

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ АДСОРБЦИОННЫХ ФИЛЬТРОВ В УСТАНОВКАХ ДЛЯ ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩЕЙ ПОДСЛАНЕВОЙ ВОДЫ

INVESTIGATION WORK ADSORPTION FILTERS IN INSTALLATIONS FOR CLEANING OILY BILGE WATER

В статье приводятся результаты теоретического исследования особенностей работы адсорбционных фильтров, которые входят в состав оборудования для очистки нефтесодержащей подсланевой воды, образующейся при эксплуатации судов и их энергетических установок. Отмечается, что нефтесодержащая подсланевая вода может быть очищена в судовых установках или с помощью внесудовых технических средств, например, плавучих очистных станций, в состав которых как обязательный элемент входят адсорбционные фильтры, обеспечивающие удаление из нефтесодержащей подсланевой воды эмульгированных нефтепродуктов. Показано, что процесс адсорбции характеризуется выходной кривой, которая наиболее полно характеризует эффективность работы адсорбционных фильтров и позволяет рассчитать параметры конструкции фильтров. Предложена методика исследования работы адсорбционного фильтра, основанная на анализе свойств выходной кривой. Анализ свойств выходной кривой показывает ее симметричность. Это позволяет экспериментально определить выходную кривую и скорость ее перемещения при оптимизации количества проб.

The article presents the results of theoretical research of features of work adsorption filters, which are part of the equipment for cleaning oily bilge water generated during operation of ships and power plants. Oily bilge water can be purified in marine applications or using other technical means, for example, floating wastewater treatment stations. Adsorption filters ensure the removal of oily bilge water emulsified oils and are an essential element of these techniques of cleaning. It is shown that the adsorption process is characterized by an output curve that most closely characterizes the efficiency of the adsorption filter and allows to calculate the parameters of filter design. The proposed methodology for the study of adsorption based on the analysis of the properties of the output curve. The analysis of the properties of the output curve shows its symmetry. This allows an experimental determination of the output curve and the speed of its movement when optimizing the number of samples.

*Ключевые слова: нефтесодержащая подсланевая вода, очистка, адсорбция, адсорбционный фильтр.
Key words: oily bilge water, cleaning, adsorption, adsorption filters.*

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ загрязнения водных объектов нефтепродуктами, которые содержатся в нефтесодержащей подсланевой воде остается актуальной проблемой эксплуатации судов. Как известно, решение этой проблемы может быть обеспечено путем очистки нефтесодержащей воды в судовых установках или с помощью внесудового очистного оборудования [1], [2]. Современные требования [3] к качеству очищенной воды могут быть обеспечены применением так называемых технологий глубокой очистки, которые включают способы очистки не только тех нефтепродуктов, которые содержатся в состоянии отдельной фазы (слоя или пленки), но и отэмульгированных нефтепродуктов. Такое требование к технологическим схемам очистки нефтесодержащей подсланевой воды определяется тем, что, во-первых, в нефтесодержащей подсланевой воде содержатся нефтепродукты в виде отдельного слоя (пленки) и в эмульгированном состоянии, во-вторых, тем, что обычно концентрация только эмульгированных нефтепродуктов превышает требуемую концентрацию нефтепродуктов в очищенной воде, иногда достаточно существенно. Из этого следует, что технология очистки должна включать способы очистки от нефтепродуктов, которые находятся в состоянии слоя (пленки), а также способы, которые обеспечивают

очистку от эмульгированных нефтепродуктов, поскольку, как известно, каждому виду загрязнения соответствуют свои способы очистки [4] и если не удалить из очищаемой воды эмульгированные нефтепродукты, то не будет обеспечена требуемая степень очистки воды.

В качестве способа очистки от пленочных нефтепродуктов в судовых установках и на плавучих очистных станциях применяется седиментация. Этот способ обладает рядом существенных преимуществ, одним из которых является то, что седиментационные устройства просты по конструкции и не содержат движущихся элементов. Очистка нефтесодержащей подсланевой воды от эмульгированных нефтепродуктов может быть обеспечена разными способами, но одним из основных является адсорбция. Адсорбция является достаточно традиционным, известным и широко используемым способом очистки. При правильно подобранном адсорбенте и правильно выбранных значениях технологических параметров процесса очистки адсорбция может обеспечить любую требуемую очистку воды от загрязняющих веществ. Для разных требований к степени очистки при всех прочих равных условиях проведения процесса очистки будет меняться только время достижения предельного значения концентрации загрязняющего вещества (в данном случае — эмульгированных нефтепродуктов), т. е. время работы загрузки фильтра. Но это время тоже можно регулировать, увеличивая, например, общую длину адсорбционного слоя. Адсорбционная способность адсорбционной загрузки при этом по ее длине будет меняться. Первыми будут «отрабатывать» первые участки адсорбционной загрузки. Максимальное использование загрузки при наличии нескольких адсорбционных фильтров можно обеспечить при последовательной ее замене в фильтрах и соответствующем изменении последовательности включения этих фильтров.

Адсорбция обеспечивает очистку от эмульгированных нефтепродуктов до принятых норм. Как правило, она осуществляется в адсорбционных фильтрах, которые являются достаточно простыми по конструкции устройствами. В адсорбционных фильтрах осуществляется очистка в так называемых *динамических условиях*, хотя известны попытки применения стационарных условий очистки нефтесодержащей подсланевой воды адсорбцией. Каждый из этих способов организации процесса очистки адсорбцией имеет свои достоинства и недостатки, анализ которых для каждого конкретного случая очистных устройств должен помочь сделать правильный выбор. Опыт применения судового очистного оборудования и внесудовых очистных сооружений (плавучих очистных станций) показывает, что в качестве устройств для очистки от эмульгированных нефтепродуктов применяются адсорбционные фильтры [5].

Эффективность работы фильтра зависит от трех основных факторов: адсорбента, скорости движения воды в адсорбционном слое (адсорбенте) и длины адсорбционного слоя. Поэтому основными параметрами работы фильтра с определенной адсорбционной загрузкой является его размеры (диаметр и высота) и подача очищаемой воды через фильтр. Диаметр и подача воды определяют скорость движения воды через фильтр, которая влияет на эффективность очистки воды и поэтому не должна превышать определенных значений. Как показано на рис. 1 а, чем меньше скорость движения воды через фильтр, тем больше время эффективной работы фильтра ($t_2 > t_1$), т. е. время, в течение которого концентрация нефтепродуктов не превышает требуемого значения ($C_{\text{вых}} < C_{\text{тр}}$).

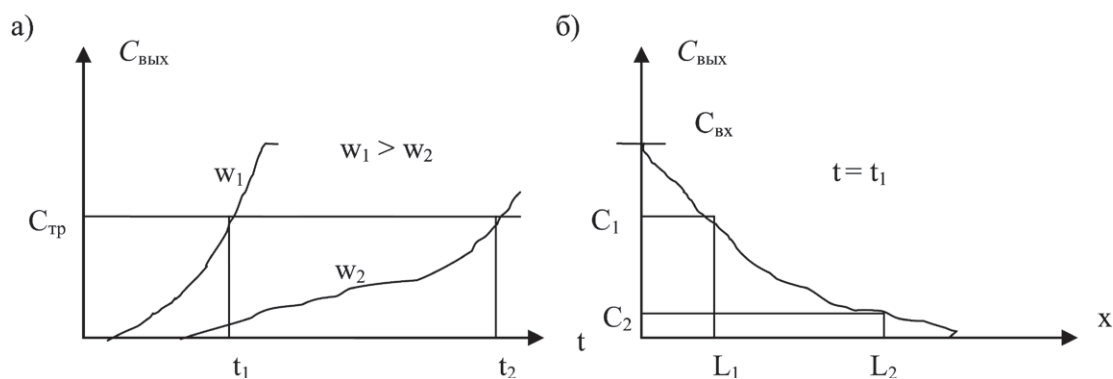


Рис. 1. Влияние скорости движения w воды в фильтре и длины x фильтра на эффективность очистки $C_{\text{вых}}$

Высота фильтра, точнее, адсорбционного слоя, который может быть размещен в нескольких последовательно подключенных фильтрах, также определяет время его эффективной работы. На рис. 1 б показано, как меняется концентрация нефтепродуктов в очищаемой воде по длине адсорбционного слоя в определенный момент времени ($t = t_1$) его работы. Чем больше высота фильтра (адсорбционного слоя) ($L_2 > L_1$), тем меньше концентрация ($C_2 < C_1$) нефтепродуктов в очищаемой воде.

При проектировании адсорбционных фильтров исчерпывающей информацией, позволяющей для заданных условий его работы, т.е. при известных значениях подачи Q очищаемой воды и требуемой степени очистки воды $C_{тр}$, определить параметры его конструкции D и H , а также время эффективной работы, является выходная кривая [4], [5].

Диаметр фильтра определяется в соответствии с формулами:

$$F = \frac{Q}{w}; \quad D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi w}}$$

где F — площадь сечения фильтра; Q — подача очищаемой воды.

Выходная кривая (рис. 2) показывает, как меняется концентрация нефтепродуктов в очищаемой воде в определенной точке адсорбционного слоя. Например, линия L_1 показывает изменение концентрации нефтепродуктов в точке L_1 .

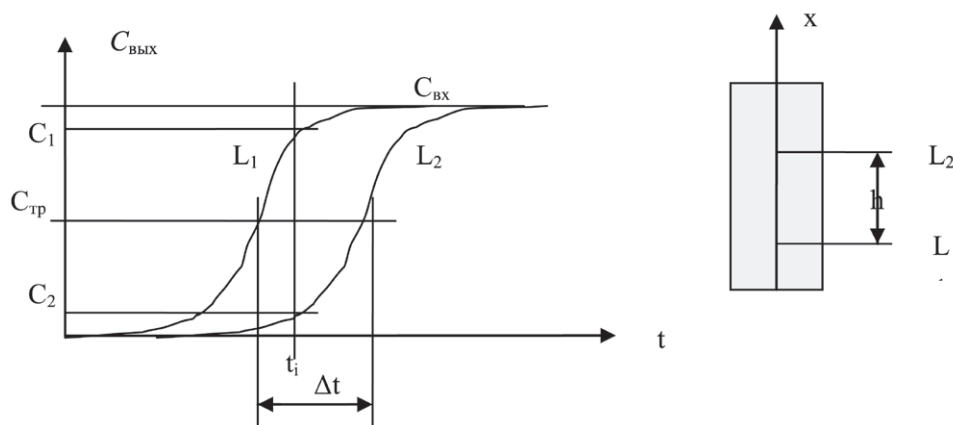


Рис. 2. Выходные кривые адсорбционного фильтра

Выходные кривые получают экспериментально. Анализ свойств выходной кривой позволяет предложить следующую организацию такого эксперимента, которая, с одной стороны, позволяет сократить количество отбираемых проб и объем работ, связанных с последующим их анализом, а с другой — не снижают точности экспериментального определения выходной кривой.

Анализ выходной кривой показывает следующие характерные ее особенности. Кривая имеет прямолинейный участок AB (рис. 3 а). Выходная кривая ограничена сверху значением $C_{вых} = C_{вх}$, так как концентрация нефтепродуктов на выходе исследуемого участка адсорбционного слоя не может быть больше концентрации на входе.

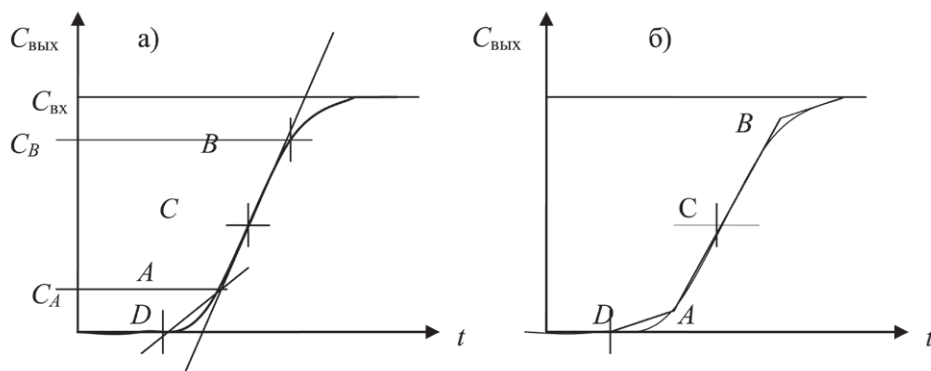


Рис. 3. Свойства выходной кривой

На выходной кривой можно выделить точку C , которая является некоторым центром симметрии выходной кривой. Концентрация нефтепродуктов в этой точке равна $0,5 C_{\text{вх}}$. Нетрудно видеть, что кривую линию, которая представляет собой выходную кривую, можно заменить ломаной линией. Как видно полученная ломаная линия (рис. 3 б) достаточно точно отражает выходную кривую. Это обстоятельство позволяет существенно снизить количество проб, которое должно быть отобрано для экспериментального определения выходной кривой. Для определения выходной кривой достаточно экспериментально определить точки A , B и D , через которые можно провести ломаную выходную линию адсорбционного фильтра.

Определение выходных кривых в двух сечениях фильтра, например, L_1 и L_2 (см. рис. 2), которые друг от друга находятся на расстоянии h , позволяют определить скорость движения выходной кривой

$$w = \frac{h}{\Delta t},$$

где Δt — время между наступлением одного значения концентрации, например, требуемой степени очистки $C_{\text{тр}}$ в указанных сечениях L_1 и L_2 фильтра.

Скорость движения выходной является важной технологической характеристикой и позволяет определить длину адсорбционного слоя при заданном желаемом времени работы фильтра или, наоборот, при выбранной длине адсорбционного слоя определить время работы фильтра. Длина адсорбционного слоя, в свою очередь, определяет высоту фильтра или нескольких фильтров.

Таким образом, предложенная методика экспериментального исследования работы адсорбционного фильтра позволяет с достаточной точностью и меньшим количеством проб выявить технологические характеристики фильтра, которые необходимы при проектировании очистной системы. Такие очистные системы могут быть применены для очистки подсланевой нефтесодержащей воды, например, в модульных комплексах, размещаемых как на плавучих, так и на береговых объектах, которые, в свою очередь, могут быть как стационарными, так и передвижными.

Список литературы

1. Решняк В. И. Предотвращение загрязнения водоемов нефтесодержащей подсланевой водой при эксплуатации судов и судовых энергетических установок: монография / В. И. Решняк. — СПб.: СПбГУВК, 2011. — 207 с.
2. Писарев А. О. Актуальные проблемы очистки судовых нефтесодержащих вод / А. О. Писарев, А. С. Курников // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. — 2009. — № 27. — С. 97–108.
3. Наставление по предотвращению загрязнения внутренних водных путей при эксплуатации судов. — М., 2009.
4. Кульский Л. А. Основы химии и технологии воды / Л. А. Кульский. — Киев: Наукова думка, 1991.
5. Решняк В. И. Стратегия предотвращения загрязнения внутренних водных путей и моря при эксплуатации судов / В. И. Решняк, В. Е. Леонов // Сб. трудов междунар. конф. «Современные и инновационные технологии». — Херсон, 2011. — С. 277–281.
6. Решняк В. И. Предотвращение загрязнения окружающей среды при эксплуатации судов: учеб. пособие / В. И. Решняк. — СПб.: СПбГУВК, 2008. — 24 с.
7. Решняк В. И. Исследование особенностей процесса окисления в дисперсной системе «вода – эмульгированные нефтепродукты» / В. И. Решняк, А. С. Курников, К. В. Решняк // Журнал университета водных коммуникаций. — 2010. — № 3. — С. 171–177.
8. Мизгирев Д. С. Экспериментальные исследования современных судовых систем очистки сточных вод (СОСВ) / Д. С. Мизгирев, А. С. Курников, О. Л. Почкалов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 4 (26). — С. 169–175.
9. Венцюлис Л. С. Основы охраны окружающей природной среды на водном транспорте: учеб. пособие / Л. С. Венцюлис. — СПб.: СПбГУВК, 2002. — 64 с.
10. Кучинская А. А. Технология очистки судовых нефтесодержащих вод с использованием природных сорбирующих материалов: дисс. ... канд. техн. наук. — Новороссийск, 2014.