

Краткое сообщение

УДК 628.3

DOI: 10.15393/j2.art.2016.3621

Перспективы применения древесных отходов для обеспечения экологической безопасности лесозаготовительных предприятий

Елена О. Графова

Петрозаводский Государственный Университет, г. Петрозаводск, пр. Ленина 33;
jethel@rambler.ru

* Автор, с которым следует вести переписку; jethel@rambler.ru;
Tel.: +7(8142) 711058.

Получена: 25 Июля 2016 / Принята: 30 Августа 2016 / Опубликовано: 30 Октября 2016

Аннотация: Способ «сухого» фильтрования использован при очистке от нефтепродуктов стоков дождевых и талых вод с полотна автотрассы на территории Мурманской области и в других случаях, рассмотренных в представленной статье. В этом способе используются зернистые фильтры. В статье рассмотрена феноменологическая модель медленного фильтрования. Некоторые из таких фильтров способны работать без электроэнергии, при малых перепадах высот между полотном автодороги и рельефом для сброса очищенных стоков. В статье использованы материалы ранее выполненных исследований.

Ключевые слова: фильтрование, сухое фильтрование, стоки, нефтепродукты.

Brief communication

DOI: 10.15393/j2.art.2016.3621

Model sewage treatment on granular filters

Elena O. Grafova

Petrozavodsk State University, 185910, the Republic of Karelia, Petrozavodsk, pr. Lenina, 33;
jethel@rambler.ru (E.O.G.)

* Author to whom correspondence should be addressed; jethel@rambler.ru (E.O.G.);
Tel.: +7(8142) 711058.

Received: 25 July 2016 / Accepted: 30 August 2016 / Published: 30 October 2016

Abstract: The method of "dry" filtration used in the purification of wastewater from oil rain and meltwater from the canvas highway in the Murmansk region and in other cases discussed in the presented article. This method uses granular filters. The article considers the phenomenological model of slow filtration. Some of these filters are able to operate without electricity, with small differences in elevation between the web and the relief road for the discharge of treated wastewater. The article draws upon the previous studies.

Keywords: filtration, "dry" filtration, wastewater, oil.

В работах [1, 2] показана высокая эффективность применения технологии медленного (МФ) и «сухого» (СФ) фильтрования при инженерном обустройстве загородных объектов типа придорожных кемпингов, гостиниц, автозаправочных станций.

При переносе известных конструкторских решений по сооружениям большой производительности на сооружения малой и средней производительности эффективным оказывается применение методов математического моделирования. Удачно построенная феноменологическая модель и подобранная для ее исследования математическая модель зачастую позволяют прояснить физику процесса, выйти на инженерные методы его расчета или приблизиться к ним. При этом удается избежать грубых ошибок в построении программ экспериментальных исследований, сократить их объем, упростить технологию эксперимента.

При разработке режима регенерации МФ малой производительности эффективным оказался сбор осадка в центре закрученного потока. Для анализа этого феномена использован метод математического моделирования.

В случае медленного фильтрования режим кругового вращения должен быть ламинарным, когда формируется пограничный слой и осадок концентрируется в центре круглого в плане фильтра в форме "холма" (рис.1). Это требование является принципиальным, поэтому применение устройств закрутки потока, которые применяются в гидроциклонах (например, лопастей), здесь невозможно. Требование ламинарности накладывает ограничения на скорость закрутки потока.

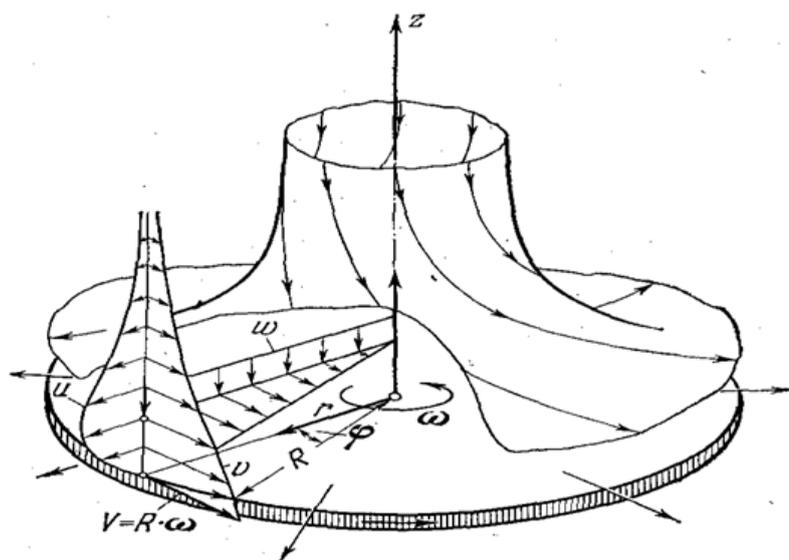


Рисунок 1. Вращательное движение жидкости над неподвижным основанием.

Известно решение Тейлора об устойчивости вращательного движения между цилиндрами [3]. При вращении жидкости в цилиндре потеря устойчивости происходит в зависимости от числа Рейнольдса, которое в нашем случае следует брать в виде:

$$Re = \omega R^2 / \nu.$$

Если принять для критической области значение $Re \sim 10^4$, то получим выражение для угловой скорости закрутки $\omega \sim 200/R^2$, где ω измеряется в с^{-1} , а R – в см. Для радиуса фильтра порядка 70 см, критическая область лежит в области $\omega > 0,04 \text{ с}^{-1}$. Эта величина ориентировочная, поэтому реально необходим контроль за тем, чтобы движение жидкости было ламинарным. Для окружной скорости эта величина должна иметь порядок 4 см/с.

Следующий этап – оценка скорости истечения жидкости из сопла для "закрутки" потока. Задача о распределении скоростей в покоящейся вязкой жидкости при истечении из конца трубки турбулентной струи (задача о «затопленной струе») рассмотрена в монографии [4].

На больших по сравнению с размером отверстия трубы расстояниях струя аксиально симметрична вне зависимости от формы отверстия. Вследствие радиальной симметрии радиус области R_T турбулентности зависит только от расстояния x , пройденного струей при закрутке. В соответствии с приведенным в указанной монографии решением радиус области R_T турбулентности пропорционален расстоянию x :

$$R_T = tg \alpha x, \quad \text{где } \alpha \approx 12,5^\circ \quad (1)$$

Решение задачи о попутном движении жидкости вне турбулентной области приводит к выводу, что отношение

$$(u_x)_{\text{пот}} / (U_x)_{\text{ср}} = (1 - \text{Cos } \alpha) / 2, \quad (2)$$

где $(u_x)_{\text{пот}}$ – скорость в ламинарном (покоящемся первоначально) слое на границе с турбулентной струей; $(U_x)_{\text{ср}}$ – средняя скорость в турбулентной (закручивающей) струе.

При $\alpha \approx 12,5^\circ$ получаем значение 0,011, т.е. на границе турбулентной области скорость мала по сравнению со средней скоростью потока внутри турбулентной струи. «Закручивание» потока в цилиндре происходит, в основном, за счет расширения турбулентной струи. Значение угла расширения струи получено в упрощающем предположении о плоском безграничном потоке, так что в реальных условиях величина будет несколько меньше.

Для получения достаточной раскрутки всего объема жидкости следует учесть, что вследствие наличия стенки максимальные окружные скорости v достигаются по направлению истечения струи. Чтобы вращение захватило весь слой жидкости в окрестности дна (до расстояния не менее 10 см), необходимо, чтобы струя в соответствии с уравнением (6) охватила весь радиус цилиндра. Это произойдет, когда число «оборотов» струи N составит $N \sim 1/\pi tg \alpha$ или порядка 15.

Обозначим среднюю скорость истечения через $(U_x)_{\text{ср}}$. Тогда среднее значение угловой скорости ω составляет:

$$\omega = 2(U_x)_{\text{ср}} / R \text{ (с}^{-1}\text{)} \quad (3)$$

Следовательно, минимальное время T_3 необходимой закрутки потока в окрестности дна составляет:

$$T_3 = N / \omega = R / 2\pi (U_x)_{\text{ср}} tg \alpha \quad (4)$$

При радиусе 700 мм и средней скорости истечения 100 мм/с время закрутки около 1 мин.

Выполненный анализ математической модели закрученного движения жидкости у неподвижного дна круглого резервуара (у поверхности загрузки медленного фильтра) дает основание надеяться на успех в конструировании системы регенерации медленного пленочного фильтра с легкоподвижной массой гидроокиси алюминия (железа) с использованием в качестве «привода» направленного потока рабочей жидкости.

Как показало проведенное исследование, необходим ламинарный режим раскручивания придонного объема жидкости до определенной скорости и на определенное время, достаточных для сдвига отложений и перемещения их в центр цилиндрического сосуда.

Приведенные теоретические решения дают примерные значения указанных параметров, которые подтвердились экспериментально.

Еще одним примером применения математического моделирования для обоснования и оптимизации фильтрационного процесса является модель «сухого» секционного фильтрования.

Традиционно для обезжелезивания воды применяют метод упрощенной аэрации и фильтрования через затопленную зернистую загрузку. Известен также метод «сухого» фильтрования, когда верхний слой загрузки фильтра не затоплен, вода стекает под действием силы тяжести тонкой пленкой по крупнозернистой загрузке, затем фильтруется через мелкие фракции затопленной загрузки фильтра (рис. 2).

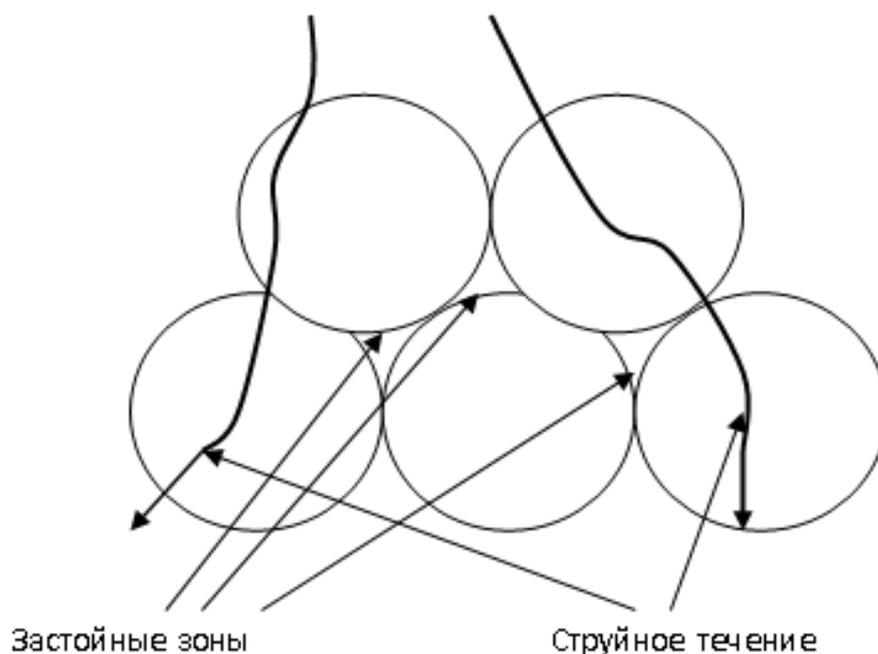


Рисунок 2. Схема потока при однофазном «сухом» течении

При разработке модели «сухого» фильтра проработаны три особенности процесса:

1. Фильтрование воды происходит в водо-воздушной, т.е. в трехфазной среде (твердое тело - жидкость - газ) и в поровом пространстве не образуется сплошного тока воды. Вода образует пленочное (а не струйное) течение.

2. Фильтрация происходит в пульсационном режиме: подача загрязненной порции воды чередуется паузами без подачи воды, когда пленка воды стекает, осадок и поверхность зерен фильтра оказываются в воздушной среде.

3. Секционная конструкция фильтра. При достижении времени защитного действия t_3 первая секция изымается, вторая секция (частично загрязненная) становится первой, а новая чистая секция ставится в конец фильтра.

Остановимся на последствиях этих особенностей для механизма фильтрации.

Рассмотрим влияние прерывистого режима водо-воздушного фильтрования на эффект адсорбции. Фильтрующий материал является гидрофобным и лиофильным, что обеспечивает прилипание загрязняющих частиц нефтемаслопродуктов (НМП) к поверхности частиц. При наличии сплошного потока воды, загрязненной НМП, молекулы воды препятствуют действию межмолекулярных сил в

направлении расширения пятен НМП на поверхности загрузки.

При пульсационном режиме происходит стекание воды, а прилипшие частицы НМП остаются в слое, поскольку силы межмолекулярного взаимодействия зерен с НМП больше, чем с водой.

Этот эффект различия сил молекулярного взаимодействия воды и НМП способствует расширению пятен НМП на поверхности частиц загрузки в отсутствии тока воды. Тем самым увеличивается емкость фильтра. Очевидно, что чем больше продолжительность паузы, тем меньшее количество воды остается на поверхности сорбента, тем меньше сопротивление молекул воды расширению пятен НМП и тем выше емкость.

Некоторую аналогию этому процессу мы находим в работе [5], где приводится график зависимости эффективности удаления аммония от времени аэрации фильтра. Автором для изучения влияния аэрации на повышение эффективности развития, нитрифицирующего бактериоценоза использовалась модель:

$$u \frac{dC_2}{dl} = - \frac{k_2 C_2 B_1}{K_2 + C_2} - \frac{k_5 C_2 C B_1}{(K_5 + C_2)(K_0 + C)} \quad (5)$$

где $C_2(l)$ – концентрация NH_4 ; C – концентрация кислорода в воде; B_1 – концентрация нитрификаторов, u – скорость фильтрации в слое, l – координата по длине фильтра; k_i , K_j – константы.

В этом уравнении эффективность работы фильтра обеспечивается концентрацией нитрификаторов B_1 , которая входит в уравнение (5) в виде линейного члена. Аэрация способствует увеличению концентрации B_1 и это единственный фактор, на который влияет аэрация.

В нашем случае механизм увеличения емкости фильтра на стадии паузы в фильтровании аналогичен описанному выше механизму возрастания концентрации нитрификаторов. Предложена следующая модель роста емкости фильтра при высушивании:

$$da_0/dt = a_{0max} - \gamma a_0, \quad (6)$$

где $a_0(t)$ – емкость фильтра в момент фильтрации (при фильтрации только водо-воздушной смеси без аэрации – величина постоянная), a_{0max} – максимально достижимая емкость фильтра для набора НМП данной загрузки, γ – кинетический коэффициент повышения емкости загрузки при аэрации.

В начальный момент $t = 0$ емкость фильтра равна $a_{0н}$. И при аэрации она растет, подчиняясь уравнению (6), причем отсчитывается только время аэрации. Решение уравнение имеет вид:

$$a_0(t) = a_{0max} - (a_{0max} - a_0) \exp(-\gamma t)$$

Таким образом, аэрация способствует повышению емкости фильтра, и эта зависимость реализуется через уравнение кинетики. При аэрации происходит увеличение емкости a_0 и этот эффект воздействует на рост эффективности фильтрования.

Приведенные выше математические модели получили свое экспериментальное подтверждение и внедрены в промышленное использование.

Так метод «сухого» фильтрования нашел удачное применение в конструкции сооружений очистки от нефтепродуктов дождевых и талых вод с территории трансформаторных подстанций [6]. При очистке от нефтепродуктов дождевых и талых вод с полотна автотрассы М-18 «Кола» на территории Мурманской области потребовались сооружения, способные работать без электроэнергии, при малых перепадах высот между полотном автодороги и рельефом для сброса очищенных стоков [7].

Работа выполнена в рамках реализации комплекса научных мероприятий Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012-2016 гг.

Литература

1. Аюкаев Р.Р. Технология медленного фильтрования на сооружениях малой и средней производительности: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Самара: СГАСА, 2006. 170 с.
2. Графова Е.О. Повышение эффективности работы систем водоснабжения водоотведения загородных объектов: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. СПб: СПбГАСУ, 2008. 148 с.
3. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. ч. II, М.: Физматгиз. 1963, 665 с.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М.: Наука. 1986. 212 с.
5. Залетова Н.А. Очистка городских сточных вод от биогенных веществ (Соединений азота и фосфора): Автореферат дисс. ... доктора техн. наук. М., 1999. - 50 с.
6. Графова Е.О., Аюкаев Р.И. Обеспечение глубокой локальной очистки поверхностного стока с трансформаторных подстанций «Карелэнерго» //Вода-magazine. 2009. № 7 (23). – С.14-16.
7. Аюкаев Р.И., Графова Е.О. Инженерные решения экологической безопасности при реконструкции автодорог Северо-Запада в границах водоохранных зон //Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Естественные и технические науки. 2010. №6 (100). - С.49-54.
8. Графова Е.О. Модель ресурсосберегающей технологии очистки стоков на зернистых фильтрах // В сборнике: Ресурсосберегающие технологии, материалы и конструкции 2012. С. 21-28.

References

1. Ajukaev R.R. Tehnologija medlenogo fil'trovaniya na sooruzhenijah maloj i srednej proizvoditel'nosti: Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehničkih nauk. Samara: SGASA, 2006. 170 s.
2. Grafova E.O. Povyshenie jeffektivnosti raboty sistem vodosnabzhenija vodootvedenija zagorodnyh ob#ektov: Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehničkih nauk. SPb: SPbGASU, 2008. 148 s.
3. Kochin N.E., Kibel' I.A., Roze N.V. Teoreticheseskaja gidromehanika. ch. II, M.: Fizmatgiz. 1963, s. 665
4. Landau L.D., Lifshic E.M. Hidrodinamika. M.: Nauka. 1986. S.212
5. Zaletova N.A. Ochistka gorodskih stochnyh vod ot biogenykh veshhestv (Soedinenij azota i fosfora): Avtoreferat diss. ... doktora tehn. nauk. M., 1999. - 50 s.
6. Grafova E.O., Ajukaev R.I. Obespechenie glubokoj lokal'noj ochistki poverhnostnogo stoka s transformatornyh podstancij «Kareljenergo» //Voda-magazine. 2009. № 7 (23). – S.14-16.
7. Ajukaev R.I., Grafova E.O. Inzhenernye reshenija jekologicheskoj bezopasnosti pri rekonstrukcii avtodorog Severo-Zapada v granicah vodoohrannyh zon //Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye i tehničkiie nauki. 2010. №6 (100). - S.49-54.

8. Grafova E.O. Model' resursosberegajushhej tehnologii ochistki stokov na zernistyh fil'trah // V sbornike: Resursosberegajushhie tehnologii, materialy i konstrukcii 2012. S. 21-28.
9. Mihajlov A. V., Kim A. N., Prodous O. A., Grafova E.O., Rublevskaja O.N. Vodootvedenie i ochistka poverhnostnogo stoka na torfjanyh fil'trah: Monografija// -SPb. «Izdatel'stvo OOO «Sborka», 2014.
10. Grafova E. O. Povyshenie jeffektivnosti raboty sistem vodosnabzhenija vodootvedenija zagorodnyh ob#ektov: Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskikh nauk. SPb: SPbGASU, 2008g. 148s.
11. Andreev A. A., Zajceva M. I., Kolesnikov G. N., Chalkin A. A. Tehnologii ispol'zovanija othodov lesopilenija dlja ustojchivogo razvitija prigranichnyh regionov na severe Rossii // V sbornike: Klassicheskij universitet v prostranstve transgranichnosti na Severe Evropy: strategija innovacionnogo razvitija materialy Mezhdunarodnogo foruma. Petrozavodskij gosudarstvennyj universitet. Petrozavodsk, 2014. S. 3-6.