

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

Канунникова М.А.¹

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).

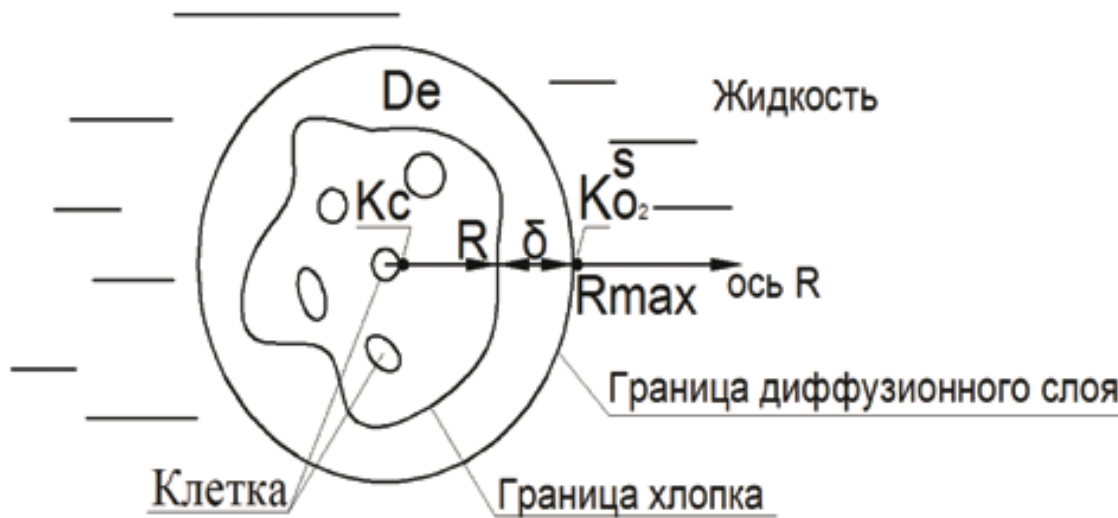


Рис. 1. Процесс диффузии

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; δ – 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.

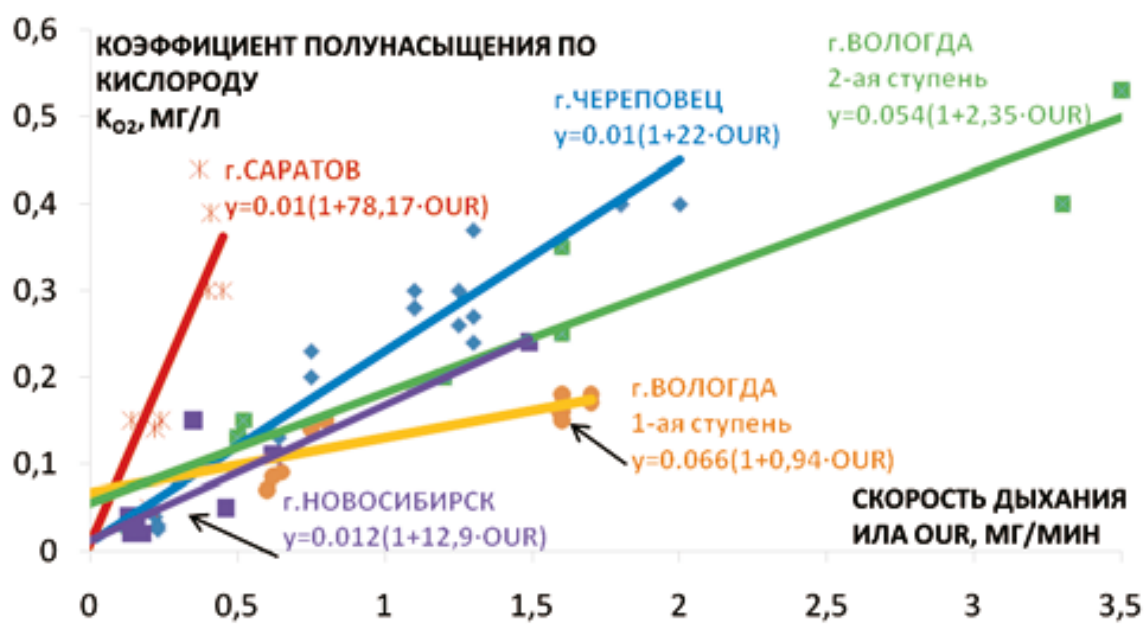


Рис. 2. Зависимость коэффициента полунасыщения K_{O_2} от скорости дыхания.

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 сви-нокомплекса Надеево | 150 | 0 – 2 периоди-ческая аэрация | 80 – 120 |
| 5 | 1-ая ступень ОС сви-нокомплекса Надеево | 432 | менее 0,1 | не ста-бильный |

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 м³/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 м³/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 м³/сутки представлен на рисунке 3.

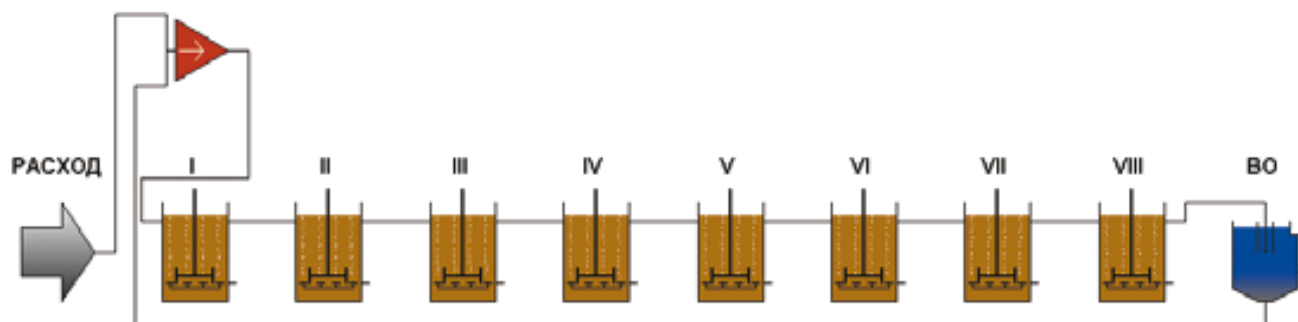


Рис. 3. Экспериментальная модель очистных сооружений г. Новосибирска в программном комплексе GPS-X

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 мг/л , что соответствует оптимальным концентрациям кислорода – 2 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 мм , при нагрузке 6 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.

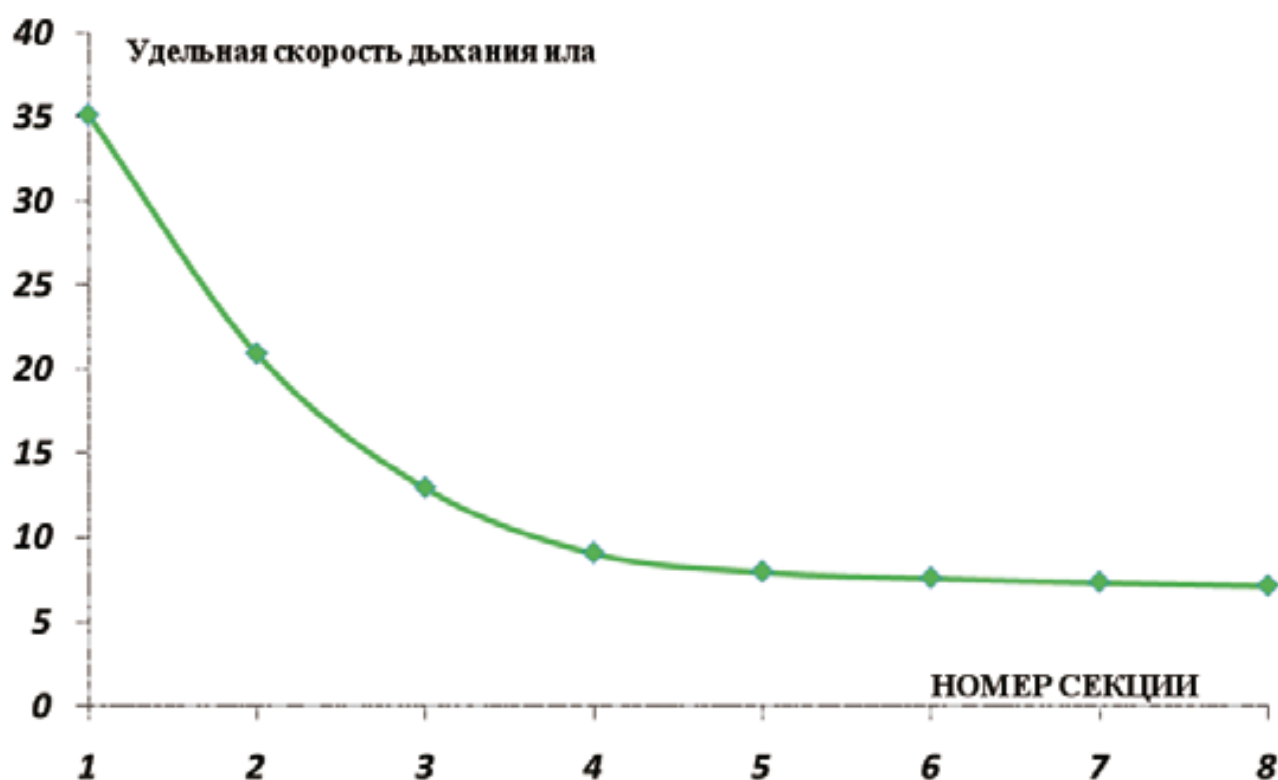


Рис. 4. Удельная скорость дыхания ($SOUR=OUR/a_i$) в каждой секции модельного аэротенка. a_i – доза ила, мг/л.

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 |

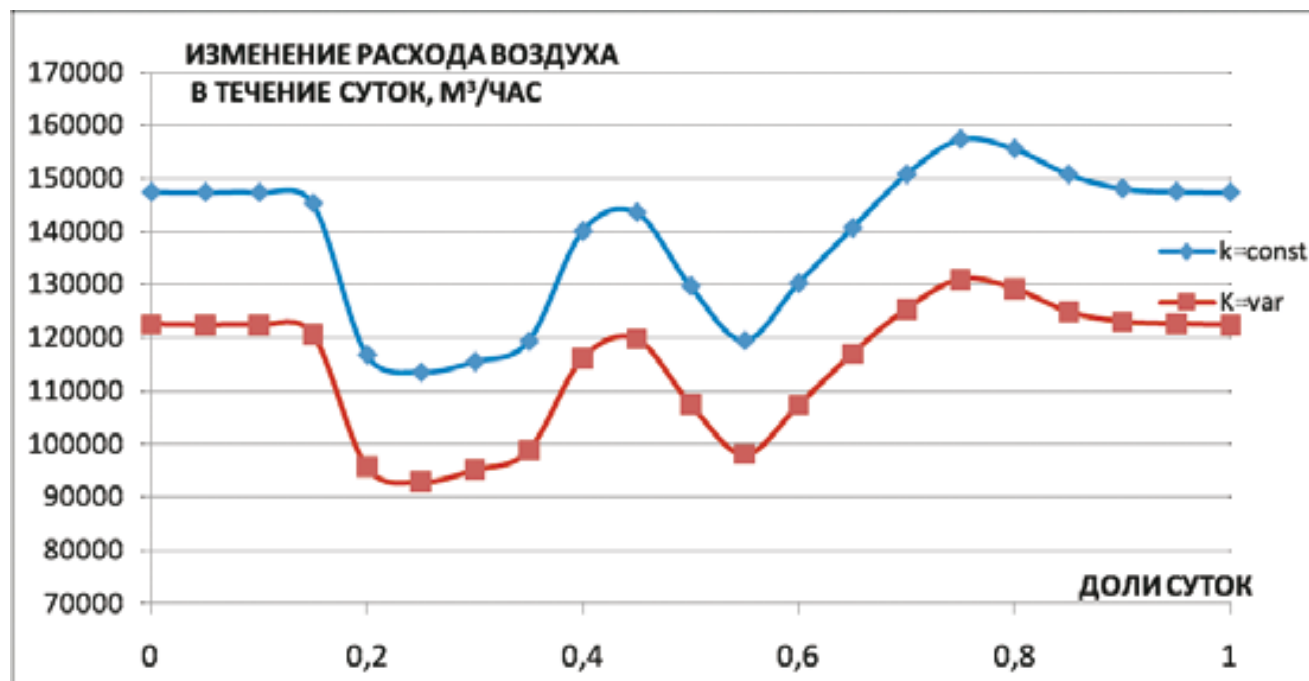


Рис. 5. Общее изменение расхода воздуха при традиционном (синяя кривая) и разработанном методе расчета (красная кривая).

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 $Q=500\,000$ м³/сутки, а количество дисков уменьшилось на 3982 штук. Суточный расход электроэнергии сократился на 13 333 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.