

УДК 69.059

**ИННОВАЦИОННЫЙ МЕТОД ОЧИСТКИ ВОДЫ  
ОТ ТЕХНОГЕННЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ**



**INNOVATIVE METHOD OF WATER PURIFICATION  
FROM MAN-MADE POLLUTIONS**

**Терехов В.В.**

студент ИМРИТТС,  
Кубанский государственный технологический университет  
mitya.ivanov.2015@gmail.com

**Чумак И.А.**

магистрант  
Кубанский государственный технологический университет  
chumak1987@mail.ru

**Терехов В.В.**

кандидат технических наук, доцент,  
Краснодарское высшее военное  
авиационное училище летчиков  
rx6da@mail.ru

**Аннотация.** В статье описывается инновационный метод очистки воды в местах техногенных загрязнений. Проводится анализ и сравнение с другими методами очистки. Предлагается новая технология очистки воды от техногенных загрязнений путем разделения жидкости и твердых частиц по плотности за счет центробежной силы.

**Ключевые слова:** очистка воды, разлив нефтепродуктов, техногенные загрязнения, методы очистки, криволинейный канал, центробежная сила, осаждающая сила, устройство для очистки воды.

**Terekhov V.V.**

IMRITTS Student,  
Kuban State Technological University  
mitya.ivanov.2015@gmail.com

**Chumak I.A.**

Master's Student,  
Kuban State Technological University  
chumak1987@mail.ru

**Terekhov V.V.**

PhD in Technical Sciences,  
Associate Professor,  
Krasnodar Air Force Institute for Pilots  
rx6da@mail.ru

**Annotation.** The article describes an innovative method of water purification in places of man-made pollution. Analysis and comparison with other cleaning methods are carried out. A new technology of water purification from man-made pollution by separating liquid and solid particles by density due to centrifugal force is proposed.

**Keywords:** water purification, oil spill, man-made pollution, purification methods, curved channel, centrifugal force, precipitating force, water purification device.

**В** настоящее время стали не редкостью аварии на нефтепроводах и разливы нефтепродуктов при их транспортировке. Так, на Черном море залповый выброс сырой нефти произошел 7 августа 2021 г. в 6 км от берега в районе Новороссийска посёлка Южная Озереевка. Авария случилась при погрузке Греческого танкера *Minerva Symphony* через выносное причальное устройство с терминала Каспийского трубопроводного консорциума. По данным мониторинга со спутника, нефтяное пятно составило более 85 км<sup>2</sup>. Экологи называют эту аварию самой глобальной на Юге России за последние 10 лет.

Последствия разливов нефти многолики: пагубное влияние самой нефти на растения и животных, вред от использования токсичных веществ для устранения разлива, загрязнение питьевой воды и воздуха, финансовые убытки населения, чей доход зависит от рыболовства, разрушение культуры местных сообществ, пляжей и даже увеличение риска погодных аномалий, таких как ураганы и тайфуны.

Для ликвидации аварийных разливов нефти существует четыре основных метода очистки:

– *Механический способ* – включает в себя отстаивание, центробежное удаление загрязняющих воду примесей и фильтрацию. При отстаивании частицы более плотные, чем вода, оседают на дно и, соответственно, те из них, чья плотность ниже плотности воды, остаются на поверхности. Сооружения, в которых осуществляется данная манипуляция, представляют собой, по сути, резервуары-отстойники. Чаще всего на крупных нефтеперерабатывающих предприятиях используют статические от-

стойники, в которых за 6 часов отстаивания можно отделить до 95 % легко отделимых и некоторую незначительную часть трудноотделимых загрязняющих частиц от воды.

– *Химический способ* – добавление в очищаемые сточные воды специально разработанных химических реагентов. Зачастую такие химические вещества вызывают выпадение примесей в виде осадков.

– *Физико-химический способ* – применение процессов коагуляции, флотации, сорбции. Принцип действия метода основан на ускоренном превращении загрязняющих мелкодисперсных и эмульгированных частиц в более крупные образования, способные выпасть в осадок. Для осуществления данного процесса используют специальные химические реагенты-коагулянты, превращающиеся в воде хлопья, которые притягивают к себе частицы нефтепродуктов и вместе с ними оседают на дно.

– *Биологический способ* – использование для очистки различных микроорганизмов к расщеплению и усвоению вредоносных примесей. Некоторые микроорганизмы используют непосредственно саму нефть и производные от нее нефтепродукты в процессе своей жизнедеятельности в качестве основного источника питания. Переработанные микроорганизмами нефтепродукты окисляются, разлагаясь на несколько безопасных для человека и окружающей среды веществ: воду, углекислый газ, соли нитратов, соли сульфатов и прочие соединения.

Самый распространённый метод очистки воды от техногенных загрязнений - механический. Представляет собой обычный сбор разлитой нефти с поверхности воды, он включает в себя отстаивание, центрифугирование и фильтрацию.

Все устройства и приспособления, применяемые при механическом методе очистки разливов нефтепродуктов, имеют ряд недостатков:

– имеют большой вес и габариты, что не удобно при сборе нефтепродуктов на воде;

– очистка занимает длительное время из-за применения отстаивания;

– имеет большую себестоимость и дорого в обслуживании.

Учитывая все недостатки и достоинства современных технологий очистки нефтепродуктов в местах техногенных загрязнений, необходимо разрабатывать новые инновационные устройства и применять новые технологии очистки вод от техногенных загрязнений.

На основании проведенного анализа сформулированы требования к разрабатываемому устройству для очистки воды от нефтепродуктов в местах техногенных загрязнений:

– высокая степень очистки, обеспечивающая полное отделение частиц примесей с размером 5 мкм и более;

– минимальное гидравлическое сопротивление при эксплуатационных значениях расхода перекачиваемой жидкости;

– минимальный вес и габариты устройства, обеспечивающие высокую мобильность;

– отсутствие движущихся частей;

– полная герметичность устройства, обеспечивающая его пожаробезопасность;

– простота и надежность в эксплуатации;

– высокая ремонтпригодность;

– минимальная стоимость изготовления и эксплуатации.

Ускорению процессов очистки воды от нефтяных примесей при механическом способе очистки препятствует малое значение равнодействующих сил, действующих на частицы примеси, причем с уменьшением размера частиц сила тяжести и архимедова сила убывают пропорционально кубу размера, а лобовое сопротивление частиц - пропорционально квадрату, следовательно, осаждающая сила с уменьшением размера частиц убывает. При величине частиц порядка 0,1 мкм время осаждения стремится к бесконечности, поскольку скорость броуновского движения имеет порядок, сравнимый со скоростью осаждения частицы взвеси. Увеличить массовые силы можно путем придания жидкости с содержащимися в ней примесями ускорения, например, за счет закручивания потока.

В этом случае роль осаждающей силы будет играть центробежная сила, величина которой вычисляется по известной формуле:

$$F_{ц} = \rho_{пр} \frac{\pi d^3 v^2}{6 r}, \quad (1)$$

где  $\rho_{пр}$  – плотность примеси, кг/м<sup>3</sup>;  
 $d$  – размер частицы примеси (диаметр), м;  
 $v$  – скорость потока жидкости, м/с;  
 $r$  – радиус поворота потока жидкости.

Средняя скорость течения может определиться из уравнения неразрывности, она постоянна для всех сечений потока жидкости:

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4M}{\rho_{ж} \pi D^2} = \text{const}, \quad (2)$$

где  $Q$  – объемный расход жидкости, м<sup>3</sup>/с;  
 $M$  – массовый расход жидкости, кг/с;  
 $\rho_{ж}$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  
 $D$  – диаметр сечения канала, м<sup>2</sup>.

Для проведения экспериментальных исследований использовалась экспериментальная установка со скоростью потока равной 2,12 м/с в трубопроводе  $D = 100$  мм, для удобства проведения экспериментов диаметр трубопровода был уменьшен до 60 мм при этом скорость потока достигает 6 м/с.

Примем расчетный диаметр частиц  $d = 7$  мкм =  $7 \cdot 10^{-6}$  м, плотность примеси (воды)  $\rho_{ж} = 1000$  кг/м<sup>3</sup>, тогда величина центробежной силы, действующей на частицу при радиусе 30 мм (тангенциальный вход потока в трубопровод) составит:

$$F_{ц} = \rho_{пр} \frac{\pi d^3 v^2}{6 r} = 1000 \frac{3,14 \cdot 343 \cdot 10^{-18} \cdot 36}{6 \cdot 3 \cdot 10^{-2}} = 2,155 \cdot 10^{-10} \text{ Н.}$$

Это в 122 раза превышает силу тяжести частицы:

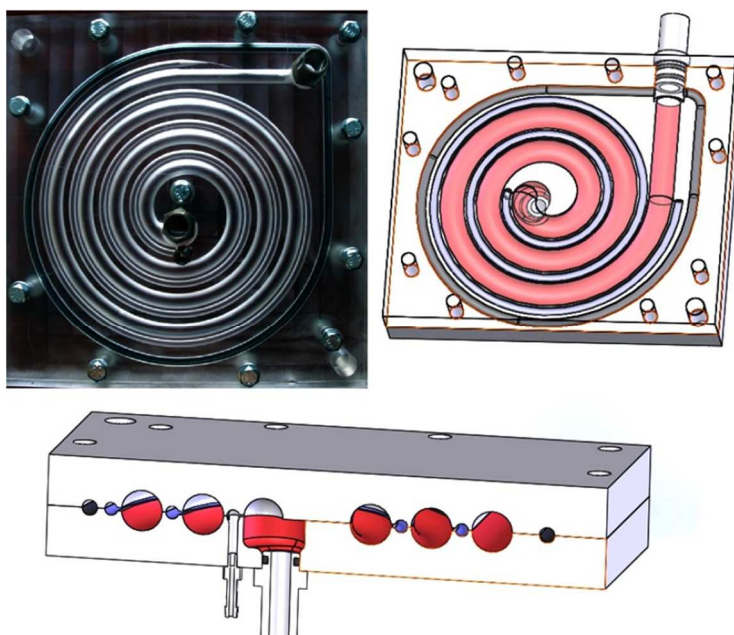
$$mg = \rho_{пр} \frac{\pi d^3 g}{6} = 1000 \frac{3,14 \cdot 343 \cdot 10^{-18} \cdot 9,81}{6} = 1,76 \cdot 10^{-12} \text{ Н.}$$

Это свойство завихренного потока широко используется в так называемых гидроциклонах. Однако у серийно выпускаемых гидроциклонов степень очистки топлива не столь высока, как могла бы быть. Это связано с организацией потока жидкости в циклонной установке.

Следовательно, исходя из вышеизложенного, устройство должно представлять собой неподвижный канал определенной формы, в котором происходит отделение примесей от жидкости. Поскольку скорость течения должна быть постоянной, канал должен иметь постоянную площадь и, желательно, постоянную форму сечения. Для возникновения центробежных сил канал должен иметь определенную кривизну, вектор скорости должен изменять свое направление вдоль канала. Влияние пограничного слоя ограничено его сливом, в районе сбора осажденных частиц примесей.

Изложенным требованиям в полной мере отвечает канал с уменьшающимся радиусом с круглым или овальным поперечным сечением. Влияние пограничного слоя устраняется с помощью слива нефтепродуктов вместе с осажденными примесями в щель, выполненную по внешней образующей канала. В результате канал принимает форму улитки, как показано на рисунке 1.

Разработанное устройство рисунок 1 содержит корпус с входным и выходным патрубками. При этом в корпусе выполнен спиралеобразный проточный канал с постоянным значением площади круглого поперечного сечения, оконечная часть которого выведена в выходной патрубок. При этом по внешней образующей проточного канала выполнена щель для отвода нефтепродуктов, соединенная по всей длине с каналом отвода. Канал отвода нефтепродуктов соединен с внешним приемником предпочтительно через регулирующее устройство.



**Рисунок 1** – Физическая модель устройства для очистки воды в местах техногенных загрязнений

Устройство для очистки воды в местах техногенных загрязнений рисунок 1 работает следующим образом. Жидкость под давлением подается во входной патрубке устройства и далее поступает в спиралеобразный проточный канал. Поскольку проточный канал имеет криволинейную форму, на жидкость и взвешенные в ней твердые частицы действуют центробежные силы. Под действием этих сил происходит распределение по плотности воды и нефтепродуктов в поперечном сечении канала. На выходе из устройства происходит разделение жидкости: нефтепродукты через канал отвода и регулирующее устройство сливаются во внешний приемник для дальнейшей переработки, а вода через выходной патрубок выливается обратно в место забора.

Таким образом, применение инновационного метода очистки воды в местах техногенных загрязнений позволит:

- Полностью или частично отказаться от всех этапов механического метода очистки нефтепродуктов.
- Улучшить массогабаритные показатели на 30 % – за счет использования разработанного устройства очистки.
- Сократить время очистки нефтепродуктов на 15 % – за счет исключения процесса отстаивания нефтепродуктов.
- Сократить расходы на 15 %, связанные с содержанием и обслуживанием, за счет применения простого и дешевого механического метода очистки.

### Литература

1. Сепаратор очистки жидкости центробежный с кольцевыми каналами / В.В. Терехов [и др.] // Патент на полезную модель 204736 U1, 08.06.2021. Заявка № 2021102923 от 08.02.2021.
2. Чумак П.В., Терехов В.В., Черный Р.Р. Устройство очистки жидкости. Патент на полезную модель RU 161442 U1, 20.04.2016. Заявка № 2015147679/05 от 05.11.2015.
3. Терехов В.В., Черный Р.Р., Пережогин Л.А. Сепаратор очистки жидкости центробежный. Патент на изобретение RU 2484877 C1, 20.06.2013. Заявка № 2012109098/05 от 11.03.2012.
4. Черный Р.Р., Терехов В.В., Рябухин М.И. Устройство очистки жидкости. Патент на полезную модель RU 116781 U1, 10.06.2012. Заявка № 2012101719/05 от 18.01.2012.
5. Докучаев В.Г., Рябухин М.И., Терехов В.В. Устройство для очистки жидкости. Патент на изобретение RU 2404839 C1, 27.11.2010. Заявка № 2009121486/05 от 08.06.2009.
6. Докучаев В.Г., Терехов В.В. Методика численного моделирования турбулентного течения в осесимметричном канале // The Methodic of computational modeling of turbulent stream in axisymmetric channel. Техника и технология. – 2010. – № 4. – С. 29–33.

### References

1. Centrifugal liquid purification separator with annular channels / V.V. Terekhov [et al.] // Patent for utility model 204736 U1, 08.06.2021. Application № 2021102923 dated 08.02.2021.
2. Chumak P.V., Terekhov V.V., Cherny R.R. Liquid purification device. Patent for Utility Model RU 161442 U1, 20.04.2016. Application № 2015147679/05 dated 05.11.2015.
3. Terekhov V.V., Cherny R.R., Perezhogin L.A. Centrifugal liquid purification separator. Patent № RU 2484877 S1, 20.06.2013. Application № 2012109098/05 dated 11.03.2012.
4. Cherny R.R., Terekhov V.V., Ryabukhin M.I. Liquid purification device. Patent for Utility Model RU 116781 U1, 10.06.2012. Application № 2012101719/05 dated 18.01.2012.
5. Dokuchaev V.G., Ryabukhin M.I., Terekhov V.V. Liquid cleaning device. Patent № RU 2404839 S1, 27.11.2010. Application № 2009121486/05 dated 08.06.2009.
6. Dokuchaev V.G., Terekhov V.V. The Method of Computational Modeling of Turbulent Stream in axi-symmetric channel. Technique and technology. – 2010. – № 4. – P. 29–33.