

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ РИСКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОЕМОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

© 2021 В. А. Чертов, А. В. Падалко

Воронежский государственный технический университет (Воронеж, Россия)

Описывается алгоритм оценки риска загрязнения водоемов при производстве строительных работ. Алгоритм построен на базе уравнений Стритера-Фелпса и реализован в виде программного комплекса. Он может найти применение в органах, осуществляющих контроль экологической безопасности при организации производства строительных работ.

Ключевые слова: риск, строительство, экологическая безопасность, алгоритм.

Введение. В настоящее время проблема оценки риска загрязнения водоемов при производстве строительных работ приобретает особую актуальность. Согласно действующему законодательству [1, 2] она решается на основе соблюдения экологических стандартов путем реализации типового цикла, включающего:

1) Определение вероятных источников поступления загрязнения в водоемы, рядом с которым осуществляется производство строительных работ.

2) Выявление маршрутов воздействия и потенциальных путей распространения загрязнений.

3) Количественная характеристика загрязняющих воздействий, предусматривающая установление и оценку величины, частоты и продолжительности воздействия для каждого анализируемого пути, идентифицированного на предыдущем этапе.

4) Оценку риска загрязнения водоемов, предусматривающего обобщение данных, полученных на предшествующих этапах, и собственно оценку риска.

Традиционно для решения подобных задач используется нормативно-экспертный подход. Однако такой подход не дает возможности получить количественные оценки риска загрязнения водоемов при организации производства строительных работ. Отмеченное обстоятельство вынуждает изыскивать новые подходы к решению задачи оценки рисков, которые, с одной стороны, допускали адекватный учет экспертной информации, характеризующей качественные стороны

риска, а с другой стороны, позволяли получать количественные оценки рисков.

Цель статьи заключается в разработке алгоритма оценки риска загрязнения водоемов при производстве строительных работ и его реализации в виде программного модуля.

Назначение алгоритма. Алгоритм предназначен для оценки риска загрязнения водоемов при производстве строительных работ (R_v) путем расчета в каждый момент времени t интенсивности поступления и распространения (перемещения) загрязняющих веществ на водной поверхности, а также расчета выполнимости экологического стандарта безопасности и жизнедеятельности водоемов и организмов проживающих в них.

Основные расчетные соотношения. Как показал анализ известных источников [3, 4] для загрязнения водной среды еще не существует достаточно простых моделей, широко применяемых для практических расчетов. Следует заметить, что распространение примесей в водной среде можно описать теми же уравнениями гидрогазодинамики (уравнение турбулентной диффузии), которые применяются для атмосферы, но вследствие сложности учета водного течения и других факторов они плохо пригодны для практического использования. Но, несмотря на это, исследования в этом направлении ведутся, и определенные успехи в этой области уже получены [5, 6].

Моделирование загрязнения водной среды рассмотрим на примере двух взаимодействующих групп: вода, содержащая растворенный кислород, и сбрасываемые в воду углеводородные отходы. Разложение углеводородных отходов в водной среде происходит под действием бактерий, вызывающих цепь химических реакций, которые протекают с использованием кислорода. Поэтому

Чертов Вячеслав Алексеевич – Воронежский государственный технический университет, канд. техн. наук, доцент, cva.57@yandex.ru.

Падалко Александр Васильевич – Воронежский государственный технический университет, аспирант.

моделируется взаимосвязь концентрации кислорода и отходов в воде. Концентрацию отходов часто определяют в специальных единицах измерения [4, 7] – так называемой биохимической потребности кислорода (БПК). БПК равен отношению количества кислорода, необходимого для разложения отходов, к объему воды (мг/л).

Скорость разложения отходов пропорциональна их концентрации L (если присутствует достаточно кислорода):

$$\frac{dL}{dt} = -k_1 L, \quad (1)$$

где k_1 – постоянная отбора кислорода, измеряется в единицах (день)⁻¹.

Если c_0 – концентрация кислорода при отсутствии отходов (известная функция от температуры воды), то при поступлении отходов концентрация кислорода c будет меньше c_0 . Введем разность этих величин $D = c_0 - c$, которая будет характеризовать недостаток или дефицит кислорода в водной среде в связи с поступлением в нее органических отходов. Величина D может увеличиваться со временем вследствие поступления (и окисления) отходов и уменьшаться вследствие поглощения кислорода поверхностными слоями воды, то есть.

$$\frac{dD}{dt} = k_1 L - k_2 D, \quad (2)$$

где $k_1 L$ – характеризует процесс окисления отходов, $k_2 D$ – реэрацию, k_2 – постоянная реэрации, единица ее измерения (день)⁻¹.

Таким образом, получается система из двух уравнений Стритера-Фелпса [6,8,9]:

$$\begin{cases} \frac{dL}{dt} = -k_1 L; \\ \frac{dD}{dt} = k_1 L - k_2 D. \end{cases} \quad (3)$$

Решение этих уравнений дает:

$$D(t) = \frac{k_1}{k_2 - k_1} L(0)(e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) + D(0)e^{-k_2 t}, \quad (4)$$

где $L(0)$ и $D(0)$ – начальные значения при $t = 0$.

Важный практический вопрос заключается в том: какое максимальное обеднение воды кислородом может наблюдаться в данном месте реки или водоема в результате сброса в них органических отходов? Дело в том, что если концентрация кислорода падает ниже некоторого критического уровня, начинают гибнуть организмы (рыбы, ракообразные и др.), обитающие в водной среде. Таким образом может инициироваться цепочка событий, которая способна привести к

необратимым последствиям гибели нормальной экологической жизнедеятельности водоема. Максимальный дефицит кислорода D_{max} можно определить, приравняв к нулю производную $D'(t) = 0$. Отсюда получим

$$D_{max} = L(0) \frac{k_1}{k_2} \left[\frac{k_2}{k_1} \left(1 - \frac{D(0)(k_2 - k_1)}{L(0)k_1} \right) \right]^{\frac{k_1}{k_2 - k_1}}, \quad (5)$$

где $L(0)$ и $D(0)$ – начальные значения концентрации отходов и дефицита кислорода.

Время t связано с расстоянием x от места сброса. Если V – скорость течения реки, тогда $x = Vt$. В этом случае $D(0)$ – начальное понижение концентрации, обусловленное наличием источников загрязнения в верхнем течении реки.

С учетом (5) для оценки риска загрязнения водоемов при проведении строительных работ используется следующая формула:

$$R_v = \begin{cases} D_{max} \leq D_{dop} - \text{нулевой}; \\ D_{dop} < D_{max} \leq D_{kr} - \text{допустимый}; \\ D_{max} > D_{kr} - \text{критический}, \end{cases} \quad (6)$$

где D_{dop}, D_{kr} – уровни допустимой и критической концентрации загрязняющих веществ.

Сущность алгоритма. Разработанный с учетом приведенных выше соотношений, алгоритм представлен на рисунке 1.

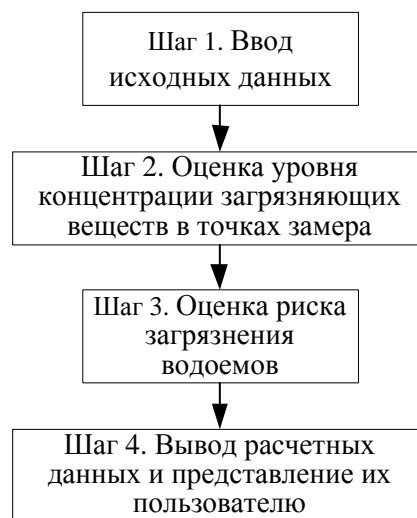


Рисунок 1. Алгоритм оценки риска загрязнения водоемов при производстве строительных работ

В соответствии с этим алгоритмом расчеты проводятся пошагово.

Шаг 1. Ввод исходных данных: L – скорость разложения углеводородных отходов в воде при присутствии достаточного количества кислорода; k_1 – периодическая проба кислорода в воде; D – величина, характери-

зующая недостаток кислорода в водоеме (состоит из c_0 – необходимое и достаточное количество кислорода в водоеме при отсутствии углеводородных отходов и c – количество кислорода при их присутствии); t – время распространения загрязняющих веществ; V – скорость течения реки; x – расстояние от места сброса до точки замера.

Шаг 2. Оценка величины D_{max} по формуле (5).

Шаг 3. Оценка риска загрязнения водоемов при организации производства строительных работ по формуле (6).

Шаг 4. Вывод расчетных данных и представление их пользователю. Вид выходного интерфейса представлен на рисунке 2.

Точка замера	Концентрация загрязняющих веществ	Оценка риска
1		допустимый
...		
N		критический

Рисунок 2. Выходной интерфейс алгоритма оценки риска загрязнения водоемов при производстве строительных работ.

Реализация алгоритма. Программно алгоритм исполнен в интегрированной среде TURBO PASCAL с применением процедур и функций VISUAL BASIC и C++, ориентированных на создание приложений под управлением Windows 10: тип – интерактивный, информационно-расчетный; требования к компьютеру – процессор 2,8ГГц, 512 MB RAM, CD ROM, ОС Windows 10 32-bit SP1, Office 2010, Access 2010; количество программных блоков – 140 с объемом – 1200 MB; форма отображения данных – текстовая, табличная; тип базы данных – реляционная на основе Access 2010; сервисы – за-

щита от несанкционированного доступа, обучение пользователя, подключение к сети.

Заключение. Разработанный алгоритм оценки риска загрязнения водоемов при производстве строительных работ основан на уравнениях Стритера-Фелпса. В отличие от описательных алгоритмов подобного типа он доведен до компьютерной реализации, что позволяет использовать его в органах, осуществляющих контроль экологической безопасности при организации производства строительных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 N 7-ФЗ (последняя редакция).
2. Федеральный закон «Об экологической экспертизе» (с изменениями на 30 декабря 2020 года).
3. Методы расчета турбулентных течений / Дж. Ламли [и др.]. – М.: Мир, 1984. – 463 с.
4. Военная экология: Учебник для высших учебных заведений Министерства обороны Российской Федерации. – М.: МО РФ, 2005. – 380 с.
5. Kumar S. Mathematical modelling of natural convection in fire. A state of the art review of the field modelling of variable density turbulent flow / S. Kumar // Fire and Materials. – 2015. – Vol. 7. – N 1. – P. 1-24.
6. Penner L. E. Buogant plume calculation / L. E. Penner, L. C. Haselman, L. L. Edwards // AIAA Pap. – 9016. – N 459. – P. 1-9.
7. Митрюшкин К. П. Справочник по охране природы / К. П. Митрюшкин, М. Е. Берленд, Ю. П. Беличенко. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 352 с.
8. Лурье Ю. Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод / Ю. Ю. Лурье. – М.: Химия, 1984. 448 с.
9. Бубер А. Л. Модель качества воды. Пример моделирования качества воды в р. Оке / А. Л. Бубер // Компьютерное моделирование в управлении водными ресурсами. – М.: Физматлит, 2002. – С. 310-322.

ALGORITHM FOR ASSESSING THE RISK OF WATER POLLUTION DURING CONSTRUCTION WORKS

© 2021 V. A. Chertov, A. V. Padalko

Voronezh State Technical University (Voronezh, Russia)

An algorithm for assessing the risk of water pollution during construction works is described. The algorithm is based on the Streeter-Phelps equations and is implemented as a software package. It can be used in the bodies that control environmental safety in the organization of construction works.

Keywords: risk, construction, environmental safety, algorithm.