

С.В. Васькин, М.В. Игонина
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОТОКА В СУДОВОЙ ЦИСТЕРНЕ СТОЧНЫХ ВОД ПРИ ИХ АЭРАЦИИ

В настоящее время на кафедре «Теории корабля и экологической безопасности судов» выполняется госбюджетная работа тематике, целью которой является разработка конструкции системы аэрации судовых цистерн для сбора сточных вод. Практические результаты этой работы предполагается оформить в виде требований Правил Российского Речного Регистра к оборудованию и устройствам судов, предотвращающих загрязнения сточными водами.

Отправной точкой для проводимых исследований явилась диссертационная работа Н.Л. Горина [1], выполненная в 2012 г. и посвященная данной тематике. Отмечая в целом правильный подход к решению проблемы увеличения продолжительности хранения стоков на судах, предложенный в этой работе, следует отметить и некоторые ее недостатки, которые могут оказать существенное влияние на конструкцию и параметры работы системы аэрации. Эти недостатки связаны, в основном, с допущениями, принятыми автором при разработке математической модели процесса преобразования состава сточных вод в процессе аэрации.

Основные претензии к автору разработанной математической модели касаются уравнения материального баланса процесса.

При создании математического описания происходящих в судовой сборной цистерне процессов была принята гидродинамическая модель идеального смешения. Действительно, некоторые авторы [2, 3] говорят о том, что при барботажном перемешивании в полых реакторах с отношением высоты к эквивалентному диаметру не более двух, структура потока близка к полному перемешиванию. Но при этом подразумевается подача газовой фазы по всей площади сечения реактора, в то время как Н.Л. Гориным предлагалась конструкция аэратора, состоящего из 1–2 барботажных трубопроводов. В этом случае адекватность модели идеального смешения может быть поставлена под сомнение. Подгонять же конструкцию системы аэрации под готовую гидродинамическую модель нецелесообразно по конструктивным и эксплуатационным соображениям, тем более, что необходимость реализации такой модели с точки зрения повышения эффективности процесса, по крайней мере на данном этапе работы, не очевидна.

В качестве альтернативы модели идеального перемешивания можно рассмотреть диффузионные модели и модели с застойными зонами.

Однопараметрическая диффузионная модель, как известно, предполагает наличие продольного перемешивания в направлении оси движения жидкости. Количественную оценку величины этого перемешивания дает коэффициент турбулентной диффузии, называемый также коэффициентом продольного перемешивания. Ранее нами был выполнен расчет величины турбулентной диффузии на основании рекомендаций по интенсивности аэрации, предложенных в работе [1]. Результаты расчетов, как уже докладывалось, показали, что коэффициент турбулентной диффузии при рассматриваемых интенсивностях аэрации достигает значений, позволяющих отнести систему «сборная цистерна – аэратор» к модели идеального смешения. В то же время, такое интенсивное продольное перемешивание в цистерне будет характерно не для всего ее объема, а только для той ее части, где наблюдается циркуляционный поток, вызванный движением пузырьков воздуха. Так что на данном этапе диффузионная модель не может быть отвергнута как неприемлемая. С учетом кинетики преобразования состава стоков эта модель будет иметь следующий вид:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = -w_{жс} \frac{\partial c}{\partial x} + D_L \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \right) - kc, \quad (1)$$

где c – концентрация примесей в воде, мг/л;
 τ – время пребывания воды в аппарате, с;
 $w_{жс}$ – скорость движения воды в аппарате, м/с;
 x – текущая координата по длине аппарата, м;
 k – константа скорости превращения, с⁻¹;
 D_L – коэффициент продольной диффузии, учитывающий и молекулярную, и турбулентную диффузию, а также неравномерность поля скоростей, м²/с.

Данное уравнение описывает нестационарную модель с рассредоточенными параметрами. Нестационарность процесса обусловлена изменением количества и состава стоков, поступающих в цистерну в каждый момент времени. Кроме того, исследуемый показатель состава воды «с», в отличие от модели идеального смешения, в общем случае имеет различные значения по высоте столба сточной жидкости в цистерне (распределен неравномерно). Выражение (1) имеет решение, однако для этого необходимо задать начальные условия, одним из которых является функция $c(x)$ распределения концентраций по высоте, которая неизвестна.

Более точной, но и более сложной является двухпараметрическая диффузионная модель, учитывающая перемешивание как в продольном, так и в поперечном направлении. Решение уравнений, описывающих двухпараметрическую диффузионную модель сводится к решению задач Коши или краевых задач, но граничные условия в рассматриваемом случае становятся еще более неопределенными из-за неопределенности поля скоростей в объеме цистерны.

Модели с застойными зонами относятся к комбинированным. В их основу положена идея представления рабочего объема в виде отдельных зон, в которых характер движения жидкости одинаков по всему объему зоны [2]. Т.о., если во всем аппарате не достигаются условия идеального перемешивания, то они могут присутствовать в каких-то его областях. Работа [2] к таким аппаратам относит реакторы с механическими мешалками, при работе которых возникают циркуляционные потоки. Количество и форма этих потоков зависят от типа и геометрии перемешивающих устройств. При этом объем зоны идеального перемешивания коррелируется с затрачиваемой на него мощностью.

Аналогичные циркуляционные потоки будут возникать и при аэрации сточных вод через перфорированные трубопроводы.

Модели идеального перемешивания с застойными зонами можно разделить на относительно простые, когда предполагается, что часть вещества, содержащаяся в объеме застойной зоны реактора просто не участвует в процессе химических превращений, и более сложные, предусматривающие частичный обмен веществом объемов застойной зоны и зоны идеального перемешивания. Эти модели, по-видимому, наиболее подходят для описания структуры потока в сборных цистернах. В то же время, объем застойной зоны плохо поддается аналитическому определению. Как уже отмечалось, существуют некие эмпирические зависимости, но они разработаны для реакторов цилиндрической формы с ограниченным диапазоном размеров, причем оборудованных механическими мешалками. Кроме того, авторы указывают на наличие значительного масштабного эффекта при переносе результатов исследований на реакторы больших размеров. Следовательно, проведение физического эксперимента для установления объемов застойных зон будет, скорее всего, неоправданным.

Разрешение возникших при проведении исследований проблем видится в применении имитационного моделирования на базе компьютерных систем, специализирующихся в области гидрогазодинамики (например, FlowVision или ANSYS), позволяющих с высокой точностью воспроизводить динамику многофазных сред.

Список литературы:

- [1] Горин Н.Л. Обеспечение автономности плавания по условиям экологической безопасности судов речного флота. Автореферат на соиск. уч. степени канд. техн. наук. – Н.Новгород: ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2012. – 23 с.
- [2] Кафаров В.В. и др. Моделирование биохимических реакторов / В.В. Кафаров, А.Ю. Винаров, Л.С. Гордеев. – М.: Лесная пром-ть, 1979. – 344 с.
- [3] Соколов В.Н., Доманский И.В. Газожидкостные реакторы. – Л.: Машиностроение, 1976. – 216 с.

И.Б. Кочнева
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССА УТИЛИЗАЦИИ СУДОВ

Вопросы безопасной утилизации судов становится все более актуальными, поскольку заканчивается установленный срок эксплуатации судов, не отвечающих новым международным требованиям, установленным Конвенцией МАРПОЛ, в частности срок эксплуатации нефтяных танкеров [1]. В решении этой проблемы важное значение будет иметь нормативно-правовое обеспечение процесса утилизации судов, чем в настоящее время занимается Международная морская организация (ИМО). Усилия международного сообщества по решению проблем демонтажа судов привели к принятию 15 мая 2009 г. Гонконгской международной конвенции о безопасной и экологически рациональной утилизации судов (далее – Конвенция) [2]. Конвенция включает в себя основные правовые механизмы для стран-участниц, и так же правила для судов и предприятий по утилизации.

Основными элементами Конвенции, являются Учетная запись опасных материалов (УЗОМ), международный сертификат на УЗОМ, план предприятия по утилизации, разрешительный документ на проведение утилизации судна, план утилизации судна, международный сертификат о готовности к переработке.

С 1 января 2014 года начали действовать новые правила Европейского союза (ЕС) по утилизации судов. Требования правил в основном приведены в соответствии с Конвенцией.

Согласно новым правилам, на борту судна должна быть УЗОМ и сертификат на нее, а так же будет составлен лист предприятий, на которых владельцы европейских судов смогут проводить утилизацию судов. В свою очередь судовладельцы должны будут заранее предоставлять списки судов, отправляемых на переработку, с тем, чтобы сделать более легким процесс выявления нелегальной утилизации.

Анализ других источников, касающихся вопроса утилизации судов показал, что на сегодняшний день требования к судовым механизмам, конструкциям, системам и устройствам, обеспечивающие безопасность утилизации судов, в Правилах российских и иностранных классификационных обществ отсутствуют или находятся в стадии разработки.

Отсутствие таких требований и разработанных на их основе Правил, также как проектирование и постройка судов без учёта необходимости их утилизации в дальнейшем и связанных с этим процедур, создают дополнительные технические сложности, а также риски для окружающей среды и производственного персонала.

В соответствии с рекомендациями резолюции А.962(23) – «Руководство ИМО по разделке судов» и гонконгской международной конвенции о безопасной и экологически рациональной утилизации судов государства, в которых производится утилизация