

ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ЗА СОСТОЯНИЕМ СЕТЕЙ ВОДООТВЕДЕНИЯ

Донецкий национальный технический университет

В данном докладе рассматриваются основные принципы построения электронной системы контроля сетей водоотведения. Эта система предназначена для обследования сетей коллекторов диаметром от 0,2 до 2 м.

Ключевые слова: электронная система контроля, концентрация сероводорода, коллектор, газово – биогенная коррозия.

This report examines the main principles of electronic system of the sewerage control. This system is designed to examine the sewerage with a diameter from 0,2 up to 2 m.

Key words: electronic control system, the concentration of hydrogen sulfide, collector, gas - biogenic corrosion.

Изношенность сетей водоотведения в Донецкой области составляет 60-70%. В настоящее время не разработаны точные критерии, позволяющие оценить состояние канализационных сетей и потенциальных опасностей, связанных с разрушением их конструкций, в зависимости от характера и объема повреждений. В результате чего на сегодняшний момент являются актуальными задачи составления описания процессов, происходящих в коллекторах, как основы разработки систем, которые будут направлены на контроль разрушений сетей водоотведения.

На данный момент разрабатываются 2 методики осуществления контроля за состоянием сетей водоотведения: определение состояния коллектора по непосредственному измерению коррозии бетона [3], определение состояния коллектора по непосредственному измерению концентрации сероводорода.

Проанализируем эффективность указанных методик на основе математической модели процессов, происходящих в коллекторе.

Концентрация сероводорода в общем случае в коллекторе поперечного произвольного сечения описывается уравнением диффузии [1].

$$\frac{\partial u}{\partial t} = D * \nabla^2 * u - v * \frac{\partial u}{\partial t} \quad (1)$$

где $u(x,y,z,t)$ – концентрация молекул газа; D – коэффициент диффузии примесного газа в воздухе.

Одним из методов решения этого уравнения является разделение переменных

$$\frac{X''}{X} + \frac{Y''}{Y} + \frac{Z''}{Z} - \frac{v}{D} * \frac{Z'}{Z} = 0 \quad (2)$$

Граничные условия решения данного уравнения являются:

$$\frac{X''}{X} = -a^2; \frac{Y''}{Y} = -b^2; \frac{Z''}{Z} - \frac{v}{D} * \frac{Z'}{Z} = g^2; g^2 = a^2 + b^2 \quad (3)$$

Общее решение первого уравнения с учетом граничных условий:

$$X(0) = A = 0; X(a) = B * \sin(a * a) = 0; a * a = n * p; a = \frac{n * p}{a} \quad (4)$$

$$X(x) = B * \sin\left(\frac{n * p * x}{a}\right) \quad (5)$$

Аналогично для Y получаем

$$Y(y) = C * \sin\left(\frac{m * p * y}{b}\right) \quad (6)$$

Решение уравнения для Z

$$Z(z) = A * \exp(k * z) \quad (7)$$

В силу линейности уравнения диффузии линейная комбинация частных решений так же является решением уравнения. Тогда общий вид решения будет

$$u(x, y, z) = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} A_{n,m} * \exp(kz) * \sin\left(\frac{n * p * x}{a}\right) * \sin\left(\frac{m * p * y}{b}\right) \quad (8)$$

Коэффициента A подбираются таким образом, чтобы выполнялось начальное условие

$$u(x, y, 0) = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} A_{n,m} * \exp(kz) * \sin\left(\frac{n * p * x}{a}\right) * \sin\left(\frac{m * p * y}{b}\right) = 1 \quad (9)$$

Итак, получаем решение исходной задачи

$$u(x, y, z) = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} A_{n,m} * \exp(kz) * \sin\left(\frac{n * p * x}{a}\right) * \sin\left(\frac{m * p * y}{b}\right) \quad (10)$$

Приведем результаты на рис.1 анализа полученного решения – распределение относительной концентрации сероводорода по длине коллектора.

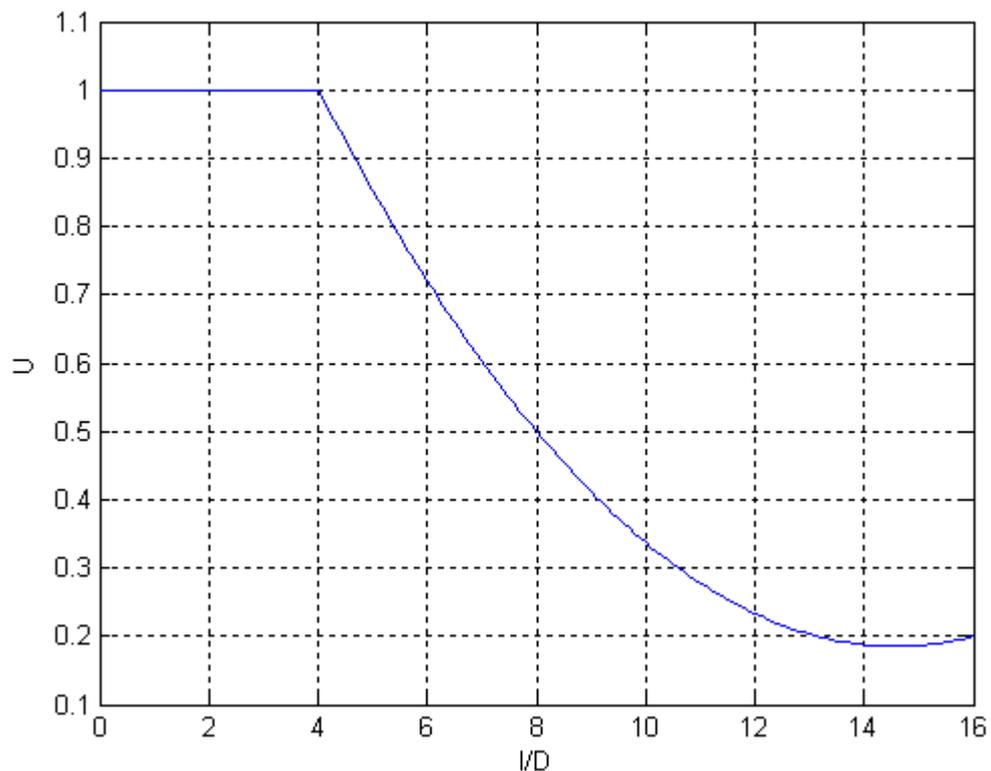


Рис 1 - Распределение относительной концентрации примесного газа (сероводорода) по длине коллектора (L/D – отношение длины коллектора к его гидравлическому диаметру)

Из графика видно, что концентрация сероводорода существенно изменяется по длине коллектора. Поэтому для определения концентрации сероводорода в каждой точке коллектора необходимо измерение концентрации сероводорода как минимум в 6 точках. Измерение концентрации сероводорода в подводном пространстве производится при наличии в коллекторе сточных вод. Учитывая, что длина участка коллектора от колодца до колодца составляет 120 м, а скорость движения сточных вод 2-3 м/с определяем время отклика датчика

$$T_{от} = \frac{120}{2 * 6} = 10 \text{сек}$$

сероводорода

Учитывая скорость движения сточных вод, получим, что для определения концентрации необходимо измерение концентрации сероводорода в 6 точках, значит время отклика датчика электронной системы должно быть 7-10 сек.

Существующие методы расчета воздухообмена в сетях канализации весьма приближенные и не учитывают изменение концентрации сероводорода в воздухе и жидкости по длине трубы. В связи с этим возникает необходимость построения модели десорбции газа в подводное пространство канализационного коллектора, как составной части модели объекта [2].

Модель разработана для стационарных условий, т.е. величины $C_L(x)$, $C_V(x)$, $W(x)$ не зависят от времени; предполагается также, что H не зависит от x (т.е. диаметр наполнения коллектора не изменяется по его длине). Тогда концентрация газа в жидкости и воздухе будет соответственно:

$$C_L(x) = -\frac{H * w(x)}{Q_L} \quad (11)$$

$$C_V(x) = -\frac{H * w(x)}{Q_V} \quad (12)$$

где x – расстояние вдоль коллектор, м; H – хорда свободной поверхности жидкости, м; Q_L – расход жидкости м³/с; $C_L(x)$, $C_V(x)$ – концентрация газа соответственно в жидкости и воздухе, кг/м³; $W(x)$ – удельный поток десорбции, кг / (м² / с)

$$W = K * (C_L - C_L^*) \quad (13)$$

K – коэффициент массопередачи; C_L^* – равновесная концентрация газа в жидкости, соответствующая концентрации C_V газа в воздухе.

Связь между C_V и C_L^* дается соотношением

$$C_L^* = \frac{C_V}{a} \quad (14)$$

где a – константа фазового равновесия.

Подставляя выражения (13), (14) в (11) и (12), получаем окончательно следующую систему уравнений для $C_L(x)$ и $C_V(x)$

$$C_L(x) = -\frac{Hk}{Q_L} * (C_L - \frac{C_V}{a}) = -A_L * (C_L - \frac{C_V}{a}) \quad (15)$$

$$C'_V(x) = -\frac{Hk}{Q_L} * (C_L - \frac{C_V}{a}) = -A_V * (C_L - \frac{C_V}{a}) \quad (16)$$

где $A_L = \frac{Hk}{Q_L}$; $A_V = \frac{Hk}{Q_V}$.

Наиболее интересным является случай, когда заданы начальные значения C_L и C_V / C_L^0 – начальная концентрация газа в воздухе.

Решая систему с этими начальными условиями стандартными методами, получаем:

$$C_L(x) = \frac{A_L * C_V^0 + A_V * C_L^0 + (a * C_L^0 - C_V^0) * A_L * e^{-(A_L + \frac{A_V}{a}) * x}}{a * A_L + A_V} \quad (17)$$

$$C_V(x) = \frac{a * (A_L * C_V^0 + A_V * C_L^0) - (a * C_L^0 - C_V^0) * A_L * e^{-(A_L + \frac{A_V}{a}) * x}}{a * A_L + A_V} \quad (18)$$

Уравнения (17) и (18) показывают, как изменяется концентрация газа в воздухе и жидкости по длине трубы.

Основным фактором (внутренним возбуждением), который влияет на разрушение сетей водоотведения является газово – биогенная коррозия. Стенки трубы обычно влажные и сероводород, приходя в соприкосновение с этими сырыми поверхностями, немедленно поднимается вверх. Затем под действием аэробной бактерии рода *Thiobacillus* сероводород превращается в серную кислоту, которая разрушает железобетонные конструкции:



Параметр, который характеризует степень воздействия коррозии на коллектор является скорость коррозии бетона.

Скорость коррозии можно описать в следующем виде [1]:

$$V = 0,073 * H_2S + 0,136 \quad (19)$$

По скорости коррозии была разработана методика прогнозирования срока службы сетей водоотведения.

$$T_{cl} = \frac{L}{V}, \quad (20)$$

где L – толщина стен коллектора, V – скорость коррозии бетона.

Модель не учитывает разрушение сетей водоотведения вследствие механических повреждений: прорастание корней деревьев, ненадлежащая укладка уплотнительных колец, механическое истирание. Данные разрушения носят эпизодический характер и предсказать их на практике или описать чрезвычайно сложно. Контроль механических повреждений коллекторов в системе будет производиться визуальным способом – путем визуализации обследования при помощи введения в систему видеокамеры.

На основании приведенных результатов приведем обобщенную структуру системы управления, которая представлена на рис 2.

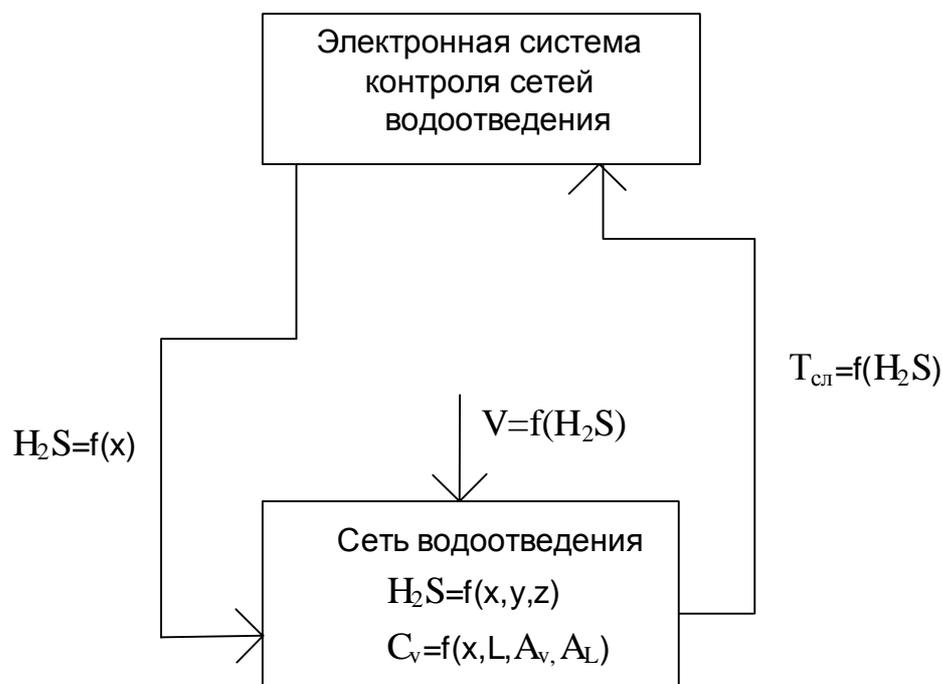


Рис 2 Структура системы управления

Анализируя полученную систему можно сделать вывод, что концентрация сероводорода является основным параметром как при описании коллектора, так и при описании газовой – биогенной коррозии. Непосредственное измерение коррозии бетона сопряжено с рядом технических трудностей и не дает полной информации о состоянии сети водоотведения.

Основным параметром контроля данной системы является концентрация сероводорода в диапазоне от 0 до 250 мг/м³, что позволит сделать систему универсальной.

Обобщенная структура разрабатываемого комплекса контроля имеет следующий вид

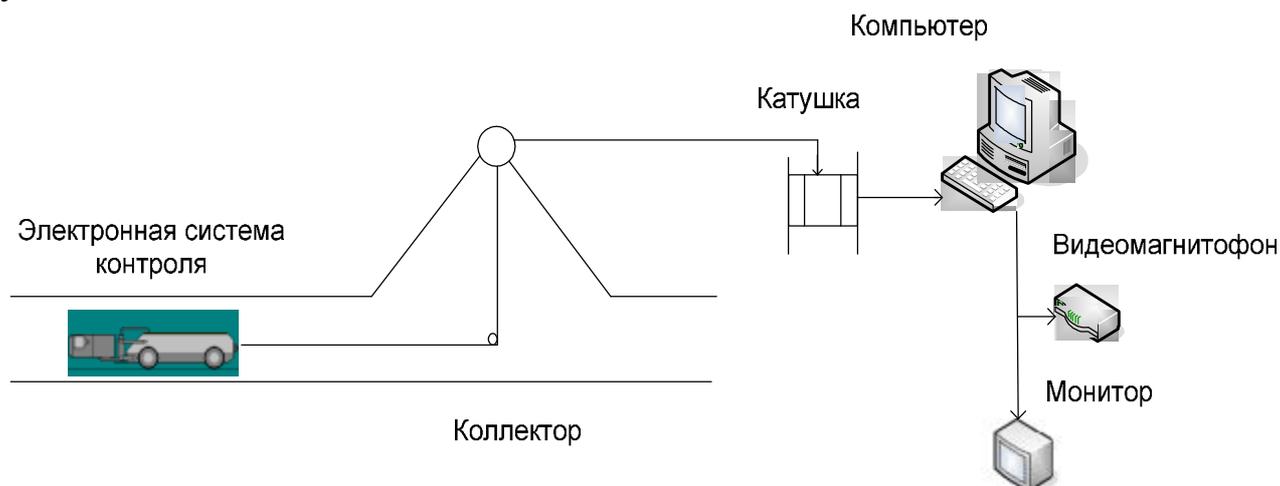


Рис 3 – Структурная схема комплекса контроля

Основу комплекса контроля составляет электронная система контроля, структурная схема которой представлена на рис 4.

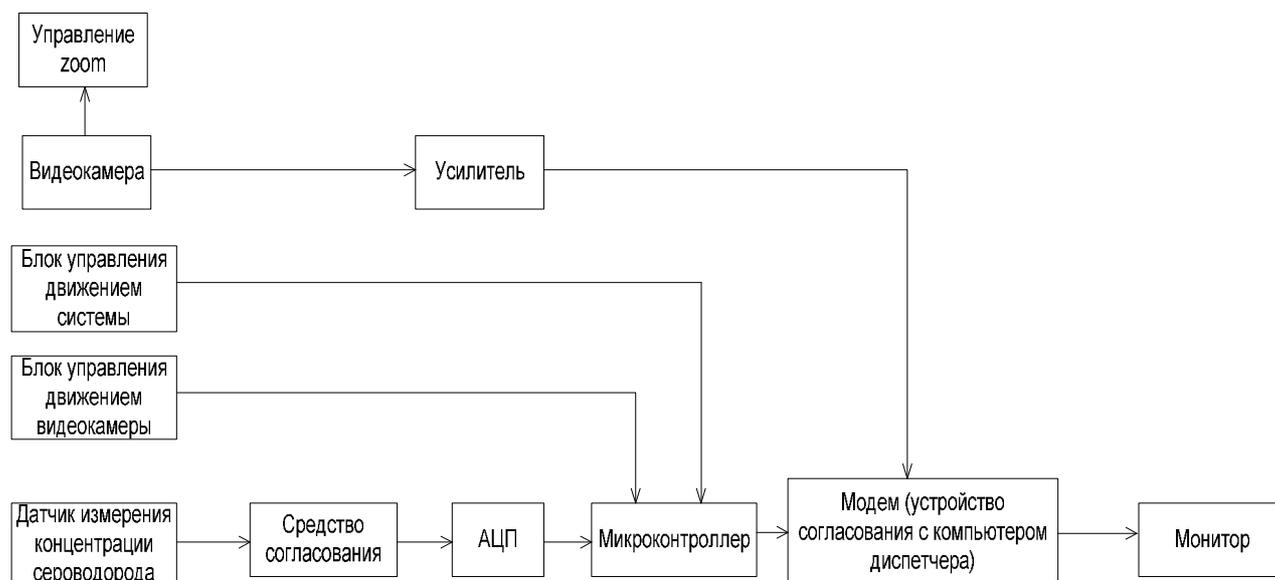


Рис 4 - Структурная схема электронной системы

Измерение концентрации сероводорода предполагается осуществлять с помощью электрохимических датчиков с твердотельными сенсорами. В сенсорах сероводорода в качестве рабочих электродов используется сульфид свинца и композиты на его основе [4]. Зависимости начальной скорости релаксации (наклон релаксационных кривых) от концентрации сероводорода имеют линейный характер. Следовательно, с помощью данных датчиков можно определить концентрацию сероводорода в первые секунды после ее изменения.

Сведения о разрушениях внутренней поверхности коллектора диспетчер получает благодаря процессу визуализации. Для данных целей в устройство вводится камера с функциями управления фокусом и zoom, с углом вращения в полярной системе координат. Управление углом вращения видеокамеры будет осуществляться при помощи подачи управляющих импульсов с микропроцессорного блока управления. Процесс постоянно будет визуализироваться и записываться на видеомагнитофон для дальнейшего анализа. При передаче сигнала уровень составляет 0,2 В. Для подачи этого сигнала на микроконтроллер его требуется усилить в 5 раз, для чего используется усилитель.

Устройство обследования непосредственно опускается в коллектор. Передвижение устройства по внутренней поверхности коллектора предусматривается наличием 4 движителей, соединенных механически между собой. Двигатель, расположенный над передним колесом будет осуществлять движение устройства. Двигатель состоит из двух обмоток, включая попеременно которые можно задавать направление движения устройства по поверхности коллектора. При измерении концентрации сероводорода устройство обследования располагается на плоту.

Применение данной электронной системы позволит определить наиболее подверженные разрушению участки коллектора. Это позволит проводить флюатирование – ремонт коллектора – не всей части системы отведения, а лишь отдельного участка коллектора, так как процесс флюатирования достаточно дорогой. Определение концентрации сероводорода по всей длине участка

необходимо для проведения безопасных ремонтных работ, так как смертность при ремонте сетей водоотведения в Донецкой области составляет 12 человек в год.

Отличительной особенностью разрабатываемой системы от предыдущих аналогов является полная автоматизация работы. Контроль за обследованием контролируется как микропроцессорным блоком самой системы, так и компьютером диспетчера. Большое внимание уделено мобильности комплекса, все части комплекса могут быть размещены в автомашине, что дает значительные преимущества при обследовании городских сетей водоотведения.

Литература

1. Дрозд Г.Я. Підвищення експлуатаційної довговічності та екологічної безпеки каналізаційних мереж: Автореф. дис. док-ра техн. наук.- Макіївка, 1998
2. Усык А.А. Моделирование процесса десорбции газа в подсводовое пространство канализационного коллектора. Коммунальное хозяйство (74) 2007
3. Коринько И.В., Пилиграмм С.С., Коваленко А.Н., Юрченко В.А. Разработка и апробация комплексной неразрушающей диагностики эксплуатационной надежности и экологической безопасности систем водоотведения. Коммунальное хозяйство городов (74) 2007
4. Левченко А, Леонова Л, Добровольский Ю – Твердотельные электрохимические сенсоры активных газов – Электроника: Наука, Технология, Бизнес 1/2008
5. Дрозд Г.Я. Маслак В.Н. Канализационные трубопроводы: надежность, диагностика, санация-Донецк: ИЭП НАН Украины, 2004-260с