УДК 551.49

DOI: [10.46698/VNC.2021.61.12.013](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.61.12.013)

Оригинальная статья

Освоение месторождений подземных вод инжекторно-принудительным способом

Т. Н. Мендебаев¹, А. Я. Третьяк², Н. Ж. Смашов¹,
А. В. Мохов^{2, 3}, А. А. Бурцев²

¹Научно-внедренческий центр Алмас, Казахстан, 05009, г. Алматы,
Алматинский р-н, пр. Абая, д. 153, e-mail: nvc_almas@mail.ru;

²Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
им. М. И. Платова, Россия, 346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск,
ул. Просвещения, 132;

³Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской
академии наук, Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Чехова, 42

Статья поступила: 18.06.2021, доработана: 22.07.2021, принята к публикации: 10.08.2021

Резюме: Актуальность исследований. По данным международных центров потребление питьевой воды испытывает бурный рост. К 2025 году две трети населения планеты столкнутся с нехваткой пресной воды. В настоящее время одной из причин массовой миграции людей из развивающихся стран в Европу, США и Канаду является отсутствие постоянных источников питьевой воды. Пресная вода становится ключевым фактором геополитики 21 века. Использование главного ее источника – запасов недр – является востребованным и актуальным. **Целью исследования** является решение проблем эффективного извлечения подземных вод путем создания условий для нормального проявления внутренней энергии водоносных пластов в сочетании с физическими принципами отбора воды, а также возможности и целесообразности применения струй высокого давления в буровых долотах, армированных PDC, для бурения пород VII-VIII категорий по буримости. **Методы исследований:** использован экспериментально-аналитический метод исследований на экспериментальной установке циркуляционной системы с возможностью визуального наблюдения за режимом движения воды, а также установление ресурсных возможностей циркуляционной системы разработки залежей подземных вод инжекционно-принудительным самоизливом. Существующая методика разведки и освоения месторождений подземных вод бурением вертикальных скважин морально устарела. Применяемые способы проводки скважин в целом не соответствуют геолого-техническим условиям подземных водных объектов, что приводит к технологическим осложнениям и низкой водоотдаче массива. Повышение эффективности вскрытия и освоения залежей подземных вод достигается при создании условий для проявления внутренней энергии водоносных пластов в сочетании с физическими принципами отбора воды и подъема ее на высоту без затрат энергии. **Результаты исследований.** На основании анализа и обобщения результатов аналитических и лабораторных исследований ресурсных возможностей предложена циркуляционная система разработки залежей подземных вод инжекционно-принудительным самоизливом; установлена целесообразность оснащения нисходящего ствола компоновкой гидроструйного аппарата, ориентированного на элементы залегания водоносных пластов. Зарождение неполного гидроудара в компоновке гидроструйного гидроаппарата создает динамическую депрессию на водоносные пласты с эффектом инъекции и силы гидротарана. Предлагаемая циркуляционная система может быть использована для извлечения воды из низконапорных водоносных пластов.

Ключевые слова: внутренняя энергия водоносных пластов, физические принципы подъема воды на высоту, циркуляционная система, нисходящие и восходящие стволы, водоподъемная труба, неполный гидроудар, гидроструйный аппарат.

Для цитирования: Мендебаев Т. Н., Третьяк А. Я., Смашов Н. Ж., Мохов А. В., Бурцев А. А. Освоение месторождений подземных вод инжекторно-принудительным способом. *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11 (3): 160 – 171. DOI: [10.46698/VNC.2021.61.12.013](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.61.12.013).

DOI: [10.46698/VNC.2021.61.12.013](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.61.12.013)

Original paper

Groundwater deposits development by the injector-forced method

T. N. Mendebaev¹, A. Y. Tret'yak², N. Z. Smashov¹,
A. V. Mokhov^{2, 3}, A. A. Burcev²

¹Innovative center Almas, 153 Abai ave., Almaty district, Almaty05009, Kazakhstan,
e-mail: nvc_almas@mail.ru;

²Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), 132 Prosveshcheniya Str.,
Novocherkassk 346428, Russian Federation;

³Federal Research Centre of the Southern Scientific Center of the Russian Academy
of Sciences, 41, Chehova street, Rostov-na-Donu344006, Russian Federation

Received: 18.06.2021, revised: 22.07.2021, accepted: 10.08.2021

Abstract: Relevance. According to data of the international global economy research centers, 5,5 bln people or two-thirds of the world population will run into a fresh water shortages problem in 2025. Now the major reason for mass human migration from African countries to Europa, USA and Canada is the drinking water sources failure and as a result the poor living standard. In the next 65 years drinking water consumption will grow exponentially. The drinking water is a key to geopolitics of XXI century. So groundwater extraction development questions are eagerly sought and important now. **The Aim of research** is to take on the task of effective groundwater extraction while creating conditions for the normal manifestation of the internal energy of aquifers in combination with the physical principles of water withdrawal, as well as the possibility and feasibility of using high-pressure jets in PDC drilling bits for drilling rocks of VII-VIII drillability grades. **Methods.** We practiced the experimental-analytical method using an experimental observable circulating system set-up supporting visual observations of the water motion mode as well as the establishment of the resource capabilities of the circulation system for the development of underground water deposits by injection-forced self-pouring. The existing methodology for exploration and development of groundwater deposits by drilling vertical wells is obsolete. The applied method of drilling wells does not correspond to the geological and technical conditions of the mountainous environment, hence the technological complications and low fluid yield of hydrological wells. Improving the efficiency of opening and developing groundwater deposits is an urgent task. And this is possible when creating conditions for the presentation of the internal energy of aquifers in combination with the physical principles of water extraction and its rise to a height without energy expenditure. **Results.** According to the analysis and generalization of the results of analytical and laboratory studies of resource capabilities, a circulation system for the development of underground water deposits by injection-forced self-flow is proposed. The expediency of equipping the descending shaft with the layout of the hydraulic jet apparatus, oriented to the elements of occurrence of aquifers, has been established. The initiation of an incomplete water hammer in the layout of a hydraulic jet hydraulic device creates a dynamic depression on the aquifers with the effect of injection and the force of a hydraulic ram. The proposed circulation system can be used to extract water from low-pressure aquifers.

Keywords: water bearing bed internal energy, physical principles of water exaltation, a circulation system, topdown and uprise holes, column pipe, partial hydroshock, hydramjet vessel.

For citation: Mendebaev T. N., Tret'yak A. Y., Smashov N. Z., Mokhov A. V., Burcev A. A. Groundwater deposits development by the injector-forced method. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11 (3): 160 – 171. DOI: 10.46698/VNC.2021.61.12.013.

Введение

Во всем мире истощаются запасы месторождений подземных вод, особенно в районах интенсивного недропользования. Горные работы уходят вглубь земли, что сопровождается нарушением геодинамики недр и системы жизнеобеспечения водоносных горизонтов, их загрязнением промышленными и бытовыми отходами [Гавришин, 2020].

Необходим принципиально новый подход к решению проблем сохранения и освоения месторождений подземных вод. Традиционная методика разведки и разработки залежей, представляющая собой частокол вертикальных скважин морально устарела, не отвечает требованиям недросбережения и рыночной экономики [Башкатов, 1979].

Недостатки – основной объем бурения скважин приходится на пустые породы при незначительной площади вскрытия водоносных пластов на величину их мощности по вертикали, отсюда низкая водоотдача. Другая проблема – необходимость использования для извлечения воды глубинных насосов, воздушных эрлифтов, энергозатратных в эксплуатации, сложных в обслуживании и ремонте.

Решение проблем эффективного извлечения подземных вод возможно при создании условий для максимального проявления внутренней энергии водоносных пластов в сочетании с физическими принципами отбора воды и подъема ее на высоту [Гридневский, 2019].

На этой идейной основе, с учетом элементов залегания водоносных пластов, направления движения воды в них, сформирована циркуляционная система разработки залежей подземных вод инъекционно-принудительным самоизливом.

Общие сведения об объекте исследования

Структурно циркуляционная система скважин состоит из наклонно проведенных во встречном направлении нисходящего и восходящего стволов, связанных плавным изгибом на глубине. Стволы обсажены фильтровой колонной труб со сбойкой встык на плавном изгибе. Система оснащена наземной емкостью, в восходящем стволе размещена водоподъемная труба с боковыми каналами, в нисходящем стволе установлена компоновка каскада гидроструйного аппарата, содержащего насадки, приемные камеры, камеры смешения и диффузор. Вход компоновки гидравлически связан с наземной емкостью, выход в виде диффузора введен в водоподъемную трубу, причем связка насадки – приемная камера ориентирована на подошву залежей подземных вод [Mendebaev et al., 2019b].

В таком исполнении связанные стволы скважин и компоновка каскада гидроструйного аппарата в совокупности образуют циркуляционную систему отбора воды из водоносных пластов посредством инъекции и подъема на высоту силой гидротарана.

Объекты исследования – гидродинамика потока воды через компоновку каскада гидроструйного аппарата, конструктивные особенности и технологические возможности средств сооружения скважин, установление критического расхода воды в водоподъемной трубе, при котором нарушается ламинарный режим движения.

Кроме гидродинамических характеристик водоносных пластов, структуры циркуляционной системы и средств ее сооружения, эффективность извлечения подзем-

ных вод принудительным самоизливом определяется силами инъекции и гидротарана, присущими гидроструйному аппарату.

В области гидравлики гидромашин имеется множество исследований и разработок, направленных на совершенствование конструкции и улучшение показателей работы эжекторов, повышение силовых характеристик гидротаранных установок при подъеме воды на высоту [Mendebaev et al., 2019b].

Методы исследования

Разработана методика расчета высокопроизводительных эжекторов, где установлены оптимальные соотношения продольных размеров внутреннего сечения составляющих элементов, обеспечивающие повышение значения коэффициента эжекции [Горбунов и др., 2018].

Напорно-энергетические характеристики эжекторов улучшаются с увеличением минерализации рабочей жидкости. Это указывает на выгодность использования эффекта инъекции при извлечении высокоминерализованных подземных вод [Дроздов и др., 2019; Ксенз и др., 2016].

Разработаны конструкции эжекторов с возможностью насыщения рабочего раствора пузырьками воздуха, чем достигнуто сокращение расхода воды до 18-25% по сравнению со стандартными методами опрыскивания [Ксенз и др., 2016].

В исследовании [Besaghi, 2019] обсуждаются направления будущих научных поисков для решения проблем «многомерного эжектора» в различных областях человеческой деятельности.

Есть работа, в которой изучены эффекты турбулентности и ее влияние на динамику и скорость газовой индукции в эжекторе [Deerankar et al., 2018].

С целью повышения эффективности эжектора, предложен вариант исполнения побудительного устройства в конструкции в виде вращающегося сопла, чем достигается максимальный прирост КПД на 37% [Исмагилов и др., 2017].

Гидротаран – самонастраивающееся автоколебательное устройство, преобразующее кинетическую энергию части воды, поступающей в него, в потенциальную энергию избыточного давления за счет периодически повторяющегося гидравлического удара. Термином «гидравлический удар» обозначают как повышение, так и понижение давления [Людеке и др., 2015].

Гидротараны могут быть использованы в низконапорных гидроузлах. Известны конструкции гидротаранов зарубежных фирм, исследования характеристик которых проводились при питательном напоре 3 м [Саплин и др., 2015].

Исследователи, занимающиеся разработкой гидротарана пришли к выводу, что оптимальная длина нагнетательной трубы должна составлять не менее 10 метров. Объясняется это тем, что для гидроудара способного поднять поток жидкости на высоту, должна быть соответствующая масса потока [Галингер, 2011].

В работах [Diwan et al., 2016; Vang et al., 2014; Grygo, 2016; Guo et al., 2018] приведены принципы проектирования гидравлического тарана, сведения об оптимальном дизайне, и результаты анализа производительности гидравлической таранной системы, влияния высоты подачи воды на производительность, конструкции и характеристики нового гидравлического тарана.

Экспериментальная установка добычи подземных вод инжекционно-принудительным способом

На основании передовых идей в области разработки и эксплуатации эжекторов и гидротарана, была сконструирована компоновка каскада гидроструйного аппарата, встроенная в циркуляционную систему скважин.

Главные отличия от известных конструкций эжекторов и гидротарана, компоновка каскада гидроструйного аппарата одновременно выполняет функцию эжектора гидротарана, предусматривает зарождения неполного гидравлического удара, оказывающего знакопеременные гидродинамические воздействия на водоносные

Рис. 1. Циркуляционная система разработки залежей подземных вод
инжекционно-принудительным способом

1 – колонна труб нисходящего ствола, 2 – колонна труб восходящего ствола, 3 – направляющая,
4 – наземная емкость, 5 – трубопровод, 6 – водоподъемная труба, 7 – боковые каналы, 8 – насадка
диффузора, 9 – сопло диффузора, 10-11 – приемные камеры, 12-13 – камеры смешения,
14 – диффузор, 15 – вентиль, 16-17 – расходомеры, 18 – патрубок к потребителю /

Fig. 1. The circulating system of the subsurface waters mining by the injector-forced method
1 - pipe column of the topdown hole, 2 - pipe column of the uprise hole, 3 - guide arch, 4 - aboveground
tank, 5 - flowline, 6 - column pipe, 7 - lateral channel, 8 - diffuser header, 9 - diffuser nose piece,
10-11 - suction chamber, 12-13 - mixing chamber, 14 - diffuser, 15 - stopper, 16-17 - flow gauges,
18 - pipe to interruptible customer

пласты. На рисунке 1 приведена циркуляционная система разработки залежей подземных вод инъекционно-принудительным самоизливом.

Работает система следующим образом. При открытии вентиля (15) рабочий поток воды из наземной емкости (4) по трубопроводу (5) через насадки (8) поступает в приемную камеру (10), увлекая массы воды за счет трения из водоносного пласта через фильтровую колонну труб (1) нисходящего ствола. Увлеченный поток называется инжектируемым, где кинетическая энергия воды из емкости (4) частично передается инжектируемому. Рабочий и инжектируемый потоки поступают в камеру смешения (12), где скорости их выравниваются, что сопровождается, как правило, повышением давления. Из камеры смешения поток поступает в приемную камеру (11), увлекая массу воды из нижележащего водоносного пласта. Далее поток перетекает в камеру смешения (13), где их скорости вновь выравниваются с повышением давления. Из камеры смешения (13) по направляющей (3) вода поступает в диффузор (14), где происходит дальнейший рост давления. Давление смешанного потока на выходе из диффузора значительно выше давления инжектируемого потока, поступающего в приемную камеру (10).

В дальнейшем высоконапорный скоростной поток, посредством инъекции однонаправленно увлекая воду через фильтровую колонну труб (2) восходящего ствола, по водоподъемной трубе (6) с боковыми каналами (7) попадает в наземную емкость (4). По разности показаний расходомеров (16 и 17) определяют объем инжектируемой воды, через патрубок (18) направляемой к потребителям.

Повышение давления инжектируемого потока без непосредственной затраты механической энергии – основное качество гидроструйных аппаратов [Дерусов, 1984; Соколов, Зигнер, 1989]. В силу этого компоновка каскада гидроструйного аппарата представляется более надежным средством отбора воды из водоносных пластов и подъема на высоту, по сравнению с глубинными, механическими насосами.

Рис. 2. Схема работы гидроструйного насоса

1 – движущаяся жидкость, 2 – сопло движущейся жидкости, 3 – сходящееся входное сопло, 4 – прокачиваемая жидкость, 5 – диффузор, 6 – горловина диффузора, 7 – движущаяся жидкость на выходе /

Fig. 2. Waterjet pump run scema

1 – motive fluid, 2 – motive fluid slush nozzle, 3 – converginginput nozzle, 4 – circulatingfluid, 5 – diffuser, 6 – diffusermanhole, 7 – output motive fluid

При наличии в циркуляционной системе плавного изгиба между стволами переход воды из каскада гидроструйного аппарата в водоподъемную трубу происходит без потери напора и скорости, с приобретением дополнительного ускорения и усилением подъемной силы.

Энергетические характеристики каскада гидроструйного аппарата оцениваются величиной скоростного напора и коэффициентом инъекции K_u .

$$K_u = \frac{Q_u}{Q_p}, \%$$

где Q_u – расход инжектируемого потока воды, Q_p – расход рабочего потока воды. Значение скоростного напора потока воды в водоподъемной трубе определяется по формуле

$$H = \frac{P}{\gamma} + \frac{\vartheta^2}{2g}, \text{ м}$$

где P – давление воды на выходе из диффузора, γ – объемный вес воды, g – скорость движения потока воды в водоподъемной трубе.

Методы работы

Процесс перетекания воды через компоновку каскада гидроструйного аппарата сопровождается зарождением неполного гидравлического удара. При поступлении потока воды в насадки из-за резкого уменьшения поперечных размеров насадки на выходе часть потока воды задерживается, появляются волны повышенного давления, следующие одна за другой по трубопроводу в сторону емкости. Как только первая волна положительного давления дойдет до емкости, поток разожмется, часть воды выльется в емкость, в этом месте возникает отраженная отрицательная волна. К этому моменту, к емкости подходит вторая волна повышенного давления от нижней насадки. Волны смешиваются, и суммарная отрицательная волна давления движется от емкости к насадкам, где вновь зарождаются волны повышенного давления. Цикл повторяется.

При этом гидравлический удар называется неполным, поскольку выходы насадки остаются открытыми. Если волна повышенного положительного давления будет направлена на увеличение силы гидротарана, то последующая, отраженная от емкости отрицательная волна может создать вакуум на связке насадка-приемная камера, способствуя раскрытию пор и трещин пород. При этом будет наблюдаться увеличение водоотдачи пласта. Таким образом, возможности гидравлического удара используются для создания динамических депрессий на водоносные пласты.

Слежение за направлением трассы стволов, их сбойки плавным изгибом встык осуществляется системой контрольно-измерительных приборов, скважинной телеметрией ССВ-01.

Для изучения механизма зарождения неполного гидравлического удара и проверки состоятельности циркуляционной системы, придерживаясь схемы приведенной на рисунке и в соответствии с принципами физического моделирования гидравлических явлений, спроектирована экспериментальная установка.

Проведением серии экспериментов на установке с изменениями соотношения расхода рабочего потока и поперечных размеров выходной части насадок удалось установить границы зарождения неполного гидравлического удара в условиях, приближенных к реальным.

Внешние признаки – переход экспериментальной установки в резонансный, автоколебательный режим работы, пульсирующий подъем воды на дневную поверхность.

Безусловно, изучение механизма зарождения неполного, каскадного гидравлического удара в компоновке гидроструйного аппарата, динамики знакопеременного

взаимодействия с водоносными пластами требует проведения объемных исследований. Однако есть уверенность, что регулируемый-гидравлический удар может стать весомым ресурсом повышения эффективности циркуляционной системы извлечения подземных вод.

В установлении ресурсных возможностей повышения эффективности циркуляционной системы также важно изучение возможностей создания стабильного ламинарного режима движения потока воды в водоподъемной трубе. При турбулентном режиме движения сопротивление пропорционально квадрату скорости течения с увеличением энергозатрат и снижением высоты подъема воды.

Критический расход, при котором режим движения потока воды отклоняется от ламинарного течения в трубах, рассчитывают по формуле

$$Q = 0,182 d v$$

где Q – критический расход, л/с, d – внутренний диаметр труб, см, v – кинематический коэффициент вязкости, см²/сек.

Для установления достоверных граничных значений сохранения ламинарного режима течения воды в водоподъемной трубе были проведены опытные работы на экспериментальной установке. В повариантном исполнении, с целью визуального наблюдения за режимом движения воды, использована водоподъемная труба с прозрачными стенками, на емкость сверху был установлен бачок с красной краской, подаваемой в емкость через вентиль и патрубок. Расходы воды определялись по показаниям расходомера, вмонтированного в водоподъемную трубу перед входом в емкость.

Ниже, в таблице 1, приведены результаты расчетов и данные экспериментов по определению критического расхода потока воды, при которых режим движения отклоняется от ламинарного.

Таблица 1 / Table 1

Значение критического расхода отклонения воды от ламинарного движения в зависимости от внутреннего диаметра водоподъемной трубы /

The value of the critical flow rate of the water deflection from laminar movement, depending on the inner diameter of the riser pipe

Кинематическая вязкость воды при температуре 20°C равняется 0,01006 см²/сек. / The kinematic viscosity of water at a temperature of 20°C is equal to 0.01006 cm²/sec.

Показатели критического расхода воды, Q, л/мин / Indicators of critical water consumption, Q, l/min	Внутренний диаметр водоподъемной трубы геологоразведочного сортамента, мм / Inner diameter of the geological exploration assortment water-lifting pipe, mm			
	80	98	114	127
1.1. Расчетные / Calculated	8,788	10,765	12,523	14,281
1.2. Экспериментальные / Experimental	2,24	25,6	30,2	37,5

Результаты экспериментов сильно расходятся с расчетными данными критического расхода воды, что указывает на некорректность формулы расчета, которая не учитывает такие факторы влияющие на режим движения воды, как шероховатость внутренней стенки трубопровода. Возможно, на режим движения воды повлияли плавный изгиб между условными стволами и материал изготовления водоподъемной трубы из прозрачного стекла. Чем плавнее вход в трубу, тем позже наступает турбулентный режим [Рабинович, 1989]. Отсюда следует, что при проектировании циркуляционной системы разработки залежей подземных вод применительно к конкретной гидрогеологической ситуации необходимо руководствоваться результатами экспериментов [Третьяк и др., 2019а, б].

Результаты и обсуждение

Выполненные экспериментальные исследования показывают, что циркуляционная система разработки подземных вод инъекционно-принудительным способом работоспособна и реализуема на практике.

Исходная идея, определяющая структуру циркуляционной системы – минимальный объем бурения скважин по пустым породам и максимальное вскрытие водоносных пластов, извлечение воды из недр земли без затрат энергии.

При непрерывной, замкнутой циркуляции потока воды по линии наземная емкость – компоновка каскада гидроструйного аппарата – водоносные пласты – водоподъемная труба – наземная емкость, давление воды в водоподъемной трубе значительно выше, чем в наземной емкости.

Весомый ресурс в повышении эффективности циркуляционной системы разработки залежей подземных вод – зарождение неполного, гидравлического удара с чередующимися повышением и понижением волны давления в компоновке каскада гидроструйного аппарата, усилением эффекта инъекции и силы гидротарана.

По технологическим возможностям, циркуляционная система может быть использована не только в напорных и артезианских водах, но и в низконапорных.

Предпочтительные материалы для изготовления техники бурения скважин, элементов гидроструйного аппарата – легкосплавные трубы, высокопрочные композиционные материалы, стойкие к знакопеременным нагрузкам и агрессивной водной среде.

Циркуляционная система разработки залежей подземных вод инъекционно-принудительным самоизливом по объему водоотдачи может заменить 3-5 вертикальных скважин, пробуренных по традиционной методике.

В перспективе, система может стать средством перевода сельского хозяйства страны на орошаемое земледелие, достижением огромной экономии водных ресурсов, решением проблем недросбережения и водной безопасности.

Выводы

1. При непрерывной замкнутой циркуляции потока воды по линии наземная емкость – компоновка каскада гидроструйного аппарата – водоносные пласты – водоподъемная труба – наземная емкость давление воды в водонапорной трубе значительно выше, чем в наземной емкости.

2. Ресурсные возможности циркуляционной системы обусловлены оснащением нисходящего ствола компоновкой каскада гидроструйного аппарата, ориентированного на элементы залегания водоносных пластов. Зарождением неполного гидрав-

лического удара в компоновке каскада гидроструйного аппарата создается динамическая депрессия на водоносные пласты усилением эффекта инжекции и силы гидротарана, это доказано на экспериментальной установке. Возможности неполного гидравлического удара можно регулировать соотношениями расхода рабочего потока к поперечному размеру выходной части насадки. В силу данного ресурса циркуляционная система может быть использована для извлечения воды из низконапорных водоносных пластов.

3. Критические расходы потока воды в водоподъемной трубе определены расчетами и проведением экспериментов на установке, где водопроводная труба изготовлена из прозрачного материала. Это дало возможность визуального наблюдения за режимом течения потока воды.

4. Данные расчетов расхода воды и результаты экспериментов отличаются. Это связано с уменьшением шероховатости внутренней стенки из стекла, что задерживало появление турбулентного режима.

5. Установление закономерности режима движения воды может быть учтено при проектировании циркуляционной системы применительно к конкретным гидрогеологическим условиям залегания водоносных пластов.

Литература

1. Башкатов Д.Н.. Справочник по бурению скважин на воду. – М.: Недра, 1979. – С. 478-482.
2. Гавришин А.И. Шахтные воды в управлении качеством грунтовых вод в восточном Донбассе. // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – Т. 10. №3. – С. 127-138. DOI: 10.46698/VNC.2020.62.81.008
3. Галинкер Э.В. Идеальный гидротаран. // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2011. – № 11 (103). – С. 69-71.
4. Горбунов А.К., Петросян О.П., Рябченков Д.В. Эжекция и инжекция реагентов в технологиях подготовки. // В сб. статей Международной научно-практической конференции. – Уфа: Аэтерна, 2018. – С. 40-42.
5. Гридневский А.В. Численное моделирование геофильтрации правобережья реки Дон для обоснования инженерной защиты от подтопления в г. Ростов-на-Дону. // Геология и геофизика Юга России. – 2019. – Т. 9. № 1. – С. 150-163. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26795
6. Дерусов В.П. Обратная промывка при бурении геологоразведочных скважин. – М.: Недра, 1984. – С. 101-105.
7. Дроздов А.Н., Дроздов Н.А., Горбылева Я.А., Горелкина Е.И. Влияние эжекторов минерализации рабочей жидкости на характеристики жидкостно-газовых эжекторов. // Бурение и нефть. – 2019. – № 7-8. – с. 42-45.
8. Исмагилов А.Р., Спиридонов Е.К., Белкина О.В. О повышении эффективности эжектора с жидкой струей. // Труды 3-й Международной научно-технической конференции. – Челябинск. – 2017. – С. 13-17.
9. Ксенз А.Я., Камбулов С.И., Колесник В.В., Ритный С.Д. К расчету водовоздушного эжектора для серийного опрыскивателя. – Изд. Владикавказ. – 2016. – Т. 53. № 1. – с. 90-97.
10. Людеке Х.Й., Котэ Б., Паули К. Гидроудар: причины, анализ и способы предотвращения. // Водоснабжение и санитарная техника. – 2015. – № 8. – С. 62-69.
11. Рабинович Н.И. Инженерные задачи механики оплошной среды в бурении. – М.: Недра, 1989. – С. 35-39.
12. Саплин Л.А., Пташкина-Гирина О.С., Волкова О.С. Сравнительный обзор и оценка российских и зарубежных гидротаранных установок. // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 3. – С. 40-44.

13. Соколов Е. Я., Зигнер К. М. Струйные аппараты. 3-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – С. 352.
14. Третьяк А. А., Кузнецова А. В., Швец В. В. Результаты моделирования процесса течения жидкости в скважинном самоочищающемся фильтре. // Издательство Томского государственного университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019а. – Т. 330. №9. – С. 128-142.
15. Третьяк А. Я., Швец В. В., Нырков Е. А. Выбор оптимального магнитного поля с целью регенерации скважинных самоочищающихся фильтров. // Известия Томского государственного университета. Науки о Земле. – 2019б. – №2. – С. 62-71.
16. Besaghi G. Ejectors on the cutting edge: The past, the present and the perspective. // Energy Elsevier. – 2019. – Vol. 170 (C). – pp. 908-1003.
17. Deepankar V. Sharma, Patwardhan W. Ashwin, Vivek V. Ranade. Effect of turbulent dispersion on hydrodynamic characteristics in a liquid jet ejector. // Energy, Elsevier. – 2018. – Vol. 164 (C). – pp. 10-20.
18. Diwan P., Patel A. and Sahu L. Design and Fabrication of Hydraulic Ram with Methods of Improving Efficiency. // In International Journal of Current Engineering and Scientific Research. – 2016. – Vol. 3. №4. – pp. 5-13.
19. Grygo Da. Effect of the Height of the Delivery Water on Performance of Water Ram. // Technical Sciences. – 2016. – Vol. 19 (2). – pp. 139-149.
20. Guo X., Li J., Yang K., Fu H., Wang T., Guo Y., Xia Q. and Wei Huang. Optimal Design and Performance Analysis of Hydraulic Ram Pump System. // Proceeding of Institution of Mechanical Engineering. – 2018. – Part A: J Power and Energy 0 (0). – p. 15.
21. Mendebaev T.N., Smashov N.Zh., Ismailov H.K., Izakov B.K. Development of a resource-saving, small-sized downhole hydraulic machine for well drilling. // Eastem-European journal of enterpryse technologies. – 2019а. – Vol. 6/1 (102). – pp. 70-75.
22. Mendebaev T.N., Smashov N.Zh., Kumatova M.Zh. Water jet destruction of rocks in well drilling by diamond tools with independent flushing ports. // Eurasian mining. – 2019б. – Vol. 2 (32). – pp. 41-43.
23. Vang K. L., et al. Design and Hydraulic Performance of a Novel Hydraulic ram. // II International Conference on Hydroinformatics. – New York. – 2014. – p. 108.

Reference

1. Bashkatov D. N. Handbook of drilling wells for water. Moscow. Nedra, 1979. p. 478-482. (In Russ.)
2. Gavrishin A. I. Mine waters in groundwater quality management in eastern Donbass. *Geology and Geophysics of Russian South*, 2020. Vol. 10. No. 3. pp. 127-138. DOI: 10.46698/VNC.2020.62.81.008 (In Russ.)
3. Galinker E. V. The perfect gidrotaran. International scientific journal *Alternative energy and ecology*, 2011. No. 11 (103). pp. 69-71. (In Russ.)
4. Gorbunov A. K., Petrosyan O. P., Ryabchenkov D. V. Ejection and injection of reagents in preparation technologies. In: *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Ufa. Aeterna*, 2018. pp. 40-42. (In Russ.)
5. Gridnevsky A. V. Numerical modeling of geofiltration of the right bank of the Don River to substantiate engineering protection against flooding in Rostov-on-Don. *Geology and Geophysics of Russian South*, 2019. Vol. 9. No. 1. pp. 150-163. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26795 (In Russ.)
6. Derusov V. P. Backwash when drilling exploration wells. Moscow. Nedra, 1984. pp. 101-105. (In Russ.)
7. Drozdov A. N., Drozdov N. A., Gorbyleva Ya. A., Gorelkina E. I. Influence of ejectors of working fluid salinity on the characteristics of liquid-gas ejectors. *Drilling and oil*, 2019. No. 7-8. pp. 42-45. (In Russ.)

8. Ismagilov A. R., Spiridonov E. K., Belkina O. V. On increasing the efficiency of a liquid jet ejector. In: Proceedings of the 3rd International Scientific and Technical Conference. Chelyabinsk, 2017. pp. 13-17. (In Russ.)
9. Ksenz A. Ya., Kambulov S. I., Kolesnik V. V., Ritnyi S. D. Calculation of a water-air ejector for a serial sprayer. Vladikavkaz, 2016. Vol. 53. No. 1. pp. 90-97. (In Russ.)
10. Ludeke H. Y., Kote B., Pauli K. Hydroblow: causes, analysis and methods of prevention. Water supply and sanitary engineering, 2015. No. 8. pp. 62-69. (In Russ.)
11. Rabinovich N. I. Engineering problems of fluid mechanics in drilling. Moscow. Nedra, 1989. pp. 35-39. (In Russ.)
12. Saplin L. A., Ptashkina-Girina O. S., Volkova O. S. Comparative review and assessment of Russian and foreign hydraulic ram units. Bulletin of KrasGAU, 2015. No. 3. pp. 40-44. (In Russ.)
13. Sokolov E. Ya., Zigner K. M. Inkjet devices. 3rd ed. Moscow. Energoatomizdat, 1989. 352 p. (In Russ.)
14. Tretyak A. A., Kuznetsova A. V., Shvets V. V. Results of modeling the process of fluid flow in a self-cleaning downhole filter. Tomsk State University. Engineering of georesources, 2019a. Vol. 330. No. 9. pp. 128-142. (In Russ.)
15. Tretyak A. Ya., Shvets V. V., Nyrkov E. A. Selection of the optimal magnetic field for the regeneration of downhole self-cleaning filters. Bulletin of the Tomsk State University. Earth sciences, 2019b. No. 2. pp. 62-71. (In Russ.)
16. Besaghi G. Ejectors on the cutting edge: The past, the present and the perspective. Energy Elsevier, 2019. Vol. 170 (C). pp. 908-1003.
17. Deepankar V. Sharma, Patwardhan W. Ashwin, Vivek V. Ranade. Effect of turbulent dispersion on hydrodynamic characteristics in a liquid jet ejector. Energy, Elsevier, 2018. Vol. 164 (C). pp. 10-20.
18. Diwan P., Patel A. and Sahu L. Design and Fabrication of Hydraulic Ram with Methods of Improving Efficiency. In: International Journal of Current Engineering and Scientific Research, 2016. Vol. 3. No. 4. pp. 5-13.
19. Grygo Da. Effect of the Height of the Delivery Water on Performance of Water Ram. Technical Sciences, 2016. Vol. 19 (2). pp. 139-149.
20. Guo X., Li J., Yang K., Fu H., Wang T., Guo Y., Xia Q. and Wei Huang. Optimal Design and Performance Analysis of Hydraulic Ram Pump System. In: Proceeding of Institution of Mechanical Engineering, 2018. Part A: J Power and Energy 0 (0). p. 15.
21. Mendebaev T. N., Smashov N. Zh., Ismailov H. K., Izakov B. K. Development of a resource-saving, small-sized downhole hydraulic machine for well drilling. Eastern-European journal of enterpryse technologies, 2019. Vol. 6/1 (102). pp. 70-75.
22. Mendebaev T. N., Smashov N. Zh., Kuatova M. Zh. Water jet destruction of rocks in well drilling by diamond tools with independent flushing ports. Eurasian mining, 2019. Vol. 2 (32). pp. 41-43.
23. Vang K. L., et al. Design and Hydraulic Performance of a Novel Hydraulic ram. II International Conference on Hydroinformatics. New York, 2014. p. 108.