметром 0,8 — 1,0 см, напротив которых установлены вертикально по окружности стержни 4, имеющие на уровне кольцевого пояса выступы 5. Стержни 4 длиной 0,6 — 0,8 м, выполнены из упругого материала, закреплены по краям нижней крышки 6 и верхней крышки 7.

При работе аппарата в камеру 1 подается вода под давлением 1 — 2 МПа. Струи воды высокого давления, выбрасываемые из отверстий 3 и направленные на заостренные выступы 5, разбиваются о них и вызывают акустические колебания стержней 4 и прилегающего к ним слоя воды.

По сравнению с ранее описанным устройством в этом аппарате стержни имеют значительно большую суммарную излучающую поверхность и находятся в непосредственной близости от поверхности фильтра. Этим обеспечивается значительно большая мощность излучения и соответственно более высокая степень разрушения и диспергирования осадков, колматирующих фильтр. Эффект очистки усиливается за счет динамического воздействия на фильтр отраженных от стержней 4 струй воды.

Исследования гидродинамических излучателей проводились на опытной установке (см. рис. 9). При проведении каждого опыта сетчатая поверхность фильтровой трубы покрывалась слоем глины

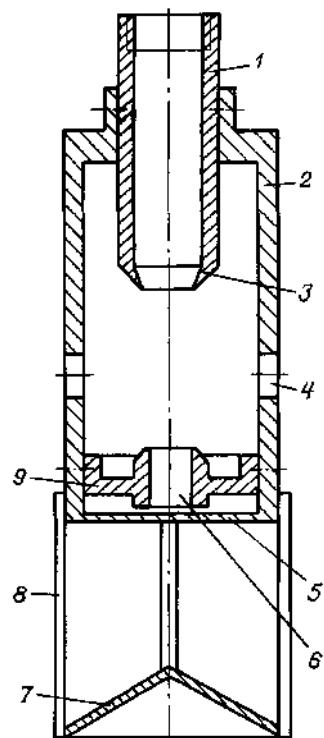


Рис. 28. Газоструйный излучатель для обработки фильтров [Авт. свид. 1105582 (СССР)].

1 — воздушная труба эрлифта; 2 — цилиндр; 3 — сопло; 4 — отверстия; 5 — упругая диафрагма, 6 — резонатор; 7 — отражатель; 8 — стержни; 9 — кольцо.

Таблица 24

Результаты испытаний устройств для обработки фильтров

Основные параметры обработки	Гидравлический ерш	Пластинчатый	Стержневой
Давление воды в аппарате, МПа	1,0	1,0	1,0
Расход воды, л/с	5,5	5,5	5,5
Скорость истечения струй воды, см/с	420	600	1400
Эффективность очистки фильтра, %	90	90	90
Длительность обработки фильтра, мин	15 — 18	12 — 15	6 — 9
Расход воды на обработку фильтра, м ³	6,6	5,3	4,2
Затраты электроэнергии на обработку фильтра, кВт	2,0	1,6	1,1

толщиной 5 — 8 мм и в таком состоянии фильтр выдерживался в течение суток с целью уплотнения глинистой корки. Искусственно закольматированный фильтр очищался либо гидравлическим ершом, либо аппаратом с пластинчатым излучателем, либо аппаратом с многостержневым излучателем при подаче в них воды поршневым насосом типа ТП-8. Усредненные результаты исследований представлены в табл. 24. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что каждое из испытываемых устройств способно обеспечить разглинизацию фильтров скважин, но при использовании аппаратов с резонансными гидроакустическими устройствами значительно сокращается время обработки.

Акустические колебания могут быть также созданы газоструйным скважинным аппаратом (рис. 28), использующим энергию сжатого воздуха. Аппарат монтируется на воздушной трубе эрлифта и уст-

авливается в верхней части фильтра скважины. От компрессорного агрегата подается под давлением 0,6 — 0,8 МПа сжатый воздух, который проходит через воздушную трубу 1, вытесняет воду из цилиндра 2 и вытекает из сопла 3. Попадая в расположенный соосно с соплом 3 резонатор 6, выполненный в виде стакана, струя тормозится, и между соплом и резонатором возникает участок уплотнения газа.

Когда давление в резонаторе 6 становится равным давлению на его входе, воздух начинает вытекать из резонатора навстречу основной струе, а уплотнение приближается к резонатору. Взаимодействие постоянно существующего потока и периодически действующего обратного потока из резонатора вызывает пульсацию давления газа в промежутке резонатор — зона уплотнения, т. е. генерацию звуковых колебаний. С такой же частотой начинает колебаться и упругая диафрагма 5. Перед спуском в скважину производится настройка резонатора 6 путем его перемещения по высоте цилиндра 2, что позволяет добиться максимальной интенсивности излучения звука диафрагмой 5. Звуковые колебания передаются диафрагмой в полость заполненной водой фильтровой трубы скважины, отражаются от диска 7 и действуют на закольматированную поверхность фильтра. Под действием этих колебаний кольматант разрушается, диспергируется и выносится фильтрационным потоком внутрь фильтровой трубы. Одновременно с генерацией звуковых колебаний воздух выходит из отверстий 4 в виде пузырьков, которые захватывают вместе с водой частицы кольма-танта и выносят их через ствол скважины на поверхность.

После обработки первого участка фильтровой трубы, равного расстоянию от упругой мембранны 5 до отражателя 7, производится наращивание воздушных труб, аппарат опускается ниже и обрабатывается следующий интервал фильтра.

Исследования, проведенные в лабораторных условиях на опытной установке {см. рис. 9}, показали, что при подаче воздуха под давлением 0,3 — 0,4 МПа в аппарат с газоструйным излучателем обеспечивается частота колебаний мембранны до 1000 Гц, сила звука до 1,0 Вт/см² и амплитуда давления до 0,01 МПа. Под действием акустических колебаний слой глины толщиной 3 — 5 мм интенсивно разрушается и отделяется от сетчатой поверхности в течение 2 — 3 мин на участке, расположенном между мембранный и отражателем.

Таким образом, испытания гидродинамического и газоструйного аппаратов свидетельствуют о возможности их применения для очистки фильтров скважин, закольматированных частицами глины или малопрочными

осадками.

КОМБИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ

В большинстве случаев импульсная обработка водозаборных скважин обеспечивает значительное приращение дебита. Однако об эффективности того или иного метода обработки можно судить

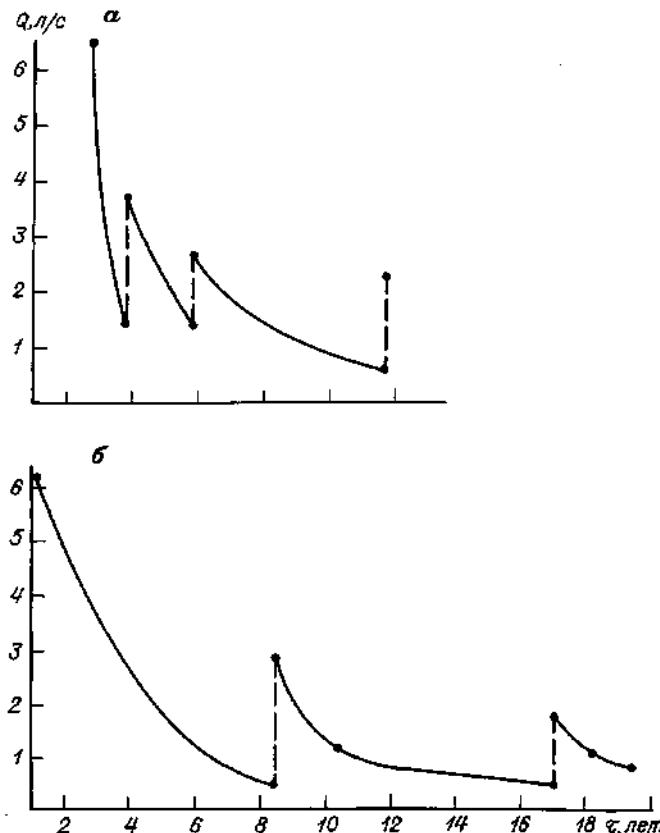


Рис. 29. Графики изменения дебита скв. 284 (а) и 297 (б) Ульяновского дренажа при эксплуатации с периодической взрывной обработкой.

не только по изменению дебита до и после гидродинамического воздействия на фильтр и прифильтровую зону, но и по устойчивости дебита в процессе эксплуатации в последующий период.

На рис. 29, а представлен график работы скв. 284 Ульяновского дренажа с момента ее ввода в эксплуатацию с дебитом 6,6 л/с. Спустя 1,5 года дебит упал до 1,4 л/с и скважина подверглась операции торпедирования, повторявшейся трижды на протяжении 10 лет. Ввиду пескования скважина закрыта через 2 года после последней взрывной обработки. Такая же картина работы скв. 297 в затухающем режиме после двукратной взрывной обработки представлена на рис. 29, б.

В результате исследования устойчивости работы водопонизительных скважин Лебединского карьера КМА установлено, что их производительность через месяц после ЭГ-обработки уменьшалась до первоначальной, а через год скважины снизили свою производительность в среднем на 52% по сравнению с достигнутой в результате ЭГ-обработки. Наблюдения за скважинами в Ярославской и Николаевской областях, а также в районе г. Вильнюса подтвердили малую устойчивость их дебита во времени после обработки ЭГ-способом.

Подобное явление также характерно для скважин, обработанных пневмовзрывами (рис. 17). Так, например, после обработки 33 скважин Киевского водозабора г. Курска их производительность через 8 месяцев снизилась в среднем на 65% относительно достигнутой и соответствовала наименьшей производительности, зафиксированной до обработки [17]. На том же водозаборе в результате ультразвуковой обработки удельный дебит одной скважины увеличился до 89,5% относительно первоначального. Через 7 месяцев дальнейшей эксплуатации удельный дебит скважины снизился на 56% по сравнению с достигнутым при обработке, что на 27% ниже удельного дебита до ультразвуковой обработки [28].

Интенсивное снижение производительности скважин объясняется следующим образом. Воздействие импульсных нагрузок при различных источниках их создания вызывает разрушение и диспергирование прилегающих к фильтру пород и образование большого количества трещин, обеспечивающих приток воды в скважину в начальный период эксплуатации после обработки фильтра. Под действием ударной волны и гидропотока зерна породы не очищаются от гидроокисных и карбонатных пленок, а отложившиеся в процессе эксплуатации-скважин соли частично остаются в поровом пространстве и являются центрами кристаллизации, способствующими последующему интенсивному образованию и отложению осадка во вновь образованных трещинах. При возобновлении эксплуатации скважин происходит зарастание солями порового пространства,

имеющего после импульсной обработки значительно более развитую поверхность и содержащего зерна, обладающие каталитическими свойствами, в результате чего происходит повторное снижение проницаемости пород в прифильтровой зоне. Реагентные методы воздействия также не всегда обеспечивают эффективную обработку скважин, так как проникновение реагента в плотно сцепленную зону пласта затруднено из-за низкой ее проницаемости и фильтрационной неоднородности прифильтровой зоны.

Для увеличения продолжительности эксплуатации некоторых скважин с высоким дебитом целесообразно использовать комбинированные методы очистки скважин, сочетающие воздействие импульсных нагрузок с последующей или одновременной реагентной обработкой. Под действием импульсных нагрузок конгломерато-видные водонепроницаемые структуры разрушаются, создаются дополнительные трещины, увеличивается контакт реагента с цементирующими осадками и обеспечивается более глубокое проникновение реагента за контур фильтра за счет интенсификации массообмена между растворителем и кольматантом и лучшего отвода растворенных веществ от зоны контакта. Это способствует более полному извлечению кольматирующих образований из прифильтровой зоны скважины и эффективному восстановлению структуры и пористости водоносной породы, а также увеличению межремонтного периода работы скважин. Головной организацией по разработке и внедрению реагентных и комбинированных методов обработки скважин является ВНИИВОДГЕО.

Технология реагентной обработки

Реагентные методы восстановления производительности скважин основаны на растворении кольматирующих соединений и удалении продуктов реакции за пределы скважины обычно путем откачки [4].

Для регенерации скважин наиболее широко применяется соляная кислота НС1, эффективно растворяющая железистые $[Fe_2O_3, Fe(OH)_3, FeS]$ и карбонатные $(CaCO_3, MgCO_3)$ кольматирующие образования. Оптимальная концентрация кислоты 25 — 30%, при этом процесс растворения интенсифицируется нагревом кислоты до 50 — 60° С.

Более удобны в транспортировке и непосредственном использовании порошкообразные реагенты: бисульфат натрия $NaHSO_4$, сульфаминовая кислота MH_2O_3H , солянокислый гидразин N_2H_4-2HCl . Приготовление кислотных растворов в стволе скважины возможно также при помощи газообразных реагентов НС1, CO_2 и SO_2 [2, 28]. Их растворение приводит к образованию в фильтре скважины соляной, угольной и сернистой кислот, растворяющих кольматирующие образования. Растворы указанных реагентов-нейтрализаторов при взаимодействии с кольматирующими образованиями и конструктивными элементами фильтра обладают следующими свойствами, которые необходимо учитывать при обработках:

- 1) образующиеся газы CC_2, H_2S при обработке способны вызвать газлифтный подъем раствора по стволу скважины с выбросом на поверхность и опасную загазованность шахтных колодцев и помещений насосных станций;
- 2) возможность растворения неустойчивых конструктивных элементов скважин (медной, оцинкованной фильтрующих сеток и стальной проволочной обмотки, вяжущего вещества фильтров блочного типа, карбонатной составляющей гравийной обсыпки и блоков и др.);
- 3) корродирующее воздействие на металлические конструктивные элементы скважин;
- 4) возможность закупоривания порового пространства прифильтровой зоны продуктами коагуляции растворенного кольматанта при нейтрализации раствора в процессе обработки.

Это предопределяет необходимость тщательной герметизации устья скважины при обработках, введение в раствор ингибиторов коррозии металлов и стабилизирующих добавок. Работа с жидкими и газообразными реагентами требует соблюдения специальных мер

Таблица 25

Условия применения различных видов реагентов и их оптимальные концентрации, по В. С. Алексееву (2)

Реагент	Концентрация, %	Состав кольматанта	Устойчивость металлического фильтра и обсыпки к кислотам
Состав НС1	20,0 — 25,0	$Fe_2O_3, Fe(OH)_3, FeCO_3$	Кислотоустойчивы
N_2H_4-2HCl	8,0 — 10,0	$FeS, CaCO_3$	
$NaHSO_4-H_2O$	5,0 — 7,0	$Fe_2O_3, Fe(OH)_3, FeCO_3, FeS$	
$Na_2S_2O_4$	6,0 — 8,0	$Fe_2O_3, Fe(OH)_3$	Фильтр неустойчив, обсыпка содержит известковистые соединения
НС1	20,0 — 25,0	$Fe_2O_3, Fe(OH)_3$	Кислотоустойчивы
$Na_3P_3O_10$	0,8 — 0,5	$FeCO_3, FeS$	

$\text{N}_2\text{H}_4\text{-2HCl}$	8,0 — 10,0			
$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$	0,1			
$\text{NaHSO}_4\text{-H}_2\text{O}$	5,0 — 7,0			
$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$	0,1			
HCl	5,0 — 10,0	$\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Fe}(\text{OH})_3,$	Кислотоустойчивы	
$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$	2,5 — 3,0	$\text{FeCO}_3,$	$\text{FeS},$	
		CaCO_3		

безопасности при транспортировке, хранении и приготовлении растворов.

Более слабое корродирующее воздействие на металлические конструктивные элементы скважин оказывает дитионит натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$, который при концентрации 6 — 8%, pH среды 6 — 8 и температуре не выше 18° С практически полностью растворяет дегидратированные оксиды и гидрооксиды железа [5].

Для восстановления дебита скважин с конструктивными элементами, неустойчивыми в кислотах, можно применять комплексо-образующие порошкообразные реагенты [триполифосфат натрия $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_10$ и гексаметафосфат натрия $\text{Na}_6(\text{PO}_3)_6$], оптимальная концентрация растворов которых составляет 6 — 8%. При обработке скважин этими реагентами не образуется газов, способных вызвать газлифтный подъем раствора по стволу скважины, что значительно упрощает производство работ. Полифосфаты также являются замедлителями процесса коррозии и при низких концентрациях стабилизируют водные растворы и предотвращают выпадение солей. Условия применения различных реагентов и их оптимальные концентрации приведены в табл. 25.

Концентрированная соляная кислота насосом закачивается в герметизированную скважину непосредственно в фильтр при открытом вентиле на сбросной линии. Растворы из порошкообразных реагентов могут быть приготовлены в заливочной емкости или непо-

Таблица 26 **Необходимое количество реагента для обработки 10 м фильтра**

Диаметр фильтра, мм	27%-ная соляная кислота, л	Бисульфат натрия, кг	Дитионит натрия, гидразин солянокислый, кг
306	1200 — 1500 600 — 700	<u>100 — 120</u>	<u>120 — 140</u>
268	1000 — 1200 500 — 600	<u>80 — 100</u>	<u>100 — 120</u>
209	800 — 1000 400 — 500	<u>60 — 80</u>	<u>80 — 100</u>
156	600 — 800	<u>40 — 60</u>	<u>60 — 80</u>

Примечание. В числителе указано количество реагента при подаче раствора в герметизированную на устье скважину, в знаменателе — при подаче раствора в герметизированный фильтр.

средственно в стволе скважины. Для этого в фильтр скважины опускают воздухопроводные трубы и подают сжатый воздух от компрессора под таким давлением, которое исключало бы выброс воздушно-водяной смеси на поверхность. В бурлящую воздушно-водяную смесь постепенно засыпают необходимое количество реагента. После 5 — 10-минутного перемешивания прекращают подачу сжатого воздуха и извлекают воздухопроводные трубы [4].

Перед обработкой скважин необходимо определить химический состав кольматанта. Пробу осадка можно отобрать с водоподъемного оборудования, из отстойника после механической чистки скважин, а также с поверхности фильтра, извлеченного из скважины.

Реагент для химической обработки скважин выбирается в зависимости от состава кольматанта и устойчивости конструктивных элементов скважины против агрессивного воздействия реагента (см. табл. 25).

Необходимое количество реагента для оптимальной концентрации раствора определяется по табл. 26 [28]. Приведенные в таблице данные основаны на опыте реагентной обработки 500 водозаборных скважин при отборе железосодержащих вод гидрокарбонатно-кальциевого типа при соблюдении оптимального межремонтного периода работы скважин.

При глубоком залегании уровней подземных вод (более 50 м), когда нельзя выдавливать реагент за контур фильтра, скважину обрабатывают способом реагентной ванны, состоящим в следующем. После монтажа герметизирующего устройства, заливки реагента или приготовлении раствора из порошкообразных реагентов в скважине, ее герметизируют и в таком положении выдерживают в растворе соляной кислоты и дитионита натрия 10 — 12 ч, в растворе бисульфата натрия и гидразина солянокислого 14 — 16 ч, в фосфатных растворах 20 — 24 ч [2].

При глубине уровня подземных вод до 50 м и фильтрах длиной менее 20 м, когда можно использовать сжатый воздух для выдавливания реагентов за контур фильтра, интенсивное растворение кольматирующих образований обеспечивается циклической обра-

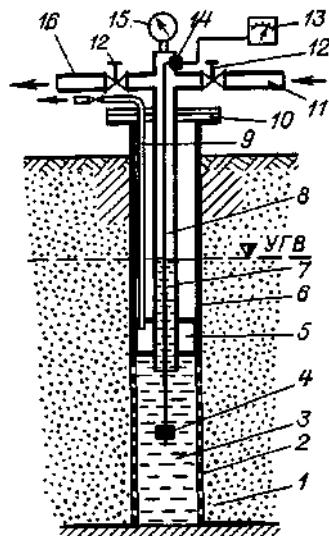


Рис. 30. Схема обвязки скважины при циклическом задавливании реагента.

1 — гравийная обсыпка; 2 — фильтр скважины; 3 — реагент; 4 — датчик для измерения электрического сопротивления реагента; 5 — пневматический пакер; 6 — колонна обсадных труб; 7 — труба пакера; 8 — кабель; 9 — воздухопроводные трубы; 10 — опора; 11 — трубопровод для подачи реагента и сжатого воздуха; 12 — вентиль; 13 — омметр; 14 — сальниковое уплотнение; 15 — манометр; 16 — трубопровод для сброса давления и выпуска продуктов реакции.

боткой, которую проводят в такой последовательности. После заполнения скважины реагентом, производят герметизацию и обвязку скважины по схеме, представленной на рис. 30, при этом применяют пневматические пакеры различных конструкций (рис. 31).

Возвратно-поступательное движение реагента в прифильтровых зонах создают следующим образом. При закрытом вентиле 12 (см. рис. 30) трубопровода для сброса давления и выпуска продуктов реакции 16 компрессором нагнетают по трубопроводу 11 в скважину сжатый воздух. При максимально возможном выдавлении столба реагента в прифильтровую зону скважин вентиль 12 трубопровода 11 перекрывают, компрессор отключают. Затем через 5 — 10 мин сбрасывают давление и выпускают продукты реакции (3 — 5 мин). Далее цикл повторяют. Общая продолжительность обработки не превышает обычно 2 ч, при этом в каждом цикле необходимо обеспечивать давление 0,15 — 0,2 МПа [2]. Время окончания обработки определяют по стабилизации электрического сопротивления раствора, что свидетельствует о предельно возможном увеличении концентрации растворенных кольматирующих соединений и прекращении процесса растворения. Электрическое сопротивление измеряется омметром 13 при помощи датчика 4.

После окончания обработки демонтируют герметизирующее устройство и прокачивают скважину эрлифтом, удаляя остатки реагента и продуктов реакции. Время окончания прокачки определяют по электрическому сопротивлению откачиваемой жидкости. Откачку прекращают при достижении исходных сопротивлений чистой воды в скважине.

Откачиваемую воду сбрасывают в канализацию, при ее отсутствии — в специально выкопанный огороженный котлован, находящийся на расстоянии не менее 25 м от скважины.

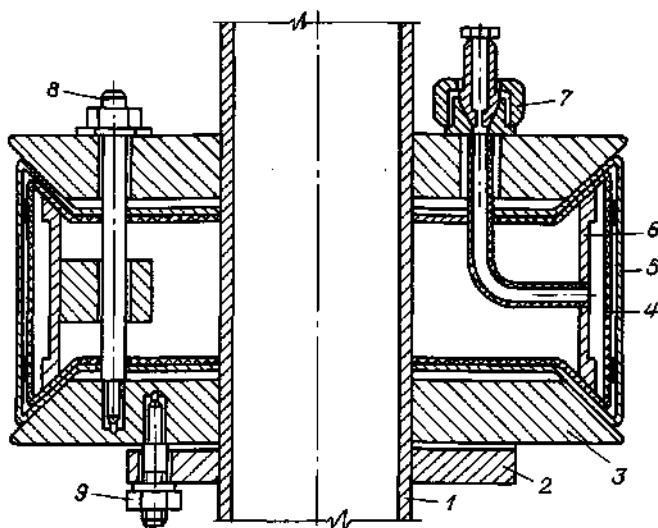


Рис. 31. Пневматический пакер.

1 — труба для заливки реагента; 2, 3 — фланцы; 4 — уплотнительный элемент; 5 — защитная покрышка; 6 — обечайка; 7 — ниппель; 8 — шпилька; 9 — болт.

При правильном подборе массы реагента время эрлифтной прокачки скважины не превышает 1 ч.

Межремонтный период ориентировочно определяется при эксплуатации водоносных пластов с железосодержащими водами гидро-карбонатно-кальциевого типа по табл. 27 [30].

Таблица 27

Продолжительность межремонтного периода работы скважин при их реагентной обработке

Тип фильтра	Межремонтный период, лет
Гравийно-проволочный фильтр с толщиной гравийной обсыпки, мм:	
г, р. СП	<u>1</u> <u>2</u>
50 — 200	<u>2</u> — <u>3</u>
200 — 300	<u>3</u> — <u>4</u>
Сетчатый фильтр	1 — 2 1
Блочный фильтр	2 — 3

Примечание. В числителе — период для скважин с кольматирующими образованиями, в которых преобладают окислы и гидроокислы железа, в знаменателе — период для скважин, в кольматирующих образованиях которых преобладают сульфиды, окислы и гидроокислы железа.

Применение комбинированных методов

Регенерация фильтров взрывом ТДШ с последующей реагентной обработкой производилась на 10 скважинах Ульяновского дренажа. Использовали соляную кислоту для фильтров с проволочной обмоткой и триполифосфата натрия для блочных фильтров из пористой керамики. Скважины Ульяновского дренажа оборудованы преимущественно каркасно-стержневыми фильтрами, имеющими длину рабочей части 10 м, внутренний диаметр опорного каркаса 150 мм и толщину слоя гравийной обсыпки 100 мм.

Комбинированный метод обеспечил увеличение производительности скважин в среднем в 5,3 раза, в то время как при использовании только лишь шнуровых торпед в 307 скважинах их дебит увеличился в среднем в 3,7 раза. Метод реагентной обработки в этих же условиях обеспечил для скважин с каркасно-стержневыми фильтрами увеличение производительности в среднем в 1,9 раза (по 158 скважинам) и для скважин с керамическими фильтрами в среднем в 3 раза (по 12 скважинам) [30].

Более высокая степень восстановления производительности скважин может быть достигнута при взрыве заряда ВВ в растворе реагента внутри фильтровой трубы в герметизированной скважине. В результате взрыва происходит не только разрушение и диспергирование осадков под действием ударной волны, но и задавливание раствора реагента на значительную глубину в водоносный пласт под действием давления, образующегося при расширении парогазового пузыря и составляющего 5 — 10 МПа. Пульсации парогазового пузыря вызывают возвратно-поступательное движение раствора реагента, что способствует лучшему растворению кольматирующих отложений.

Указанный метод был использован для восстановления дебита скважин, каптирующих карбонатные породы в Московском артезианском бассейне. Для повышения эффективности разрушения горных пород, обеспечения гидроразрыва пласта, создания дополнительных трещин в скважине, заполненной высококонцентрированной кислотой, производили одновременно взрывы двух зарядов ВВ массой 5 — 10 кг, расположенных на расстоянии 2,5 — 6,0 м.

Испытаниями установлено, что от одиночного взрыва в кислоте радиус зоны пласта с более высоким коэффициентом фильтрации составляет 6 — 24 м, а при взрыве с двойным импульсом — 49 — 73 м.

Для осуществления взрыва в реагенте может использоваться кислотная торпеда, представленная на рис. 32. Перед спуском в скважину на торпеде устанавливается разрушающаяся оболочка 3, при этом верхняя ее часть надевается на головку-держатель 9, а нижняя часть на цилиндрический груз 2 и прижимается к ним хомутами 1. Торпеда устанавливается в верхней части ствола скважины, и полость оболочки 3 через канал 6 заполняется реагентом. После этого канал 6 закрывается пробкой 7 и заряженная торпеда на кабеле 8 опускается через ствол скважины и устанавливается.

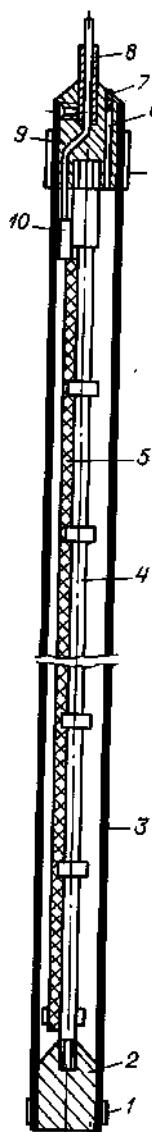


Рис. 32. Кислотная торпеда.

1 — хомуты; 2 — натяжной груз; 3 — разрушающаяся оболочка (полиэтиленовый шланг); 4 — стальные стержни; 5 — детонирующий шнур; 6 — заливочный канал; 7 — пробка; 8 — кабель; 9 — головка-держатель; 10 — электродетонатор.

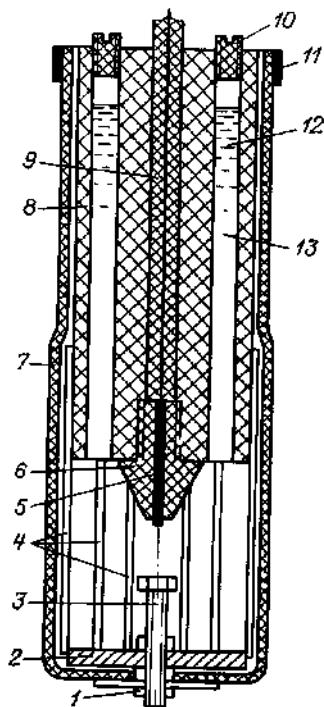


Рис. 33. Электрический разрядник с упругой оболочкой.

1 — гайка; 2 — опорный диск; 3 — отрицательный электрод; 4 — стержневой каркас; 5 — положительный электрод; 6 — изоляционный наконечник; 7 — упругая оболочка; 8 — диэлектрический корпус; 9 — кабель; 10 — пробка; 11 — хомут; 12 — вода; 13 — сквозной канал.

вается внутри фильтровой трубы. На электродетонатор или взрыв-патрон 10 подается электрический ток, и производится взрыв тротилового детонирующего шнура 5.

При взрыве образуется ударная волна и гидродинамический поток, под действием которых происходит разрушение и диспергирование сцементированных пород, прилегающих к фильтру, и образование дополнительных трещин в пласте. Одновременно при взрыве тротилового шнура оболочка 3 разрушается, незначительная часть

реагента испаряется под действием высокой температуры, а основная часть реагента выбрасывается наружу в полость фильтровой трубы и проникает в прифильтровую зону.

Обработку скважины заканчивают после выделения продуктов реакции между кольматирующими отложениями и реагентами. Затем монтируют водоподъемное оборудование и проводят прокачку скважины до полного удаления продуктов реакции, после чего определяют дебит скважины.

Регенерация фильтров гидродинамическим действием электро-взрыва с последующей реагентной обработкой проводилась на 3 действующих скважинах управления Водоканал г. Вильнюса.

Вначале фильтры скважин подвергались гидродинамическому воздействию электрических разрядов при напряжении разрядного контура генератора импульсов тока 40 кВ и емкости конденсаторов 7 — 8 мкФ при ступенчатом возвратно-поступательном перемещении рабочего разрядника вдоль фильтровой трубы, в среднем по 50 разрядов на 1 м фильтра. С целью удаления из скважины разрушенных кольматирующих отложений производилась откачка воды эрлифтом, после чего в полость фильтра через полиэтиленовый шланг диаметром 32 мм заливалась 30%-ная соляная кислота. После окончания реагентной обработки монтировалась эрлифтная система и вновь производилась прокачка скважины для удаления реагента и продуктов реакции.

Результаты восстановления производительности скважин комбинированным способом, приведенные в табл. 28, показали, что после воспроизведения электрических разрядов дебит скважины возрастал в 1,5 — 2,0 раза, а последующая реагентная обработка фильтра дополнитель но увеличивала удельный дебит в среднем в 1,5 раза.

Как показали последующие наблюдения, интенсивность снижения производительности скважин, приведенных в таблице, оказалась в 1,5 — 2,5 раза меньшей, чем по скважинам, фильтры которых были обработаны только действием электрических разрядов. Это свидетельствует о повышении стабильности работы скважин, которые были подвергнуты комбинированной обработке, в связи с чем рациональный межремонтный период их работы увеличился до 18 — 24 месяцев, в то время как только ЭГ-очистка фильтров обеспечивает устойчивую работу скважин не более 10 — 12 месяцев.

Интенсификация процесса растворения разрушенных кольматирующих образований в растворе реагента может быть достигнута при более глубоком проникновении реагента за контур фильтра и при создании пульсирующего потока реагента, проходящего с большой скоростью через закольматированную пористую среду. Эта цель может быть достигнута при осуществлении электрических разрядов непосредственно в растворе реагента, заполняющего полость фильтровой трубы скважины.

Однако раствор реагента является сильным электролитом, имеет высокую электропроводность, в связи с чем

при электрических

Таблица 28
(электровзрывом и реагентом) скважин
Результаты комбинированной обработки

Номер скважин	Год сдачи и эксплуатацию	Тип фильтра	Год обработки	Удельный	
				в	начале эксплуатации
45 18	1974 1976	Перфорированный с проволочной обмоткой	1979 1980	12,0	10.5
11	1976	1980	9,0		

разрядах возрастают предпробивные потери энергии в электродной системе. В этом случае давление на фронте ударной волны, образующейся при разрыве, значительно меньше предела прочности кольматирующих отложений и не обеспечивает их разрушения [38]. Малая эффективность преобразования электрической энергии, запасенной в конденсаторах, в механическую энергию ударной волны и гидропотока при электрических разрядах в растворе реагента делает невозможным использование для комбинированной обработки фильтров скважин традиционных разрядников с открытым межэлектродным промежутком (МЭИ), широко применяемых при восстановлении производительности скважин электровзрывным способом. При содержании в подземных водах значительного количества солей (более 1 г/л) применение таких разрядников при ЭГ-очистке фильтров скважин, служащих для извлечения сильно минерализованных грунтовых вод, также является неэффективным. Для этих случаев может быть использован разрядник с упругой оболочкой, выполненной из тонкой резины или полиэтилена, представленный на рис. 33 [35]. Обработка скважины при использовании разрядника с упругой оболочкой производится следующим образом.

Полость оболочки разрядника через заливочные каналы 13 заполняют водой, закрывают каналы пробками, разрядник опускают на кабеле 9 в скважину и устанавливают в верхней части заполненной реагентом фильтровой трубы. Включают ГИТ и по кабелю 9 на положительный электрод 5 подают импульс тока высокого напряжения, который инициирует электрический разряд между положительным электродом 5 и отрицательным электродом 3 в воде. Образующиеся при электрическом разряде ударная волна и гидропоток воздействуют на оболочку 7, благодаря чему она получает толчок и перемещается в радиальном направлении со значительным ускорением. Это вызывает возникновение ударной волны и гидропотока в жидкости, заполняющей фильтр, которые воздействуют на поверхность фильтра и разрушают кольматирующие отложения.

Под действием электрических разрядов полость оболочки 7 периодически изменяет свой объем и разрядник работает как объемный насос, придающий реагенту возвратно-поступательное движение по вновь образуемым трещинам и зонам разрушения. Это способствует проникновению реагента в прифильтровую зону, обеспечивая более полное растворение и удаление кольматанта.

дебит, м3/ (ч м)			Количество не пользо ванного реагента, кг	Время нахождения реагента в зоне фильтра, ч
до обработки	после ЭГ-обработки	после реагентной обработки		
1,8	2,5	3,0	480	18
0,5	1,2	1,8	480	14
0,4	0,6	1,3	840	22

После воспроизведения нескольких разрядов в одном положении разрядника, его на кабеле 9 опускают ниже и производят обработку следующего участка фильтровой трубы. Таким образом фильтр скважины очищают от кольматантов по всей длине.

Разрядник с резиновой оболочкой толщиной 1 мм испытывался в лабораторных условиях при обработке элементов скважин, искусственно закольматированных слоем гипса и цемента, имитирующими естественные кольматанты. Полость одного фильтра заполняли 30%-ной соляной кислотой, другого — раствором поваренной соли 10%-ной концентрации по весу, имеющим плотность $Q = 1,080 \text{ г/см}^3$ и электропроводность $1200 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$. На разрядник подавались импульсы тока от ГИТ при напряжении разрядного контура $U = 20-40 \text{ кВ}$ и емкости конденсаторов $2 - 4 \text{ мкФ}$.

В результате испытаний установлено, что в указанных электропроводящих жидкостях разряд происходил между положительным электродом и жидкостью, при этом давление на фронте ударной волны оказывалось в 8 — 10 раз меньше давления, создаваемого электрическим пробоем чистой воды внутри разрядника с оболочкой. В то же время при прохождении через оболочку давление ударной волны уменьшалось на 15 — 20% в связи с различной акустической жесткостью воды и резины.

Воздействие ослабленной ударной волны на отложения, кольматирующие фильтры скважин, снижало степень разрушения осадков на 10 — 15% по сравнению с эффективностью очистки фильтров гидродинамическим действием электрического разряда в воде. В связи с этим незначительное уменьшение давления, создаваемого

электрическими разрядами в полости упругой оболочки, может быть компенсировано увеличением числа разрядов в 1,2 — 1,3 раза на единицу длины фильтровой трубы скважины при тех же значениях напряжения разрядного контура и емкости конденсаторов ГИТ. Указанные параметры электровзрывных установок для восстановления дебита скважин выбираются в зависимости от структуры водоносного горизонта, конструкции и механической прочности фильтров [33].

Эффективность восстановления производительности скважин высоковольтными разрядами в реагенте исследовалась на скважинах водозаборов «Новинки» и «Зеленовка» г. Минска. Скважины каптируют днепровско-московский водоносный горизонт четвертич-

Таблица 29 Результаты обработки скважин электрическими разрядами в реагенте

Номер скважины	Длительность эксплуатации, лет	Способ обработки	Удельный дебит, л/(с·м)			
			при сдаче в эксплуатацию	перед обработкой	после обработки	коэффициент эффективности
26-Н	6	ЭГ в реагенте	0,46	0,05	0,09	1,8
28-Н	6		2,33	1,10	1,56	1,4
31-3	10		3,56	0,15	1,32	8,8
26-3	10	ЭГ в реагенте с одновременным задавливанием воздуха	7,17	2,83	4,17	1,5
15-3	7		5,00	2,69	3,36	1,23
29-3	10		6,03	2,00	3,81	1,9
22-3	10		10,33	0,93	3,56	6,0

Примечание. Н — водозабор «Новинки», 3 — водозабор «Зеленовка».

ных отложений. Водовмещающие породы представлены разнозернистыми песками мощностью 15 — 25 м. Скважины пробурены ударно-канатным и роторным способами с обратной промывкой водой на глубину 42 — 79 м и оборудованы проволочными фильтрами на перфорированном трубчатом каркасе с гравийной обсыпкой. Преимущественный диаметр фильтров 273 мм, длина рабочей части 10 — 18 м.

Скважины обрабатывали электрическими разрядами в реагенте с помощью электрогидравлической установки СЭУ-2 при следующих параметрах: $U = 40$ кВ, $C = 5$ мкФ, $I_k = 100$ м. При испытаниях был использован электрический разрядник с упругой оболочкой. На нескольких скважинах одновременно с ЭГ-обработкой производилось задавливание реагента сжатым воздухом. В качестве реагента применялась соляная кислота.

За 6 — 10 лет эксплуатации удельный дебит скважин снизился в 1,9 — 3,7 раза. В результате обработки удельный дебит увеличился в 1,23 — 8,8 раза (табл. 29) и составил относительно первоначального 36,7% при воспроизведении электрических разрядов в реагенте и 60,6% при одновременном задавливании реагента сжатым воздухом [30].

Регенерация фильтров гидродинамическим действием пневмо-взрывов с последующей реагентной обработкой производилась на скважинах Ульяновского дренажа. При выполнении работ в скважинах осуществляли пневмовзрывы, монтировали герметизирующее оборудование и заполняли полость фильтра 27%-ной соляной кислотой. После этого проводили 8 — 10 циклов задавливания реагента за контур фильтра при давлении сжатого воздуха 0,20 — 0,25 МПа с периодом его подачи 5 мин и выпуска продуктов реакции 3 мин. Продолжительность реагентной обработки составляла 65 — 80 мин.

В результате комбинированной обработки дебит скважин увеличивался в среднем в 5,5 раза, в то время как при обработке

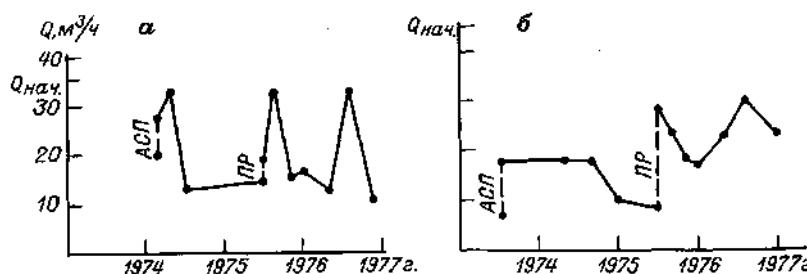


Рис. 34. Графики изменения дебитов скважин Киевского водозабора г. Курска после пневмоимпульсной (АСП) и пневмореагентной (ПР) обработок.

а — для скв. 22, находящейся в эксплуатации до первой регенерации 2 года; б —

для скв. 26, находящейся в эксплуатации до первой регенерации 5 лет.

таких же скважин только соляной кислотой удельный дебит возрастал в среднем в 2,6 раза [17, 45].

Более высокая степень восстановления производительности скважин может быть достигнута при пневмоимпульсной обработке непосредственно в реагенте, при которой в прифильтровой зоне создается пульсирующее движение реагента. Это интенсифицирует растворение разрушенных кольматирующих образований. Для регенерации скважин этим способом следует применять реагенты, не обладающие коррозионным воздействием на металлы и резину, например растворы триполифосфата натрия и дитионита натрия со стабилизирующими добавками фосфатов.

Пневмореагентную обработку скважины можно производить как при ее герметизации с циклическим задавливанием реагентов воздухом, выбрасываемым из пневмоснаряда, и периодическим сбросом давления, так и при открытом стволе. После обработки пневмоснаряд извлекают на поверхность, полностью разбирают и промывают. Обработку завершают прокачкой скважины эрлифтом до полного удаления раствора реагента и продуктов реакции.

Опыт регенерации скважин пневмовзрывами и реагентной обработкой свидетельствует об эффективности этого метода в различных гидрологических условиях (табл. 30).

В то же время добавка реагента не всегда повышает эффективность пневмоимпульсной обработки ни по абсолютным значениям прироста производительности скважин, ни по стабильности полученного прироста во времени. Это подтверждается многолетними наблюдениями за работой 64 скважин Киевского водозабора г. Курска, проведенными работниками ВНИПИвзрывгеофизики. Характерные графики изменения дебита скважин во времени, построенные по данным табл. 31 (рис. 34), показывают, что темпы падения дебита после пневмоимпульсной (АСП) и после пневмореагентной (ПР) обработки близки по значениям, при этом интенсивность снижения производительности происходит не быстрее, чем в условиях естественной эксплуатации тех же скважин.

Комбинированную виброхимическую обработку скважин, фильтр и призабойная зона которых закольматированы осадками химиче-

Таблица 30

Результаты пневмореагентных обработок скважин

Участок опытных работ	Состав пород водоносного пласта	Характеристика фильтра		Способ обработки	Тип установки	Число скважин	Время эксплуатации, лет	Коэффициент эффективности
		Тип	Диаметр					
Объекты сельскохозяйственного водоснабжения в Тамбовской области	Пески различного гранулометрического состава	Сетчатый	5 — 6	Пневмоимпульсная обработка с последующей кислотной обработкой	АСП-Т	4	1,5 — 6	3,7
Вертикальный дренаж Куйбышевского водокомплекса	Мелкозернистые пески	Каркасно-стержневой проволочной обмоткой и гравийной обсыпкой	6	То же	АВП-В	2	10-17	5,0
Водозабор «Балтэзерс-2» г. Рига	Разнозернистые пески	Каркасно-стержневой проволочной обмоткой и гравийной обсыпкой	8	»	АВП-В	2	3	1,2
Объекты сельскохозяйственного водоснабжения в Тамбовской области	»	Сетчатый	5-6	»	АСП-Т	9	2 — 14	3,6

ского происхождения, осуществляют в следующем порядке. Проводят 2 — 3 цикла виброборьбы. Затем через патрубок, обычно используемый для отвода поступающей из скважины воды, заливают реагент. Химический состав реагента и его количество определяют в зависимости от физико-химических свойств и структуры кольматаента в соответствии с данными, приведенными в табл. 25. Через 15 — 20 мин после заливки реагента раздувают оболочку пакера и включают вибратор на 10 мин.

После окончания первого цикла виброборьбы сбрасывают давление в пакере и реагент, выданный за

контура фильтра, возвращают в ствол скважины. Через 20 мин вновь герметизируют фильтровую зону и возобновляют выбрирование на 10 мин. Эти операции в указанной последовательности выполняют 3 — 5 раз. После выбореагентной обработки проводят эрлифтную откачку из скважины до полного выхода твердых и газообразных продуктов реакции [28].

Более простой и достаточно эффективной является виброобработка скважин без циклического задавливания реагента при непрерывном выбрировании рабочего органа, выполненного в виде дисков или поршня, в течение 2,0 — 2,5 ч при частоте колебаний 11,5 Гц и амплитуде 15 — 28 мм. Этот способ был использован при восстановлении производительности водозаборных скважин г. Комсомольска, снизивших свой дебит вследствие химической кольматации фильтров преимущественно окислами железа. Время окончания выбореагентной обработки может быть определено по стабилизации электрического сопротивления раствора, измеряемого непосредственно в фильтре скважины.

Опыт внедрения выбореагентных способов восстановления производительности скважин на воду (табл. 32) свидетельствует, что они наиболее эффективны при относительно небольшом межремонтном периоде (2 — 3 года), включая и период эксплуатации после сооружения новой скважины. В этом случае возможно достижение удельного дебита, составляющего 70 — 90% от первоначального. В скважинах, длительное время эксплуатировавшихся до проведения восстановительных мероприятий при прочих разных условиях выбореагентная регенерация обеспечивает более равномерное по высоте восстановление проницаемости фильтра. Рациональный межремонтный период при вибрационном гидродинамическом воздействии составляет 1 год, а при выбореагентной обработке — 1,5 — 2 года [28].

Опыт восстановления производительности водозаборных скважин г. Комсомольска показал, что наиболее эффективным является выбореагентный способ с использованием в качестве рабочего органа поршня из эластичного материала. В результате обработки этим способом удельный дебит увеличился в среднем в 3,1 раза, в то время как при обработке рабочим органом с резиново-металлическими дисками удельный дебит увеличился в среднем в 2,6 раза [16].

Дебиты скважины Киевского водозабора г. Курска,

Таблица 31

Но мер сква- жин ы	Ср ок эк- сплуа- ти- ции сква- жин , лет	Первона- чальная произво- дительнос- ть, м ³ /ч	Дебит до пневмо- - обрабо- тки, м ³ /ч	Дата пневмо- обработки	Дебит после пневмо- обрабо- тки, м ³ /ч	Дата и результаты контрольных измерений		
						25. IV г.	15. VII г.	15. XII г.
2 2	2 2	35	20,0	13.11 75 г.	27	32	13	Не т све д.
3 3	6 2	57,6 44,8	4,0 7,0	1.III 74 г. 2.VII 74 г.	21 17	29 17	28 17	5 10
6 6	6 2	49	5,0	2.VII 74 г.	13	39	39	10
7 7	6 3	42	7,0	2. III 74 г.	15	21	21	23
0 0	5 3	60	18	10.VII 74 г.	29	51	51	20
1 1	2 3	32	1	5.VIII 74 г.	20	23	30	14
7 7	5 4	51	13	10.X 74 г.	23	31	23	22
8 8	5 5	52	7	5.IX 74 г.	19	11	24	12
1 1								

Метод электровибрационной обработки (ЭВО), разработанный в Ивано-Франковском институте нефти и газа, основан на создании в реагенте низковольтных разрядов. При подаче напряжения на электроды разрядника происходит разогрев электролита с образованием первичных парогазовых пузырей. Дальнейший разогрев реагента приводит к созданию единого парогазового пузыря, охватывающего всю поверхность электрода, и к разрыву электрической цепи. Под действием гидростатического давления происходит захлопывание пузыря с образованием вторичных импульсов давления, достигающих 0,8 МПа. Процесс нарастания температуры

стабилизируется через 5 — 7 мин, и температура достигает 50 — 60° С. Интенсификация процесса растворения кольматирующих отложений

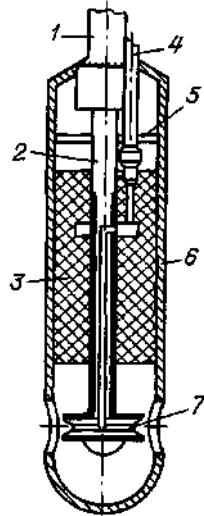


Рис. 35. Скважинный снаряд для электровибрационной обработки фильтров.

1 — кабель; 2 — центральный электрод; 3 — изолятор; 4 — штуцер; 5 — крышка; 6 — корпус; 7 — кумулятивные выемки.

обработанных пневмоимпульсным и пневмореагентным способом

Дебит, м3/ч		Дата и результаты контрольных измерений дебита, м ³ /ч									
до пневмо- обработки	после пневмо- обработки	12. VII 76 г.	16.V 76 г.	20.X 76 г.	16. XI 76 г.	30. XII 76 г.	14. IV 77 г.	29. VII 77 г.	1.X I 77 г.		
14	18	17	32	15	15	16	12	32	10		
10	13	12	31	23	22	23	23	32	20		
8	28	25	23	18	16	17	23	30	23		
16	20	Ремон	23	22	20	18	13	16	12		
т											
17	28	17	18	18	18	25	25	32	26		
12	23	12	29	22	23	19	19	30	26		
20	20	25	24	22	20	21	26	25	19		
3	20	20	47	20	Списа	—	—	—	—		
на											
8	20	44	30	20	Насос	14	26	40	27		
срыва											
ет											

обеспечивается за счет разогрева и пульсирующего движения реагента и диспергирования отложений [26].

Опытная установка ЭВО размещена в кузове автомобиля ГАЗ-53А и состоит из электрической и гидравлической частей.

Электрическая часть предназначена для возбуждения и передачи импульса на электроды скважинного снаряда (рис. 35). Управляющим генератором обеспечивается частота следования импульсов

Таблица 32

Результаты виброреагентной обработки скважин

Местопо- ложение и на номер скважи	Глуби- льность экс-	Длите-	Удельный дебит скважины, л/(с·м)	Реагент	Вибр- о- установ
------------------------------------	---------------------	--------	----------------------------------	---------	------------------

скважины	ны, м	плуатац ии, лет	до вибро- реагент ной обработ ки	после вибор реагентно ной обработ ки	при сдаче в эксплуа тацию		ка
г. Каменка 45	30	6	2,37	3,68	Нет свед.	YIa ₅ PzO ₁₀	ВУР- 3 с дискам и
7	30	9	0,22	0,59	4,30	»	
32	30	9	2,20	3,51	5,10	HC1	
г. Черкассы 1429	40	10	0,17	0,80		»	
г. Курск 39	35	7	0,31	0,87	4,20	»	
40	40	7	0,64	1,97	4,20	»	
г. Комсо- мольск 5	Нет свед.	9	2,50	6,50	Нет свед.	NH ₂ SO ₃ H	
7	То же	9	1,50	8,00	То же	»	
3	»	10	0,40	1,20	»	»	
10	»	13	1,00	4,00	»	»	
12	»	13	8,50	15,60	»	Na ₂ S ₂ O ₄	ВУР- 3 с поршне м
44	»	6	1,60	5,20	»	»	

0,5 — 200 Гц и разрядное напряжение 200 — 900 В. Электрическая энергия преобразуется в энергию колебаний жидкости и в тепловую в скважинном снаряде. В металлическом корпусе снаряда расположен высокопотенциальный электрод с кумулятивными выемками и каналами. Боковая поверхность его изолирована дизелектриком 3. Подача реагента в рабочую зону осуществляется по трубке через штуцер 4. Центральная жила кабеля подсоединенена к активному электроду, а вторым полюсом служат фильтр и корпус снаряда. Возможна работа установки и со скважинными снарядами других конструкций.

Гидравлическая часть установки служит для подачи реагента из рабочей емкости непосредственно в зону расположения скважинного снаряда. Подача реагента осуществляется по гибкому трубопроводу путем выдавливания его сжатым воздухом из рабочей емкости, которая может служить также для приготовления раствора реагента из порошкообразных веществ и временного его хранения.

Техническая характеристика установки ЭВО

Максимальная глубина обрабатываемой скважины, м 150 Внутренний диаметр скважины, мм 108 — 352 Напряжение питающей сети, В 220 или 380 Напряжение на разряднике, В 200 — 900 Частота импульсов, Гц 0,5 — 200 Потребляемая мощность, кВт 15

Обработку скважины производят в такой последовательности. Установку подключают к силовой сети и через устье скважины опускают снаряд. Скважину заполняют реагентом. Обработку производят при напряжении на разряднике 300 — 500 В, частоте следования импульсов 50 — 200 Гц, шаге смещения снаряда 0,5 м и времени работы на одной позиции 7 — 10 мин. Постепенно поднимая снаряд обрабатывают весь интервал фильтра. Оптимальное время обработки составляет около 1,5 ч. После завершения обработки извлекают из скважины снаряд и производят прокачку скважины до полного удаления продуктов реакции и реагента.

Опыт применения электровибрационного способа регенерации показывает, что при незначительном сроке эксплуатации скважин (до 3 — 5 лет) возможно увеличение их дебита до первоначального или близкого к нему [28].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе эксплуатации водозаборных скважин их фильтры и прифильтровые зоны водоносных пород кольматируются песком, глиной, солями железа, кальция, магния, марганца и другими. Кольматанты осаждаются на водоприемной поверхности фильтров и в порах водоносных пород. В связи с этим увеличиваются гидравлические сопротивления, уменьшается коэффициент фильтрации и производительность скважин. Интенсивность процесса кольматации и характер осадков зависят от гидрогеологических условий работы скважин, режима эксплуатации, конструкции фильтров и др.

Для восстановления производительности скважин широко используются импульсные методы воздействия на фильтр и призабойную область, преобразующие энергию взрыва торпеды из тротилового детонирующего шнура (ТДШ), электровзрыва, пневмовзрыва. При обработке скважин этими методами кольматирующие образования разрушаются и диспергируются под действием ударной волны и гидродинамического потока. Разрушенные кольматанты выносятся фильтрационным потоком в ствол скважины и удаляются при откачке воды. Эти методы обеспечивают приблизительно одинаковый эффект восстановления производительности скважин и могут быть использованы при ремонте скважин, работающих в различных гидрогеологических условиях, независимо от структуры и прочности кольматирующих отложений.

Из этих методов более предпочтительными являются электровзрывы и пневмовзрывы, при использовании которых обеспечивается многократное воздействие импульсных нагрузок с регулируемыми параметрами и этим предотвращается возможность повреждения скважин. Установки для создания электровзрыва и пневмовзрыва монтируются из стандартного оборудования, а при их использовании требуется соблюдение достаточно простых правил техники безопасности. Работы по восстановлению производительности скважин взрывами ТДШ сопряжены со значительными трудностями по хранению, транспортировке и непосредственному использованию твердых взрывчатых веществ и могут выполняться только специализированными организациями.

Метод прострелочной перфорации водозаборных скважин позволяет вскрывать перекрытие обсадной колонной водоносные горизонты и обеспечивает возможность эффективной эксплуатации практически «сухих» скважин.

Восстановление производительности скважин механическими колебаниями основано на разрушении и диспергировании кольматирующих образований гидродинамическими давлениями, не превышающими 0,5 МПа, создаваемыми вибрирующим рабочим органом или ультразвуковым излучателем. Указанный метод эффективен при обработке фильтров и прифильтровых зон водоносных пород, закольматированных малопрочными осадками, например гидроокислами железа.

В настоящее время разрабатываются методы обработки скважин, основанные на использовании энергии взрыва газовой смеси, выстрела в воду, а также ультразвуковых колебаний, создаваемых гидродинамическим и газоструйным излучателями. Лабораторные исследования и испытания на скважинах свидетельствуют о возможности их применения при восстановлении производительности скважин, закольматированных рыхлопористыми отложениями.

Импульсные методы обработки скважин обеспечивают значительное увеличение дебита в начальный момент времени, затем их производительность быстро уменьшается. Для более полного восстановления структуры и пористости водонасыщенного пласта и увеличения времени эксплуатации скважин с высоким дебитом целесообразно использовать комбинированные методы обработки. Эти методы сочетают воздействие на фильтр и прифильтровую зону гидродинамических давлений, создаваемых взрывом ТДШ, пневмовзрывом, электровзрывом, вибрацией, ультразвуком, и последующее или одновременное растворение разрушенных кольматантов в реагентах. Применение комбинированных методов во многих случаях обеспечивает более высокую степень восстановления производительности по сравнению с импульсными, вибрационными или реагентными за счет лучшего извлечения кольматирующих отложений с поверхности фильтров и прилегающих к ним водоносных пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В. С. Методика прогноза химического кольматажа фильтров водозаборных скважин. — Водоснабжение и санитарн. техника, 1968, № 10, с. 28 — 31.
2. Абрамов С. К., Алексеев В. С. Забор воды из подземного источника. М., Колос, 1980, 239 с.
3. Алексеев В. С., Щеголев Е. Ю. Импульсные методы освоения и регенерации скважин на воду. Обзор. Гидрогеология и инженерная геология. М., ВИЭМС, 1977, 50 с.
4. Алексеев В. С., Гаврилко В. М., Гребенников В. Т. Рекомендации по восстановлению производительности водозаборных скважин реагентными методами. М., ВНИИВОДГЕО, 1975. 96 с.
5. Алексеев В. С., Гребенников В. Т., Стадник А. М. Регенерация скважин раствором датионита натрия с антиокислителем. — Водоснабжение и санитарн. техника, 1979, № 5, с. 4 — 6.
6. Башкатов Д. Н., Роговой В. Л. Бурение скважин на воду. М., Колос, 1976, 208 с.
7. Беляков В. М., Краснощёкое Г. М., Попков В. А. Справочник мастера по бурению скважин на воду. М., Колос, 1984, 127 с.
8. Богданов Н. И. Исследования электрогидроударного способа и разработка технических средств декольматации фильтров скважин на воду в условиях карьеров КМА. Автореферат канд. дисс. Новочеркасск, 1970.
9. Верстов В. В. Опыт вибрационной разглинизации водяных скважин. — Труды ВНИИГС, 1973, вып. 35, с. 144 — 152.
10. Верстов В. В. О целесообразности применения погружного виброоборудования для разглинизации скважин на воду. — Труды ВНИИГС, 1976, вып. 43, с. 4 — 11.
11. Верстов В. В., Лукин М. В. Самоходный агрегат для вибрационной разглинизации водяных скважин, монтажа и опробования водоподъемного оборудования. — Труды ВНИИГС, 1974, вып. 37, с. 34 — 40.

12. *Верстов В. В., Ожерельев П. С.* Сооружение скважин на воду с применением вибрационных средств. — Монтажные и специальные работы в строительстве. 1983, № 1, с. 20 — 22.
13. *Верстов В. В., Лукин В. М., Цыганков Б. А.* Экспериментальные исследования новых вибрационных рабочих органов для гидродинамической обработки скважин на воду. — Труды ВНИИГС, 1978, вып. 47, с. 49 — 56.
14. *Гаврилко В. М., Алексеев В. С.* Фильтры буровых скважин. М., Недра, 1976, 344 с.
15. *Гаврилко В. М., Бессонов Н. Д.* Опыт эксплуатации скважин, оборудованных фильтрами из пористой керамики. — Труды ВНИИВОДГЕО, 1966 вып. 13 с. 8 — 10.
16. *Гребенников В. Т., Воропанов В. Е., Рясиценко В. Т.* Методы восстановления производительности водозаборных скважин г. Комсомольска. — Водоснабжение и санитарн. техника, 1984, № 7, с. 6 — 7.
17. *Гребенников В. Т.* Методы восстановления производительности водозаборных скважин. — В кн.: Проектирование и эксплуатация водозаборов подземных вод. М., МДНТП, 1979, с. 100 — 107.
18. *Зельдович Я. Б., Компанеец А. С.* Теория детонации. М., Гостехиздат 1955, 286 с.
19. *Инструкция по очистке фильтров водозаборных и дренажных скважин взрывом торпеды из детонирующего шнура ТДШ.* М., ВНИИгеофизика, 1966. 17 с.
20. *Киселев О. К.* Повышение срока эксплуатации водозаборных скважин М., Колос, 1975, 206 с.
21. *Коул Р.* Подводные взрывы. М., Иностранная литература, 1950, 418 с.
22. *Ловля С. А.* Взрывные работы в водозаборных скважинах. М., Недра, 1970, 120 с.
23. *Ляхов Г. М.* Ударные волны в грунте и разжижение водонасыщенного песка. — ПМТФ, 1961, № 1, с. 24 — 30.
24. *Милихикер А. Г.* Осадкообразование в скважинах водопонижения. М., Энергия, 1971, 104 с.
- ПО
25. *Перфоратор кумулятивный разрушающийся для скважин ПРВ 280.* Техническое описание и инструкция. М., ВНИИгеофизика, 1976. 21 с.
26. *Петряшин Л. Ф., Чуриков В. А.* Электровибрационный метод регенерации водозаборных скважин. — Гидротехника и мелиорация, 1980, № 3, с. 69 — 71.
27. *Прострелочные и взрывные работы в скважинах/Григорян Н. Г., Поме-тун Д. Е., Горбенко А. А., Ловля С. А. М., Недра, 1980.* 324 с.
28. *Рекомендации по виброреагентному восстановлению производительности скважин.* ВНИИВОДГЕО, М., 1980. 130 с.
29. *Рекомендации по импульсным методам восстановления производительности скважин на воду.* ВНИИВОДГЕО, М., 1979. 114 с.
30. *Рекомендации по импульсно-реагентному восстановлению производительности скважин.* ВНИИВОДГЕО, М., 1982. 92 с.
31. *Романенко В. Л.* Восстановление производительности водозаборных скважин выстрелом в воду. Новые исследования по сетям и сооружениям систем водоснабжения. В кн.: Межвузов, темат. сб. трудов, Л., 1985, с. 48 — 50.
32. *Романенко В. А.* Аппарат для магнитно-гидравлической очистки фильтров водозаборных скважин. — Электронная обработка материалов, 1981, № 5, с. 81 — 82.
33. *Романенко В. Л.* Выбор параметров электрогидравлической очистки фильтров водозаборных скважин. Водопроводные сети и сооружения. — Межвузов, темат. сб. трудов, Л., 1979, с. 37 — 40.
34. *Романенко В. А.* Гидравлический вибратор для разглинизации фильтров водозаборных скважин. Подготовка воды для хозяйствственно-питьевых и производственных целей. — Межвузов, темат. сб. трудов, Л., 1984, с. 120 — 123.
35. *Романенко В. А.* Электрический разрядник для комбинированной обработки фильтров водозаборных скважин. — Электронная обработка материалов, 1985, № 2, с. 76 — 78.
36. *Романенко В. А.* Электрический разрядник с жидкостным каналом проводимости. — Электронная обработка материалов, 1982, № 1, с. 82 — 84.
37. *Романенко В. А.* Электрический разрядник с искусственным каналом проводимости для электрогидравлической очистки фильтров водозаборных скважин. — Электронная обработка материалов, 1979, № 3, с. 84 — 86.
38. *Романенко В. А.* Электрофизические способы восстановления производительности водозаборных скважин. Л., Недра, 1980. 79 с.
39. *Романенко В. А., Браверман Р. Е.* Патентные исследования в области восстановления производительности водозаборных скважин. Исследования в области водоснабжения. — Межвузовский темат. сб. трудов, Л., 1979, с. 54 — 57.
40. *Романенко В. А., Смелое Н. Ф.* Торпеда из детонирующего шнура для очистки фильтров скважин. Авторское свидетельство № 859559 — Открытия, изобретения, 1981, бюл. № 32.
41. *Романенко В. А., Соловьёва Н. С.* Исследования гидроакустического способа разглинизации фильтров водозаборных скважин. Исследования в области водоснабжения. — Межвузов, темат. сб. трудов, Л., 1982, с. 76 — 81.
42. *Романенко В. А., Соловьёва Н. С.* Исследования способа очистки фильтров водозаборных скважин взрывом ацетилено-воздушной смеси. — Известия вузов. Строительство и архитектура, 1979, № 12, с. 101 —

43. Романенко В. А., Лубянские А. А., Контаутас Р. К. Электрогидравлический способ декольматации фильтров скважин. — Жилищное и коммунальное хозяйство, 1982, № 6, с. 37 — 38.
44. Склянский В. Г. Временная инструкция по применению пневмовзрыва для увеличения производительности скважин на воду. Баку, АзНИИ водных проблем. 1975.
45. Склянский В. Г., Гребенников В. Т. Опыт увеличения производительности скважин на воду комбинированными методами. — Труды АзНИИ водных проблем. Баку, 1978, вып. 7, с. 57 — 64.
46. Справочник по бурению скважин на воду/Под ред. Д. Н. Башкатова. М., Недра, 1979. 560 с.
47. Флорин Ф. А. Явление разжижения и способы уплотнения рыхлых водо-насыщенных грунтов. — Изв. АН СССР, ОТН, 1952, № 6, с. 62 — 65.
48. Шляйферт М. А., Вольницкая Э. М. Увеличение дебита водяных скважин взрывом. М., Недра, 1970. 63 с.

111

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	
Кольматация фильтров и прифильтровых зон скважин.....	
Состав и структура кольматорирующих отложений.....	
Выявление кольматации скважин.....	
Методы восстановления производительности скважин.....	
Взрыв заряда твердых ВВ.....	
Устройство торпед из детонирующего шнуря (ТДШ)	
Применение ТДШ	
Электровзрыв	
Устройство электровзрывных установок.....	
Магнитно-гидравлический способ обработки скважин	
Применение электровзрывных установок.....	
Пневмовзрыв	
Оборудование для пневмоимпульсной обработки скважин	
Применение АСП для разглинизации скважин.....	
Применение АСП для восстановления производительности скважин	
Газовая детонация.....	
Технология обработки скважин.....	
Результаты обработки скважин.....	
Прострелочная перфорация.....	
Устройство кумулятивного перфоратора.....	
Применение прострелочной перфорации.....	
Гидродинамический удар.....	
Механические колебания.....	
Устройство электромеханических виброустановок	
Устройство гидравлического вибратора	
Устройство магнитострикционной установки	
Устройство гидродинамического и газоструйного аппаратов Комбинированные методы	
Технология реагентной обработки	
Применение комбинированных методов	
Заключение	
Список литературы.....	

ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ РОМАНЕНКО, ЭЛЕОНORA МИХАЙЛОВНА ВОЛЬНИЦКАЯ

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН

Редактор издательства Л.А.Кобылок
 Обложка художника Ю . И . Прошлецова
 Технический редактор Н.П.Старостина
 Корректор Н.Б.Бо....в.

ИБ N 5974

Сдано и набор 25.03.86. Подписано в печать 02.07.86. М-2Н649.

Формат 60Х90 1/16. Бумага кн.-журн. ими. Гарнитура литературная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 700
 Усл. кр.-отт. ...58. Уч. члл. ;. 8.53. Тираж 4370 экз. Заказ 755/687. Цена 45 кон.

Ордена «Знак Почета» издательств., «Недра». Ленинградское отделение. 193171 Ленинград ул.
Фарфоровская, 18.
Типография № 2 Ленуприздана. 191104. Ленинград, Литейный пр., 55.
1904060000-305 043(01) — 86
182 — 86

OCR Pirat