

УДК 628.13

В.И.НЕЗДОЙМИНОВ, В.С.РОЖКОВ, кандидаты техн. наук
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г.Макеевка

ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ АЭРОТЕНКА С ЗАТОПЛЕННОЙ ЭРЛИФТНОЙ СИСТЕМОЙ АЭРАЦИИ

Рассматривается вопрос расчета аэротенка с затопленной эрлифтной системой аэрации. Получены теоретические зависимости, связывающие расход воздуха, подаваемого в сооружение, с гидродинамическими параметрами потока жидкости в нем. Приведены графики для расчета аэротенков с затопленной системой аэрации.

Розглядається питання розрахунку аеротенка із затопленою ерліфтною системою аерації. Отримано теоретичні залежності, що пов'язують витрату повітря, яке подається в споруду, з гідродинамічними параметрами потоку рідини в ньому. Наведено графіки для розрахунку аеротенків із затопленою системою аерації.

In the article the question of aerotank with the flooded air-lift system of airing calculation is considered. Theoretical dependences, relating the debit of air, given in aerotank with the hydrodynamic parameters of stream of liquid in it, are got. Charts are resulted for the calculation of aerotanks with the flooded system of airing.

Ключевые слова: аэротенк, эрлифт, подъемный напор эрлифта, водо-воздушная смесь.

Любая система аэрации в аэротенках с активным илом преследует следующие цели: равномерное распределение хлопков активного ила во всем объеме аэротенка за счет интенсивного перемешивания; доставка к хлопку активного растворенного кислорода и субстрата, а также отдувка продуктов метаболизма; обеспечение минимально допустимых придонных скоростей, исключающих залежание ила по дну сооружения.

На сегодняшний день наибольшее распространение получили пневматические и механические системы аэрации. Основное их преимущество над остальными заключается в относительно высоких значениях окислительной мощности. К недостаткам этих систем следует отнести невозможность их использования в сооружениях с большой глубиной. Расширить область применения аэраторов среднего давления для аэротенков с глубиной слоя жидкости более 5 м можно за счет установки затопленной эрлифтной системы [1], являющейся разновидностью эрлифтного аэратора с водосливным порогом. Отличительная особенность затопленной эрлифтной системы состоит в том, что верхний срез эрлифта расположен ниже уровня воды, обеспечивающий циркуляцию потока жидкости в аэротенке: восходящий поток в самом эрлифте и нисходящий – вне его [2].

Целью наших исследований является получение расчетных зави-

симостей, связывающих подачу воздуха в затопленный эрлифт с гидродинамическими параметрами потока в сооружении.

Известно, что процесс движения газожидкостной смеси в эрлифте имеет сложный характер. Современное состояние теории турбулентности не позволяет в строгой формулировке теоретически описать гидродинамические процессы. Нами предлагается для описания процессов в сооружении с затопленным эрлифтом использовать усредненные во времени и пространстве параметры, такие как средняя скорость двухфазового потока, газосодержание, соотношение объемов, заполненных жидкостью и воздухом, и др. [3].

Для математического описания гидравлических процессов в аэротенке с затопленным эрлифтом, используется интеграл Бернулли. Применимость данного уравнения допустима, если движение жидкости является установившимся и плавно изменяющимся [4].

Правомерность описания процессов в данном сооружении с помощью уравнения Бернулли подтверждается тем, что кинетическая энергия, которой обладает объем жидкости между сечениями 1-1 и 2-2 (рис.1) неизменна во времени при постоянной подаче воздуха, линии тока направлены осесимметрично, обеспечивая равномерное поле скоростей.

При получении расчетных зависимостей приняты следующие допущения:

- при глубине жидкости в аэротенке порядка 5 м не учитывается изменение объема пузырька воздуха по мере его всплытия;
- при определении потерь напора в системе, учтены только наиболее значимые из величин.

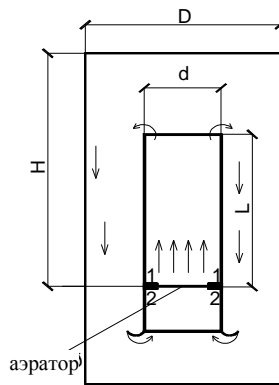


Рис.1

Исходя из приведенных выше положений получена зависимость

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{V_2^2}{2g} + \zeta \frac{V_1^2}{2g} + \xi_b \frac{V_2^2}{2g}. \quad (1)$$

Здесь γ – удельный вес жидкости, Н/м³; V_1, V_2 – скорости жидкости в сечениях 1-1 и 2-2, м/с; ζ – коэффициент сопротивления на выходе из эрлифта и разворот жидкости в сооружении; ξ_b – коэффициент сопротивления на входе в эрлифт;

$\frac{P_1 - P_2}{\gamma}$ – подъемный напор эрлифта,

м. вод. ст.;

$$V_1 = \frac{Q_b + Q_r}{\omega_k}; \quad (2)$$

$$V_2 = \frac{Q_b}{\omega_k}, \quad (3)$$

где Q_b – подача эрлифта, м³/с; Q_r – расход газа (воздуха) через затопленный эрлифт, м³/с; ω_k – площадь поперечного сечения эрлифта, м².

Подъемный напор эрлифта определяется так:

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = H - \frac{\gamma_{см1} \cdot L + \gamma_{см2}(H - L)}{\gamma}, \quad (4)$$

где L – высота эрлифта, м; H – глубина погружения аэрационной системы в эрлифте, м; $\gamma_{см1}$ – удельный вес водо-воздушной смеси внутри эрлифта, Н/м³; $\gamma_{см2}$ – удельный вес водо-воздушной смеси над эрлифтом, Н/м³.

В уравнении (4) объем жидкости разделен на две части. Непосредственно в эрлифте, где удельный вес смеси $\gamma_{см1}$ и над ним, где плотность смеси отличается от плотности в эрлифте. Это связано с тем, что при выходе из затопленного эрлифта происходит раскрытие струи смеси, в результате чего происходит подмешивание дополнительных объемов жидкости, что приводит к увеличению плотности смеси в целом.

$$\gamma_{см1} = \frac{\frac{Q_b}{V_b} \gamma + \frac{Q_r}{V_r} \gamma_r}{\omega_k}, \quad (5)$$

где V_b – скорость жидкой фазы в водо-воздушной смеси относительно

стенок эрлифта, м/с; V_{Γ} – скорость газа в водо-воздушной смеси относительно стенок, м/с; γ_{Γ} – удельный вес газа, Н/м³.

В зависимости (5) в первом слагаемом числителя $\frac{Q_B}{V_B}$ представляет собой площадь, занимаемую водным потоком в эрлифте, а во втором слагаемом, соответственно, $\frac{Q_{\Gamma}}{V_{\Gamma}}$ – площадь, занимаемую воздухом. Очевидно, что сумма этих площадей равна геометрической площади эрлифта:

$$\omega_k = \frac{Q_B}{V_B} + \frac{Q_{\Gamma}}{V_{\Gamma}}. \quad (6)$$

В свою очередь, абсолютную скорость газа можно представить в виде:

$$V_{\Gamma} = V_B + V_0, \quad (7)$$

где V_0 – скорость (стесненного либо свободного – в зависимости от режима аэрации) всплытия пузырька, м/с.

Объем газожидкостного потока над эрлифтом увеличивается за счет увлечения дополнительного количества жидкости и представляет собой объем усеченного конуса W_k с меньшим основанием, равным площади эрлифта, высотой $H-L$ и углом раскрытия $\beta = 24^\circ$.

Следовательно, в объеме смеси, равном W_k находится такой же объем воздуха, какой находился бы в цилиндре объемом W_{Π} (с площадью основания, равной поперечному сечению эрлифта, и высотой $H-L$) при удельном весе смеси $\gamma_{см1}$. В объеме W_k жидкости становится больше на величину $(W_k - W_{\Pi})$. Отсюда плотность смеси над аэрационной колонной составит:

$$\gamma_{см2} = \frac{W_{\Pi} \cdot \gamma_{см1} + (W_k - W_{\Pi})\gamma}{W_k}; \quad (8)$$

$$W_{\Pi} = \frac{\pi d^2}{4}(H - L), \quad (9)$$

где d – диаметр эрлифта, м.

$$W_k = \frac{\pi(H - L)}{3} \left[\frac{\left(d + 2(H - L)\text{tg} \frac{\beta}{2} \right)^2}{4} + \frac{d^2}{4} + \frac{d \left(d + 2(H - L)\text{tg} \frac{\beta}{2} \right)}{4} \right]. \quad (10)$$

Сведя все полученные зависимости в уравнение (1) и упрощая, получим:

$$H - \left(\frac{Q_B}{\omega_k V_B} + \frac{Q_r}{\gamma \omega_k V_r} \right) L - \left[W_{ц} \left(\frac{Q_B}{W_k \omega_k V_B} + \frac{Q_r}{\gamma W_k \omega_k V_r} \right) + \frac{W_k - W_{ц}}{W_k} \right] (H - L) + \frac{\alpha}{2g} \left(\frac{Q_B + Q_r}{\omega_k} \right)^2 = \frac{\alpha}{2g} \left(\frac{Q_B}{\omega_k} \right)^2 + \frac{\zeta}{2g} \left(\frac{Q_B + Q_r}{\omega_k} \right)^2 + \frac{\xi}{2g} \left(\frac{Q_r}{\omega_k} \right)^2. \quad (11)$$

Уравнения (11) и (6) с учетом уравнений (9), (10) представляют систему, описывающую гидродинамику сооружения с затопленным аэратором.

Решение данной системы позволяет определить гидродинамические параметры потока жидкости в сооружении в зависимости от геометрических размеров аэротенка и расхода воздуха, подаваемого в затопленный эрлифт.

При расчете аэротенка с затопленной эрлифтной системой аэрации, параметры его работы принято выражать через интенсивность аэрации (I) м³ воздуха/м² площади эрлифта в час и коэффициент инжекции (k) – отношение расхода воды в эрлифте к расходу подаваемого воздуха. Так, для соотношения площади сооружения и площади эрлифта $\omega_c : \omega_3 = 9 : 1$ на рис.2 приведена графическая зависимость $k = f(I)$.

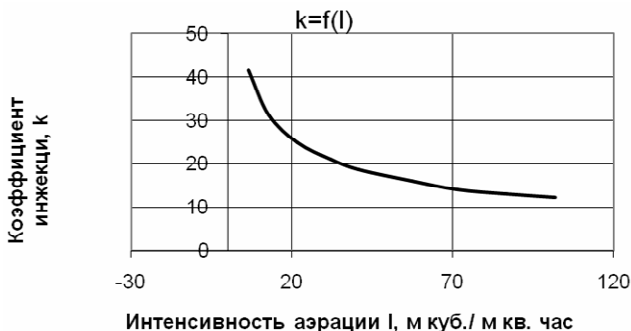


Рис.2

Расчетная скорость воды в эрлифте в зависимости от интенсивности аэрации приведена на рис.3.

Полученные зависимости позволяют выполнить гидродинамический расчет сооружения – аэротенка с затопленной эрлифтной системой аэрации, в частности определить интенсивность аэрации для обеспечения необходимых скоростей на входе в эрлифт. Кроме того, полу-

ченные зависимости позволяют подобрать размеры сооружений для проведения процессов биологической очистки с активным илом.

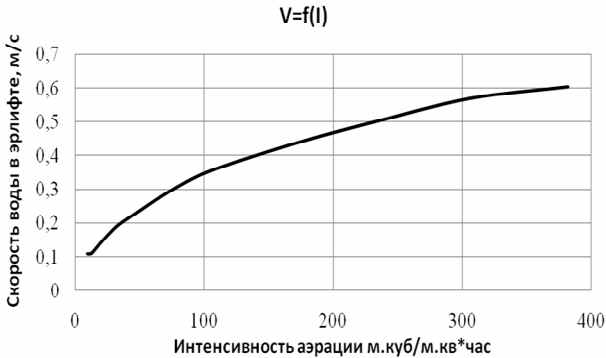


Рис.3

1.Брагинский Л.Н. и др. Моделирование аэрационных сооружений для очистки сточных вод. – Л.: Химия, 1980. – 144 с.

2.Нездойминов В.И., Разумов А.Ю., Береза Г.Н. Использование двухярусных отстойников в качестве аэротенков // 36. науч. пр. Луганськ. нац. аграрн. ун-ту. Серія: Технічні науки. – Луганськ, 2004. – С.179-185.

3.Нездойминов В.И., Рожков В.С. Определение параметров газожидкостной смеси в затопленных эрлифтных системах // Матеріали III Міжнар. наук. семінару 15-17 жовтня 2008 р. – С.131-136.

4.Чугаев Р.Р. Гидравлика. – Л.: Энергия, 1975. – 600 с.

Получено 07.12.2009

УДК 628.356.3

С.Л.ЧИГАНОВ, В.І.СОКОЛЬНИК, канд. техн. наук,

В.Д.НЕДОРΟΣΟΛ, канд. хім. наук

Запорізька державна інженерна академія

НОВИЙ ПРОГРАМНИЙ ПРОДУКТ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ АЕРОТЕНКІВ

Розглядаються питання автоматизації розрахунків аеротенків.

Рассматриваются вопросы автоматизации расчетов аэротенков.

The issues of automated calculations aerotanks are considered.

Ключові слова: аеротенк, типовий проект, система аерації, алгоритм, блок-схема.

Програмне забезпечення для розрахунку очисних споруд дозволяє автоматизувати та прискорити в декілька разів процес розрахунків основних параметрів, порівняти різні варіанти і вибрати найбільш прийнятний.