

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ АЭРАЦИИ ПОТОКА

В статье рассмотрен вопрос, касающийся аэрации потоков воды и его влияние на качества воды водотоков. Выявлены закономерности изменения параметров качества воды в зависимости от наличия растворенного кислорода, в результате аэрации.

Ключевые слова : аэрация, вода, кислород, природные ресурсы, возобновляемые источники

SOME FEATURES OF AERATION FLOW

In the article the question relating to the aeration of water flows and its impact on the water quality of watercourses. The regularities of changes in water quality parameters, depending on the presence of dissolved oxygen, as a result of aeration.

Keywords: aeration, water, oxygen, natural resources, renewable

Вода, хотя и относится возобновляемым источникам природных ресурсов, вовсе не является неисчерпаемым. Ее запасы огромны, и в то же время, она выступает как среда обитания и распространения для большинства видов природных ресурсов. Последнее время, в связи с активизацией и глобализацией использования, водные ресурсы подвергаются к интенсивным влияниям антропогенного характера, которые ведут к их загрязнению и истощению. Этот процесс особенно сильно действует на запасы пресных вод, в том числе и на воды рек.

В природных водах всем воздействиям, ухудшающим качество воды, противостоит ее естественная способность, принимать определенную массу загрязняющих веществ (восстановителей) в единицу времени с минимальным ухудшением нормативного приемлемого качества воды в тех или иных контролирующем створе. Эта способность воды называется - ассимилирующей способностью. Ассимилирующая способность воды зависит от разбавляющей и самоочищающей в свою очередь способности водного объекта. Она непрерывно изменяется в пространстве и во времени [2].

В числе важнейших факторов, улучшающих ассимилирующей способности водных объектов, следует назвать поддержание в водоемах благоприятного для развития водной среды кислородного режима. Наличие в воде кислорода в значительной мере определяет санитарный и гидробиологический облик водного объекта и возможности его использования в рыбохозяйственных, хозяйственно-бытовых или рекреационных целях.

Классификация загрязненности воды в водоемах, в зависимости от содержания растворенного кислорода представлена в табл.1. [1].

Одним из способов направленных на улучшения кислородного баланса в водных объектах, является аэрация воды.

Аэрация это- обогащение воды в водоеме кислородом, естественным или искусственным путем. При аэрации снижается кислородный дефицит, и создаются благоприятные условия для интенсификации биохимического окисления органических и нейтрализации некоторых химических веществ.

Таблица 1

Содержание кислорода в водоемах с различной степенью загрязненности

Уровень загрязненности воды и класс качества	Растворенный кислород		
	В летний период, мг/л	В зимний период, мг/л	% насыщения
Очень чистые, I	9	14–13	95
Чистые, II	8	12–11	80
Умеренно загрязненные, III	7–6	10–9	70
Загрязненные, IV	5–4	5–4	60
Грязные, V	3–2	5–1	30
Очень грязные, VI	0	0	0

Аэрация классифицируется как естественная и искусственная. В зависимости от вида водного объекта, как естественная, так и искусственная аэрации имеют индивидуальные особенности в процессе. Искусственная аэрация применяется в основном в водных объектах со стоячими водами, когда естественная аэрация интенсивнее происходит в водотоках.

Для аэрирования больших масс воды в водных объектах эффективными с точки зрения сравнительно низкой энергоемкости и доступности технической реализации являются:

- выравнивание концентрации кислорода в массе воды и усиление конвекции в глубинных слоях (достигается перемешиванием воды);
- турбулизация границ, разделяющих отдельные смешиваемые объемы воды и воздуха (достигается чаще всего возмущениями области смешивания при скоростном обтекании твердой поверхности);
- увеличение площади контактирования смешиваемых фаз (достигается диспергированием одной из них или обеих одновременно);
- увеличение времени контактирования фаз (достигается путем максимально возможного заглубления области смешивания фаз в массу аэрируемой воды и измельчения газовых пузырьков, так как мелкие пузырьки всплывают медленней).

В данное время разработаны множество методов и способов аэрации водоемов со стоячими водами, но мало внимание уделяется к улучшению ассимилирующей способности водотоков путем аэрации воды.

В процессе аэрирования необходимо учитывать то, что в водотоках аэрация происходит в основном естественным путем. Естественная аэрация водотоков происходит как движение воды в виде аэрированного потока или в виде катящихся волн, в результате неустойчивости свободной поверхности потока и вследствие потери устойчивости установившегося режима движения.

Различают следующие основные формы аэрации потока:

-внутреннюю аэрацию, возникающую вследствие выделения растворенного воздуха при уменьшении давления в процессе движения воды. Внутренняя аэрация потока связана со способностью воды растворять в себе при определенной температуре и давлении некоторое количество газов и выделять их при повышении температуры и уменьшении давления. Так, при температуре 15 °С и нормальном давлении (10,3 м. вод. ст.) в 1 л воды растворяется 20,1 см³ воздуха. Растворяемость газов в воде увеличивается пропорционально давлению; например, на глубине 20 м под свободной поверхностью предельное количество воздуха растворенного в воде, увеличивается в 3 раза.

-внешнюю аэрацию, обусловленную вовлечением воздуха в поток через граничные поверхности, том числе через свободную поверхность. При бурном режиме течения воды может происходить внешняя аэрация потока через свободную поверхность на участке между начальным створом аэрации и створом, в котором создается продольно- однородный аэрированный поток, то есть устанавливается равномерное движение с постоянной концентрацией воздуха.

В зависимости от рассредоточения зоны поступления воздуха в поток, аэрация может быть подразделена на общую и местную (локальную).

Под общей аэрацией (самоаэрацией) понимается, процесс постепенного насыщения воздухом потока по мере его движения. Общая аэрация потоков возникает вследствие потери устойчивости свободной поверхности, происходящей в результате увеличения во времени малых высокочастотных возмущений, действующих в основном на поверхностный слой потока. С ростом амплитуды возмущений высота волн достигает значений, при которых гребни их начинают опрокидываться, что обуславливает захват воздуха водным потоком, то есть, его аэрацию.

Локальная аэрация происходит в результате захвата водным потоком воздуха при специальной его подаче и, кроме того, на участках крупномасштабных возмущений (например, при гидравлическом прыжке, при обтекании пазов, дефлекторов, при защемлении воздуха у недостаточно заглубленных водозаборов, в шахтных водосбросах, в месте удара падающей струи и т. п.). В результате вовлечения воздуха в совместное с водой движение происходит образование двухфазного водовоздушного (аэрированного) потока.

Воздухосодержание аэрированного потока можно вычислить с помощью уравнения [5]:

$$S = \frac{1,125}{8^k} [\varphi(p_h) - \varphi(p_0)] + 0,625 \times 0,1^k - 0,125$$

где
 $k = \frac{2,23\varpi_a \cos \theta}{\sqrt{g\tilde{h} \sin \theta}};$

$$p_h = 8^k; \quad p_0 = 0,8^k;$$

$\varpi_a = 0,24$ - крупность воздушных пузырьков;

θ - угол наклона дна к горизонту;

\tilde{h} - глубина водовоздушного слоя аэрированного потока, под которой понимается расстояния от дна до той точки в которой местная концентрация воздуха равна 0,5 мг/л;

В условиях Кыргызстана, где почти все водотоки относятся к категории горных или горно-долинных, аэрация происходит в внешней форме и в виде общей, частично локальной аэрации.

Структурная схема аэрации водного объекта устанавливает в наглядной форме взаимные связи действующих факторов, что, в свою очередь, дает возможность принимать решения, направленные на оптимизацию или ограничение какого-либо параметра. Анализируя структурные составляющие процесса аэрации конкретного водоема или водотока (группы идентичных водоемов или водотоков), можно подобрать или создать рациональные технические средства, построить технологический процесс, установить способ управления (регулирования), оценить влияние аэрации на кислородный режим водного объекта.

Обобщенная структурная схема построена в следующей последовательности [6,7]:

- входные (первичные) параметры,
- протекание процесса,
- выходные (вторичные) параметры.

В качестве входных (первичных) параметров приняты не изменяемые целенаправленные характеристики водоема и показатели воды, влияющие на текущие значения концентрации кислорода. Кислородный баланс воды определяется совместным воздействием продуцентов и потребителей, показатели которых по производительности с точки зрения регулирования можно разделить на медленно (закономерно в течение сезона) и оперативно (быстро) изменяющиеся в зависимости в основном от погодных условий (продукты фотосинтеза., атмосферная инвазия и температура воды). Технические средства для искусственного аэрирования воды в периоды, когда концентрация кислорода в ней снижается до предельного заданного условия, рассмотрены как входной параметр.

Протекание процесса - насыщение воды кислородом - характеризуется физическими явлениями, которые сопровождают массообменные операции - введение газа в воду, смешивание газа с водой, растворение газа в воде и распространение насыщенной газом воды по водоему. При этом основными параметрами контактирования фаз, влияющими на массообмен, являются масса воды, масса газа, их температура, местное давление (сумма гидростатического, гидродинамического и парциального давления газа и паров воды), геометрические размеры пузырьков воздуха и время контактирования. Интенсификация аэрирования - быстрое насыщение воды газом - предполагает вовлечение в процесс сбалансированных по конечной концентрации масс газа и жидкости, при этом размеры пузырьков должны быть возможно меньшими, а время контактирования - большими.

В качестве выходных (вторичных) параметров выбраны:

- концентрация кислорода в аэрируемом пространстве,
- вредное влияние процесса на гидробионтов,
- экономичность процесса.

Конечная концентрация кислорода в общем случае должна быть доведена до заданного уровня (с учетом начальной) с минимальным градиентом по глубине и площади. Кроме того, регулирующее устройство должно исключить эвазию кислорода из воды через свободную границу.

В ходе проведения экспериментальных исследований было проведено визуальное наблюдение за характером движения водного потока и соответствующие измерения. В ходе анализа результатов эксперимента за начальное сечение принималась сечение 1-1 (рис 1), характеризуемое глубиной потока воды h_1 , определялось число Фруда по выражению

$$Fr_1 = \frac{V_1^2}{gh_1} \quad (1)$$

где v_0 - средняя по сечению (по вертикали) скорость, м/с;

h_1 - начальная глубина, м;

Конечную глубину определяли по сечению в нижнем бьефе с глубиной h_2 . Выбор расстояние от входа воды в изучаемый лоток до водобойной стенки (первого (стационарного) водослива) l_c соответствовало, в зависимости от конкретных условий и требований в пределах выражения

$$a_{np} = h_2 - h_1, \quad (2)$$

где a_{np} - высота прыжка

Аэрация воды на водосливах обуславливался захватом воздуха падающей струей, дроблением его на пузырьки и вовлечением последних в поток воды. При падении струи, когда поток в нижнем бьефе находился в спокойном состоянии, происходил сопряжение бьефов в виде гидравлического прыжка.

Основное уравнение совершенного прыжка (прыжковая функция) в прямоугольном русле в условиях плоской задачи имеет вид [2]:

$$h_1 h_2 (h_1 + h_2) = 2h_k^3, \quad (3)$$

где h_1 - глубина перед прыжком (первая сопряженная);

h_2 - глубина после прыжка (вторая сопряженная);

h_k - критическая глубина.

Изменение типа сопряжения потоков в нижнем бьефе сопровождался коренным изменением кинематической обстановки в аэрированном водоворотном вальце гидравлического прыжка. При этом изменялся степень воздухонасыщенности потока, дисперсность пузырьков воздуха, скорости и направления потоков воды, длина и глубина зоны аэрации и др.

Скорость переноса кислорода в воду соответствовал соотношению

$$V_M = Ka(c_p - c), \quad (4)$$

где K - коэффициент массопередачи;

- a - удельная поверхность контакта фаз;
- c_p - равновесная концентрация кислорода в жидкости;
- c - рабочая концентрация кислорода в жидкости.

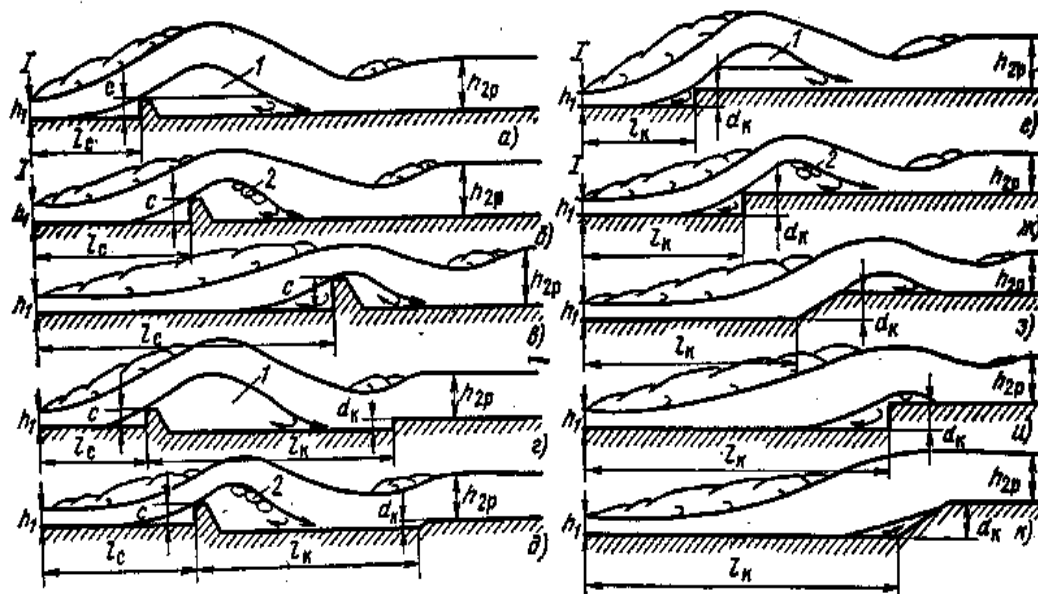


Рис. 1. Схемы сопряжения бьефов при наличии гасителей энергии:
 a – e — водобойной стенки; z , d — водобойной стенки с водобойным колодцем; e , k — водобойного колодца; 1 — воздушная область; 2 — большие пузыри воздуха

В рассматриваемом случае под геометрическими характеристиками системы подразумеваются соотношение глубины и ширины сооружений.

Изучение влияния отдельных ингредиентов загрязнений, содержащихся в воде, и их совместного влияния в различных комбинациях на абсорбцию кислорода, очевидно, неприемлемо из-за очень большого разнообразия и недостаточной изученности состава сточных вод.

При исследовании аэрационных систем можно [2] в качестве критерия использовать величину окислительной способности системы (скорость растворения кислорода в чистой воде при полном его дефиците и стандартной температуре 20 °C), связанная с объемным коэффициентом массопередачи соотношением:

$$OC = Ka c_p. \quad (5)$$

Объемный коэффициент массопередачи и время контакта фаз на водосливе однозначно зависят от кинематической обстановки процесса. В свою очередь, кинематическая обстановка процесса зависит от типа сопряжения, который определяется конструкцией водослива (глубиной нижнего бьефа h_2 , перепадом уровней z , удельным расходом воды q и расстоянием между стационарным и мобильным водосливами L_p). Таким образом, с соблюдением необходимых и достаточных условий для нашего условия, плоской задачи можно характеризовать следующим соотношением.

$$-(Ka)_{20} = f(z, h_2, q, L_p) \quad (6)$$

Параметры z , h_2 , q , L_p являются независимыми переменными нами определены экспериментально. А именно для характеристики аэрационной способности водосливов удобно использовать величину отношения дефицита кислорода в воде после прохождения его через водослив D_t к дефициту кислорода до водослива D_0 , связанную с величиной объемного коэффициента массопередачи уравнением [3]

$$\Psi = \frac{D_t}{D_0} = \exp(-Kat), \quad (7)$$

Откуда
$$\Psi_{20} = \exp f(z, h_2, q, L_p) \quad (8)$$

С учетом температуры и качества воды выражение (8) можно преобразовать, как

$$\Psi = \exp \frac{f(z, h, q, L_p)}{n_1 n_2}, \quad (9)$$

Для n - ступенчатого каскада водослив аэраторов [2], в случае равенства всех условий на любой из ступеней объемный коэффициент массопередачи Ka на каждом водосливе будет одинаково, а продолжительность аэрации будет равна суммарному времени пребывания воды на всех ступенях:

$$\sum_0^n t = nt$$

Тогда уравнение (7) для n - ступенчатого каскада может быть записано в виде:

$$\Psi_n = \exp(-Katn) = [f(z, h_2, q, L_p)]^n, \quad (10)$$

где t - продолжительность аэрации воды на одной ступени водосливов;

Ψ_n - отношение дефицита кислорода в воде после n -й ступени водосливов D_t к дефициту кислорода в воде перед первой ступени D_0 ;

Ψ - то же, для одной ступени.

Расчет параметров аэрированного потока выполнялся для участка водосбросного тракта с постоянной формой поперечного сечения и постоянным уклоном дна от створа начала аэрации до створа равномерного аэрированного потока (если в пределах длины тракта равномерное движение успевает установиться).

Когда уклон дна водосброса возрастает, то на участке с увеличенным уклоном продолжается неравномерное движение с возрастающей аэрацией по течению; при изменении с большего на меньший уклон концентрация воздушной фазы уменьшается- происходит дезаэрация потока.

Выводы:

- Изучение процесса аэрации следует вести так, чтобы влияние основных групп факторов можно было учесть отдельно, так как многообразие различных геометрических форм, динамических условий процесса и состав жидкости при изучении совокупного их влияния позволит найти лишь частные решения.
- Изучение аэрируемости потоков должно вестись через такие комплексные характеристики, которые исчерпывающе учитывают абсорбционные свойства жидкости и могут быть легко определены экспериментально.
- Для каждого значения расхода воды существует свое оптимальное расстояние между водосливами, при которой наблюдаются наиболее эффективные значения аэрационной способности водосливов.

Литература:

1. Вавилин В. А. Нелинейные модели биологической очистки и процессов самоочистки в реках. –М.: Наука, 1983. -260 с.
2. Вельнер Х. А., Айтсам А.М., Пааль Л. Л. Об основах инженерного расчета самоочищающей способности водотоков// Научные доклады по вопросам самоочищения водоемов и смещение сточных вод. – Таллин, 1965. С. 117-143.
3. Кислородный баланс и реаэрация водотоков /Кондратюк В. Г.//Водные ресурсы. - 1977. -№2. –С. 27-40.
4. Пааль Л. Л. Инженерные методы расчета формирования качества воды водотоков. Ч-I. –Таллин, 1976. -44с.
5. Сакварелидзе В. В. Аэрация потоков на водосливных поверхностях плотин и быстротоках//Изв. ТНИСГЭИ. Т. 18.–М, 1969. С. 87-102.
6. Стритер Г. В. Расчет окислительных процессов в загрязненных реках// Пер. с англ. Вопросы загрязнения и самоочищения водоемов. –М.: Инст. комм. гигиены АН СССР, 1937.

