

ном образце на водопроводных сооружениях.

1. Тугай А.М., Орлов В.О. Водопостачання. Підручник. – К.: «Знання», 2008. – 735 с.
2. Эпоян С.М., Душкин С.С. Влияние активированных растворов сульфата и оксихлорида алюминия на эффективность осветления воды // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, 2012. – Вип. 69. – С. 348-352.
3. Душкин С.С. Методические аспекты проведения исследований при использовании активированных растворов коагулянтов в процессе очистки воды // Комунальне господарство міст: наук.-техн. зб. – Харків: ХНАМГ, 2012. – Вип. 105. – С. 320-334.
4. Эпоян С.М., Душкин С.С. Активированные растворы реагентов в процессах очистки природных вод // Программа и тезисы докладов XXXVI научно-технической конференции преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской национальной академии городского хозяйства. – Харьков: ХНАГХ, 2012. – С. 126.
5. Эпоян С.М., Душкин С.С. Технологические схемы очистки воды, условия их применения // Виробнично-практичний журнал «Водопостачання та водовідведення». – К.; 2012, №4. – С 8-10.

Получено 25.01.2013

УДК 628.3

Е.О.ГРАФОВА, канд. техн. наук

Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация)

МОДЕЛИ ИЗУЧЕНИЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВОДЫ НА «СУХИХ» ФИЛЬТРАХ

Для очистки дождевых стоков с поверхности автотрасс в условиях северо-запада перспективно применение многослойных фильтров малой толщины. Для обоснования эффективности работы тонкослойного фильтрования используется аппарат теории «динамики сорбции». Рассматриваются оптимальные сорбционные материалы.

Для очищення дощових стоків з поверхні автотрас в умовах північного заходу перспективне застосування багатослойових фільтрів малої товщини. Для обґрунтування ефективності роботи тонкошарового фільтрування використовується апарат теорії «динаміки сорбції». Розглядаються оптимальні сорбційні матеріали.

Clearing of highways surface rain drains in the conditions of the northwest application is perspective with multilayered filters of a small thickness. For an overall performance substantiation thin layer filtering is used the theory «sorption dynamic» device. Optimum for application sorption materials are considered.

Ключевые слова: «сухое» фильтрование, тонкослойное фильтрование, многослойное фильтрование, очистка от нефтепродуктов, малые загородные объекты.

В последние годы «сухое» фильтрование все чаще доказывает свои ресурсосберегающие и функциональные преимущества перед другими видами фильтрования. Ряд внедрений «сухих» фильтров для очистки производственных сточных вод от автомоек и загрязненных дождевых вод продемонстрировал перспективу при удалении нефтепродуктов и взвешенных веществ. В работе [1] показана высокая эффективность применения технологии «сухого» фильтрования (СФ) 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 математическая модель зачастую позволяют прояснить физику процесса, выйти на инженерные методы его расчета или приблизиться к ним. При этом удастся избежать грубых ошибок в построении программ экспериментальных исследований, упростить технологию.

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. 1).

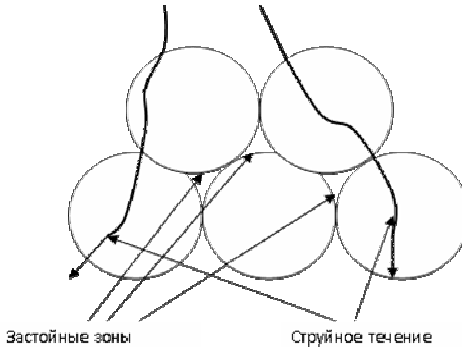


Рис. 1 – Схема потока при однофазном «сухом» течении

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 потока 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 оказывается 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.

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 меньше количество воды остается на поверхности сорбента, тем меньше сопротивление молекул воды расширению пятен НМП и тем выше емкость.

Предложена следующая модель роста емкости фильтра при высушивании:

$$da_0/dt = a_{0max} - \gamma a_0, \quad (1)$$

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 (1), причем отсчитывается только время аэрации. Решение уравнения 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.

Так метод «сухого» фильтрования нашел удачное применение в конструкции сооружений очистки от нефтепродуктов дождевых и талых вод с территории трансформаторных подстанций [3]. При очистке от нефтепродуктов дождевых вод с 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 [4].

Автодорога М-18 «Кола» (от С.-Петербурга до границы с Норвегией) пересекает множество водоохраных зон, по всей трассе её отличают отсутствие электроснабжения, заболоченность (до 40% территории), выходы горных пород, чрезвычайно малое (от 0,3м) превышение полотна дороги над рельефом местности, высокий уровень грунтовых вод. В таких условиях применение локальных очистных сооружений (ЛОС) подземного размещения и насосной перекачки стока исключено. Найдено решение [4], которое предусматривает самотёчное движение стока, сорбционную очистку на многослойном фильтре малой толщины, неглубокое или на поверхности земли расположение ЛОС, «водозаполненное» состояние в рабочем режиме (очистка стоков) и «сухое» в режиме ожидания (включая зимний период).

Вынужденное использование сорбционного фильтра малой толщины (в противоположность нормативно большой) потребовало соответствующего обоснования. Постановочные эксперименты показали: сорбционная очистка на слоях малой толщины имеет право на жизнь. Сорбционный фильтр должен быть многослойным, как минимум трехслойным: один из сорбентов должен обладать высокой сорбционной ёмкостью, но может иметь плохую кинетику, второй сорбент может обладать невысокой сорбционной ёмкостью, но должен иметь хорошую кинетику; требуется также третий слой сорбента – «страховочный» или «финишный».

Перспективным для фильтра с такими показателями оказалось использование полимерного (пенополиуретан), органического (модифицированный торф) и минерального («Новосорб») сорбентов. Для качественной и количественной оценки возможностей этих сорбентов использовались методы и средства хорошо развитой теории динамики сорбции [2].

Кинетику сорбции определяли экспериментально на базе Международного университета природы, общества и человека «Дубна». Для каждого из сорбентов построены изотермы сорбции: «Новосорб» ($d \geq 1$ мм, $t=20^\circ\text{C}$, $T=20$ мин), пенополиуретан ($d=3 \times 2 \times 1$ см, $t=20^\circ\text{C}$, $T=40$ мин.) и торф (волокна, $t=20^\circ\text{C}$, $T=20$ мин.) (рис. 2).

Со скоростью 1 м/ч фильтровался модельный раствор с концентрацией нефтепродуктов $C_0 = 20\text{-}40$ мг/л. Данные о концентрации на выходе сводились в таблицу.

Возможность очистки стока (растопленные образцы снега с природного полотна) испытана на модели многослойного фильтра. В пробах исходного и очищенного стока контролировали нефтепродукты,

взвешенные вещества, цветность, мутность, рН. Из эксперимента следует, что при скорости фильтрования 4 м/ч и исходной концентрации нефтепродуктов 22,0 мг/л комбинированный слой фильтра обеспечивает очистку до 0,5 мг/л не менее 5 л нефтесодержащего стока. Одновременно удаляются взвешенные вещества (с 1015,0 до 3,0 мг/л), снижается рН (с 7,95 до 7,74).

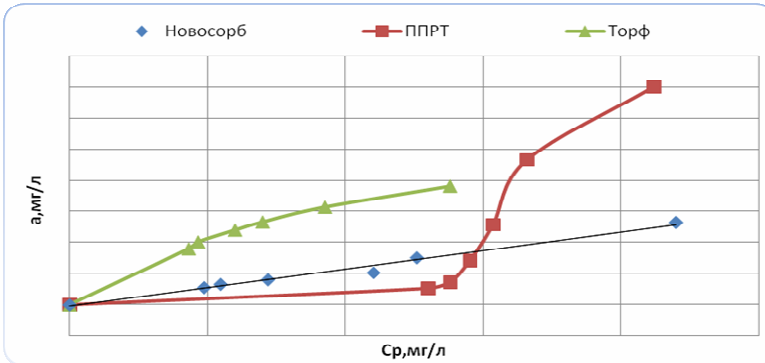


Рис. 2 – Изотермы сорбции нефтепродуктов на сорбентах:
 ▲ – торф (волокна, T=20мин); ◆ – «Новосорб» (фракция 5-6мм, контакт 20мин.); ■ – пенополиуретан (фракция 3x2x1 см, t = 20° С, T=40 мин.)

Из анализа экспериментальных данных можно сделать следующие выводы:

1. Изотерма сорбции на пенополиуретане имеет вогнутый характер. При вогнутой изотерме имеется стадия «зарядки» – накопления на поверхности сорбента моно слоя нефтепродукта, когда Γ – коэффициент распределения мал и отмечаются значительные проскоки загрязнителей. Далее идет аутогезия. Таким образом, пенополиуретан проходит стадию «зарядки», пока концентрация нефтепродукта на поверхности сорбента не достигнет порядка 7 мг/г. Кинетика сорбции на пенополиуретане хуже, чем на остальных двух исследованных сорбентах.

2. Изотерма сорбции на торфе в исследованном диапазоне концентраций имеет слабо выраженный выпуклый характер. Если аппроксимировать её, то коэффициент распределения Γ примерно в 2 раза меньше, чем для пенополиуретана на стадии аутогезии. Кинетика сорбции для торфа значительно лучше, чем для пенополиуретана. При сравнении величин кинетического коэффициента для объема раствора V и массы сорбента m условие материального баланса сорбируемого вещества имеет вид:

$$VC + ma = VC_0, \quad (2)$$

где C – концентрация в растворе в момент времени t ; a – концентрация в фазе сорбента в момент времени t ; C_0 – концентрация в растворе в начальный момент времени $t = 0$.

Уравнение кинетики сорбции для случая больших коэффициентов распределения Γ , когда можно пренебречь влиянием сорбционного тор-можения в сорбенте имеет вид:

$$\frac{da}{dt} = \beta C, \text{ если } a < a_0, \quad (3)$$

где a_0 – емкость сорбента.

Вместе с уравнением баланса (2) получим систему, исключая из которой a , получим обыкновенное дифференциальное уравнение:

$$-\frac{V}{m} \frac{dC}{dt} = \beta C, \text{ если } a < a_0 \quad (4)$$

решение которого при условии $C(0) = C_0$ имеет вид:

$$C = C_0 \exp(-\beta m t / V), \quad (5)$$

которое представим в виде:

$$\ln(C/C_0) = -\beta m t / V. \quad (6)$$

Отсюда следует, что если для достижения фиксированного отношения C/C_0 для двух сорбентов (пенополиуретан и торф) требуется разное время (в опыте 40 и 20 мин), то величина β для пенополиуретана должна быть в два раза меньше, чем для торфа, а именно: $\beta_{\text{пп}}/\beta_{\text{т}} = 40/20 = 2$.

Таким образом, торф обладает емкостью в 2,5 раза меньшей, чем пенополиуретан, но в 2 раза лучшей кинетикой сорбции.

3. Изотерма сорбции «Новосорб» близка к линейной. Кинетика сорбции аналогична кинетике на торфе, т.е. примерно в два раза лучше, чем на пенополиуретане.

Таким образом, минеральный сорбент «Новосорб» обладает самой малой емкостью из трех изученных сорбентов, однако имеет хорошую кинетику сорбции, потому может быть использован как «финишный» сорбент в многослойном фильтре.

Выводы из анализа модели позволили обосновать конструктивное решение по водоочистному фильтру для условий очистки от нефтепродуктов дождевых и талых вод с полотна автотрассы М-18 «Кола» при малых перепадах между полотном автодороги и рельефом для сброса очищенных стоков [4].

Автор благодарит за консультации при математическом моделировании фильтрационного процесса на слоях малой толщины профессоров Р.И.Аюкаева и Е.В.Веницианова.

1. Графова Е.О. Повышение эффективности работы систем водоснабжения и водоотведения загородных объектов: Дисс.... канд. техн. наук. – СПб: СПбГАСУ, 2008. – 148с.
2. Графова Е.О., Аюкаев Р.И., Веницианов Е.В. Математическое моделирование в исследовании процессов водоочистки. Сообщение 1. «Сухое» фильтрование. / ученые записки ПетрГУ, №7-2009 (июнь). – С. 18-25.
3. Графова Е.О., Аюкаев Р.И. Обеспечение глубокой локальной очистки поверхностного стока с трансформаторных подстанций «Карелэнерго» // Вода-magazine. – 2009. № 7 (23). – С. 14-16.
4. 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.

Получено 21.01.2013

УДК 628.336.43

К.Б.СОРОКИНА, канд. техн. наук

Харківська національна академія міського господарства

ОСОБЛИВОСТІ ПРИГОТУВАННЯ І ДОЗУВАННЯ ФЛОКУЛЯНТІВ ПРИ КОНДИЦІОНАННІ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД

Розглянуто особливості й умови застосування та отримання розчинів флокулянтів, використовуваних для підвищення вологовіддачі осадів стічних вод при подальшому їх механічному зневодненні.

Рассмотрены особенности и условия применения и получения растворов флокулянтов, используемых для повышения влагоотдачи осадков сточных вод при последующем их механическом обезвоживании.

Features and terms of application and receipt of solutions of flocculant, in-use for the increase of retutns moisture of sewages fallouts at subsequent their mechanical dehydration are considered.

Ключові слова: флокулянти, зневоднення, осад стічних вод, кондиціонування, вологовіддача.

При реалізації методів зневоднення осадів стічних вод для покращення їх вологовіддачі необхідно змінити структуру твердої фази осадів шляхом коагуляції хімічними реагентами або введенням присадних матеріалів, заморожуванням з подальшим відтаванням, а також тепловою обробкою.

Проведення вказаних операцій, що отримало найменування «кондиціонування осадів», викликає укрупнення частинок осадів і дисперсійного середовища, що послаблює силу зчеплення води з твердими частинками. Зміна структури осадів приводить до кількісного перерозподілу форм зв'язку вологи із збільшенням вмісту вільної води за рахунок зменшення загальної кількості зв'язаної вологи, що дозволяє добиватися