

Метод безреагентной гидродинамической регенерации водозаборных скважин

Артёмчик А.А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель Ивашечкин В.В., д.т.н., профессор

В статье приведен безреагентный метод увеличения срока службы водозаборных скважин за счет применения способа гидродинамической регенерации на примере установки компании Etschel Brunnenservice как наиболее передовой и перспективной. Способ основан на би-ротационном вращении системы из сопел, создающей импульсы для очистки фильтра водозаборной скважины и разрушения кольматационных отложений в прифильтровой зоне. Приведены результаты практического применения, подтверждающие увеличение дебита скважин после обработки. Сформулированы выводы об эффективности, экологичности и оперативности данного метода как перспективной альтернативы применяемым.

Эксплуатация водозаборных скважин сопровождается постепенным снижением их производительности вследствие кольматации фильтра и прифильтровой зоны (гравийной обсыпки и прискваженной зоны пласта), как то: заиливание, биообрастание и минеральные отложения, что со временем требует регенерации скважин.

Среди методов регенерации скважин выделяют механические, реагентные, импульсные, вибрационно-ультразвуковые, а также их комбинации. На практике они демонстрируют ограниченную эффективность: механические способы не обеспечивают очистку прифильтровой зоны, химические методы характеризуются неравномерной декольматацией, длительностью процесса, негативным воздействием на экологию и необходимостью принятия дополнительных мер и средств защиты персонала, который проводит регенерацию. Импульсные технологии часто дают кратковременный эффект, а также могут приводить к разрушению фильтра, что в свою очередь приводит к пескованию скважин [1-5].

Альтернативным решением является метод гидродинамической очистки, прошедший путь от простой гидроструйной очистки до сложных би-ротационных систем.

Hydro Jet Cleaning – гидроструйная очистка, использующая воду под высоким давлением. Очистка применима для как для очистки фильтров водозаборных скважин [6, 7] и их освоения, так и для очистки канализационных трубопроводов, ливневой канализации [8, 9, 10], а также для удаления накипи с трубопроводов и труб в таком оборудовании, как теплообменники и котлы [11].

High-Pressure-Impulse Process (HPI-Process) – технология создания импульсов высокого давления с помощью высокого давления воды для разрушения кольматанта на фильтре и разрыхления в прифильтровой зоне, а также очистки эксплуатационной колонны. Очистка осуществляется без применения реагентов и основана на преобразовании потенциальной энергии воды, создаваемой высоконапорным насосом, в кинетическую энергию, генерирующую высоконапорные импульсы.

Основной областью применения является регенерация вертикальных фильтрующих скважин, а также горизонтальных дренажей. Целесообразно использовать метод для очистки скважин от бурового раствора непосредственно после бурения.

С начала 1960-х годов гидроструйная очистка подразумевала использование сопел, установленных в муфтах. При максимальной производительности 22.7 м³/ч и давлении нагнетания 0.17 МПа из каждого сопла скорость выхода струи была около 60 м/с. Закрепленный гидромонитор на буровых штангах медленно перемещался вверх или вниз по выбранным участкам фильтровой колонны и фильтра, а вращение происходило со скоростью 10–50 об/мин [12, 13].

В 1993 году в Германии была разработана биротационная система UNINOZ[®], обеспечивающая движение в двух плоскостях, а не в одной, как ранее, и создание импульсов высокого давления строго горизонтально относительно вертикальной оси скважины. В 2017 была представлена установка двойного вращения MAXINOZ[®] (см. рис. 1), инновация заключалась в том, что конструкция сопел позволяла регулировать угол их наклона в зависимости от конструкции фильтра для более эффективной и щадящей очистки [14].



Рис. 1 – Гидромонитор [15]

Актуальные установки компании Etschel Brunnenservice GmbH устанавливаются на трёхосный грузовик (см. рис. 2), основными элементами являются: поршневой насос высокого давления; гидромонитор, включающий вращающееся сопло с проставками, центраторы, шланги высокого давления, шкаф управления, погружные электронасосы, измерительные и регистрирующие приборы, а также различные инструменты; компрессор, необходимый для эрлифтового удаления колюматанта из отстойника скважины; генератор, который обеспечивает транспортное средство автономным электроснабжением.



Рис. 2 – Грузовик с установленным оборудованием [16]

3-поршневой плунжерный насос с электроприводом с мощностью привода 200 кВт, установленный на шасси способен создавать давление от 10 до 55 МПа, что обеспечивает экстремальную скорость истечения воды из сопел с расходом в диапазоне от 100 до 200 л/мин в зависимости от потребности. Каждое сопло использует до 50 л/мин воды со скоростью истечения 180 м/с, мощность струи отдельных сопел достигает около 190 кН, что приводит к резкому ускорению воды (импульсу) вокруг сопел, которые распространяются через фильтр в прифильтровую зону и разрушают кольматант. Кинетическая энергия, создаваемая соплами, приводит к встречному вращению двух корпусов (каждый корпус с двумя отдельными соплами) со скоростью около 7000 об/мин, что обеспечивает очень короткое время пребывания струи на одном месте, за счет чего достигается равномерная очистка без спиралевидных следов. Кроме того, две встречно вращающиеся пары сопел разделяют воду на два водных горизонта, а также они могут быть адаптированы к диаметру скважины за счет изменения угла их наклона. Постоянное движение гидромонитора вверх-вниз со скоростью от 0,1 до 0,3 м/с, создаёт эффект свабирования, который дополнительно способствует очистке скважины. Установка пригодна для обработки скважин диаметром до 1000 мм и глубиной до 400 метров [17, 18].

Для большего повышения эффективности очистки скважин и получения контроля за ходом очистки в процессе регенерации в скважину устанавливается погружной насос, который непрерывно откачивает воду. Производительность насоса подбирается таким образом, чтобы в процессе регенерации создавался приток воды, направленный к скважине из пласта, что в свою очередь будет способствовать вымыванию частиц кольматанта из пор гравийной обсыпки и прифильтровой зоны, а эффективность очистки повышается с увеличением скорости потока, направленного к скважине.

Процесс регенерации скважины документируется и контролируется путем измерения концентрации взвешенных частиц и расхода каждые 15 минут. Гидроструйная очистка прекращается, когда концентрация взвеси перестаёт снижаться. Обычно достигаются конечные значения от 0 до 0,5 см³ осадка на 10 л.

Таким образом одновременное выполняется три операций: разрушение, транспортировка и мониторинг.

После регенерации скважины отстойник скважины очищается эрлифтовой откачкой, а после проводится телевизионный осмотр.

Технология проходила проверку в рамках диссертационного исследования в Горной академии Фрайберга в 1996 году.

В 1999 году в Висбадене проводилась регенерация, в ходе которой дебит обработанной скважины увеличился с 12 м³/ч до 47 м³/ч. Также было

отмечено, что при регенерации вертикальных водозаборных скважин достигается более высокая производительность, чем первоначальная производительность после бурения. Это объясняется тем, что процесс гидродинамической регенерации удаляет не только частицы кольматанта, но и остатки промывочного раствора, оставшегося после бурения скважины [19].

В 2000 году Немецкое объединение специалистов газового и водного хозяйства (DVGW) инициировало официальную исследовательскую программу. Её целью стало сравнительное тестирование различных методов регенерации и оценка их эффективности на основе определения проникающей способности за пределы фильтров в гравийную обсыпку. Результаты были освещены в DVGW W 55/99 в 2003, и HPI-Process показал наилучшие результаты по сравнению с другими методами регенерации, а также в DVGW W 130 в 2007 году.

Исследования также проводились в Дрезденском центре исследований подземных вод (Dresdner Groundwater Research Centre) на реальных моделях скважин [20].

Метод окончательно зарекомендовал себя в ходе практических испытаний по обработке скважин, запрошенных компанией Hessenwasser GmbH & Co в 2018 году, которая обеспечивает питьевой водой около 2,4 миллионов человек в регионе Рейн-Майн Германия и поставляет более 112 миллионов м³ воды [16]. Компании Etschel Brunnenservice было поручено восстановить одну из скважин. Это была скважина глубиной 50 м, пробуренная в 1963 году и оснащенная деревянным фильтром диаметром 400 мм. По данным измерений, удельный дебит составил 26 м³/ч до проведения регенерации и 41,3 м³/ч после проведения регенерации, что соответствует увеличению производительности на 58%.

Благодаря признанию результатов серии испытаний в 2019 году, компания Etschel Brunnenservice получила заказ на восстановление более десяти скважин глубиной от 11 до 155 метров, прирост производительности скважин составил от 23,6% до 152,5%. Восстановление двух скважин в Лампертхайме показали прирост производительности от 58% до 411%. Время обработки скважин с фильтрами длиной 50 метров заняло всего 3–4 часа [15].

Следует отметить, что в доступной литературе, на которую даны ссылки в данной статье, данные по приросту производительности приводятся относительно значений, замеренных до регенерации, а не от первоначальной производительности скважины, что не позволяет в полной мере оценить эффективность применяемого метода.

Для операторов водозаборов критически важно минимизировать время простоя скважины при её регенерации. В большинстве случаев для

успешного восстановления скважины с помощью установки Etschel JET Master требуется не более одного-двух дней, включая телевизионное обследование скважины до и после обработки, общие временные затраты для скважин глубиной до 200 м не превышают четырёх-пяти дней [20].

На сегодняшний день компания Etschel Brunnenservice GmbH восстановила более 8500 скважин при помощи гидродинамического метода и имеет сертификацию DVGW.

Гидродинамический метод является перспективной альтернативой и конкурентом применяемым методам регенерации.

Ключевые преимущества метода заключаются в его экологичности (не требует применения реагентов), универсальности (подходит для очистки фильтров различных конструкций и материалов) и оперативности (процесс декольматации может занимать часы, минимизируя простой скважины).

Необходимо отметить, что описанный метод не растворяет отложения, а лишь разбивает кольматант там, где это возможно, и разрыхляет прифильтровую зону. Максимальная эффективность регенерации достигается, когда не произошло полное сцементирование прифильтровой зоны. Метод наиболее эффективен, если скважина потеряла не более 10–20% своей первоначальной производительности.

Литература

1. Гаврилко, В. М. Фильтры буровых скважин / В. М. Гаврилко, В. С. Алексеев. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Недра, 1985. – 334 с.
2. Ивашечкин, В. В. Ремонтпригодные водозаборные скважины / В. В. Ивашечкин, П. А. Автушко ; под. ред. В. В. Ивашечкина. – Минск : БНТУ, 2016. – 228 с.
3. Тесля, В. Г. Циркуляционная регенерация скважин и пласта : дис. канд. техн. наук : 04.00.06 / Тесля Валерий Григорьевич ; ВНИИ водоснабжения, канализации, гидротехн. сооружений и инж. гидрогеологии. – М., 1986. – 144 с.
4. Ивашечкин, В. В. Регенерация скважин и напорных фильтров систем водоснабжения / В. В. Ивашечкин, А. М. Шейко, А. Н. Кондратович ; под ред. В. В. Ивашечкина. – Минск : БНТУ, 2008. – 276 с.
5. Артёмчик, А. А. Анализ некоторых циркуляционно-реагентных способов регенерации водозаборных скважин / А. А. Артёмчик ; науч. рук. В. В. Ивашечкин // Материалы Республиканской студенческой научно-практической конференции в рамках Международного молодежного форума «Креатив и инновации'2024», 13 декабря 2024 года [Электронный ресурс] / Белорусский национальный технический университет, Факультет энергетического строительства, Кафедра «Водоснабжение и

водоотведение» ; сост.: С. А. Дубенок, А. А. Куралёнок – Минск : БНТУ, 2024. – С. 12-18.

6. WellJet [Electronic resource] // Hydropressure cleaning. — Mode of access: <https://www.hydropressure.com/> – Date of access: 29.11.2025.

7. Well Services and Rehabilitation [Electronic resource] // Hydro resources. – Mode of access: <https://hydroresources.com/services/> – Date of access: 29.11.2025.

8. Hydro Jet Cleaning and Vacuuming [Electronic resource] // Harry caswell llc. – Mode of access: <https://www.harrycaswell.com/services/hydro-jet-cleaning-and-vacuuming/#> – Date of access: 29.11.2025.

9. Hydro Jet Drain Cleaning [Electronic resource] // Harben. – Mode of access: <https://harben.com/hydro-jet-drain-cleaning/> – Date of access: 29.11.2025.

10. Drainage washer guides [Electronic resource] // Hydro jet. – Mode of access: <https://www.hidrojet.eu/en/drainage-washer-guides/> – Date of access: 29.11.2025.

11. Hydro-Jet Cleaning [Electronic resource] // Zenith plus. – Mode of access: <https://zenith-mcs.com/hydro-jet-cleaning/index.html> – Date of access: 29.11.2025.

12. Patent US 3945436 A, Int. Cl E21B 37/00, E21B 37/06. Hydraulic jet well cleaning : № 195303 : filing date 07.10.1980 : publ. date 14.09.1982 / W. Zublin. – URL: <https://patents.google.com/patent/US4349073A/en> (date of access: 10.11.2025).

13. High-Pressure Impulses for Well Development and Rehabilitation [Electronic resource] // Etschel brunnenservice. – Mode of access: <https://etbs.de/wp-content/uploads/2024/01/high-pressure-impulses-for-well-development-and-rehabilitation.pdf> – Date of access: 15.10.2025.

14. Scientifically proven method [Electronic resource] // Etschel brunnenservice. – Mode of access: <https://etbs.de/en/scientifically-proven-method/> – Date of access: 29.11.2025.

15. New developed bi-rotational-unit significantly increases results of water well rehabilitations using the HPI-Process with high water pressure [Electronic resource] // Etschel brunnenservice. – Mode of access: <https://etbs.de/wp-content/uploads/2023/02/Energie-Wasser-Praxis-02-2021-EN.pdf> – Date of access: 11.10.2025.

16. Wasser – Grundlage des Lebens [Electronic resource] // Hessenwasser. – Mode of access: <https://www.hessenwasser.de/wasser/> – Date of access: 29.11.2025.

17. Newly constructed nozzle rotation unit MAXINOZ shows significant performance increase at mechanical well rehabilitations [Electronic resource] // Etschel brunnenservice. – Mode of access: <https://etbs.de/wp->

content/uploads/2023/02/maxinoz-shows-amazing-rehabilitation-results.pdf – Date of access: 15.10.2025.

18. Well Cleaning Nozzle [Electronic resource] // Kamat. – Mode of access: <https://www.kamat.de/en/high-pressure-solutions/high-pressure-nozzles/well-cleaning-nozzle/> – Date of access: 29.11.2025.

19. Das Druckwellen-Impulsverfahren für die Regenerierung und Entwicklung von Brunnen [Electronic resource] // E+M Drilling Technologies. – Mode of access: <http://www.em-drilling.com/pdf/druckwellen-impulsverfahren.pdf> – Date of access: 15.10.2025.

20. Etschel, G. The Etschel Jet Master - a high pressure impulse process (HPI-Process) for water well rehabilitation and water well developmen / G. Etschel, R. Pietsch // Водные ресурсы и климат : материалы V Международного Водного Форума, Минск, 5-6 октября 2017 г. / Белорусский государственный технологический университет ; [редкол.: проф. д-р техн. наук. О. Б. Дормешкин и др.] - Минск : БГТУ, 2017. - Ч. 1. - С. 34-3.

УДК 628.112.2

Сравнительный анализ природных и искусственных материалов для обсыпки фильтров водозаборных скважин

Артёмчик А.А., Шедько Д. А., Комаров Р. А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель Грузинова В.Л., к.т.н., доцент

В работе приведен сравнительный анализ природных и искусственных материалов для обсыпок фильтров. Анализ содержит оценку их физико-механических, фильтрационных и эксплуатационных свойств, включая влияние на гидравлическое сопротивление, склонность к кольматации и общую надёжность скважины. Сделаны выводы о перспективах применения различных материалов обсыпок.

В Республике Беларусь фактический срок службы большинства водозаборных скважин, составляет порядка 16-19 лет, что существенно меньше нормативного периода эксплуатации, который составляет не менее 25 лет. Эта существенная разница приводит к значительным финансовым затратам на бурение новых скважин [1, с. 12-18]. Одним из способов увеличения срока службы является снижение гидравлического сопротивления, турбулентности и скорости потока в фильтровой обсыпке.