

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА ВОЗДУХА И РАСКЛАДКИ АЭРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПО ДЛИНЕ АЭРОТЕНКА, С УЧЕТОМ НЕПОСТОЯННОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛУНАСЫЩЕНИЯ ПО КИСЛОРОДУ

Канунникова М.А.<sup>1</sup>

Эпов А.Н.

ЗАО «ВиВ»З

*Предложена методика практического определения точных показателей коэффициента полунасыщения по кислороду по длине аэротенка и его зависимости от удельной скорости дыхания ила, что позволяет рассчитать необходимый расход воздуха на станции и снизить общие эксплуатационные затраты.*

Современные методы расчета используют постоянный коэффициент полунасыщения по кислороду, что ведет к неточной раскладке аэрационной системы, и приводит к избыточной подаче воздуха в одной части аэротенка и к недостаточной подаче воздуха в других его частях. Это существенно сказывается на энергоэффективности и стоимости эксплуатации очистных сооружений.

При расчете аэрационных систем всегда, как правило, применяется постоянное значение концентрации кислорода по длине всего сооружения (аэротенка). Однако, в различных расчетах данное значение концентрации растворенного кислорода неодинаково. Как известно из ферментативной кинетики, требуемая концентрация растворенного кислорода зависит от коэффициента полунасыщения по кислороду. В расчетах коэффициент полунасыщения по кислороду используется постоянным, но значения его в различных источниках различны (см. табл.1).

*Таблица 1. Значения коэффициента полунасыщения по кислороду по различным источникам.*

Литературный источник	$K_o$ , мг/л
СНиП 2.04.03-85	0,625
Современная математическая модель	0,4 – 0,5
Биотехнология и микробиология	0,035 – 0,15

Проведенные эксперименты показали, что коэффициент  $K_{O_2}$  непостоянен. Из литературы известно, что данный эффект проявляется вследствие влияния диффузии внутри хлопка и на границе «клетка-жидкость» (рис. 1).

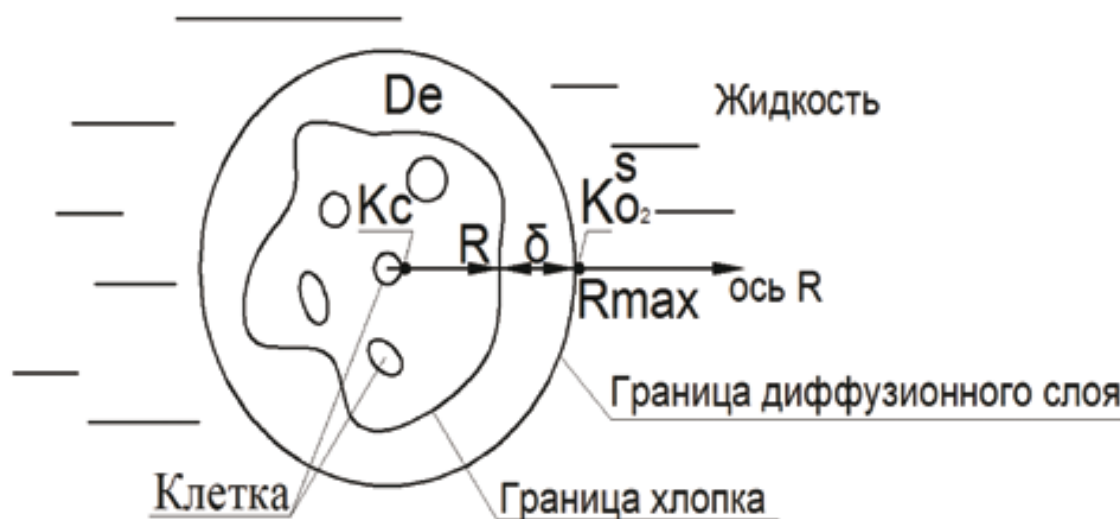


Рис. 1. Процесс диффузии

**Условные обозначения:**  $K_c$  – коэффициент полунасыщения по кислороду внутри хлопка;  $K_{O_2}^s$  – коэффициент полунасыщения по кислороду на расстоянии  $R_{max}$ .  $R$  – текущий радиус хлопка;  $\delta$  – текущая толщина диффузионного слоя;  $D_e$  – коэффициент диффузии;  $R_{max}$  – максимальный радиус диффузии;

Влияние диффузионных процессов на коэффициент полунасыщения по кислороду описывается уравнением [1]:

$$K_{O_2}^s = K_c \times (1 + 0,016 P_m) \quad (1)$$

$$\text{где } P_m = \frac{q_{O_2}^{max} \rho R^2}{D_e K_c},$$

здесь  $p$  – парциальное давление кислорода на радиусе  $R$ ;

$q_{O_2}^{max}$  – максимальная скорость дыхания при предельном насыщении ила кислородом;

$D_e$  – коэффициент диффузии

В уравнении (1)  $P_m$  определяется величиной влияния диффузии на коэффициент полунасыщения по кислороду и прямо пропорционально максимально возможной скорости дыхания  $q_{O_2}^{max}$  и радиусу  $R$ , на котором влияет диффузия (в данном случае радиусу хлопка).  $K_c$  – коэффициент полунасыщения по кислороду (рис. 1)

не зависит от диффузии и определяется ферментативной кинетикой. В этом случае  $K_{O_2}^s$  (далее  $K_{O_2}$ ) должен быть линейной функцией, зависящей от максимальной скорости дыхания  $q_{O_2}^{max}$ .

Проведенные эксперименты на нескольких илах подтвердили такую зависимость. На рис. 2 представлены взаимосвязь  $K_{O_2}$  от скорости дыхания ила (OUR) для очистных станции четырех городов. Эти илы различаются по концентрациям кислорода, поддерживаемых в аэротенках, и нагрузкам на активный ил (см. табл. 2). Практически важно, что зависимость  $K_{O_2}$  от OUR можно найти для любой станции по очистке сточных вод.

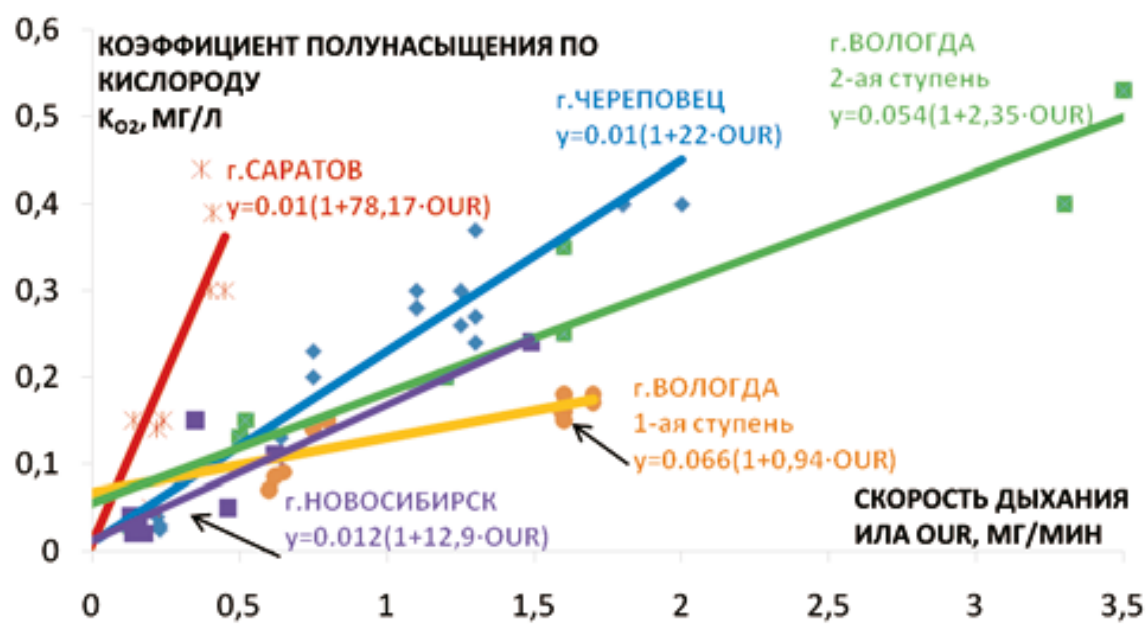


Рис. 2. Зависимость коэффициента полунасыщения  $K_{O_2}$  от скорости дыхания.

Таблица 2. Характеристика илов

№	Очистные сооружения	Нагрузка на ил, мгБПК5/гСВ в сутки	Концентрация растворенного кислорода, мг/л	Иловый индекс, мг/л
1	г. Саратов	110	1 – 4	80 – 100
2	г. Новосибирск	125	0,1 – 0,5	150 – 250
3	г. Череповец	174	2,5 – 7	80 – 100
4	2-ая ступень ОС свинокомплекса Надеево	150	0 – 2 периодическая аэрация	80 – 120
5	1-ая ступень ОС свинокомплекса Надеево	432	менее 0,1	не стабильный

Углы наклона полученных зависимостей оказались неодинаковы. Среди полученных зависимостей можно выделить те, ил которых является адаптированным:

– к низким концентрациям кислорода (г. Вологда, г. Новосибирск);

– к средним/высоким концентрациям кислорода (г. Череповец/г. Саратов).

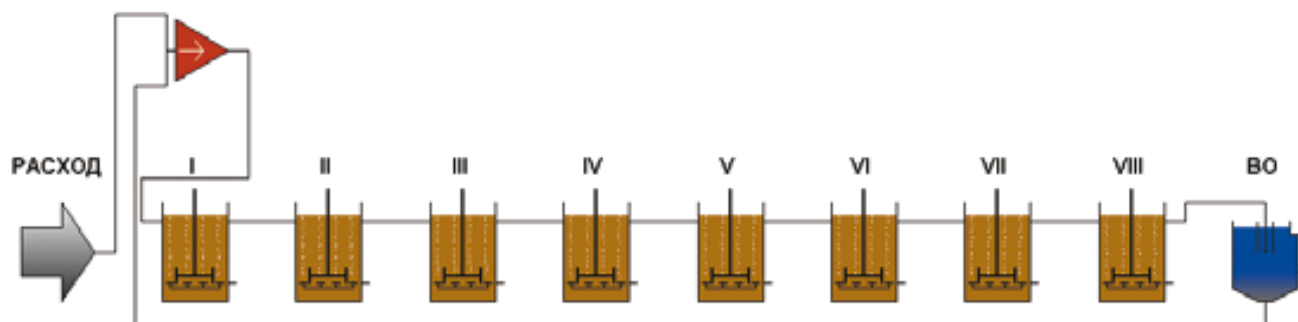
При низких концентрациях кислорода, процесс, как правило, сопровождается повышением илового индекса и ухудшением седиментационных свойств ила. Это говорит о том, что изменяются диффузионные свойства хлопка. Однако, это приводит к ухудшению осаждения ила и вспениванию. В этом случае можно полагать, что  $K_{O_2}$  зависит от диффузии и адаптации активного ила.

В связи с ухудшением седиментационных свойств ила, при адаптации к низким концентрациям кислорода, в случае расчетов процесса очистки, предпочтительно использовать зависимости, полученные для илов, адаптированных к средним/высоким концентрациям кислорода.

Как это выглядит в реальности на примере существующей станции г.Новосибирск с 2-мя очередями общей производительностью 600000 м<sup>3</sup>/сутки. Для того, чтобы показать влияние использования переменного коэффициента  $K_{O_2}$  на расчет расхода воздуха и на систему аэрации, было проведено моделирование аэротенков - вытеснителей для очистных сооружений г. Новосибирска 1-ой очереди производительностью 400000 м<sup>3</sup>/сутки.

Данные аэротенки были выбраны, т.к. на них проводились исследования по оценке энергоэффективности этих сооружений и проектные работы по их реконструкции. В связи с этим были накоплены данные, необходимые для настройки модели, как по качеству поступающих сточных вод, так и по динамике изменения концентраций загрязняющих веществ и неравномерности поступления сточных вод.

Для моделирования использовалась модель ASM2, в составе программного комплекса GPS-X 5.0. Модель позволяет настроить существующее положение работы любой станции очистки сточных вод, проиграть все возможные варианты по выбору оптимальной работы данной станции в режиме виртуального управления станцией с выходом на энергоэффективность и сконструировать систему аэрации. Экран моделирования городских очистных сооружений производительностью 600 000 м<sup>3</sup>/сутки представлен на рисунке 3.



**Рис. 3.** Экспериментальная модель очистных сооружений г. Новосибирска в программном комплексе GPS-X

Условные обозначения: I-VIII – аэротенк-вытеснитель, представленный восьмью секциями аэротенков-смесителей; ВО – вторичный отстойник; красная стрелка – объединитель потоков из вторичного отстойника и поступающего расхода; серая стрелка – поступающий расход.

Аэротенк-вытеснитель был представлен восьмью секциями аэротенка-смесителя. Это позволяет назначать индивидуальные кинетические коэффициенты  $K_{O_2}$ , концентрации кислорода, характеристики системы аэрации и параметры контроллеров управления для каждой отдельной секции. Расчет проводился следующим образом.

Расчет расхода воздуха при постоянном коэффициенте  $K_{O_2} = 0,4 \text{ мг/л}$

В современной математической модели первоначально коэффициент  $K_{O_2}$  был принят постоянным и равным  $0.4 \text{ мг/л}$ , что соответствует оптимальным концентрациям кислорода –  $2 \text{ мг/л}$ . Далее была настроена система управления для стабильного поддержания необходимой концентрации кислорода. Полученные в этих условиях расходы воздуха были использованы для уточнения параметров аэрационной системы. Моделирование аэрационной системы проводилось, исходя из использования современных дисковых мембранных аэраторов, диаметром  $350 \text{ мм}$ , при нагрузке  $6 \text{ м}^3$  на диск в час. После уточнения описания аэрационной системы были получены значения расхода воздуха для варианта  $K_{O_2} = 0,4$  и значения удельных скоростей дыхания по длине аэротенка, а также качества очищенных сточных вод, соответствующих хорошо работающей на данный момент станции.

Расчет расхода воздуха при переменном коэффициенте

$$K_{O_2} = var$$

Используя полученные значения удельных скоростей дыхания (см. рис.4) и зависимость коэффициента полунасыщения от скорости дыхания для станции г. Череповец с илом, адаптированным к средним концентрациям кислорода (см. рис.2), равная  $y = 0,01 \cdot (1+22 \cdot OUR) = 0,01 \cdot (1+22 \cdot SOUR \cdot a_i)$ , была просчитаны  $K_{O_2}$  для каждой секции и оптимальные концентрации растворенного кислорода (табл.3). Данные значения были внесены в модель для каждого отдельно взятого реактора. После настройки системы управления и системы аэрации получены расход воздуха и количество дисков.

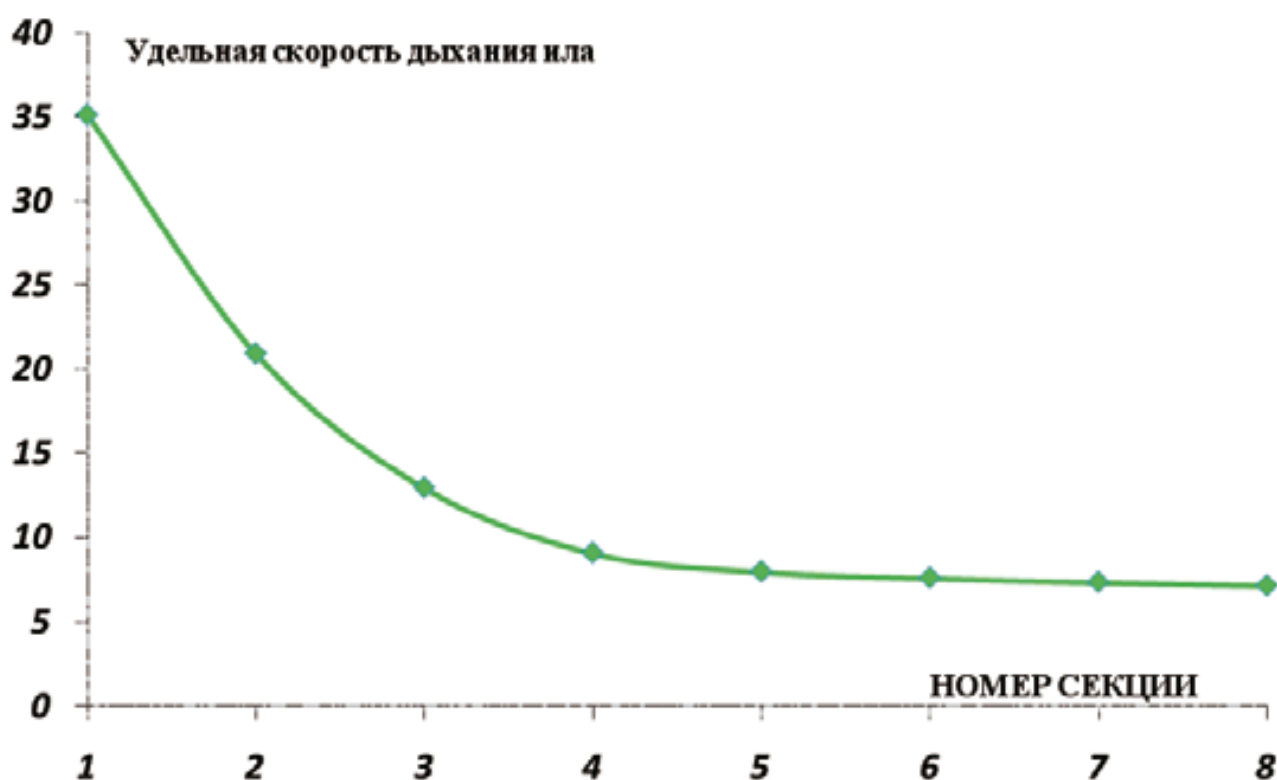


Рис. 4. Удельная скорость дыхания ( $SOUR=OUR/a_i$ ) в каждой секции модельного аэротенка.  $a_i$  – доза ила, мг/л.

Таблица 3. Оптимальные концентрации растворенного кислорода при переменном  $K_{O_2}$ .

Параметр	Номер секции							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$K_{O_2}$ , мг/л	0.295	0.18	0.12	0.09	0.08	0.079	0.077	0.076
$O_2$ , мг/л	1.48	0.92	0.6	0.45	0.41	0.4	0.38	1

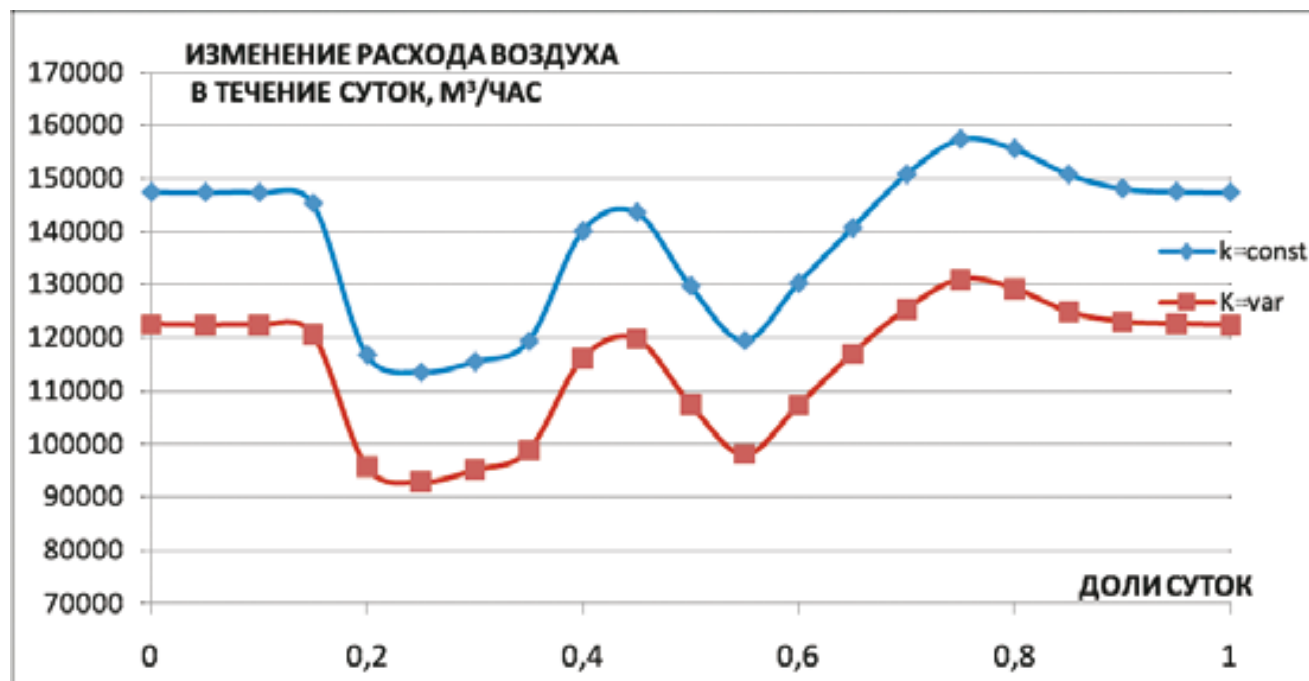


Рис. 5. Общее изменение расхода воздуха при традиционном (синяя кривая) и разработанном методе расчета (красная кривая).

Сравнивая результаты расчетов, с учетом постоянного и переменного коэффициента полунасыщения (рис 5), можно видеть, что расход воздуха в среднем упал на 17%, или общий расход воздуха снизился на  $Q=500000$  м<sup>3</sup>/сутки, а количество дисков уменьшилось на 3982 штук. Суточный расход электроэнергии сократился на 13333 кВт/сутки, а суммарная годовая экономия составит 13 млн руб./год.

Таким образом, возможность нахождения на практике зависимости коэффициента полунасыщения  $K_{O_2}$  от удельной скорости дыхания SOUR ила и определение точных показателей  $K_{O_2}$ , которые не постоянны по длине аэротенка и существенно отличаются от показателей в современных математических моделях и других литературных источниках, позволяют определить необходимый расход воздуха на станцию и снизить общие эксплуатационные затраты.

Данный метод позволяет добиться существенной экономии электроэнергии, без ухудшения качества очистки сточных вод и ухудшения седиментационных свойств ила для любой станции аэрации.

## Библиография

1. Кафаров В.В., Винаров А.Ю., Гордеев Л.С. «Моделирование биохимических реакторов» / М., Лесная промышленность, 1979.

**2. Вавилин В.А., Васильев В.Б.** Математическое моделирование процессов биологической очистки сточных вод активным илом. М.: Наука, 1979.

**3. Эпов А.Н., Канунникова М.А.** «Респирометрическое определение кинетических коэффициентов уравнения скорости нитрификации», Водоснабжение и канализация, 4/2009.