

колебаний рыночной конъюнктуры в различных сегментах, например, по аналогии с подходом в [12].

8. Выводы

В результате проведенных исследований:

1. В результате обобщения практического опыта охарактеризованы основные требования, предъявляемые к структуре флота и направлениям его работы в рамках годового отрезка времени.

2. На основе сформулированных требований разработана экономико-математическая модель, позволяющая определять оптимальные состав флота и набор грузопотоков для его работы.

3. Проведены экспериментальные исследования, которые подтвердили работоспособность и адекватность модели.

Литература

1. Лукашов, А. В. Международные финансы и управление валютными рисками в нефинансовых корпорациях [Текст] / А. В. Лукашев // Управление корпоративными финансами. — 2005. — № 1. — С. 36–52.
2. Воевудский, Е. Н. Экономико-математические методы и модели в управлении морским транспортом [Текст] / Е. Н. Воевудский, Н. А. Коневцева, Г. С. Махуренко, И. П. Тарасова; под ред. Е. Н. Воевудского. — М.: Транспорт, 1986. — 287 с.
3. Громовой, Э. П. Математические методы и модели в планировании и управлении на морском транспорте [Текст] / Э. П. Громовой. — М.: Транспорт, 1979. — 360 с.
4. Stopford, M. Maritime Economics [Текст] / M. Stopford. — Ed. 2. — Routledge, 1997. — 562 p. doi:10.4324/9780203442661
5. Онищенко, С. П. Моделирование процессов организации и функционирования системы маркетинга морских транспортных предприятий [Текст] / С. П. Онищенко. — Одесса: Феникс, 2009. — 328 с.
6. Шибяев, А. Г. Распределение степени влияния коммерческих рисков при тайм-чартерной аренде судов [Текст]: сб. науч. пр. / А. Г. Шибяев, С. И. Рылов, Ю. А. Коскина, Н. В. Судник // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем. — Одеса, 2011. — Вип. 17. — С. 197–212.
7. Кириллова, Е. В. Организация и управление работой морских судов в ролкерной транспортно-технологической си-

стеме [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук / Е. В. Кириллова; ОНМУ. — Одесса, 2004. — 184 с.

8. Шибяев, А. Г. Обобщение и развитие моделей оптимальной расстановки флота морской судоходной компании [Текст] / А. Г. Шибяев // Вісник Одеського державного морського університету. — Одеса: ОДМУ, Астропринт, 1998. — № 2. — С. 66–72.
9. Жихарева, В. В. Теория и практика инвестиционной деятельности судоходных компаний [Текст]: монография / В. В. Жихарева. — Одесса: ИПРЕД-НАН, 2010. — 480 с.
10. Махуренко, Г. С. Моделирование программы пополнения флота судоходной компании [Текст]: сб. науч. пр. / Г. С. Махуренко, В. В. Жихарева // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем. — Одеса, 2008. — № 14. — С. 5–23.
11. McConville, J. The Economics of Maritime Transport. Theory and Practice [Text] / J. McConville. — Witherby&Co. Ltd., 1999. — 424 p.
12. Онищенко, С. П. Специфика рыночных рисков и мероприятий по их снижению в современном судоходном бизнесе [Текст] / С. П. Онищенко, Т. Н. Шутенко // Актуальні проблеми економіки. — 2012. — № 2. — С. 85–98.

МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ФЛОТУ І ПЕРСПЕКТИВНИХ НАПРЯМКІВ ЙОГО РОБОТИ

У даному дослідженні розглядається задача оптимізації структури флоту і напрямків його роботи в рамках річного відрізка часу. Проаналізовано недоліки в існуючих підходах до вирішення даного завдання. На базі вимог практики і специфіки річного періоду планування сформульовані основні вимоги до структури флоту, на їх основі розроблено економіко-математичну модель, специфікою якої є врахування можливих простоїв суден через падіння вантажної бази.

Ключові слова: моделювання, флот, суди, оптимізація, вантажопотоки, структура, фрахтування, оренда, тайм-чартер.

Вишневецький Дмитрій Олегович, асистент, кафедра морських перевозок, Одеський національний морський університет, Україна, e-mail: system013@mail.ru.

Вишневецький Дмитро Олегович, асистент, кафедра морських перевезень, Одеський національний морський університет, Україна.

Vishnevsky Dmitry, Odessa National Maritime University, Ukraine, e-mail: system013@mail.ru

УДК 504.064

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.37648

**Бойко Т. В.,
Запорожец Ю. А.**

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАССОПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВЕННОМ СЛОЕ

В статье представляется математическая модель процесса фильтрации загрязненной воды в почвенном слое с учетом особенностей физико-химических свойств почвы. Применение данной модели дает возможность оценить степень загрязнения, и динамику миграции поллютантов в процессе фильтрации с учетом сложных процессов физико-химического взаимодействия сточных вод с грунтовыми массами.

Ключевые слова: сточные воды, фильтрационный процесс, грунт, математическое моделирование, массообмен, кинетические уравнения.

1. Введение

Почвенный слой, одна из составляющих частей экологической системы, который расположен в промышлен-

ных районах наиболее подвержен негативному влиянию загрязненных веществ, как жидких, так и твердых отходов промышленного происхождения. Исследование влияния загрязняющих веществ, которые поступают в почву,

с учетом, как и их специфических физико-химических свойств, так и особенностей почвенного слоя (сорбция, химическое взаимодействие, проницаемость и т. д.) является актуальной задачей. Учитывая сложность и комплексность проблемы устойчивого развития регионов в экологической составляющей следует, разрабатывать алгоритм массопереноса загрязняющих веществ в почвенном слое, который позволит проанализировать нагрузку на него и оценить экологический риск уже на этапе проектирования в соответствии с концепцией оценки воздействия на окружающую природную среду.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Начиная с работ А. Дарси [1] проблеме изучения особенностей движения жидкостей в пористых средах, посвящено значительное количество работ. Свой вклад в развитие нового раздела гидродинамики внесли ряд ученых: Ж. Дюпюи, Ж. Буссинеско и другие.

Увеличилось количество научных работ, посвященных исследованию и изучению пористой среды, его структур. Над данной тематикой работали: Баренблад Г. И., Осокин А. Е., Рыжаков В. Н. и другие. Обобщил их работу, и систематизировал информацию по геологическим и гидрогеологическим условиям, разделил территорию Украины на отдельные четыре области и внутри них, то есть суммарно, девять районов, основных схем геофильтрации в своих работах Абрамов И. Б. [2].

В настоящее время для моделирования процесса загрязнения и распространения загрязняющих веществ в окружающей среде существует большое количество математических моделей, но большинство из них описывают процесс загрязнения воздушных масс. В области математического моделирования фильтрационных процессов существует ограниченное количество работ, из которых можно выделить следующие работы: Лаврика В. И. [3, 4]. В своей работе [3] автор представил математическую модель в которой учел зависимость коэффициентов конвективной диффузии от скорости фильтрации. В работе [5] Олейник А. Я. представил гидродинамическую модель фильтрации, которая описывает процесс очистки подземных вод от соединений железа. В работе [6] Олейник А. Я. представил модель процесса фильтрации жидкости через среду с фиксированным уровнем проницаемости, данная модель дает возможность оценить уровень и качество подземных вод. В работе Тополев В. А. [7] автор представил модель двумерной фильтрации в анизотропных средах. В своей работе [8] Молокова Н. В. представляет математическую модель процесса загрязнения нефтепродуктами пористой среды. Также можно выделить работу Рубин Ю. [9], в которой автор представил математическую перемещение подземных вод для оценки экологического риска. Дэстоний Г. В. в статье [10] описал процесс миграции хлорида в гетерогенной почве.

Каждая из перечисленных работ решает конкретную задачу исследования и моделирования фильтрационных процессов в пористых средах. Однако вне зоны исследований остался вопрос учета особенностей пористой среды, в которой происходит фильтрация.

Таким образом, проблемы исследований процессов миграции загрязняющих веществ с поверхности в глубину почв, являющихся на сегодняшний день областью активных научных исследований.

3. Объект, цель и задачи исследования

Объект исследования — процесс миграции растворимых загрязняющих веществ в почвенном слое.

Проведенные исследования поставили цель, определить особенности процесса миграции загрязняющих веществ с поверхности в глубину почв.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- определить какие факторы будут влиять на процесс массопереноса в почвенном слое;
- разработать математическую модель фильтрационного процесса, которая будет учитывать особенности пористой среды, в которой происходит фильтрация и свойства загрязненных сточных вод в процессе их взаимодействия.

4. Математическое моделирование миграции загрязняющих веществ в почвах

Для описания процесса миграции загрязненных сточных вод в почвенном слое используется математическая модель массопереноса поллютантов, то есть взаимодействие между почвой и загрязненными сточными водами в процессе фильтрации [11]. В общем виде процесс массопереноса растворимых веществ при фильтрации сточных вод можно описать уравнениями материального баланса [3]. Как правило, математические модели массопереноса растворенных веществ — это системы дифференциальных уравнений, включающие в качестве независимых переменных три пространственные координаты и время. Для упрощения системы уравнений путем усреднения искомых величин (концентрации, скорости фильтрации и др.) уменьшают размерность по одной или нескольким пространственным координатам. Вертикальное усреднение по координате z приводит уравнение к двумерной профильной модели, которая дает возможность оценить распространение сточных вод вглубь почвенного слоя [2].

При построении математической модели учитывались следующие допущения: загрязняющие примеси растворены в воде и концентрация соответствует суммарному содержанию; распространение примесей осуществляется с потоком фильтрующейся массы жидкости; процесс накопления в почвенном слое лимитируется процессом массопереноса в изотермических условиях; коэффициент конвективной диффузии и физико-химические характеристики жидкой и твердой фаз являются постоянными.

Математическая модель массопереноса загрязняющих веществ представлена уравнением материального баланса, уравнениями движения жидкой фазы, уравнением кинетики:

$$D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \right) - v_x \frac{\partial c}{\partial x} - v_y \frac{\partial c}{\partial y} - \frac{\partial N}{\partial t} = \sigma \frac{\partial c}{\partial t}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0, \quad (2)$$

$$v_x = \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \quad v_y = \frac{\partial \varphi}{\partial y}, \quad (3)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = a \epsilon c, \quad (4)$$

а начальные и граничные условия имеют вид:

$$c(x, y, t) = c_0(x, y, 0), \quad v(x, y, 0) = 0, \quad N_0(x, y, 0) = 0, \quad (5)$$

$$c(x, y, t)|_{x=x_1} = c_0(x_1, y, t),$$

$$N(x, y, t)|_{x=x_1} = 0, \quad \left. \frac{\partial c}{\partial y} \right|_{y=L} = 0, \quad (6)$$

где $c(x, y, t)$ и $N(x, y, t)$ — концентрации вещества в жидкой и твердой фазах соответственно; $v(v_x, v_y)$ — вектор скорости фильтрации; D — коэффициент конвективной диффузии; $\varphi(x, y, t)$ — потенциал скорости фильтрации, определяемый как $\varphi = -\chi h$; χ — коэффициент фильтрации; h — напор, $h = \frac{p}{\rho g} - a$; p — давление; ρ — плотность; g — ускорение силы тяжести; a — константа скорости массообмена; σ — активная пористость среды,

$\sigma = 1 - \frac{p_b}{p_s}$, p_b — плотность насыщенного слоя; p_s — плотность спрессованной пробы почвы.

Следует отметить, что при решении геофильтрационных задач уравнения кинетики в виде (4) практически не используются, а особенно с учетом динамически изменяющихся напора и концентрации.

Решение представленной математической модели позволит получить профиль концентрации загрязняющих веществ как в жидкой, так и твердой фазах, что особенно важно для прогнозирования состояния почвенного слоя.

5. Обсуждение результатов исследования математической модели массопереноса загрязняющих веществ

Математическая модель процесса массопереноса растворимых веществ в почвенном слое, в процессе фильтрации сточных вод (1)–(4), с начальными и граничными условиями (5)–(6), решалась с помощью метода сеток. Осуществлялось компьютерное моделирование процесса фильтрации нитратов (с начальной концентрацией $c_0(0,0,0) = 0,8$ г/л), в почвенном слое суглинистой структуры. Полученные результаты по предложенной авторами модели представлены на рис. 1, где начало координат совпадает с точкой поступления потока сточных вод в почвенный слой, в котором распространение в сечении по высоте по высоте принимается равномерным.

Решение задачи осуществлялось для двух вариантов:

1) с использованием традиционного уравнения кинетики в соответствии с данными Олейника А. Я. [5]. Результаты представлены кривой r на рис. 2;

2) с использованием уравнения кинетики (4), которое учитывает особенности почвенного слоя. Результаты представлены кривой r на рис. 2. Временной интервал составил $t = 600$ с.

Первый вариант при сопоставлении с результатами решения математической модели Олейника А. Я. [5] (кривая e на рис. 2) позволил сделать вывод об адекватности (относительная ошибка не превышает 4,1 %). Во втором случае относительная погрешность модели состав-

вила 8,9 %. Полученные результаты говорят о том, что предложенная авторами математическая модель может быть использована для моделирования фильтрационных процессов в почвенном слое, а также учет кинетики процесса в связи с изменяющимися свойствами почвы, безусловно, необходим и требует дальнейших исследований.

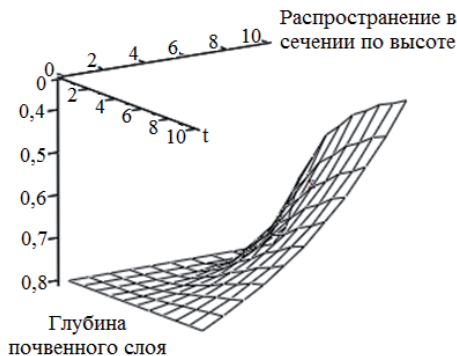


Рис. 1. Геометрическая интерпретация изменения концентрации нитратов в жидкой фазе, фильтрующейся в почвенном слое

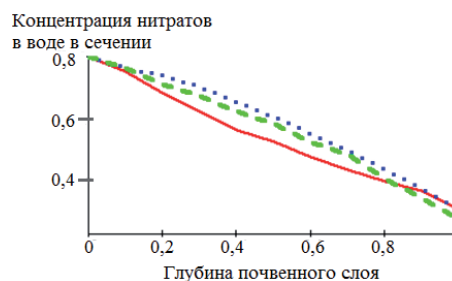


Рис. 2. Изменение концентрации нитратов в почвенном слое в потоке в глубину почвенного слоя в течение $t = 600$ с:

e — результат моделирования фильтрационного процесса сточных вод по данным Олейника А. Я. [5]; результат моделирования фильтрационного процесса сточных вод по математической модели (1)–(6); r — без учета особенностей почвенного слоя; l_1 — с учетом особенностей свойств почвенного слоя

Использование предложенной математической модели позволяет проанализировать изменение концентрации нитрата в процессе фильтрации в разные моменты времени, то есть получить объективное представление о процессе изменения концентрации примесей в сточных водах в процессе массообмена в почвенном слое.

6. Выводы

В результате проведенных исследований:

1. Математическая модель массопереноса загрязняющих веществ представлена уравнениями материального баланса, движения жидкой фазы и кинетики, а также начальными и граничными условиями. Особенностью представленной авторами математической модели является учет особенностей почвенного слоя, а именно, динамически изменяющихся напора и концентрации.

2. Сформулированные допущения позволили решить систему уравнений методом сеток. Компьютерное моделирование фильтрации нитратов позволило сделать вывод о возможности использования представленной математической модели для расчета фильтрационных процессов в почвенном слое и необходимости дальнейшего исследования влияния свойств почвенного слоя на процесс миграции загрязнителей.

Литература

1. Шестаков, В. М. Гидрогеодинамика [Текст] / В. М. Шестаков. — М.: МГУ, 1995. — 368 с.
2. Абрамов, И. Б. Оценка воздействия на подземные воды промышленно-городских агломераций [Текст] / И. Б. Абрамов. — Харьков, 2007. — 285 с.
3. Лаврик, В. И. Решение задачи массопереноса водорастворимых веществ в случае зависимости коэффициентов конвективной диффузии от скорости фильтрации [Текст] / В. И. Лаврик // Препринт 81.18. — К.: Ин-т Математики АН УССР, 1981. — С. 3–24.
4. Лаврик, В. И. Математическое моделирование в гидроэкологических исследованиях [Текст] / В. И. Лаврик, Н. А. Никифорович. — Киев, 1998. — 287 с.
5. Олейник, А. Я. Гидродинамическая модель фильтрования при очистке подземных вод от соединений железа [Текст] / А. Я. Олейник, С. К. Киселев // Прикладна гідромеханіка. — 1999. — № 1(73). — С. 20–25.
6. Олейник, А. П. Математичне моделювання фільтраційних процесів в задачах оцінки рівня та якості ґрунтових вод [Текст] / А. П. Олейник, Л. О. Шгаєр, О. І. Клапоушак // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2013. — № 1/4(61). — С. 15–18. — Режим доступу: \www/URL: http://journals.urau.ua/eejet/article/view/9142
7. Толпаев, В. А. Уравнения нелинейной фильтрации в анизотропных средах [Текст] / В. А. Толпаев // Известия вузов: Северо-Кавказский регион. Естественные науки. Приложение. — 2003. — № 7. — С. 7–18.
8. Молокова, Н. В. Математическое моделирование процессов нефте-загрязнения пористой среды [Текст] / Н. В. Молокова // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. — 2010. — № 5(31). — С. 142–148.
9. Rubin, Y. Modeling of transport in groundwater for environmental risk assessment [Text] / Y. Rubin, M. A. Cushey, A. Bellin // Stochastic Hydrology and Hydraulics. — 1994. — Vol. 8, № 1. — P. 57–77. doi:10.1007/bf01581390
10. Destouni, G. Chloride migration in heterogeneous soil: 2. Stochastic modeling [Text] / G. Destouni, M. Sassner, K. H. Jensen // Water Resources Research. — 1994. — Vol. 30, № 3. — P. 747–758. doi:10.1029/93wr02986
11. Бойко, Т. В. Математичне моделювання міграції забруднюючих речовин у ґрунтах [Текст] / Т. В. Бойко, А. О. Абрамова, Ю. А. Запорожець // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2013. — № 6/4(66). — С. 14–16. — Режим доступу: \www/URL: http://journals.urau.ua/eejet/article/view/18711

МОДЕЛЮВАННЯ МАСОПЕРЕНОСЕННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН В ҐРУНТОВОМУ ШАРІ

У статті представляється математична модель процесу фільтрування забрудненої води в ґрунтовому шарі з урахуванням особливостей фізико-хімічних властивостей ґрунту. Застосування даної моделі дає можливість оцінити ступінь забруднення, і динаміку міграції полутантів в процесі фільтрації з урахуванням складних процесів фізико-хімічної взаємодії стічних вод з ґрунтовими масами.

Ключові слова: стічні води, фільтраційний процес, ґрунт, математичне моделювання, масообмін, кінетичні рівняння.

Бойко Татьяна Владиславовна, кандидат технических наук, доцент, и. о. заведующего кафедры кибернетики химико-технологических процессов, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина, e-mail: tobjko@gmail.com.

Запорожець Юлія Анатоліївна, аспірант, кафедра кибернетики химико-технологических процессов, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина, e-mail: z.juli@bigmir.net.

Бойко Татьяна Владиславівна, кандидат технічних наук, доцент, в. о. завідувача кафедри кібернетики хіміко-технологічних процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут».

Запорожець Юлія Анатоліївна, аспірант, кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна.

Bojko Tatyana, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: tobjko@gmail.com. Zaporozhets Julia, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: z.juli@bigmir.net

УДК 656.615: 519.8

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.37741

Махуренко Г. С.,
Крук Ю. Ю.

РАЗРАБОТКА МЕХАНИЗМА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ МЕЖДУ СУДАМИ ПРИ ОПЕРАТИВНОМ ПЛАНИРОВАНИИ РАБОТ СТИВИДОРНОЙ КОМПАНИИ

Основной задачей производственно-оперативного планирования в порту является установление объема и характера перегрузочных работ на планируемый период, распределение технических и трудовых ресурсов и разработка мероприятий для выполнения этого объема работ. В статье разбираются механизмы производственно-оперативного планирования работ стивидорной компании.

Ключевые слова: суда, морской порт, стивидорная компания, оперативное планирование, механизмы распределения ресурсов.

1. Введение

Предметом организации перегрузочных процессов являются производственная и организационная структура портового перегрузочного комплекса стивидорной

компания (СК), организация труда рабочих, занятых в перегрузочных процессах, нормативная база и порядок функционирования перегрузочных процессов.

В этом комплексе выделяется задача оптимального распределения по перегрузочным комплексам (причалам)