

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. – 5-е изд., перераб. – М.: Энергоиздат, 1982. – 360 с.
2. Строй А.Ф., Пиотровски Е.З. Основы расчетов управления тепловым и воздушным режимом помещений. – Полтава: ПолтНТУ, 2008. – 171 с.
3. Хацкевич Ю.В. Численное моделирование температурных режимов помещений с системами воздушно-лучистого отопления // Науковий вісник НГУ. Вип.2. – 2006. – С.81-84.

Отримано 15.02.2010

УДК 531.3

А.А.УСЫК, И.Л.ДЕРКАЧ, Э.А.ШИШКИН

Харьковская национальная академия городского хозяйства

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МАССОПЕРЕНОСА СЕРОВОДОРОДА В СИСТЕМЕ «ГАЗ – ЖИДКОСТЬ»

Определены факторы, влияющие на массоперенос сероводорода в газовую среду. Представлены результаты исследования закономерностей массопереноса сероводорода в системе «газ – жидкость». Получено уравнение для расчета интенсивности массопереноса сероводорода из жидкой фазы в подсводовое пространство канализационного коллектора.

Визначено фактори, що впливають на масоперенос сірководню у газове середовище. Представлено результати досліджень закономірностей масопереносу сірководню в системі «газ – рідина». Отримано рівняння для розрахунку інтенсивності масопереносу сірководню із рідинної фази у підсводовий простір каналізаційного колектора.

The factors influencing on weight carrying over of hydrogen sulphide in the gas environment are defined. Results of research of laws weight carrying over of hydrogen sulphide in system «gas – liquid». The equation for intensity calculation weight carrying over of hydrogen sulphide from a liquid phase in the top space of a sewer collector is received.

Ключевые слова: массоперенос, система, интенсивность, сточная вода, газовая среда.

Проблемы устойчивого жизнеобеспечения городов неразрывно связаны с эксплуатацией коллекторов глубокого заложения, являющихся дорогостоящими сооружениями канализации. В связи с этим актуальными являются вопросы повышения их надежности и долговечности.

Процесс транспортировки сточных вод в сетях канализации сопровождается выделением вредных газов, разрушающих свод коллектора и сокращающих срок их службы. Именно поэтому вопрос неоднократно рассматривался как научно-исследовательскими, так и эксплуатационными организациями и в специальной литературе [1-3].

На стадии проектирования, а также в процессе эксплуатации предусматриваются мероприятия, направленные на снижение выделений вредных газов.

На стадии эксплуатации сетей водоотведения рекомендуются следующие мероприятия: химическая обработка сточных вод (хлорирование); добавление окислителей, например, перекиси водорода, чистого кислорода, солей металлов; механическая очистка для удаления отложений слизи или ила в коллекторе; понижение температуры сточной жидкости; нанесение защитных покрытий [4, 5].

Применяемые способы дегазации коллекторов имеют недостатки или являются малоэффективными и заставляют искать новые пути решения данной проблемы. Перспективным направлением является вентиляция коллекторов. Традиционный подход к выбору и расчету системы вентиляции неприемлем, так как движение воздуха в канализационных сетях имеет специфические особенности. Прототипом существующих сетей может служить рудничная вентиляция. В то же время разработка эффективной схемы вентиляции требует проведения целого ряда расчетов, базирующихся на информации о параметрах массопереноса, влияющих на выбор и эффективную работу вентиляционной системы.

Важнейшим из них является количество массы сероводорода, выделяющееся в единицу времени с единицы межфазной поверхности. Математическая модель десорбции газа в подводящее пространство канализационного коллектора, эффективное использование которой связано с определением массы сероводорода завит, главным образом, от модуля движущей силы Δp , скорости движения воздушной фазы и режима движения жидкой фазы.

Для определения концентрации сероводорода в жидкой и газообразной фазах наиболее эффективным является метод физического моделирования, предполагающий создание экспериментальной установки и использование модельных смесей. Анализ результатов экспериментальных исследований позволяет установить зависимости между параметрами массопереноса в исследуемом процессе.

Как правило, для анализа воздушной фазы применяется газовая хроматография, которая не позволяет идентифицировать множество соединений, входящих в состав сложных смесей, загрязняющих воздух. Для решения указанной проблемы необходим уникальный детектор, позволяющий селективно давать однозначные характеристики каждого компонента – масс-спектрометр, обеспечивающий удовлетворительные результаты при исследовании чистых компонентов или бинарных газов.

При анализе микропримесей в воздухе ($10^{-4} \dots 10^{-8}\%$) возникает ряд трудностей, заключающихся в возможной потере анализируемых веществ на всех стадиях хроматографического определения. Чтобы

избежать указанных потерь, в данной работе использовали метод криогенной газовой хроматографии. Пробу воздуха пропускали через охлаждаемую жидким кислородом U-образную ловушку со стеклянными гранулами. Сконцентрированные после десорбции примеси хроматографируются на капиллярной колонке длиной 3 м с температурой $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ в диапазоне изменения температур от -70 до $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для обнаружения малых концентраций соединений серы применяли плазменно-фотометрический детектор (ПФД), позволяющий определить сероводород в неорганических и органических серосодержащих смесях в концентрации от $10^{-8}\%$ с погрешностью $\pm 26\%$.

Газохроматографическим исследованиям предшествовала калибровка детектора, выполненная методом экспоненциального разбавления, предложенным Ловеллоком. Концентрация определяемого компонента C , мг/м^3 в газе, выходящем из камеры, изменялась во времени по экспоненциальному закону

$$C = C_0 e^{-\tau v_n} \quad (1)$$

где C_0 – начальная концентрация, мг/мл ; τ – время, мин.; v_n – скорость потока газа-разбавителя, мл/мин .

Подготовку газовой смеси с известной начальной концентрацией осуществляли нагреванием 1 части серы, 10 частей парафина с последующей криогенной очисткой газообразного сероводорода от примесей. Концентрации рассчитывали по формуле (1).

Полученные экспериментальные данные позволили определить аналитический вид функции $E = f(C)$ и найти ее параметры так, чтобы она с минимальной среднеквадратичной погрешностью приближалась к исходной. Искомая аналитическая зависимость имеет вид:

$$E = 6943,1589 C^{1,4863314} \quad (2)$$

Для определения коэффициента массоотдачи необходимо располагать данными о концентрации сероводорода в подвижной и неподвижной газовых фазах, а также в жидкой фазе перед началом продувки.

Концентрация сероводорода в жидкой фазе определяется хроматографически. После установления равновесия между жидкой и газовой фазами проба жидкости вводится в дозатор-испаритель, нагретый до 473 K . При этом происходит быстрое испарение пробы и паровая фаза разделяется на колонке, набитой «Полисорбом-1». Концентрация сероводорода в жидкой фазе определяется по формуле (2).

Экспериментальные данные о концентрации сероводорода в газовой фазе также получены с помощью хроматографа путем продувки петли дозатора анализируемой смесью. Концентрация сероводорода в

газовой фазе определяется исходя из величины сигнала E по формуле (2).

Нами было исследовано влияние скорости продувки на величину массообмена при установившемся режиме. Серию экспериментов проводили для различных концентраций сероводорода в жидкости по мере убывания. Концентрации H_2S в продуваемом газе для установившегося режима $T = 297\text{ K}$, $P = 101 \cdot 3\text{ КПа}$, $C_{ж} = 6,89\text{ мг/л}$, приведены ниже.

C_r , мг/л	V , см/с	β , см/с
$1,93 \cdot 10^{-3}$	5,9	$9,12 \cdot 10^{-4}$
$6,96 \cdot 10^{-4}$	—	$6,59 \cdot 10^{-4}$
$5,17 \cdot 10^{-4}$	26,5	$1,19 \cdot 10^{-3}$
$3,75 \cdot 10^{-4}$	43	$1,41 \cdot 10^{-3}$
$2,68 \cdot 10^{-4}$	69	$1,61 \cdot 10^{-3}$
$2,86 \cdot 10^{-4}$	180	$4,48 \cdot 10^{-3}$
$2,86 \cdot 10^{-4}$	360	$8,96 \cdot 10^{-3}$

Все величины определены экспериментально. Исключение составляет лишь коэффициент массоотдачи β , для определения которого использовали формулу

$$\beta = \frac{C_1 v S_1}{S_2 (C_{ж} - C_r)},$$

где C_r – концентрация сероводорода в газовой фазе, измеренная хроматографом, мг/л; v – скорость продувки, см/с; S_1 – площадь поперечного сечения шприца, см^2 ; S_2 – площадь поверхности десорбции сероводорода, см^2 ; $C_{ж}$ – концентрация сероводорода в жидкой фазе, мг/л.

Также исследовали влияние скорости продувки на концентрацию сероводорода в газовой фазе при различных концентрациях сероводорода в жидкой фазе для установившегося режима массообмена.

Из вышесказанного следует, что при невысоких концентрациях сероводорода в жидкой фазе (около 0,009 мг/л) достаточно небольшой скорости продувки (10 см/с), чтобы практически полностью удалить сероводород из газовой среды. Иная картина наблюдается в том случае, когда концентрация сероводорода в жидкой фазе равна 0,069 мг/л. Дальнейшее увеличение скорости продувки, начиная с определенного момента (при скорости, не превышающей 80-90 см/с), перестает влиять на концентрацию сероводорода в газовой фазе (рис.1).

На следующем этапе исследования рассматривалось влияние на концентрацию сероводорода в газовой фазе интенсивности перемешивания жидкости, содержащей сероводород. С этой целью было рассмотрено влияние обновляемости поверхности на концентрацию серо-

водорода в газовой фазе. Результаты зависимости концентрации сероводорода в газовой фазе от интенсивности перемешивания показаны на рис.2.

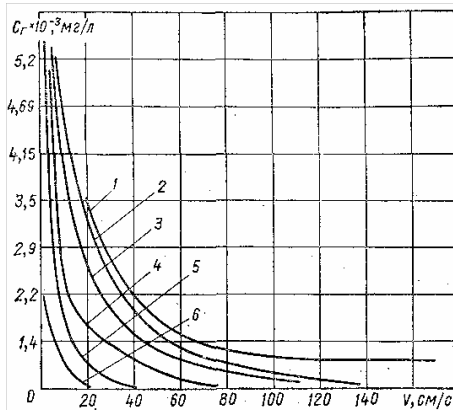


Рис.1 – Графики зависимости концентрации сероводорода в газовой фазе C_r от скорости продувки v для различных концентраций сероводорода в жидкой фазе:
1 – 0,069; 2 – 0,059; 3 – 0,039; 4 – 0,021; 5 – 0,014; 6 – 0,009.

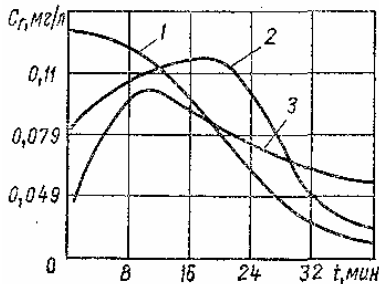


Рис.2 – Графики зависимости концентрации сероводорода в газовой фазе C_r от интенсивности перемешивания, t :
1, 2, 3 – соответствуют первому, второму и третьему способам перемешивания;
4 – перемешивание отсутствует.

Таким образом, исследуемый процесс массопереноса сероводорода в подсводовом пространстве характеризуется многопараметрической зависимостью от физико-химических и гидродинамических факторов. Однако это не позволяет использовать разработанный аппарат математического моделирования процесса массопереноса для прогнозирования выхода сероводорода в газовую фазу, выявления количественных характеристик, связывающих параметры переноса вещества.

Установление взаимосвязи между основными параметрами процесса, к которым, в первую очередь, относятся концентрации сероводорода в жидкой и газовой фазах, температура и давление среды нуждаются в проведении экспериментальных исследований. В данном случае задачу необходимо рассматривать в неравновесной постановке. Необходимо учитывать скорости диффузии на поверхности раздела фаз в зависимости от изменяющихся концентраций сероводорода в каждой из них.

Однако в первом приближении возможно использование подхода, условно называемого квазиравновесным, когда для описания нестационарного процесса применяются уравнения стационарного переноса с подстановкой мгновенных значений параметров, входящих в исследуемую зависимость в каждый момент времени. Применение этого приема позволяет оперировать достаточно простыми зависимостями, полученными для стационарных процессов, обеспечивающими необходимую для практики точность результатов при изучении процессов в динамике.

Вторым допущением является отнесение рассматриваемой системы к разряду идеальных и вытекающая отсюда возможность использования закона Генри для описания равновесных концентраций. Обоснованием этого допущения выступает факт низких концентраций сероводорода, невысоких температур (300 К) и отсутствие химической реакции между H_2O и H_2 .

Третьим допущением, основанным на результатах натурных испытаний, является то обстоятельство, что в процессе моделирования априори был принят турбулентный характер течения жидкости, приводящий к выравниванию концентраций сероводорода по высоте слоя. Кроме того, для газовой фазы принято, что динамику перераспределения сероводорода над поверхностью раздела «жидкость – газ», определяет не диффузионный, а молярный перенос, обусловленный движением воздуха.

Указанные допущения положены в основу методики экспериментального исследования.

При обработке результатов физического моделирования принята функциональная зависимость вида:

$$B = A w^n C_{ж}^m, \quad (3)$$

где w – скорость движения воздуха.

Логарифмируя выражение (3), приведем к линейной форме уравнения регрессии

$$\lg \beta = \lg A + n \lg w + m \lg C_{ж},$$

коэффициенты которого A , m и n находим методом последовательного приближения аргументов.

Из вышеприведенных данных следует, что в пределах каждой серии опытов коэффициент внутренней корреляции между аргументами w и $C_{ж}$ равен нулю, что позволяет построить графики уравнений парной регрессии

$$\lg \beta = \lg A + n \lg w \quad (4)$$

и определить величину $n = 0,8$.

Коэффициент $n = 0,8$ позволяет аппроксимировать опыты всех серий с достаточной степенью точности и характерно для турбулентного режима течения, что необходимо учитывать при математическом моделировании процесса массопереноса.

После преобразования уравнения (4) с учетом значения n , получим

$$\lg \beta - n \lg w = \lg A + m \lg C_{ж},$$

или

$$\lg (\beta/w^{0,8}) = \lg A + m \lg C_{ж}.$$

Парная регрессия новой функции $\lg(\beta/w^{0,8})$ от аргумента позволяет определить величины $m = 1,4$; $A = 3,31 \cdot 10^{-5}$.

Окончательный вид уравнения множественной регрессии

$$\beta = 3,31 \cdot 10^{-5} \cdot w^{0,8} \cdot C_{ж} \quad (5)$$

Анализ полученного соотношения (5) показывает, что взаимодействие газовой и жидкой фаз обусловлено турбулентным характером взаимодействия, о чем свидетельствует значение показателя степени в функциональной зависимости $\beta = f(w, C_{ж})$. Установленный факт можно трактовать следующим образом. В исследованном диапазоне режимных параметров на зеркале испарения формируются условия интенсивного массопереноса, которые определяются гидродинамикой приповерхностного слоя со стороны газовой фазы. Поэтому в дальнейшем необходимо проводить детальное изучение термодинамических и физико-химических аспектов процессов переноса в газовой фазе, а полученное соотношение следует рассматривать в качестве первого приближения для качественного анализа процессов массопереноса в жидкой и газовой фазах. Последнее позволяет, решив задачу массопереноса в сопряженной постановке, адекватно отражающей реально протекающие процессы, получить данные, необходимые для разработки эффективных методов защиты железобетонных коллекторов от сероводородной коррозии.

1. Абрамович И.А., Ситническая Э.А., Кораблев И.Г. Уберечь коллекторы от газовой коррозии // Городское хозяйство Украины. – 1984. – № 2. – С.9-12.

2. Абрамович И.А., Ситническая Э.А. Газовая среда и коррозия коллектора город-

ской канализации. – М.: ЦБНТИ, 1980. – 27 с.

3.Сідак В.С. Інноваційні технології в діагностиці та експлуатації систем газопостачання. – Харків: ХНАМГ, 2005. – 225 с.

4.Усык А.А. Моделирование процесса десорбции газа в подсводовое пространство канализационного коллектора // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.74. – К.: Техніка, 2007. – С.320-328.

5.Усык А.А., Деркач И.Л. Моделирование процесса выделения сероводорода в сточных водах // Водопостачання та водовідведення. – 2009. – №3. – С.22-28.

Получено 26.12.2009

УДК 621.658

П.Ю.НЕЧВОЛОД

Институт проблем машиностроения им. А.Н.Подгорного НАН Украины

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА КАК АЛЬТЕРНАТИВНОГО ВИДА ТОПЛИВА

Выполнен обзор проблем современной водородной энергетики. Рассматриваются различные технологии получения водорода из воды, горючих ископаемых, метанола и биоматериалов.

Виконано огляд проблем сучасної водневої енергетики. Розглядаються різноманітні технології отримання водню з води, паливних копалин, метанолу та біоматеріалу.

In this article the problems of the current hydrogen technologies are reviewed. Various technologies of obtaining hydrogen from water, combustible fossils, methanol and biological materials are considered.

Ключевые слова: водородные технологии, энергоносители, альтернативные виды топлив, двигатель внутреннего сгорания (ДВС), энергетические и экологические показатели.

Истощение мировых запасов природных ископаемых ведет к неизбежному росту цен на энергоносители и созданию кризисных ситуаций в экономике. Одной из ключевых проблем современной энергетики является эффективное использование альтернативных видов топлив из возобновляемого сырья.

Среди существующих альтернативных топлив для энергетических установок водород занимает особое место. Использование водорода как топлива для двигателей внутреннего сгорания (ДВС) датируется 40-ми годами прошлого века, впервые на водороде работали двигатели грузовых машин в блокаде Ленинграда.

Фундаментальные работы по разработке технологий получения, хранения и использования водорода как топлива для энергетических установок в СССР впервые были проведены учеными в ИПМаш НАН Украины им. А.Н.Подгорного.

Проблемными вопросами в использовании водорода как альтер-