

*д.т.н. Дрозд Г.Я.,
к.т.н. Хвортова М.Ю.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ДРЕНАЖНО - КОММУНИКАЦИОННОГО ТОННЕЛЯ В УСЛОВИЯХ БИОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Наведені методики розрахунку ступеня агресивності газово-біогенного експлуатаційного середовища і прогнозування зон корозійного враження в каналізаційних каналах на прикладі дренажно-комунікаційного тунелю м. Ашгабат.

***Ключові слова:** корозія, каналізаційний колектор, комунікаційний тунель, агресивне середовище, бетон, методика розрахунку.*

Приведены методики расчета степени агрессивности газово-биоогенной эксплуатационной среды и прогнозирования зон коррозионного поражения в канализационных каналах на примере дренажно-коммуникационного тоннеля г. Ашгабат.

***Ключевые слова:** коррозия, канализационный коллектор, коммуникационный тоннель, агрессивная среда, бетон, методика расчета.*

Актуальность проблемы. Долговечность канализационных коллекторов зависит от степени агрессивности эксплуатационной среды. Оценка агрессивности среды на стадии проектирования является весьма проблематичной. В соответствии с ДСТУ Б В.2.6 – 145:2010 ее принимают «по аналогии (по опыту эксплуатации), либо рассчитывают по составу сточных вод и конструктивным характеристикам коллектора» [1]. Спецификой эксплуатационной среды канализационных сооружений является биологически активная среда, степень агрессивности которой зависит от химических показателей сточной воды и гидравлических параметров трубопроводов, обусловленных их конструкцией.

Анализ исследований и публикаций. Закономерности биообразования сероводорода исследованы в работе [2], а изучение влияния гидравлики потока воды на его дегазацию и влияние вентиляции подсводового пространства на агрессивность газовой фазы с рекомендациями по защите бетона приведены в работах [3-5]. На основании данных публикаций разработана и апробирована на ряде объектов методика оценки агрессивности эксплуатационной среды с учетом биоло-

гического фактора коррозии и конструктивных особенностей канализационных коллекторов.

Постановка проблемы. В рамках международного сотрудничества между Украиной и Туркменистаном Киевским «УкрНИИ водоканалпроектом» был разработан проект дренажно-коммуникационного тоннеля для г.Ашгабата. Проектировщиками перед нами была поставлена задача на стадии проектирования оценить степень агрессивности среды с указанием зон обязательной антикоррозионной защиты сооружения. Сооружение уникально по своему функциональному назначению, размерам и условиям эксплуатации. Протяженность тоннеля 18 км, поперечные сечения 3 и 5.4м, способ строительства - щитовая проходка, средняя глубина заложения 17 м в условиях водонасыщенных грунтов при избыточном давлении 1.5 атм в зоне сейсмичности 9.5 баллов по шкале Рихтера. Тоннель проходной, со спецканалами для пропуска дренажных вод, канализационных городских стоков, водопровода, электрических и кабельных сетей (рисунки 1-3).

Цель работы - на примере проектируемого дренажно-коммуникационного тоннеля г. Ашгабата показать применение методик прогнозирования агрессивности эксплуатационной газовой среды и обоснования защитных антикоррозионных мероприятий с обеспечением безопасной эксплуатации сооружения в условиях биологического воздействия.

Необходимость прогнозирования агрессивности среды и защита каналов от коррозии на потенциально опасных участках вызвана тем, что существующие отечественные нормативные документы (в частности, СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения», СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии» и ДСТУ Б В.2.6 – 145:2010. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії.) не регламентируют защиту от коррозии сооружений данного вида. Однако опыт эксплуатации и последние исследования в области долговечности канализационных коллекторов свидетельствуют, что самым мощным агрессивным фактором разрушения канализационных сетей является биологический [1].

Биологический фактор коррозии канализационных трубопровода состоит из трёх связанных между собой этапов, где ведущая роль в двух из них принадлежит микроорганизмам цикла серы, т.е. :

- образование и накопление в водной среде биогенных газов (H_2S , CO_2 , NH_3 и пр.), состав и концентрация которых зависят от исходного содержания в воде органических и серосодержащих веществ и физических условий среды - окислительно-восстановительного потенциала, кислорода, температуры и времени;

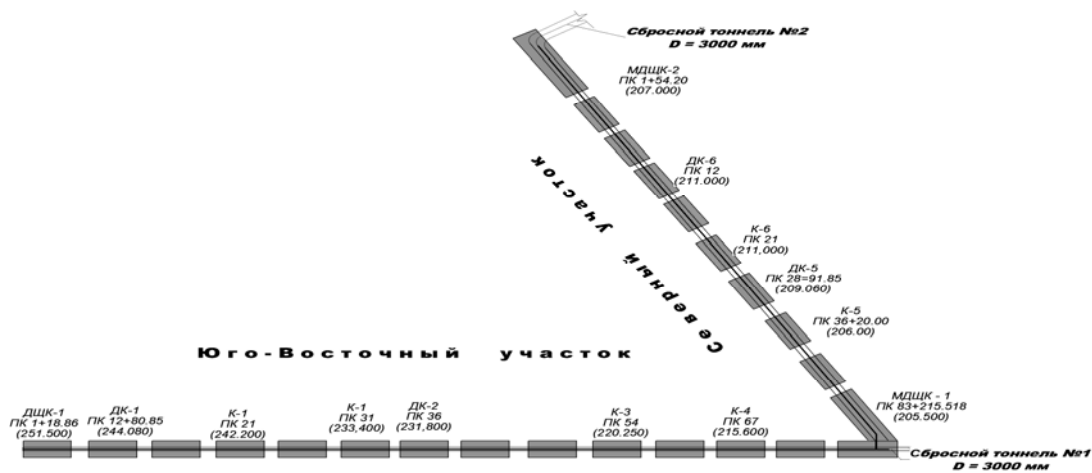


Рисунок 1 – Принципиальная схема дренажно-канализационного тоннеля

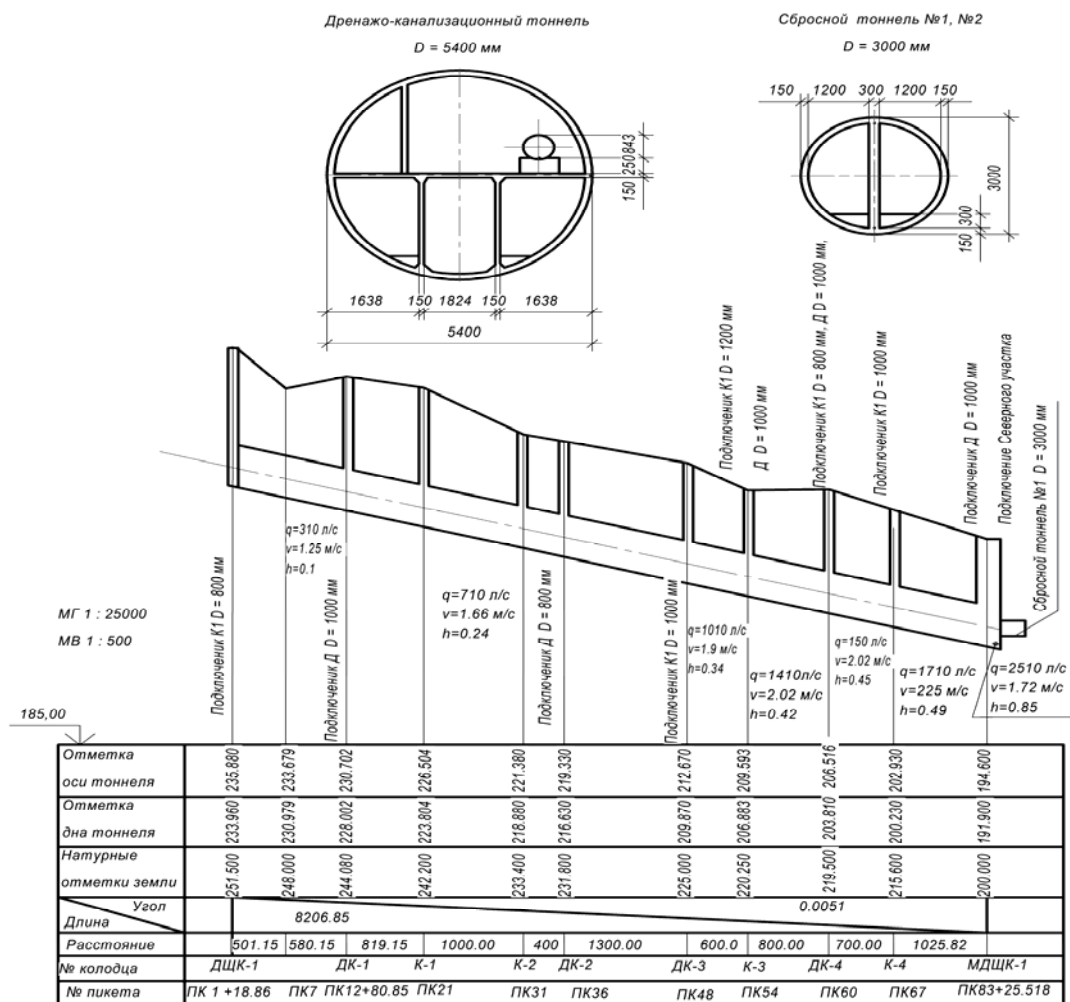


Рисунок 2 – Поперечные сечения и продольный профиль одного из участков тоннеля

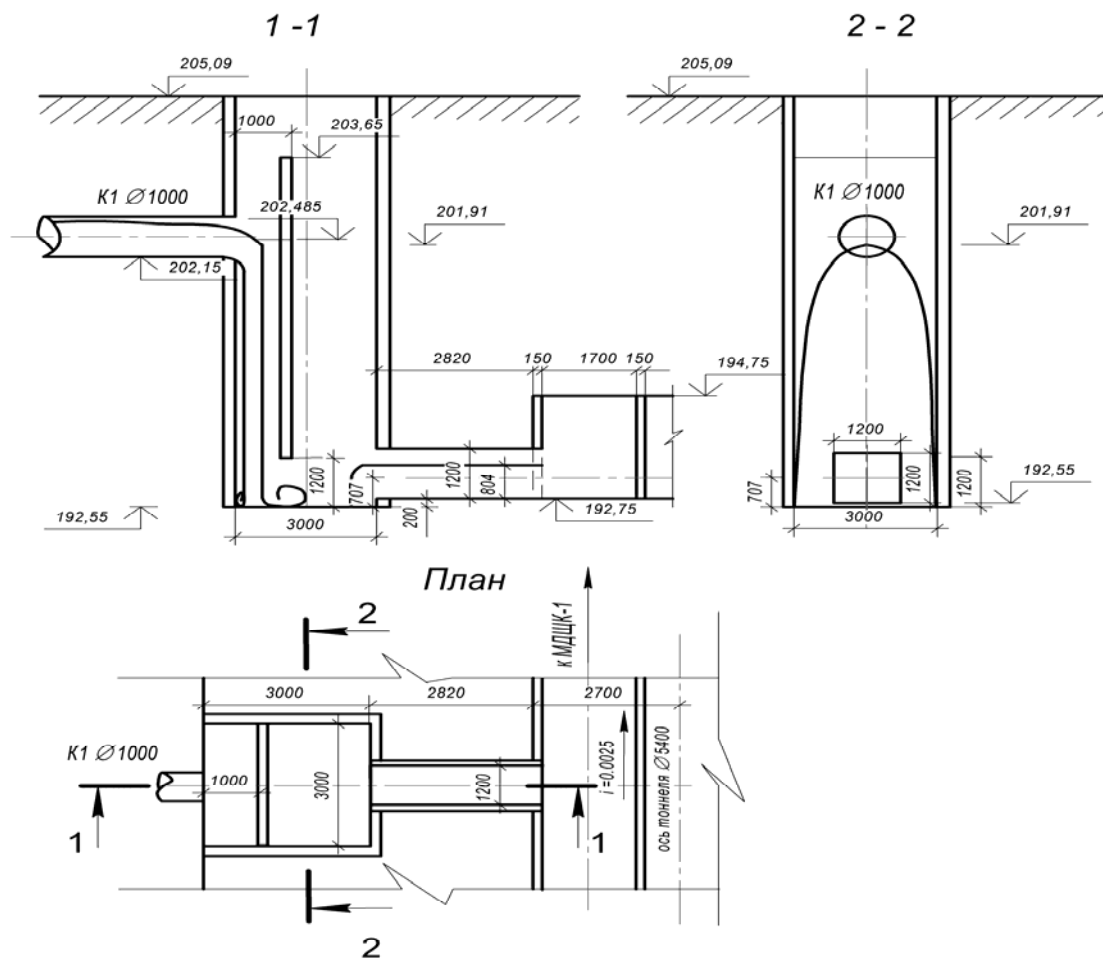


Схема водобойного колодца 3000 x 3000

Рисунок 3 – Схема перепадной камеры с водобойным устройством

- выделение из воды газов, зависящее от наличия и площади свободной поверхности жидкости, температуры и турбулентности водного потока;

- биоокисление газа и взаимодействие кислых продуктов с поверхностью конструкций, зависящее от условий в месте контакта среды с конструкцией - влажности, температуры, окислительного потенциала, наличия кислорода и от свойств материала.

Наиболее опасным в коррозионном отношении является сероводород, окисляемый тионовыми бактериями в серную кислоту, разрушающую бетон в реальных условиях со скоростью до 40 мм/год.

Сложность выполняемой нами задачи заключалась в том, что степень агрессивности эксплуатационной газовой-биогенной воздушной среды и ее распределение по длине коллектора необходимо было определить на стадии проектирования, без данных о качественном составе сформированного стока. Были использованы следующие исходные данные: химический состав сточных вод в подключаемых к тоннелю канализацион-

ных сетях, схемы подключения инженерных коммуникаций, продольный профиль дренажно-коммуникационного тоннеля, поперечные сечения каналов, схемы перепадных камер и водобойных устройств.

Изложение материала. Алгоритм расчетов состоял в следующем.

1. Определение образования сероводорода в сточной воде сульфатредуцирующими бактериями:

$$[H_2S] = 0,0142 \cdot T^{1,744} \cdot t^{2,878 \cdot T^{-0,444}} \cdot (SO_4^{2-} / \text{ХПК})^{-0,72} \quad (1)$$

2. Определение концентрации сероводорода в атмосфере перепадного колодца с водобойным устройством для самого неблагоприятного случая (максимального перепада высот между подводящим коллектором и дном колодца):

$$H_2S = 7 \cdot T^{0,034} \cdot [H_2S]^{0,33 \cdot T^{0,327}} + [H_2S] \cdot 5,8 \cdot 10^{-3} \cdot (R_e \cdot 10^{-6})^{3,524}, \quad (2)$$

где $[H_2S]$ – концентрация сероводорода в воде, мг/л; H_2S – концентрация сероводорода в газовой фазе в месте изменения турбулентности потока, мг/м³; T – температура воды, °С; t – время пребывания в анаэробных условиях, мин.; SO_4^{2-} – концентрация сульфатов в воде, мг/л; ХПК – химическая потребность в кислороде, мгО₂/л; Re – число Рейнольдса. Расчетная максимальная концентрация сероводорода в газовой фазе составила 60 мг/м³.

3. Определение степени агрессивности эксплуатационной газовой среды по отношению к бетону в наиболее неблагоприятном месте в перепадной камере осуществляли по таблицам [3].

Таблица 1- Степень агрессивности сероводородной биогенной среды и защитные мероприятия к бетону

Концентрация H ₂ S в воздухе, мг/м ³	Скорость коррозии		Степень агрессивности среды	Защитные мероприятия
	мм/год	за 50 лет, см		
1 2	0.55 0.08	0.25 0.40	Слабая	Бетон нормальной плотности на сульфатостойком цементе
4 8	0.30 0.60	1.50 3.00	Средняя	Особо плотные бетоны с флюатированием поверхности конструкций
30 135 500	2.50 10.00 40.00	12.50 50.00 200.00	Сильная	Полимербетоны, защита полиэтиленовой или ПВХ футеровкой

Как следует из таблицы 1, степень агрессивности среды в перепадных камерах - сильная ($C_{H_2S}=60\text{мг/м}^3$), что обуславливает необходимость защиты их от коррозии.

4. Определение содержания сероводорода по длине канализационных каналов и протяженности зон распространения коррозионного поражения определяли в соответствии с зависимостями [3,4]:

$$\bar{u} = \exp \left[\frac{k \cdot D \cdot \bar{l}}{v \cdot d_r} \right] \quad (3)$$

$$\bar{l} = \frac{0,7 \cdot v \cdot d_r}{k \cdot D} \quad (4)$$

где \bar{u} - относительная средняя концентрация выделившегося газа по длине канала; $\bar{l} = z / d_r$ - относительная длина канала; d_r - гидравлический диаметр воздушной части канала; v - скорость газа в подводящем пространстве; k - коэффициент, зависящий от вида препятствия в коллекторе, вызывающего интенсификацию выделения газа.

При расчете изменения концентрации сероводорода в воздушной полости канализационных каналов было принято, что при каждом сливе стоков через водобойный колодец в канал происходит выделение сероводорода до концентрации 60 мг/м^3 , а спокойное течение жидкости в канале сопровождается постепенным растворением сероводорода в жидкости и, соответственно, уменьшением его концентрации в воздушной полости.

Исходя из геометрических, планировочных и эксплуатационных характеристик канализационной системы были проделаны следующие расчеты:

а) определены в виде таблиц такие характеристики проточной системы части каналов, как площадь сечения занятого жидкостью, площадь сечения занятого воздухом, периметр сечения занятого жидкостью, периметр сечения занятого воздухом, гидравлический радиус сечения, занятого жидкостью, гидравлический радиус сечения, занятого воздухом в зависимости от степени заполнения канала жидкостью;

б) на каждом участке канала с неизменным расходом жидкости методом последовательных приближений при помощи выше названных таблиц рассчитаны скорости, площади, гидравлические радиусы потока жидкости, а также аналогичные параметры для воздушной части канала;

в) на каждом участке канала с неизменным расходом жидкости выполнен расчет процессов диффузии сероводорода в жидкость и уменьшение его концентрации в воздушной полости;

г) специальные защитные мероприятия против коррозии рекомендовано выполнять для участков канала, где степень агрессивности переходит с «средней» в «сильную», т.е. при $C_{H_2S} > ПДК = 10 \text{ мг/м}^3$ (таблица 1).

Пример расчета приведен в таблице 2 и рисунке 4.

Таблица 2 - Расчет исходных данных для определения диффузии сероводорода

Обозначение участка	Подключение расхода, л/с	Длина участка, м	Отметка уровня начала участка, м	Отметка уровня конца участка, м	Общий расход, л/с	Общая длина участка, м	Перепад уровня, м	Коэффициент шероховатости стенок канала	Скорость течения, м/с
К-5 – МДЦК-1	800	1261	197,7	194,6	800	1261	3,1	0,014	1,186

Площадь сечения м ²	Площадь сечения по табл. min м ²	Периметр, м	Гидравл. радиус min, м	Гидравл. радиус max, м	Гидравл. радиус сред., м	Показатель сепени, z	Скорость течения max, м/с	Скорость течения сред., м/с
0,674	0,625	3,419	0,1828	0,2033	0,1907	0,660	1,238	1,186

Гидравл. радиус min, м	Гидравл. радиус max, м	Гидравл. радиус сред., м	Расчет диффузии		Длина участка, м	U0 – начальная концентрация газа на участке в мг/м ³
			Показатель экспоненты	Расстояние до ПДК, м		ГрК – граничная концентрация
0,380	0,368	0,3751	-0,00462	388,0	1261	ПДК – предельная концентрация газа

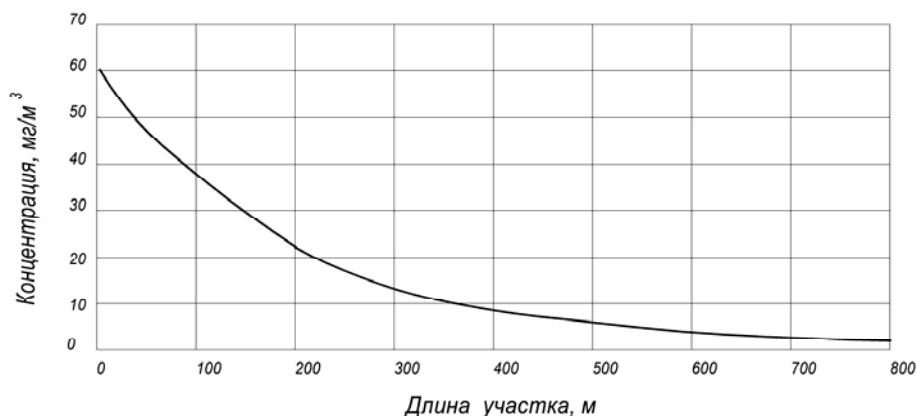


Рисунок 4 - Изменение концентрации сероводорода вдоль участка ДК-5-МДЦК-1

5. Расчет проветривания канализационных каналов проводился перед входом в них людей для выполнения ремонтных, или профилактических работ с целью снижения концентрации токсичных газов до уровня не выше предельно допустимого и поддержания в тоннеле воздуха необходимой чистоты во время выполнения работ. В проветриваемый участок прекращается доступ канализационных стоков, он отсекается от вышележащего и нижележащего участков, и через колодец на входе при помощи вентилятора нагнетается атмосферный воздух, который проходит по тоннелю и выходит через колодец в его конец, унося из тоннеля ядовитые газы. Задача расчета - определение времени проветривания при выбранном вентиляторе или подбор вентилятора при заданном времени проветривания. Расчет выполнен по методике, принятой для расчета количества воздуха, необходимого для проветривания рудников [5].

Расчет проветривания канализационных тоннелей ведут обычно по ряду требований.

По ядовитым газам расчет ведется из условия, что перед началом проветривания в тоннеле имеется определенное количество ядовитых газов, концентрацию которых необходимо уменьшить до предельно-допустимой.

Расчетная производительность вентилятора Q вычисляется по следующей формуле:

$$Q_1 = W \cdot 100 / (cT), \quad (5)$$

где W - «количество ядовитых газов в тоннеле перед проветриванием в m^3 ; c - допустимая концентрация ядовитого газа в %; T - время проветривания в мин; Q_1 - m^3 / мин.

$$Q_2=6N, \quad (6)$$

где N - наибольшее количество одновременно работающих людей,
 Q_2 – м³/мин.

“По людям” расчет ведется из условия обеспечения во время работы каждого работника 6-ю м³ чистого воздуха в минуту.

$$Q_3=q \cdot 100/(c \cdot 24 \cdot 60), \quad (7)$$

где q - количество выделяющегося или образующегося ядовитого газа в течении суток; Q_3 - м³ /мин.

По остаточному выделению ядовитых газов после опорожнения тоннеля расчет ведется из условия разжижения ядовитых газов до допустимых концентраций.

Расчет по минимальной и максимальной скорости движения воздуха в тоннеле величина начального содержания ядовитых газов W в тоннеле определена правилами безопасности для шахт; оговариваются минимальная 0.5 м/с и максимальная 4 м/с скорость движения воздуха по выработкам, которые, очевидно, могут быть приняты и для канализационных тоннелей исходя из наилучшего варианта. Расчеты сведены в таблицу 3.

На момент начала проветривания концентрация по всему участку тоннеля

$$W=U_0 \cdot S \cdot L / (106 \cdot P_{\Gamma}), \quad (8)$$

где S - площадь поперечного сечения тоннеля в м²; L - длина тоннеля в м; P_{Γ} - плотность ядовитого газа; W – м³. Принята равной максимальной $U_0=60$ мг/м .

При расчете принят вентилятор марки СВМ6М, его параметры приведены в таблице в исходных данных.

Исходя из того, что срок безопасной работы канализационных коллекторов при их абсолютной незащищенности от агрессивного воздействия эксплуатационной газовой-биогенной среды составляет в среднем 10.5 лет, представляется, что рекомендованная методика учета биологического фактора коррозии и, соответственно, защиты от него, существенно повысит эксплуатационную надежность и долговечность такого вида сооружений.

Таблица 3 – Расчет проветривания канализационных коллекторов

Тоннель	Обозначение участка	Длина участка, м	Площадь сечения, м ²	Показатель экспоненты	Начальная концентрация газа, мг/м ³	Количество газа в тоннеле, кг	Объем газа, м ³	Время работы вентилятора, час	Скорость воздуха, м/сек	Гидравлический радиус, м	Число Рейнольдса	Относительное число Рейнольдса	Коэффициент трения	Гидравлические потери, мм в ст
Сбросной тоннель	МДЦК-1ПК31	1051.22	2.441	-0.00725	60	0.1540	0.1100	0.778	2.253	0.373	112058	1352	0.023	10.8
	ПК31-ДЦК-1	2812	2.441	-0.0085	60	0.4118	0.2942	2.080	2.253	0.373	112058	1352	0.023	28.9
	ДЦК-1-К1	1981.15	2.88	-0.00425	60	0.3423	0.2445	1.729	1.910	0.4175	106308	1146	0.022	12.6
	К-1-ДК-3	2700	2.88	-0.00441	60	0.4666	0.3333	2.356	1.910	0.4175	106308	1146	0.022	17.2
Юго-Восток	ДК-3-К-3	600	2.88	-0.00455	60	0.1037	0.0741	0.524	1.910	0.4175	106308	1146	0.022	3.8
	К-3 –ДК-4	600	2.88	-0.00475	60	0.1037	0.0741	0.524	1.910	0.4175	106308	1146	0.022	3.8
	ДК-4 –К-4	700	2.88	-0.0048	60	0.1210	0.0864	0.611	1.910	0.4175	106308	1146	0.022	4.5
	К-4-МДЦК-1	1625.52	2.88	-0.00491	60	0.2809	0.2006	1.419	1.910	0.4175	106308	1146	0.022	10.4
Северный	К-5-МДЦК-1	1261	2.88	-0.00462	60	0.2179	0.1556	1.101	1.910	0.4175	106308	1146	0.022	8.0
	ДК-5-К-6	781.85	2.88	-0.00447	60	0.1351	0.0965	0.682	1.910	0.4175	106308	1146	0.022	5.0
	К-6-ДК-6	900	2.88	-0.00473	60	0.1555	0.1111	0.785	1.910	0.4175	106308	1146	0.022	5.7
	ДК-6-МДЦК-2	1045.8	2.88	-0.00527	60	0.1807	0.1291	0.913	1.910	0.4175	106308	1146	0.022	6.7

Выводы

1. Обеспечение долговечности и экологической безопасности канализационных тоннелей может быть осуществлено еще на стадии проектирования путем учета всех неблагоприятных факторов, в том числе биологического.

2. Биологический фактор определяет коррозионные и санитарно-токсикологические свойства эксплуатационной газовой среды и зависит от химического состава сточных вод и конструктивных особенностей трубопроводного сооружения.

3. Степень агрессивности и токсичности газовой среды канализационных каналов может быть спрогнозирована при комплексном рассмотрении микробиологических процессов образования продуктов жизнедеятельности микроорганизмов и при решении прикладных задач гидро- и газодинамики.

Библиографический список

1. ДСТУ Б В.2.6 – 145:2010. *Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Загальні технічні вимоги:изд.офиц.-Взамен ГОСТ 31384:2008; NEQ; введ.в действие 01.01.2011.- Київ: Міненергобуд України, 2010. -52 с.*

2. Дрозд Г.Я., Антипова Т.И. *Приближенная оценка агрессивности сточных вод с точки зрения развития биогенной коррозии бетона самотечных канализационных коллекторов / Г.Я. Дрозд, Т.И. Антипова // Инженерные решения экологических проблем Донбасса: сб. ст./ сост. В.А. Маслак. - Киев, 1992. - С. 55-64.*

3. Дрозд Г.Я. *Повышение эксплуатационной долговечности и экологической безопасности канализационных сетей: автореф. дис....д.т.н: захищена 31.01.98 : утв.27.11.99/ Дрозд Геннадий Яковлевич ; Донбасская гос. акад. строительства и архитектуры.— Макеевка, 1998. – 33 с.*

4. Дрозд Г.Я. *Вентиляция систем водоотведения / Г. Дрозд, Я. Гусенцова. - Луганск: ЛНАУ, 2004. – 136 с.*

5. Юрченко В.А. *Образование экологически опасных газообразных соединений при транспортировании сточных вод канализационными сетями / В.А. Юрченко, А.Н. Коваленко // Коммунальное хозяйство городов. – 2007. - № 74. – С. 68-73.*

6. Килькеев Ш.Х. *Расчёт количества воздуха необходимого для проветривания рудников / Ш.Х. Килькеев . – Ленинград: ЛГИ, 1974 . - 399 с.*

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Заблудским Н.Н.