



# О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ МЕХАНИЧЕСКОЙ ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ ФИЛЬТРОВ И ПРИФИЛЬТРОВЫХ ЗОН ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА

А.Г. ИВАНОВ<sup>1</sup>, Ю.А. АРСЕНТЬЕВ<sup>2,\*</sup>, Д.Д. ОРЕХОВ<sup>2</sup>, Р.И. ГАВРИЛОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> АО «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии»  
33, Каширское шоссе, г. Москва 115409, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва, 117997, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Добыча урана методом скважинного подземного выщелачивания (СПВ) требует применения специальных методов освоения скважин и поддержания их проектной производительности (дебита) как на этапе сооружения, так и в период эксплуатации путем проведения ремонтно-восстановительных работ (РВР). Функционирование технологических скважин сопровождается механической, химической или газовой кольматацией фильтров и прифильтровых зон (ПФЗ). При этом применяются различные методы удаления кольматанта, затрудняющего проведение подземного выщелачивания, среди которых выделяют: механические, химические, физические и комбинированные. Настоящая статья посвящена оценке эффективности применения на производственных объектах трех видов механической импульсной обработки технологических скважин СПВ урана в процессе их освоения и ремонта: пневмоимпульсной, с помощью гидровибраторов и пневмосвабирования.

**Цель.** Обеспечение условий для увеличения длительности периода эксплуатации технологической скважины с производительностью на уровне проектных значений.

**Материалы и методы.** В настоящей работе поставленная задача решается путем анализа физической сущности происходящих процессов, характерных для трех сравниваемых и реализуемых на предприятиях видов механической импульсной обработки фильтров и прифильтровых зон, а также сопоставлением эффективности результатов их действия, критерием которой был выбран объем извлеченных на поверхность рабочих растворов, содержащих полезный продукт.

**Результаты.** Исследования показали, что наиболее эффективным из рассматриваемых механических импульсных методов является обработка фильтров и ПФЗ с использованием гидровибраторов.

**Заключение.** Применение новых технических средств ремонта приводит к повышению эффективности отработки рудного тела.

**Ключевые слова:** технологические скважины, кольматация, освоение скважин, ремонтно-восстановительные работы, экономическая эффективность ремонта, импульсные методы обработки

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Иванов А.Г., Арсентьев Ю.А., Орехов Д.Д., Гаврилов Р.И. О некоторых особенностях механической импульсной обработки фильтров и прифильтровых зон технологических скважин подземного выщелачивания урана. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2025;67(1):105—113. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-105-113> EDN: [UMOEDU](https://edn.ru/UMOEDU)

Статья поступила в редакцию 24.09.2024  
Принята к публикации 03.03.2025  
Опубликована 31.03.2025

\* Автор, ответственный за переписку

## FEATURES OF MECHANICAL PULSE TREATMENT OF FILTERS AND NEAR-FILTER ZONES OF IN-SITU URANIUM LEACHING WELLS

ALEXANDER G. IVANOV<sup>1</sup>, YURI A. ARSENTIEV<sup>2,\*</sup>, DANILA D. OREKHOV<sup>2</sup>, RUSLAN I. GAVRILOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup> JSC "Leading Design, Survey and Research Institute of Industrial Technology"  
33, Kashirskoe shosse, Moscow 115409, Russia

<sup>2</sup> Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

### ABSTRACT

**Introduction.** Uranium mining by in-situ leaching (ISL) requires the use of special methods for developing wells and maintaining their design productivity (flow rate) both at the construction stage and during operation by carrying out repair and restoration work (R&R). The operation of process wells is accompanied by mechanical, chemical or gas colmatation of filters and near-filter zones (PFZ). In this case, various methods are used to remove the colmatant, which complicates underground leaching, among which are: mechanical, chemical, physical and combined. This article is devoted to the assessment of the efficiency of using three types of mechanical pulse treatment of uranium SPV process wells at production facilities during their development and repair: pneumatic pulse treatment, using hydrovibrators and pneumatic swabbing.

**Objective.** To provide conditions for increasing the operating period of a production well with productivity at the level of design values.

**Materials and methods.** In this paper, the problem is solved by analyzing the physical nature of the processes occurring, characteristic of the three types of mechanical pulse processing of filters being compared and implemented at enterprises and filter zones, as well as a comparison of the effectiveness of the results of their action, the criterion for which was the volume of working solutions containing a useful product extracted to the surface.

**Results.** The studies have shown that the most effective of the mechanical pulse methods under consideration is the processing of filters and PFZ using hydrovibrators.

**Conclusion.** The use of new technical repair means leads to an increase in the efficiency of ore body development.

**Keywords:** technological wells, colmatation, well development, repair and restoration work, economic efficiency of repair, pulse processing methods

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**Financial disclosure:** no financial support was provided for this study.

**For citation:** Ivanov A.G., Arsentiev Yu.A., Orekhov D.D., Gavrilov R.I. Features of mechanical pulse treatment of filters and near-filter zones of in-situ uranium leaching wells. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(1):105—113. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-105-113> EDN: [UMOEDU](https://www.umoedu.ru)

*Manuscript received 24 September 2024*

*Accepted 03 March 2025*

*Published 31 March 2025*

\* Corresponding author

Производительность технологических скважин определяется состоянием фильтров и прифилтровых зон. Для поддержания их эксплуатационных свойств на уровне проектных значений необходимо производить их обработку, используя в том числе механические методы.

### Пневмоимпульсная обработка

Метод пневмоимпульсной обработки основан на генерации упругих воздушных колебаний, возникающих при циклическом выбросе из пневмогенератора порций сжатого воздуха под высоким давлением. Возникающие при этом пульсации воздуха создают разнонаправленные гидродинамические колебания пластовой жидкости, разрушающие коагулянт в фильтре и прифилтровой зоне (ПФЗ). График пульсации воздушного пузыря представлен на рисунке 1.

Метод пневмоимпульсной обработки водозаборных скважин был разработан во ВНИИ взрыв-геофизика под руководством Э.М. Вольницкой [1, 2]. Достоинством этого метода является то, что в скважину не привносятся никакие инородные вещества и элементы. При этом существует возможность ре-

гулирования параметров обработки прифилтровых зон в зависимости от прочности применяемого типа фильтра, а также дает возможность селективной поинтервальной обработки фильтра с помощью мобильных установок, смонтированных на шасси автомобилей высокой проходимости или прицепе. На практике для обработки скважин на воду разработана установка АСП-Т, для обработки технологических скважин — установка АСП-ПВ. Технические характеристики установки АСП-ПВ приведены в таблице 1.

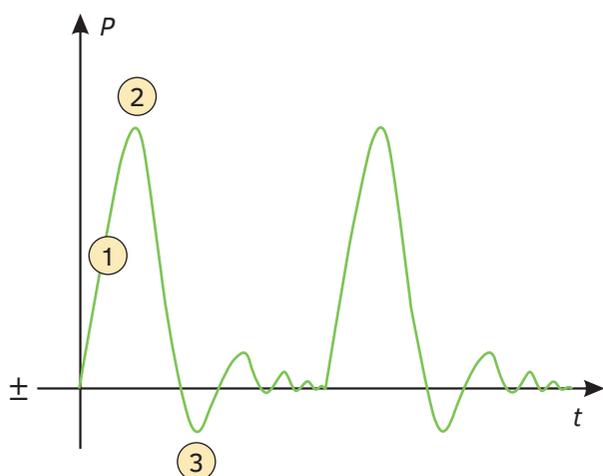
Метод пневмоимпульсной обработки фильтров и прифилтровых зон может быть реализован на комбинированной установке «Гидропульс», производителем которой является фирма «TLM Hydropuls GmbH» (Германия) [3, 5]. Общий вид установки показан на рисунке 2.

Технические характеристики установки «Гидропульс» приведены в таблице 2.

**Таблица 1.** Технические характеристики установки АСП-ПВ

**Table 1.** Technical characteristics of the ASP-PV installation

Характеристики	Значения
Глубина обрабатываемых скважин, м	До 600
Минимальный внутренний диаметр фильтра, мм	74
Максимальное давление сжатого воздуха, МПа	15,0
Частота импульсов, ед./мин	30
Тип пневмоисточника	ПК-200/50
Диаметр пневмоисточника, мм	50
Вместимость баллонов сжатого воздуха, дм <sup>3</sup>	120
Типоразмер рукава высокого давления	ПНП-6-250
Тип компрессора высокого давления	R 5437.1.JA



**Рис. 1.** График пульсации воздушного пузыря при пневмоимпульсной обработке фильтра: 1 — давление воздуха внутри воздушного пузыря при его расширении; 2 — максимальное давление воздуха (движение жидкости в направлении «из фильтра»); 3 — минимальное давление воздуха после первого импульса (движение жидкости в направлении «из пласта»)

**Fig. 1.** Graph of air bubble pulsation during pneumatic pulse treatment of the filter: 1 — air pressure inside the air bubble during its expansion; 2 — maximum air pressure (fluid movement in the direction “out of the filter”); 3 — minimum air pressure after the first pulse (fluid movement in the direction “out of the formation”)

**Таблица 2.** Технические характеристики установки «Гидропульс»

**Table 2.** Technical characteristics of the Hydropulse unit

Параметр	Значение
Интенсивность волнового поля, кВт/м <sup>2</sup>	100—300
Скорость колебания (скорость ударной волны), м/с	3—80
Давление импульса, кПа	100—600
Частота колебаний, Гц	0,1—2,0
Длительность импульса, мс	0,3—1,5
Энергоемкость метода, кДж	5—25



**Рис. 2.** Общий вид установки «Гидропульс»  
**Fig. 2.** General view of the Hydropulse installation

Пневмоимпульсный генератор типа G-IIID50P позволяет выполнить обработку ПФЗ и последующую эрлифтную прокачку скважины. Генератор обладает следующими основными техническими характеристиками: длина — 570 мм; диаметр — 60 мм; вес — 4,1 кг, рабочее давление — 1—10 МПа, запуск генератора — автоматический; интервал импульсов — регулируемый; энергия импульса — около 12,5 кДж (соответствует взрыву 3—4 г тринитротолуола); глубина воздействия взрыва в породе — около 12 м.

Оборудование установки «Гидропульс» смонтировано в обогреваемом контейнере, состоящим из двух отсеков:

- в лебедочно-компрессорном отсеке смонтированы: компрессор высокого давления «Mariner 320» (производительность 320 дм<sup>3</sup>/мин, давление до 30,0 МПа); комплект из 4-х баллонов сжатого воздуха объемом 80 дм<sup>3</sup> каждый, рассчитанных на максимальное давление 30,0 МПа; лебедка с электроприводом и размещенным на ней двухканальным шлангом высокого давления типа ТГ (2ГК×15×5) с насадками; также элементы обвязки пневмооборудования и привода лебедки; на стенке контейнера закреплена направляющая дуга с роликами для спуска применяемого инструмента в скважину;
- в операторском отсеке находятся приборы контроля параметров работы оборудования и регулирования режимов обработки фильтров.

Электродвигатель мощностью 25 кВт размещен в обогреваемом контейнере.

Все оборудование установлено на платформе автомобиля повышенной проходимости КАМАЗ-43118. Как вариант, в дополнение к контейнерам с оборудованием на платформе может быть смонтирован мембранный насос высокого давления для выполнения работ по промывке фильтров или принудительной подачи растворов при проведении химических обработок прифилтрованных зон. Глубина спуска приборов контролируется механическим счетчиком, монтируемым на оголовнике скважин.

Установка «Гидропульс» позволяет выполнять обработку строго запрограммированного интервала фильтра. Для этого пультом управления при спуске скважинного прибора задается верхняя и нижняя граница фильтра, после этого работа пневмоимпульсного генератора производится в автоматическом режиме только в заданном интервале.

Опыт применения пневмоимпульсных обработок ПФЗ при выполнении ремонтно-восстановительных работ показал, что такой вид ремонтно-восстановительных работ (РВР) весьма эффективен для разрушения химических отложений на стенках фильтра. Последующее удаление разрушенных частиц коьматанта производится эрлифтной прокачкой. При этом установка «Гидропульс» более универсальна, поскольку в состав ее оборудования входит компрессорная станция высокого давления, что позволяет за один спуск пневмоснаряда сразу выполнить и эрлифтную прокачку скважины.

При использовании же установки АСП-ПВ приходится привлекать к выполнению работ дополнительный компрессор. Эффективность работы установки «Гидропульс» при пневмоимпульсной обработке ПФЗ по удалению химических отложений со стенок полимерных щелевых фильтров, изготовленных из труб НПВХ, показана на рисунке 3.

В результате выполнения ремонтных работ на технологических скважинах установлено, что метод пневмоимпульсной обработки фильтров эффективен только для разрушения химических отложений на внутренней поверхности фильтра с последующим удалением разрушенного материала эрлифтной прокачкой. Основным недостатком метода заключается в том, что давление импульса, действующего в направлении от фильтра в водоносный горизонт, превышает давление импульса, действующего в направлении от водоносного горизонта в фильтр. Это приводит к перемещению мелких фракций песков, слагающих продуктивный горизонт, и кольматанта в сам горизонт. При этом временно увеличивается проницаемость пород прифильтровой зоны, которая снижается по мере возврата оттесненных из ПФЗ фракций к каркасу фильтра. Поэтому метод дает кратковременный эффект, и его применение не обеспечивает длительного межремонтного цикла (МРЦ) скважин по поддержанию их производительности по дебиту или приемистости, что подтверждается результатами испытаний данного метода в водозаборных скважинах, эксплуатирующих водоносные горизонты, представленные песками [4]. Такие испытания проводились в АО «Центргеология» на одном из подмосковных

водозаборов в конце 1970-х годов (использовалась установка АСП-Т).

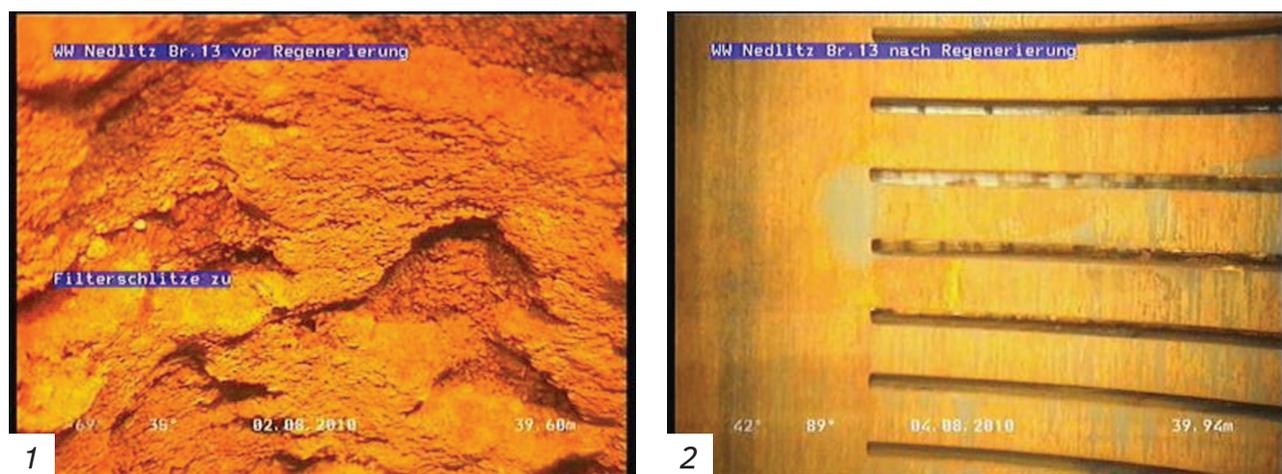
### Вибрационная обработка

Вибрационная обработка ПФЗ заключается в генерировании разрушающих импульсов давления скважинной жидкости в отдельных интервалах фильтра. График изменения гидроимпульсов, создаваемых в прифильтровой зоне технологических скважин при работе гидровибратора УРК (устройство разрушения кольматанта), приведен на рисунке 4.

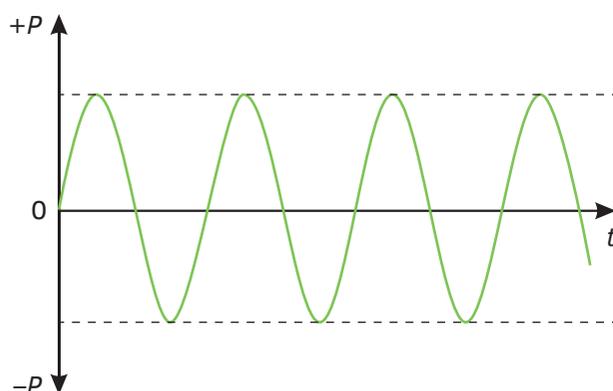
Как видно из графика, вибрационные колебания пластовой жидкости в ПФЗ сопровождаются одинаковыми по величине гидроударами как в направлении от фильтра в водоносный горизонт, так и в направлении от водоносного горизонта в фильтр. Это приводит к тому, что в результате импульсного воздействия частицы кольматанта в порах песков продуктивного горизонта истираются, уменьшаясь, до размеров частиц, легко удаляемых из скважины эрлифтной прокачкой.

Для генерирования импульсов применяются гидроударные вибраторы с размещенными на подвижном штоке дисками. Гидровибратор УРК, разработанный в МГРИ, спускают в зону фильтра на бурильных трубах или шланге высокого давления типа ШАПП-50, по которому к рабочему органу подается рабочий агент (техническая вода или растворы реагентов). Технические характеристики гидровибратора УРК приведены в таблице 3.

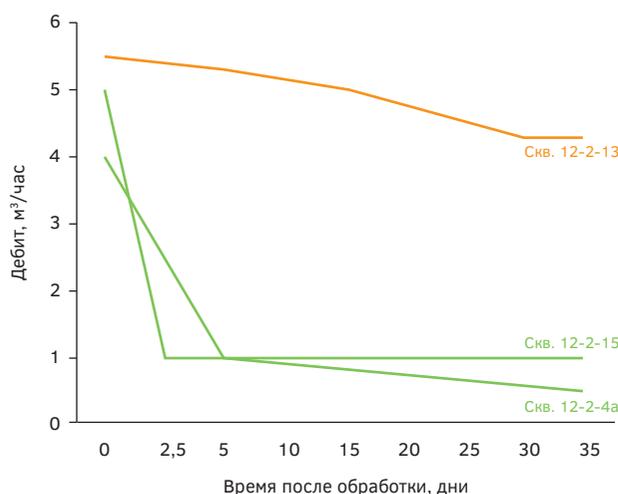
С использованием гидровибратора УРК может производиться реагентно-импульсное воздействие на породы прифильтровой зоны. Для этого



**Рис. 3.** Удаление химических отложений с внутренней поверхности фильтра: 1 — поверхность фильтра до обработки пневмоимпульсом; 2 — поверхность фильтра после обработки пневмоимпульсом  
**Fig. 3.** Removal of chemical deposits from the inner surface of the filter: 1 — filter surface before pneumatic pulse treatment; 2 — filter surface after pneumatic pulse treatment



**Рис. 4.** График изменения импульсов, создаваемых УРК в прифилтровой зоне скважин  
**Fig. 4.** Graph of changes in pulses generated by the URC in the filter zone of wells



**Рис. 5.** Эффективность применения гидровибратора УРК: скважина 12-2-13 и пневмоимпульса АСП-ПВ: скважины 12-2-15 и 12-2-4а  
**Fig. 5.** Efficiency of using the URC hydrovibrator: well 12-2-13 and the ASP-PV pneumatic pulse: wells 12-2-15 and 12-2-4a

в качестве рабочего агента применяется раствор химреагентов, ускоряющий разрушение кольматанта в прифилтровой зоне и фильтре. Сочетание импульсных и реагентных методов позволяет достичь высокой эффективности работ по поддержанию на проектном уровне и повышению производительности технологических скважин скважинного подземного выщелачивания (СПВ). Сочетание разрушения кольматанта химическими методами с интенсивным гидродинамическим воздействием в прифилтровой зоне позволяет высокоэффективно разрушать и извлекать из скважины кольматирующие образования.

**Таблица 3.** Технические характеристики гидровибратора УРК

**Table 3.** Technical characteristics of the hydrovibrator URC

Характеристика	Значение
Диаметр обрабатываемых скважин, мм: минимальный максимальный	70 220
Расход рабочего агента, дм <sup>3</sup> /с	2—10
Амплитуда колебаний дисков рабочего органа, мм	5—20
Частота колебаний дисков рабочего органа, Гц	10—50
Энергия рабочего удара, Н·м	1,7—80
Перепад давления в гидровибраторе, МПа	0,4—1,4
Габаритные размеры, мм: длина диаметр корпуса диаметр дисков	1800 60 70—210
Масса, кг	27

На рисунке 5 приведены графики эффективности применения УРК и пневмоимпульсной обработки ПФЗ технологических скважин.

Как следует из приведенного графика, интенсивность снижения дебита обработанных гидровибратором скважин в десятки раз ниже, чем у скважин, обработанных пневмоимпульсом. Расчеты показали, что объем извлеченных из недр продуктивных растворов за 35 суток по скв. 12-2-13, обработанной гидровибратором, составил 3573,5 м<sup>3</sup>, а по скважинам, обработанным пневмоимпульсом, объемы извлеченных растворов составили: скв. 12-2-15 — 1868 м<sup>3</sup>, скв. 12-2-4а — 782,4 м<sup>3</sup>. Таким образом, при практически одинаковых затратах на обработку ПФЗ и фильтра объем добычи урана при гидровибрационной обработке превышает объем добычи по сравнению с пневмоимпульсной обработкой в 2—4 раза за указанный выше период проведения наблюдений.

Применение гидровибратора позволило повысить эффективность ремонтов, сократить время освоения скважин в 3—4 раза, уменьшить количество РВР за весь период эксплуатации технологической скважины в десятки раз. А, в свою очередь, использование его в качестве насадки к машине освоения скважин МОС-300 или МОС-600 конструкции АО «ВНИПИпромтехнологии» позволяет производить импульсную обработку одновременно с промывкой скважины водой или пеной без извлечения шланга из скважин.



Рис. 6. Общий вид оголовника для выполнения пневмосвабирования  
 Fig. 6. General view of the head for performing pneumatic swabbing

### Пневмосвабирование

Данный метод обработки ПФЗ является самым простым и достаточно эффективным. Суть метода заключается в размещении на устье эксплуатационной колонны (ЭК) специального герметичного оголовника, через который в течение 1—2 минут в колонну постепенно нагнетается сжатый воздух. При этом скважинная жидкость медленно оттекает от фильтра в водоносный горизонт. Затем производится резкий сброс давления в ЭК, и пластовая жидкость с большой скоростью перемещается из водоносного горизонта в фильтр, очищая его и ПФЗ от коьматанта. Количество таких циклов может составлять от 5 до 20 в зависимости от степени коьматации ПФЗ. Общий вид оголовника из труб ПНД приведен на рисунке 6.

Цикличность работы такого устройства показана на графике на рисунке 7.

Из графика, показанного на рисунке 7, следует, что при подаче сжатого воздуха в колонну в течение промежутка времени  $t_1$  происходит повышение внутриколонного давления  $P$ . Причем промежуток времени  $t_1$  на несколько порядков больше промежутка времени сброса давления  $t_2$  и промежутка времени  $t_3$  восстановления пластового давления  $P$  до величины  $P_{пл}$ . При этом создаются условия для движения пластовой жидкости в водоносный горизонт с минимальной скоростью,

которая регулируется подачей сжатого воздуха в колонну. Сброс внутриколонного давления приводит к высокой скорости течения жидкости из водоносного горизонта в фильтр, что обеспечивает высокую интенсивность выноса коьматанта из ПФЗ в фильтр. Метод позволяет после обработки фильтра увеличить дебит скважины в 1,5—2 раза по сравнению с его начальным (до обработки) значением. Метод прост в применении и безопасен в обслуживании. Самое важное правильно выбрать технологический регламент его применения.

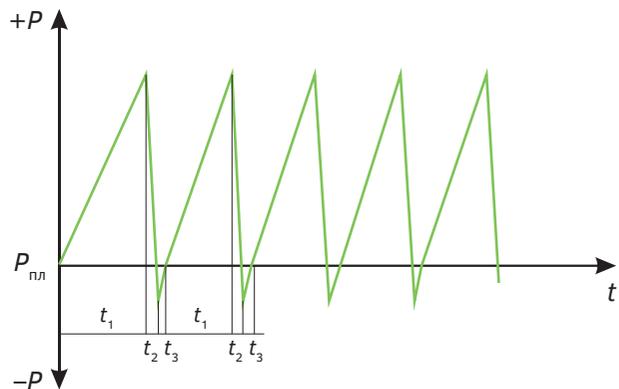


Рис. 7. Графики изменения импульсов, создаваемых в прифильтровой зоне при обработке пневмосвабом  
 Fig. 7. Graphs of changes in pulses generated in the near-filter zone during pneumatic swab treatment

### Выводы

1. Правильный выбор вида механической импульсной обработки является гарантией получения высокого экономического эффекта по каждой скважине с учетом типа кольматации фильтра и прифилтровой зоны.

2. При равных начальных условиях применение гидровибратора УРК для разрушения

кольматанта позволяет в 2—4 раза повысить объем добычи полезного продукта.

3. Проведение механической импульсной обработки фильтров и ПФЗ с помощью гидровибратора позволяет сократить в десятки раз число РВР, необходимых для поддержания проектного значения производительности технологических скважин.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Вольницкая Э.М.* Разработка и внедрение низкочастотной импульсно-волновой технологии интенсификации притоков в гидрогеологических скважинах: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Всесоюз. н.-и. и проект.-конструк. ин-т по взрывным методам геофиз. разведки, 1990. 19 с.
2. *Вольницкая Э.М., Беликов М.С., Богданов В.С., Лысов В.Н., Прилепский В.П., Сафонов В.И.* Способ обработки и очистки скважины и прискважинной зоны пласта. А.с. 1802070 СССР. МКИ Е 21 С 45/00 — Оpubл. 15.03.03. Бюл. № 10.
3. Геотехнология урана (российский опыт): монография. Под ред. И.Н. Солодова, Е.Н. Камнева. М.: «КДУ» — «Университетская книга», 2017. 576 с.
4. *Грикевич Э.А.* Гидравлика водозаборных скважин. М.: Недра, 1986. 231 с.
5. *Иванов А.Г., Михайлов А.Н., Алексеев Н.А., Иванов Д.А., Арсентьев Ю.А., Соловьев Н.В., Назаров А.П.* Ремонтно-восстановительные работы для повышения производительности технологических скважин. Разведка и охрана недр. 2020. № 6. С. 52—56.
6. *Иванов А.Г., Михайлов А.Н., Алексеев Н.А., Иванов Д.А., Арсентьев Ю.А., Соловьев Н.В., Назаров А.П.* Методы и технические средства обработки прифилтровых зон технологических скважин. Разведка и охрана недр. 2020. № 7. С. 40—44.
7. *Сердюк Н.И.* Кавитационные способы декольматации филтровой области буровых скважин. М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2004. 176 с.

### REFERENCES

1. Volnitskaya E.M. Development and implementation of low-frequency pulse-wave technology for intensification of inflows in hydrogeological wells: Abstract of dis. for a Ph.D. in Engineering Sciences. All-Union Scientific and Design Institute for Explosive Methods of Geophysical Prospecting, 1990. 19 p. (In Russ.).
2. Volnitskaya E.M., Belikov M.S., Bogdanov V.S., Lysov V.N., Prilepsky V.P., Safonov V.I. Method of processing and cleaning a well and the near-wellbore zone of a formation. A.s. 1802070 USSR. MKI E 21 C 45/00 — Published 15.03.03. Bulletin No. 10 (In Russ.).
3. Uranium geotechnology (Russian experience): monograph. Ed. I.N. Solodov, E.N. Kamnev. Moscow: "KDU" — "University book", 2017. 576 p. (In Russ.).
4. Grikevich E.A. Hydraulics of water intake wells. Moscow: Nedra, 1986. 231 p. (In Russ.).
5. Ivanov A.G., Mikhailov A.N., Alekseev N.A., Ivanov D.A., Arsenyev Yu.A., Solovoyov N.V., Nazarov A.P. Repair and restoration work to increase the productivity of technological wells. Exploration and protection of subsoil. 2020. No. 6. P. 52—56 (In Russ.).
6. Ivanov A.G., Mikhailov A.N., Alekseev N.A., Ivanov D.A., Arsenyev Yu.A., Soloviev N.V., Nazarov A.P. Methods and technical means for processing near-filter zones of technological wells. Exploration and protection of subsoil. 2020. No. 7. P. 40—44 (In Russ.).
7. Serdyuk N.I. Cavitation methods for decolmation of the filter area of bored wells. Moscow: JSC "VNIIIOENG", 2004. 176 p. (In Russ.).

### ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Иванов А.Г. — разработал концепцию статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Арсентьев Ю.А. — согласовывал результаты аналитических исследований с процессами сооружения, эксплуатации и ремонта технологических скважин на производственных объектах, принимал участие в разработке концепции статьи, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Alexander G. Ivanov — developed the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Yuri A. Arsentiev — coordinated the results of analytical studies with the processes of construction, operation and repair of technological wells at production facilities, took part in the development of the concept of the article, agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Орехов Д.Д. — отвечал за качество перевода на английский язык текста статьи, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Гаврилов Р.И. — отвечал за графическое оформление статьи, построение графиков и расчетной схемы, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Danila D. Orekhov — was responsible for the quality of the translation into English of the text of the article, agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Ruslan I. Gavrilov — was responsible for the graphic design of the article, construction of graphs and calculation diagrams, agrees to take responsibility for all aspects of the work.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Иванов Александр Георгиевич** — кандидат технических наук, главный специалист АО «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии». 33, Каширское шоссе, г. Москва 115409, Россия  
e-mail: [ivanov\\_ag@mail.ru](mailto:ivanov_ag@mail.ru)  
тел.: +7 (914) 804-18-53  
SPIN-код: 4406-5064

**Alexander G. Ivanov** — Cand. Sci. (Tech.), Chief Specialist of JSC “Leading Design and Survey and Research Institute of Industrial Technology”. 33, Kashirskoe highway, Moscow 115409, Russia  
e-mail: [ivanov\\_ag@mail.ru](mailto:ivanov_ag@mail.ru)  
tel.: +7 (914) 804-18-53  
SPIN-code: 4406-506  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7275-903X>

**Арсентьев Юрий Александрович\*** — кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [arsentev1956@yandex.ru](mailto:arsentev1956@yandex.ru)  
тел.: +7 (985) 145-62-07  
SPIN-код: 6602-3910  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1578-7632>

**Yuri A. Arsentiev\*** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [arsentev1956@yandex.ru](mailto:arsentev1956@yandex.ru)  
tel.: +7 (985) 145-62-07  
SPIN-code: 6602-3910  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1578-7632>

**Орехов Данила Дмитриевич** — студент ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва, Россия  
e-mail: [danila5688@yandex.ru](mailto:danila5688@yandex.ru)  
тел.: +7 (920) 088-56-88 /  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6593-8315>

**Danila D. Orekhov** — student, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [danila5688@yandex.ru](mailto:danila5688@yandex.ru)  
tel.: +7 (920) 088-56-88  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6593-8315>

**Гаврилов Руслан Игоревич** — студент ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [supermouse27228@gmail.com](mailto:supermouse27228@gmail.com)  
тел. +7 (920) 088-56-88  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6667-0274>

**Ruslan I. Gavrilov** — student, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [supermouse27228@gmail.com](mailto:supermouse27228@gmail.com)  
tel.: +7 (920) 088-56-88  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6667-0274>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author