

# Гидроэнергосберегающие технологии очистки систем

**Е.А. Зеленская**

начальник расчетного отдела<sup>1</sup>, аспирант<sup>2</sup>

**А.А. Ладенко**

к.т.н., доцент<sup>2</sup>

saha-ladenko@yandex.ru

**Н.В. Ладенко**

к.т.н., доцент<sup>2</sup>

**Т.В. Зеленская**

к.т.н., доцент<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ЗАО «НИПИ ИнжГео», Краснодар, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар, Россия

**В статье представлено решение современных, экологически чистых и энергосберегающих способов очистки поверхностей, восстановления дебита скважин, гидрокавитационная обработка продуктивных пластов и фильтров. Рассматриваются оптимальные устройства и установки для проведения очистки.**

## Материалы и методы

Использование генератора колебаний, гидрокавитационного генератора (ГКГ) Родионова, гидродинамический и супрегидракавитационный методы очистки.

## Ключевые слова

технология очистки, гидрокавитационные генераторы, кавитационное разрушение, наслоения, струйный поток, обсадные трубы, кавитатор, гидродинамическое силовое воздействие



Рис. 1 — Вид на специальные устройства с сопловыми насадками и кавитаторами

Fig. 1 — View of special units with nozzle extensions and cavitators

Проблема создания принципиально новых методов и средств для очистки промышленных и хозяйственных объектов от загрязнений приобретает особую актуальность в последние годы, что связано с необходимостью повышения инвестиций в компании для сохранения действующего фонда основных средств [1].

Современная экологическая обстановка диктует необходимость внедрения на предприятиях новых технологий, обеспечивающих безотходность процесса ликвидации углеводородных загрязнений, при условиях низкой стоимости работ по очистке объектов, быстром освоении их промышленного производства и безопасной эксплуатации [2].

Новые технологии должны иметь ряд преимуществ:

- существенно меньшее энергопотребление и водопотребление;
- замкнутый характер технологического процесса;
- отсутствие химического взаимодействия и химического воздействия рабочего раствора на грунты и материалы конструкций;
- возможность многократного использования рабочего раствора;
- значительно меньшее время выполнения работ по очистке объектов;
- сведение к минимуму ручного труда в процессе мойки;
- экологическая, а также пожаро- и взрывобезопасность;
- отсутствие отходов, требующих размещения в очистных сооружениях или на спецполигонах;
- отсутствие технологических выбросов и сборов газовоздушных, жидких и твердых сред;
- безвредное производство для обслуживающего персонала и окружающей среды.

Также надо иметь в виду, что новые технологии призваны приводить в рабочее состояние действующий арсенал промышленных и хозяйственных объектов за короткое время и экономить средства компаний, не вводя в действие новые объекты.

На сегодняшний день предложен ряд принципиально новых технологий и технических средств и комплексов, реализующих очистку. Усложняет выбор многообразие конструктивных решений объектов.

Основой для создания новых технологий могут служить наиболее перспективные гидродинамические технологии.

Одним из зарекомендовавших себя проектов новых технологий на потребительском рынке является технология с использованием передвижных мобильных комплексов, который может иметь несколько рабочих этапов, где последовательно реализуется поставленная задача очистки поверхности от загрязнения. Авторами уже много лет ведутся разработки по использованию высоконапорных струй и технологий, их реализующих [1].

С достаточной для практики точностью, производительность эрозионного разрушения и удаления наслоений путем воздействия суперкавитационного потока жидкости на

поверхность струйного растекания, с учетом интенсивности параметров эрозионного воздействия, можно определить из выражения:

$$\Pi = v_n S_n G_m K, \quad (1)$$

где  $\Pi$  — производительность очистки,  $m^2/c$ ;  $v_n$  — скорость перемещения суперкавитационной струи по очищаемой поверхности,  $m/c$ , ( $v_n = \frac{1}{2}v_s$ );  $v_s$  — скорость интенсивности проникновения эрозии вглубь наслоений на очищаемой поверхности,  $m/c$ ;  $S_n$  — ширина полосы удаления наслоений,  $m$ ; ( $S_n = \frac{1}{2}S$ );  $S$  — интенсивности зоны расширения эрозии наслоений,  $m$ ;  $G_m$  — масса вынесенного материала наслоений,  $kg$  ( $G_m = \frac{1}{2}G_s$ );  $G_s$  — интенсивность массового эрозионного выноса материала с поверхности очистки  $kg/c$ ;  $K$  — опытная постоянная ( $K = \frac{1}{2}I_{sp}$ );  $I_{sp}$  — интенсивность эрозионного воздействия струйного суперкавитационного потока.

В свою очередь, интенсивность эрозионного воздействия струйного суперкавитационного потока однозначно зависит от прочностных характеристик материала наслоений и его толщины, а также динамических и кавитационных параметров струйного суперкавитационного потока. Функциональная зависимость интенсивности эрозионного воздействия струйного суперкавитационного потока на поверхность материала наслоений, от различных параметров процесса воздействия, может быть представлена в виде:

$$I_{sp} = (M, \delta, d_0, P_0, P_c, \bar{X}), \quad (2)$$

где  $M$  — эрозионная стойкость материала наслоений к суперкавитационному разрушению с учетом адгезионных характеристик наслоений;  $\delta$  — толщина материала наслоений,  $m$ ;  $d_0$  — диаметр проходного рабочего сечения кавитатора,  $m$ ;  $P_0$  — динамическое давление на выходе кавитатора,  $MPa$ ;  $P_c$  — статическое давление в затопленной полости,  $MPa$ ;  $\bar{X}$  — относительное расстояние  $l$  от выхода кавитатора до поверхности воздействия струйного суперкавитационного потока  $l/d_0$ .

Все входящие в зависимость (2) факторы могут быть разделены на две группы.

К I группе относятся те, которые являются переменными, но нерегулируемыми при выборе параметров процесса эрозии. В эту группу входят:

- эрозионная стойкость материала покрытия поверхности кавитационному разрушению;
- толщина материала наслоений.

Ко II группе факторов, которые поддаются регулированию, относятся:

- диаметр рабочего проходного сечения возбудителя кавитации — кавитатора;
- динамическое давление на выходе кавитатора;
- статическое давление в затопленной полости;
- расстояние от выхода кавитатора до поверхности струйного суперкавитационного воздействия;
- время воздействия суперкавитационной струи на поверхность материала наслоений.

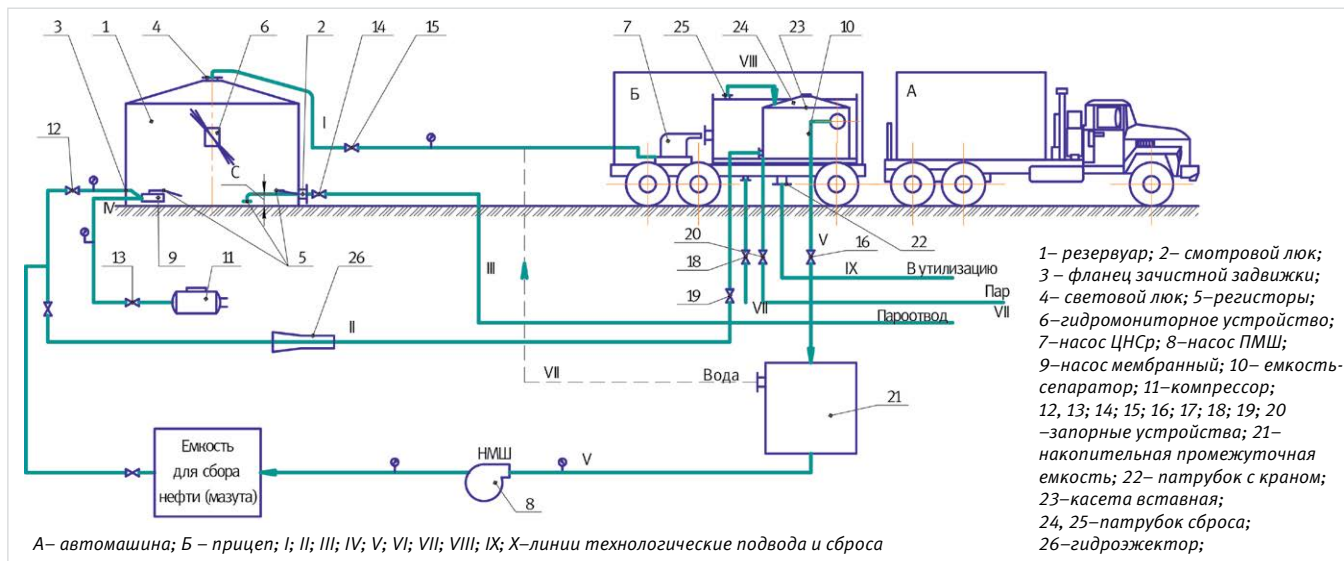


Рис. 2 – Технологическая схема очистки резервуаров с использованием мобильной установки и мощного гидромониторного устройства  
 Fig. 2 – Process flow diagram of reservoir treatment with the use of mobile unit and cleaning water jet device

Таким образом, процесс очистки сводится к выбору регулируемых параметров, а именно динамического давления на выходе кавитатора  $P_c$ , соответствующего относительного расстояния  $\bar{x}$  от выхода кавитатора до поверхности воздействия и статического давления в затопленной полости  $P_c$ .

Предлагается ряд разработок и способов, используемых в различных отраслях промышленности.

В основе предлагаемых методов лежит использование высоконапорных струй и приспособлений, их реализующих. Например, метод очистки поверхностей кавитационным генератором колебаний давления с вращающейся головкой с насадками, приводимой во вращение силой реактивности струй из эксцентрично расположенных гидромониторов. Рабочей жидкостью может служить подаваемый по трубопроводу пар, техническая вода или воднопесчаная смесь, которая усиливает эффект очистки металлической поверхности (при подборе параметров можно очищать любые поверхности).

Такого рода устройства (рис. 1) можно использовать в универсальных мобильных установках, выполняющих задачи очистки сложных конструкций как внешних, так и внутренних поверхностей оборудования различных отраслей промышленности. В качестве устройств-аксессуаров комбинированная машина снабжена необходимым комплектом устройств, которые служат для конкретного выполнения работы по очистке поверхности от наслоений. Если необходимо выполнять работы открытой струей, то в устройства, представленные на рис. 1, вставляются сопловые насадки, если затопленными струями, то вставляются кавитаторы [2, 3, 6].

Например, переоснащая мобильные установки, можно производить очистку внешних и внутренних поверхностей емкостей, трубопроводов, скважин (рис. 2).

Предлагаемый авторами [1] вариант использования технологий и устройств, их реализующих, — это задача по очистке сложных загрязнений внутренних поверхностей емкостей на разных объектах страны.

В основе предлагаемого метода лежит использование генератора колебаний давления с вращающейся головкой с

насадками, приводимая во вращение силой реактивности струй из эксцентрично расположенных гидромониторов. Рабочей жидкостью может служить подаваемый по трубопроводу пар или воднопесчаная смесь, которая усиливает эффект очистки металлической поверхности.

Осадок фильтруется, вода по рециркуляции возвращается обратно в резервуар. Рециркуляция воды — полностью автоматический процесс. Механические примеси (отслаивающаяся ржавчина и т.д.) оседают в среднем отсеке каскадного устройства. Когда устройства с форсунками отработают заданный цикл, очищенный резервуар подвергают инспекции после короткой вентиляции.

Данная мобильная установка является универсальной, так же, как и технология. От конструктивных особенностей емкости, от времени хранения продукта, от количества и качества осадка зависит набор оборудования.

Установка предназначена для очистки внутренней поверхности емкостей (резервуаров) до 5 000 м<sup>3</sup> от остатков нефти (нефтепродуктов), отложений солей, механических примесей и других включений. Комплекс надежно работает после длительного пребывания в нерабочем состоянии после транспортировки и хранения при температуре окружающей среды от -40°C до +40°C [1, 8].

На артезианских скважинах нефтепромыслов и на объектах народного пользования возникает необходимость в проведении ремонтных работ в связи с уменьшением их дебита. Ухудшение качества воды в ходе эксплуатации, появление процесса пескования приводит к заиливанию скважины и выходу из строя водоподъемного оборудования.

На основе анализа исходных данных (конструкция фильтра и скважины, степень изменения физических и химических свойств отложений, фильтрационные характеристики водоносных пород) выбирают методы восстановления дебита скважин [3].

Считается, что на сегодняшний день самой высокоэффективной и энергосберегающей технологией является гидрокавитационная обработка продуктивных пластов и фильтров. Она обеспечивает повышение дебита до уровня, не ниже проектного. Эта

технология используется в универсальном мобильном комплексе и создана на базе гидродинамической установки высокого давления (ГВД) [3, 4].

В основе способа [5] лежит порядок выбора оптимальных режимных параметров струйного суперкавитационного истечения жидкости из возбуждителей кавитации — гидрокavitационных генераторов Родионова В.П. [7]. Производительность и качество процесса очистки поверхности от наслоений напрямую зависит от выбора параметров истечения жидкости и влияет на интенсивность эрозионного воздействия.

Для использования инновационной технологии [4, 5] необходимо произвести выбор параметров амплитуды и частоты колебаний гидродинамического кавитационного генератора (ГКГ) [6, 8].

Пульсации гидродинамического давления и механические колебания корпуса устройства, обеспечивают закономерное компрессионно-депресссионное (давление — разрежение) волновое воздействие на фильтр и окружающую его породу продуктивного пласта.

К технико-экономическим преимуществам метода и ГКГ можно отнести:

- высокую эффективность восстановления дебита (реанимацию) гидрогеологических скважин;
- ускорение и повышение качества при освоении скважин;
- высокую надежность.

В процессе эксплуатации канализационные системы водоотведения часто снижают пропускную способность из-за отложений в трубах наслоений бытовых и промышленных отходов. Снижение пропускной способности систем водоотведения [2] приводит к разрывам трубопроводов, выходу из строя оборудования, затоплению подвальных помещений зданий, переполнению колодцев и к раннему капитальному ремонту.

К наиболее современным, экологически чистым и энергосберегающим способам очистки поверхностей трубопроводов и сооружений на них на сегодняшний день относятся гидродинамический и супергидрокavitационный способы. Гидродинамический способ основан на силовом высоконапорном

воздействию на наслоения и отложения струйных потоков воды, а супергидрокавитационный способ на гидропульсационном эрозионном разрушении наслоений.

В этих способах очистки поверхностей рабочим агентом является жидкость, поступающая от высоконапорного насоса к специальным приспособлениям, содержащим сопловые насадки или кавитаторы, из которых она истекает в виде струйных открытых или затопленных потоков на наслоения и производит их разрушение.

Зная параметры открытого струйного потока, а также конструкции сопловых насадок [1, 8] можно регулировать качество и производительность гидродинамической очистки поверхности от наслоений, в зависимости от требуемых задач. Например, проведение капитального ремонта с сварочными работами, необходима определенная чистота поверхности. Сопловые насадки способны создавать компактные струйные потоки с высоким гидродинамическим силовым воздействием, разрушающим и удаляющим с очищаемой поверхности наслоения.

Физическая сущность супергидрокавитационного способа воздействия струйного потока на очищаемую поверхность заключается в том, что при движении высокоскоростной струи воды через ГКГ Родионова [2, 7] происходит разрыв сплошности потока

и образование в истекающем из него потоке каверны определенных геометрических размеров, по краям которой имеется зона определенной толщины, заполненная выделившимися из жидкости паровоздушными пузырьками (полостями), в процессе расширения в ГКГ.

Полученные результаты проверены на универсальных установках, прошедших стендовые и промышленные испытания.

#### Итоги

В статье представлено решение современных, экологически чистых и энергосберегающих способов очистки поверхностей, восстановления дебита скважин, гидрокавитационная обработка продуктивных пластов и фильтров. Рассматриваются оптимальные устройства и установки для проведения очистки.

#### Выводы

Использование генератора колебаний, гидрокавитационного генератора (ГКГ) Родионова, гидродинамический и супрегидрокавитационный методы очистки.

#### Список литературы

1. В.П. Родионов, А.А. Ладенко. Использование гидродинамических струй при эксплуатации и обслуживании

объектов добычи нефти. Краснодар: изд. ФГБОУ ВПО «КубГУ», 2014. 163 с.

2. А.А. Ладенко, В.П. Родионов, Н.В. Ладенко. Супергидрокавитационная технология очистки систем водоотведения. Энергосбережение и водоподготовка. 2016. №5. С. 77–79.
3. А.А. Ладенко, В.П. Родионов, Н.В. Ладенко. Инновационный метод восстановления дебита артезианских скважин. Энергосбережение и водоподготовка. №6(104), 2016. г. Москва, - (36-39 с.)
4. Патент на промышленный образец РФ № 66796 «Мобильный комплекс для очистки и увеличения дебита скважин» автор Родионов В.П. и др.
5. Патент на изобретение РФ № 2557283 «Способ очистки и восстановления работоспособности скважин и трубопроводов» автор Родионов В.П.
6. Патент на изобретение РФ № 2563903 «Устройство для очистки и восстановления работоспособности водоносных и нефтегазовых скважин» автор Родионов В.П.
7. Патент на изобретение №1614241. Гидрокавитационный генератор Родионова В. П.
8. Патент на полезную модель. Полезная модель № 123520. Гидродинамический стенд.

ENGLISH

ECOLOGY

## Hydroenergy saving technology of cleaning of systems

UDC 523.528

#### Authors:

- Elena A. Zelenskaya** — начальник расчетного отдела<sup>1</sup>, аспирант<sup>2</sup>  
**Aleksandra A. Ladenko** — Ph.D, associate professor<sup>2</sup>; [saha-ladenko@yandex.ru](mailto:saha-ladenko@yandex.ru)  
**Nikolay V. Ladenko** — Ph.D, associate professor<sup>2</sup>  
**Tat'yana V. Zelenskaya** — Ph.D, associate professor<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CJSC NIPI "Inzhgeo", Krasnodar, Russia

<sup>2</sup>FGBOU IN "Kuban state technological university", Krasnodar, Russia

#### Abstract

The solution of the modern environmentally friendly and energy-saving ways of cleaning the surfaces is presented in the article, to the question of water wells rejuvenation is presented, the hydro-cavitation processing of productive layers and filters. The fairness of the obtained results was tested on the universal set-that passed bench and industrial tests.

#### Materials and methods

Use of the oscillation generator,

hydrocavitational generator (GKG) of Rodionov, hydrodynamic and supregidrakavitatsionny methods of cleaning.

#### Results

The solution of modern, environmentally friendly and energy saving ways of cleaning of surfaces, restoration of an output of wells, hydrocavitational processing of productive layers and filters is presented in article. Optimum devices and installations for carrying out cleaning are considered.

#### Conclusions

Use of the oscillation generator, hydrocavitational generator (GKG) of Rodionov, hydrodynamic and supregidrakavitatsionny methods of cleaning.

#### Keywords

technology of cleaning, hydrocavitational generators, cavitation destruction, stratifications, jet stream, casing pipes, kavitator, hydrodynamic power influence

#### References

1. V.P. Rodionov, A.A. Ladenko. *Ispol'zovanie gidrodinamicheskikh struy pri ekspluatatsii i obsluzhivanii ob'ektov dobychi nefi* [Use of hydrodynamic streams at operation and service of facilities for production of oil]. Krasnodar: FGBOU VPO "KUBGTU", 2014, 163 p.
2. A.A. Ladenko, V.P. Rodionov, N.V. Ladenko. *Supergidrokavitatsionnaya tekhnologiya ochistki sistem vodootvedeniya* [Superhydrocavitational technology of cleaning of water disposal systems]. *Energoberezhnie i vodopodgotovka*, 2016, issue 5, pp. 77–79.
3. A.A. Ladenko, V.P. Rodionov, N.V. Ladenko. *Innovatsionnyy metod vosstanovleniya debita artezianskikh skvazhin* [Innovative method of restoration of an output of artesian wells. Energy saving and water treatment]. *Energoberezhnie i vodopodgotovka*, 2016, issue 6, pp. 36–39.
4. Patent for an industrial sample of the Russian Federation No. 66796. *Mobil'nyy kompleks dlya ochistki i uvelicheniya debita skvazhin* [Mobile complex for cleaning and increase in an output of wells].
5. Patent for the invention of the Russian Federation No. 2557283. *Sposob ochistki i vosstanovleniya rabotosposobnosti skvazhin i truboprovodov* [Way of cleaning and maintenance of wells and pipelines].
6. The patent for the invention of the Russian Federation No. 2563903. *Ustroystvo dlya ochistki i vosstanovleniya rabotosposobnosti vodonosnykh i neftegazovykh skvazhin* [The device for cleaning and maintenance of water-bearing and oil and gas wells].
7. Patent for an invention No. 1614241. *Gidrokavitatsionnyy generator Rodionova V.P.* [Hydrocavitational generator of Rodionov Accusative].
8. Patent for useful model. Useful model No. 123520. *Gidrodinamicheskii stend* [Hydrodynamic stand].