

УДК 628.394 (597-25)

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ВОДООБОРОТА И АЭРАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ ХАНОЯ

Нгуен Динь Дап, В.В. Волишаник, Н.Т. Джумагулова

Рассматривается влияние интенсивного и антропогенного воздействия на экологическое состояние поверхностных вод в г. Ханое. Приведены результаты анализа и оценки качества воды в реках, озерах и прудах г. Ханоя. Разработаны научные основы проведения обоснованного водного мониторинга и эффективных современных инженерных методов поддержания экологического состояния водных объектов Вьетнама.

Ключевые слова: качество воды; экологический мониторинг; водооборот; аэрация.

ENGINEERING SYSTEMS OF WATER CIRCULATION AND AERATION FOR IMPROVING WATER QUALITY IN WATER BODIES OF HANOI

Nguyen Dinh Dap, V.V. Volshanik, N.T. Dzumagulova

The article examines the impact of intensive and anthropogenic impacts on the environmental status of surface water in Hanoi. The need for regular analysis and assessment of water quality in rivers, lakes and ponds in Hanoi and the development of scientifically water monitoring and effective modern engineering methods for maintaining the ecological state of water bodies are extremely relevant for the capital of Vietnam.

Keywords: water quality; environmental monitoring; water circulation; aeration.

Введение. Ханой имеет территорию 3345 км², численность населения составляет 7,7 млн чел., средняя плотность населения – 1979 чел./км². В Ханое имеется большое количество озер и прудов – на территории десяти микрорайонов г. Ханоя находятся 111 искусственных и природных озер, занимающих общую площадь 800 га [1]. Антропогенное загрязнение в значительной степени происходит за счет неорганизованного сброса сточных вод с территорий населенных пунктов, промышленных предприятий, с территорий, занятых сельским хозяйством [2, 3].

Ханой – второй большой экономический центр Вьетнама – городская экономика развивается достаточно высокими темпами. Наряду с высокой плотностью населения и миграцией из сельской местности, плотность населения продолжает увеличиваться, что оказывает огромное влияние на водную среду города из-за ограниченной технической инфраструктуры и усиления загрязнения водных объектов сточными водами от промышленности и коммунальных структур.

Поэтому для столицы Вьетнама чрезвычайно актуальными задачами стала необходимость регулярного анализа и оценки качества воды в реках,

озерах и прудах г. Ханоя, а также разработка научных основ проведения мониторинга качества воды, и эффективных современных инженерных методов поддержания экологического состояния водных объектов.

Источники воздействия на водные объекты в Ханое

Большинство промышленных зон, заводов и жилых районов Ханоя сбрасывают неочищенные сточные воды в реки и озера, что приводит к катастрофическому загрязнению всех поверхностных вод.

Сточные воды процессов жизнедеятельности населения. Последние статистические данные показывают, что средний общий объем сточных вод города составляет 670000 м³/сут., из которых 41 % составляют бытовые сточные воды, 57 % – промышленные, 2 % – больничные сточные воды. Неочищенные сточные воды, сливаемые в реки Толить и Кимнгуу, приводят к недопустимому загрязнению не только рек, но и жилых районов, расположенных вдоль этих рек [2].

Сточные воды производства. По степени опасности, сточные воды от эксплуатации промышленно-производственной базы и индустриальных

зон являются крупнейшим источником давления на поверхностные воды.

Каждая отрасль имеет различные характеристики сточных вод и уровни загрязнений окружающей среды (таблица 1) [1].

Таблица 1 – Рейтинг отраслей по нагрузке от загрязнителей в Ханое

Отрасль промышленности	Нагрузка по загрязнению воды (тонн/год)
Производство стали	4224,7
Производство строительных материалов из глины	1,3
Пластиковое производство	156,2
Производство бумаги, картона и упаковки	2013,7
Другие источники химических веществ	495,3
Основные химические вещества, кроме удобрений и азотных соединений	244,0
Металлургическая промышленность и черная металлургия	608,3
Производство железнодорожных локомотивов, вагонов	1032,7
Производство удобрений и азотных соединений	295,8
Производство цемента и гипса	12,9

Поток сточных вод некоторых отраслей в г. Ханое характеризуется следующими данными:

- текстильные заводы: 14500–17210 м³/сут.;
- пищевые заводы: 13870–16010 м³/сут.;
- заводы химических реагентов: 24500–26540 м³/сут.;
- различные технические устройства: 3730–4500 м³/сут.

Объект и место исследования. Толить – крупная река в центре г. Ханое. В систему этой реки поступают сточные воды от почти двух миллионов жителей и 100 производственных предприятий из пяти промышленных зон центральной части Ханоя. В русле р. Толить накоплено около 284000 м³ осадков, в общей сложности 7347 т металлов-загрязнителей. Суммарная нагрузка от этих металлов к устью р. Толить составляет 161,7 кг/сут. (рисунок 1).

Имеется 239 точечных источников загрязнений, поступающих через круглые и прямоугольные сечения водопропускных труб по всей длине реки [3]. Сюда следует добавить и незаконный сброс городских ливневых вод. В сухой сезон расход воды, выпускаемой из Западного озера, ограничен из-за низкого уровня воды в нем. В это время основной

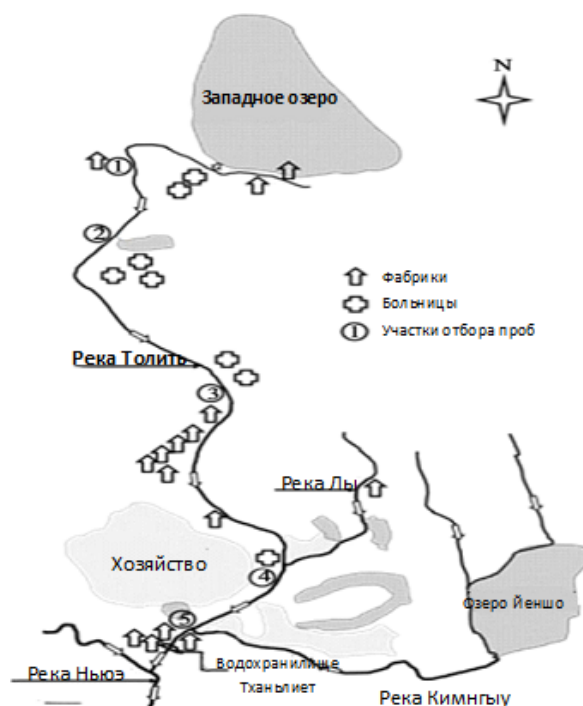


Рисунок 1 – Схема р. Толить в Ханое

поток воды составляют сточные воды от домашних хозяйств и промышленных производств с высоким содержанием загрязняющих веществ [1].

Материалы и методы исследования. Для анализа донных отложений в реке производили отбор проб от 3 до 7 дней непрерывно в 5-ти точках отбора. Прибор для взятия проб – горизонтальный пробоотборник воды Ван Дорн (Van Dorn Sampler), который предназначен для отбора проб в глубокой части озера, ручья или в стратифицированном водоеме. Для анализа качества воды был использован также портативный, многопараметрический прибор WQC-22A (Water Quality Checker), с помощью которого можно оценить параметры pH, проводимость, мутность, температуру и соленость [1].

Результаты исследований. Образцы проб воды отбирались в 5-ти точках по длине реки Толить и обрабатывались по 24 показателям. Многие водные объекты являются источниками питьевого или промышленного водоснабжения, поэтому результаты полученных анализов проводили в сравнении с ПДК воды рыбохозяйственного назначения. Результаты проведенных исследований представлены в таблице 2.

Как следует из данных таблицы 2, содержание растворенного кислорода (РК) составляет менее 1,48 ПДК; БПК₅ превышает 2,79 ПДК; ХПК превышает 3,29 ПДК. При недостаточном содержании кислорода в воде возникают различные нарушения

Таблица 2 – Результаты анализа качества воды р. Толить

Исследуемые показатели	Результаты ⁽¹⁾					ПДК ⁽²⁾
	NM1	NM2	NM3	NM4	NM5	
pH	7.2	7.0	6.9	7.2	7.0	5.5-9
Растворенный кислород (РК), мг/л	3.9	3.2	2.0	3.2	2.5	³ 4
ХПК, мг/л	71	70	123	108	122	30
БПК ₅ (200С), мг/л	28	25	53	48	55	15
Взвешенные вещества, мг/л	28	30	111	108	162	50
Азот аммонийный (NH ₄ ⁺), мг/л	8.71	12.20	22.75	33.13	32.00	0.5
Сероводород (S ²⁻), мг/л	0.2355	0.2375	0.2635	0.2980	0.5435	-
Фториды (F), мг/л	0.330	0.445	0.455	0.525	0.435	1.5
Азотнитратный (NO ₃ ⁻), мг/л	4.4	4.6	9.1	1.7	2.0	10
Азот нитритный (NO ₂ ⁻), мг/л	0.0235	0.1015	0.0605	0.0735	0.0790	0.04
Цианиды (CN ⁻), мг/л	0.0675	0.0665	0.1930	0.0405	0.0755	0.02
Фосфаты (PO ₄ ³⁻), мг/л	1.35	1.76	2.83	3.11	2.63	0.3
Азот общий (SN), мг/л	16.20	20.05	35.40	40.25	39.75	-
Фенолы (C ₆ H ₅ OH), мг/л	0.0036	0.0089	0.0060	0.0072	0.0089	0.01
Мышьяк (As), мг/л	0.0100	0.0100	0.0106	0.0087	0.0076	0.05
Железо общее (Fe), мг/л	0.510	1.222	20.723	3.232	0.904	1.5
Марганец (Mn), мг/л	0.147	0.105	0.189	0.224	0.127	-
Свинец (Pb), мг/л	0.0036	0.0016	0.0044	0.0069	0.0044	0.05
Хром (Cr ⁶⁺), мг/л	0.012	0.007	0.008	0.007	0.009	0.04
Хром (Cr ³⁺), мг/л	0.05	0.02	0.05	0.07	0.05	0.5
Ртуть (Hg), мг/л	0.0002	0.0003	0.0004	0.0016	0.0004	0.001
Нефтепродукты, мг/л	0.60	0.80	0.60	3.45	0.45	0.1
Синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), мг/л	1.39	1.22	1.64	1.70	1.72	0.4
Коли-индекс, MPN/100, мл	7.9x10 ⁶	7.9x10 ⁶	1.4x10 ⁶	2.8x10 ⁶	2.0x10 ⁶	7.5x10 ³

⁽¹⁾NM1, NM2, NM3, NM4, NM5 – точки отбора проб по длине р. Толить;⁽²⁾ПДК – предельно-допустимые концентрации воды для рыбохозяйственных водоемов.

в строении зародышей рыб, а мальки не могут заполнить плавательный пузырь воздухом, подняться к поверхности воды и начать питаться.

Кроме того, основными опасными источниками загрязнения реки Толить являются азот аммонийный (NH₄⁺) – превышение 50,1 ПДК, фосфаты (PO₄³⁻) – превышение 9,7 ПДК, нефтепродукты – превышение 22,3 ПДК, колиформы – превышение 1178,7 ПДК, что свидетельствует о чрезвычайно высокой степени загрязненности и об экологической опасности воды в реке Толить.

Инженерные системы водооборота и аэрации для повышения качества воды

Аэрация воды. Способность водоема самоочищаться является результатом химико-биологических процессов, протекающих с участием различных микроорганизмов: бактериопланктона, фитопланктона и зоопланктона, способных перерабатывать органические и минеральные вещества, окислять тяжелые металлы и канцерогенные вещества. Продукты очистки консервируются в не-

опасном (нерастворимом) виде в донных отложениях, где с участием аэробных микроорганизмов происходит дальнейшее окисление и связывание химических элементов. Все эти процессы протекают с интенсивным потреблением кислорода [4].

При недостатке кислорода наблюдается развитие бактерий, которые используют в качестве окислителя серу вместо кислорода. Продукт их жизнедеятельности – сероводород (H₂S) – это ядовитый газ с неприятным запахом, который способствует ухудшению экологической обстановки и появлению токсикологических ситуаций в городах [4].

Решением этих проблем может стать искусственная аэрация водоема, однако для нормального протекания биохимических реакций необходимо равномерное распределение кислорода в водоеме. Наиболее значимые процессы очищения проходят в глубинных слоях и донных отложениях. В естественных условиях перемешивание веществ обеспечивается естественной проточностью водоема, однако антропогенное воздействие



Рисунок 2 – Свыше 10 тонн рыбы погибло в Западном озере г. Ханоя [3]

вызывает уменьшение проточности, особенно на урбанизированных территориях. Для эффективной работы системы аэрации необходима ее комбинация с системой искусственного водооборота [5].

Аэрация воды – это повышение в ней содержания растворенного кислорода. Для жизни рыбам и живым организмам необходим кислород, но рыбы берут его не из атмосферы, а из воды. Это происходит при помощи жабр, через которые рыбы пропускают насыщенную кислородом воду [6]. Проходя через жабры, вода отдает через капилляры кислород в кровь, забирая из нее углекислоту. Поэтому основная задача при разведении рыбы – поддержание кислородного баланса в пруду [7].

Например, в Западном озере, расположенном в центре столицы Вьетнама, по неизвестным причинам массово погибла обитающая там рыба. В течение суток вся поверхность водоема покрылась всплывшей погибшей рыбой. В октябре 2016 г. здесь погибко свыше 10 тонн рыбы, из-за недостатка кислорода, вызванного цветением водорослей (рисунок 2). Западное озеро – самый большой и исторически известный водоем Ханоя, его площадь – около 500 га. Длина его берегов равна 17 км. На берегах разбиты парки и сады, построены виллы и пятизвездочные отели.

В воду кислород может попасть из атмосферного воздуха или же накопиться в пруду в результате деятельности растений, которые извлекают из углекислого газа необходимый им углерод, выделяя при этом кислород. Этот процесс называется фотосинтезом [8].

Определение производительности системы водооборота и аэрации по растворенному кислороду. Сутью процесса искусственной аэрации является подача в воду воздуха, из которого в воде растворяется кислород. При использовании запатентованных вихревых аэраторов количество поступающего в воду воздуха определяется конструкцией аэратора; для расчетов количество воздуха может быть принято равным объемному расходу воды, поскольку для рассматриваемых усло-

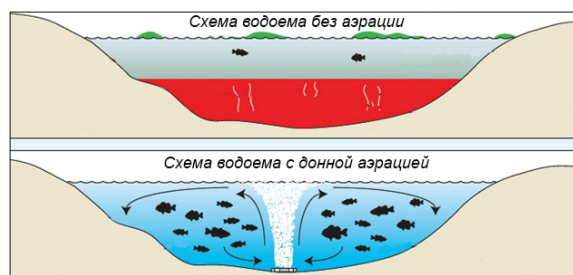


Рисунок 3 – Преимущества аэрационной системы [5]

вий значение коэффициента эжекции (отношение объемного расхода воздуха, засасываемого в аэратор, к объемному расходу проходящей через аэратор воды) может быть принято равным единице, по результатам многолетних опытов и натурных измерений, выполненных в МГСУ [5, 7].

Наиболее важными для выбора основных параметров системы водооборота и аэрации пруда представляются следующие факторы:

1) производительность системы водооборота и аэрации по расходу воды должна быть достаточной для оказания заметного эффекта по нейтрализации БПК;

2) производительность системы водооборота и аэрации по расходу воды и напору должна быть достаточной для обеспечения перемешивания воды во всем массиве пруда, предотвращения образования застойных зон, равномерного распределения по акватории масс воды, насыщенных растворенным кислородом;

3) мощность электродвигателей насосов и количество потребляемой ими электроэнергии должны находиться в разумных пределах, имея в виду ограниченные финансовые возможности, которые могут быть предусмотрены зоопарком по эксплуатации системы водооборота и аэрации;

4) производительность системы водооборота и аэрации должна быть выбрана таким образом, чтобы имелся значительный резерв (по растворенному кислороду), который мог бы быть использован при возникновении критических ситуаций: сильный запах в жаркое время года; сильное цветение воды; особенно большой наплыв посетителей и т. п.;

5) основные параметры системы водооборота и аэрации должны соответствовать компоновочным и техническим требованиям ее создания – по размещению основных элементов; типу и количеству насосных агрегатов; числу аэрационных установок и т. п.

Результаты измерений показали, что из подаваемого в воду кислорода в вихревых аэраторах

растворяется от 2 до 30 %; большие значения относятся к случаям аэрирования сильно загрязненных вод (БПК₅ 100 мг О₂/л), меньшие – к случаям аэрирования вод, имеющих низкие значения БПК₅, но с дефицитом растворенного кислорода (1–2 мг О₂/л) [1].

Таким образом, результаты исследований подтвердили необходимость строительства городских и промышленных очистных сооружений сточных вод. Обеспечение требуемого качества воды возможно только при условии правильного выбора методов очистки.

В целях решения задач по восстановлению и оздоровлению рек Толить и Кимнгуу, малых рек и водоемов в г. Ханое необходимо реализовать внедрение систем искусственной аэрации воды прудов и других водоемов с целью повышения ее самоочищающей способности (рисунок 3). Этот метод успешно зарекомендовал себя во многих развитых странах мира [7].

Литература

1. Волшаник В.В. Оценка экологического состояния поверхностных вод в городе Ханое (Вьетнам) / В.В. Волшаник, Н.Т. Джумагулова, Нгуен Динь Дап, Фам Ван Нгок // *Экология урбанизированных территорий*. 2017. № 2. С. 36–41.
2. Нгуен Динь Дап. Конструктивно-техническое решение снижения влажности осадков / Нгуен Динь Дап, Н.Т. Джумагулова // *Изв. Оренбургского госуд. аграрного ун-та*. 2017. № 5. С. 69–72.
3. Нгуен Динь Дап. Расчет гидрохимического индекса загрязнения воды в Ханое / Нгуен Динь Дап, Н.Т. Джумагулова, В.В. Волшаник // *Сб. докл. XII межд. научн.-техн. конф., посв. памяти акад. РАН С.В. Яковлева*. М.: МИСИ-МГСУ. 2017. С. 78–84.
4. Боровков В.С. Инженерные системы водооборота и аэрации для очистки воды в городских водных объектах / В.С. Боровков, В.В. Волшаник, Г.В. Орехов // *Экология урбанизированных территорий*. 2010. № 2. С. 21–31.
5. Богданов В.М. Очистка Большого пруда Московского зоопарка системой замкнутого водооборота и струйно-вихревой аэрации / В.М. Богданов, В.С. Боровков, В.В. Волшаник // *Чистый город*. 2000. № 1 (9). С. 42–48.
6. Волшаник В.В. Области применения взаимодействующих закрученных потоков жидкостей и газов / В.В. Волшаник, Г.В. Орехов // *Вестник МГСУ*. 2015. № 7. С. 87–104.
7. Боровков В.С. Инженерные системы замкнутого насосного водооборота и аэрации при экологической реконструкции гидросферы урбанизированных территорий / В.С. Боровков, В.В. Волшаник // *Вода и экология – проблемы и решения*. 2016. № 3. С. 67–80.
8. Волшаник В.В. Инженерно-экологические решения при реконструкции участка реки Язуы / В.В. Волшаник, И.В. Доркина, В.Я. Карелин, Р.Р. Зильберман // *Экология урбанизированных территорий*. 2006. № 3. С. 84–88.