

Список литературы

1. Громыко Н.В. Применение подсолнечной лузги в качестве сорбента для очистки природных вод от ионов тяжелых металлов / Н.В. Громыко // Инновационная наука. – 2016. – №1. – С. 41–42.
2. Salmanaj.M. Bentazon and carbofuran adsorption onto date seed activated carbon: kinetics and equilibrium / J. M. Salmana, V. O. Njoku, B. H. Hameed // Chemical Engineering Journal. – 2011. – № 173. – Pp. 361–368.
3. Рахал З. Регулирование качества воды водоносных горизонтов городских районов Юго-Восточного Алжира / З.Рахал, Х. Чекима // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии : сборник статей 78-ой Всероссийской научно-технической конференции / под ред. М. В. Шувалова, А. А. Пищулева, А. К. Стрелкова. – Самара : Самарский государственный технический университет, 2021. – С. 626–630.
4. Danish M. Sorption of copper (II) and nickel (II) ions from aqueous solutions using calcium oxide activated date (Phoenix dactylifera) stone carbon: equilibrium, kinetic, and thermodynamic studies / M. Danish, R. Hashim, M. N. Mohamad Ibrahim, M. Rafatullah, O. Sulaiman, T. Ahmad, et al. // Journal of Chemical & Engineering Data. – 2011. – № 56. – Pp. 3607–3619.
5. Issabayeva G. Removal of copper and zinc ions onto biomodified palm shell activated carbon / G. Issabayeva, M. Kheireddine Aroua // World Academy of Science, Engineering and Technology. – 2011. – № 76. – Pp. 259–262.
6. Volesky B. Biosorption of Heavy Metals / B. Volesky, Z. Holan. – Boston, USA : CRC Press, 1990. – 408 p.
7. Senoussi A. Le palmier dattier dans le pays de Ouargla: éternelle culture et des perspectives de développement inouïes. In Journée d'étude sur la culture de palmier dattier / A. Senoussi. – Laghouat (Algeria): Université de Laghouat, 2000.
8. Rich G. Hazardous Waste Treatment Technology / G. Rich, K. Cherry. – Northbrook, IL : Pudvan Publishing Co., 1987. 182 p.
9. Baran A. Comparative studies on the adsorption of Cr(VI) ions on to various sorbents / A. Baran, E. Biçak, S.H. Baysal, S. Önal // Bioresource Technology. – 2006. – № 98. – Pp. 661–665.
10. Inventaire des forages et enquête sur les débits extraits de la wilaya de Ouargla. – Ouargla: A.N.R.H, 2005.
11. Серпокрылов Н. С. Модификация рисовой соломы с целью получения сорбционного материала для очистки водных сред от ионов аммония / Н. С. Серпокрылов, В. Ю. Борисова, А. Халил, Н. В. Кондакова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2016. – № 4 (18). – С. 53–56.
12. Игнаткина Д. О. Экспериментальная оценка эффективности адсорбции многокомпонентных загрязнений с использованием органобентонитового сорбента / Д. О. Игнаткина, А. А. Войтюк, А. А. Геращенко, В. И. Салеева // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 4(34). – С. 28–33. – DOI 10.35108/isvp20204(34)28-33.
13. Toyoda M. Sorption and recovery of heavy oils by using exfoliated graphite Part I: Maximum sorption capacity / M. Toyoda, K. Moriya, J. I. Aizawa, et al. // Desalination. – 2000. – Vol. 128, no3. – Pp. 205–211. – DOI 10.1016/S0011-9164(00)00034-5.
14. Chalykh A. E. Water Sorption by Carbon Fibers / A. E. Chalykh, T. F. Petrova, Y. V. Antipov, et al. // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. – 2020. – Vol. 56, no1. – Pp. 20–29. – DOI 10.1134/S2070205120010049.
15. Water sorption on biological materials at low water activity. – Cortet, 2002. – EDN FTFQBD.

© Рахал Закариа, Чекима Хамза, А. С. Смоляниченко, **Н. С. Серпокрылов**

Ссылка для цитирования:

Рахал Закариа, Чекима Хамза, Смоляниченко А. С., **Серпокрылов Н. С.** Использование косточек фиников в качестве потенциального адсорбента для очистки подземных вод // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2022. № 4 (42). С. 26–29.

УДК 628.21

DOI 10.52684/2312-3702-2022-42-4-29-34

**ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА СТОЧНЫХ ВОД И ГАЗОВОЙ СРЕДЫ
В ВОЗДУШНОМ ПРОСТРАНСТВЕ САМОТЕЧНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

О. В. Мельник, В. А. Орлов

Мельник Ольга Валериевна, аспирант, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация, тел.: +7 (499) 183-54-56; e-mail: lissa6868@mail.ru;

Орлов Владимир Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация, тел.: +7 (499) 183-54-56; e-mail: orlov950@yandex.ru

Представлены результаты экспериментов по исследованию водно-воздушного режима работы одного из участков московских водоотводящих сетей, в частности, микробиологического анализа смывов с внутренней поверхности трубопроводов и характера выделяемых из сточной воды дурнопахнущих запахов, агрессивных газов. На базе использования современных сенсорных газоанализаторов (Сенсон-М) и другого оборудования отмечено, что в подводящем



пространстве трубопроводов газовая среда в большей степени представлена сероводородом, углеводородами, водородом и, в меньшей степени, метаном. Обнаруженные бактерии в большинстве случаев представляют микрофлору кишечника человека или же являются условно патогенными. Проведена корреляция между концентрациями агрессивных газов в подсводном воздушном пространстве трубопроводов и колодцев, а также установлена связь между минимальными и максимальными концентрациями газов в различные часы суток, соответствующие реальным расходам сточной воды транспортируемой воды по водоотводящим сетям в течение суток.

Ключевые слова: самотечные трубопроводы, сточные воды, микробиологический анализ, газоанализаторы, агрессивные газы, мониторинг.

STUDIES OF THE MICROBIOLOGICAL COMPOSITION OF WASTEWATER AND GAS ENVIRONMENT IN THE AIR SPACE OF GRAVITY PIPELINES

O. V. Melnik, V. A. Orlov

Melnik Olga Valeriyevna, post-graduate student, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation, phone: +7 (499) 183-54-56; e-mail: lissa6868@mail.ru;

Orlov Vladimir Aleksandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Water Supply and Sanitation, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation, phone: +7 (499) 183-54-56; e-mail: orlov950@yandex.ru

The results of experiments on the study of the water-air mode of operation of one of the sections of the Moscow drainage networks, in particular, the microbiological analysis of flushings from the inner surface of pipelines and the nature of foul-smelling odors and aggressive gases emitted from waste water, are presented. Based on the use of modern sensor gas analyzers (Senson-M) and other equipment, it was noted that in the underwater space of pipelines, the gaseous medium is mostly represented by hydrogen sulfide, hydrocarbons, hydrogen, and, to a lesser extent, methane. Most of the detected bacteria represent the human intestinal microflora or are opportunistic pathogens. A correlation has been made between the concentrations of aggressive gases in the underwater air space of pipelines and wells, and a relationship has been established between the minimum and maximum concentrations of gases at different hours of the day, corresponding to the actual flow rates of wastewater transported water through drainage networks during the day.

Keywords: gravity pipelines, wastewater, microbiological analysis, gas analyzers, aggressive gases, monitoring.

Введение

Вопросам изучения состава гидравлического режима течения жидкости в самотечных и напорных водоотводящих сетях, а также качественных характеристик сточных вод, провоцирующих появление дурнопахнущих и вредных для здоровья людей запахов? посвящено значительное количество публикаций [1, 2]. Неприятные запахи, проникая из систем водоотведения в атмосферу городов через люки смотровых колодцев, ухудшают качество жизни человека, поэтому проблема их фиксации, удаления или предотвращения появления имеет весомое социальное значение [3]. Обычно запах определяют при 20 и 60°C воды [4].

Параллельно с вопросами идентификации и нейтрализации газовых компонентов актуальными аспектами на сегодняшний день остаются проблемы, связанные с предотвращением появления агрессивных газов как основной причины микробиологической коррозии стенок трубопроводов [5, 6]. Присутствие газов в подсводном пространстве приводит к раннему выходу из строя трубопроводных сетей и оборудования [7, 8].

Система водоотведения городов является благоприятной средой из-за образования в ней таких соединений, как метан, сероводород, диоксид углерода, аммиак и многих других. Их наличие влечет за собой обрушения сооружений в результате взрыва газа в коллекторах, способствует возникновению парникового эффекта [9]. Сероводород присутствует как в атмосфере трубопроводов водоотводящей сети, так

и непосредственно в сточных водах в растворенном виде. Он обладает запахом «тухлых яиц», возникая только в анаэробных условиях вследствие биологических процессов, протекающих, как правило, в налете на стенках канализационных коллекторов [10].

В России получено определенное положительное решение проблемы запаха в атмосферном воздухе, проделана большая работа по измерению интенсивности запаха, его нормированию и контролю, оптимизации режимов работы водоотводящих сетей, но до сих пор эта проблема не решена на законодательном уровне [11, 12].

Предметом настоящих исследований явилось проведение комплексных экспериментов «воздух – вода», то есть определение степени загазованности воздуха на выборочном объекте (в канализационных колодцах) и изучение микробиологических показателей в пробах сточной воды, твердых смывов со стенок самотечного трубопровода в его подсводном пространстве и колодце.

Материалы и методы

Проведенные исследования необходимо охарактеризовать как экспериментально-аналитические, предметом которых можно считать комплексный анализ «водно-воздушного» режима работы водоотводящей сети и его потенциальное воздействие на организм человека посредством выявления негативных газовых компонентов. Стационарные экспериментальные исследования проводились в течение нескольких суток в соответствии с настроенным режимом работы

газоанализаторов, а разовые – в дневное время при наполнении 0,3 в трубопроводе условным проходом 800 мм. При существующем уклоне 0,002 это соответствовало расходу сточной воды 108,6 л/с и скорости 0,86 м/с.

Помимо основной задачи по выявлению степени загазованности дурнопахнущими газами и бактериальными показателями, в работу входили такие вопросы, как проверка работоспособности газочувствительных сенсоров и аппаратуры в целом в конкретных условиях объекта, установление корреляции между показаниями газоанализаторов и органолептическими ощущениями запахов из канализационного колодца, проверка возможности фиксации аварийных выбросов и их величины.

Для измерения загазованности воздушной среды в колодцах использовали четырехсенсорный газоанализатор, представленный на рисунке 1.

Условия работы сенсоров при проведении экспериментов: температура 0–30 °С; 100%-ная влажность с конденсацией влаги; постоянное присутствие сероводорода в концентрации до 300 мг/м³; ароматических соединений в концентрациях до десятков мг/м³.

При многосуточной стационарной установке газоанализаторов замеры проб воздуха производились в автоматическом режиме каждые пять минут в течение 120 ч. В задачи экспериментальных исследований входило обнаружение отдельных компонентов газовой смеси и корреляции между ними.



Рис. 1. Фрагменты газоанализатора, блока обработки данных и антенны для передачи данных при установке в колодце

Как известно, состояние микрофлоры окружающей человека воздушной среды городов является определяющим фактором для распространения передаваемых воздушно-капельным путем инфекций. Распространение инфекций, содержащихся в дурнопахнущих газах, наносит вред не только человеку, но и приводит к значительному экономическому ущербу.

В связи с этим возрастает значение детального микробиологического анализа дурнопахнущих газов. В отношении оценки микробиологических

показателей воздуха и воды задачи экспериментов сводились к определению штаммов микроорганизмов и их возможное влияние на организм человека. Анализы проводились параллельно двумя путями: посевом проб на среду Эндо и на МПА (мясопептонный агар).

Для определения загрязнений воздуха микроорганизмами использовался указанный метод, основанный на принципе ударно-пробивного действия воздушной струи с использованием прибора Кротова. В данном приборе струя воздуха приходит через узкую клиновидную щель и с большой скоростью ударяется о влажную поверхность питательной среды. В результате удара находящиеся в воздухе аэрозоли, в том числе содержащие бактерии, прибывают к поверхности электродных сред.

Результаты и дискуссии

За весь период проведения экспериментальных исследований по анализу проб воздуха в подвальном пространстве трубопроводов прослеживалось ритмичное изменение концентрации сероводорода в пределах 5–25 мг/м³ (при максимально допустимой концентрации в атмосфере городов 0,008 мг/м³), связанное с суточным колебанием расхода воды и концентрации загрязнений.

Отбор проб осуществлялся из верхней части колодца. Так как плотность сероводорода в 1,19 раз превышает плотность воздуха, то можно предположить, что непосредственно над поверхностью сточной воды концентрация H₂S будет выше, учитывая достаточно высокую растворимость сероводорода в воде (при 20 °С – 0,379 г / 100 г воды).

Установлено также, что в течение суток наблюдалась корреляция между концентрациями сероводорода и водорода в воздушной среде при практически полном отсутствии метана (рис. 2).

Наибольший интерес представляли сводные данные по эмиссии различных газов, в наибольшей степени иллюстрирующие наглядность колебаний их концентрации в пробах воздуха из колодцев в течение суток (рис. 3). На этих графиках прослеживается изменение концентрации газов в различные часы суток (от минимальных и максимальных), соответствующие реальным расходам транспортируемой воды, например, при минимальном расходе в четыре часа утра и максимальном расходе – в 14 ч по полудни.

Для подтверждения циклического изменения концентрации газов в течение длительного периода были сопоставлены результаты замеров концентрации газов, проведенные в течение двух недель, с величиной суточных расходов сточных вод, поступающих на канализационные очистные сооружения в тот же период. В частности, установлено, что концентрация всех газов имеет часовую и суточную периодичность, соответствующую неравномерности поступающих на очистные сооружения сточных вод: колебания концентраций газов в течение суток изменяются в диапазоне от

двух до трех раз, а диапазон колебаний расхода по часам суток составляет три – четыре раза при минимумах в утренние часы (8–9) и вечерние (16–18). Таким образом был сделан вывод, что циклические колебания концентрации газов увязываются с изменением расхода сточных вод, поступающих на очистные сооружения.

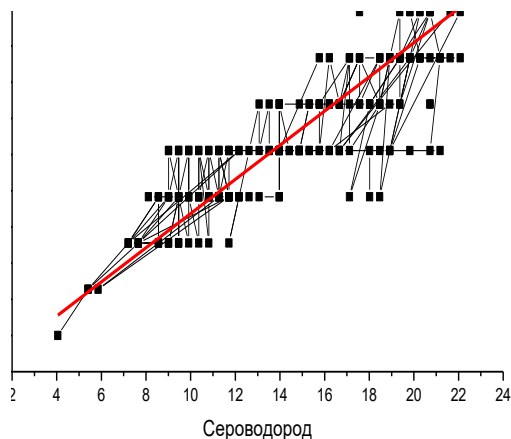


Рис. 2. Иллюстрация корреляции между сероводородом и водородом

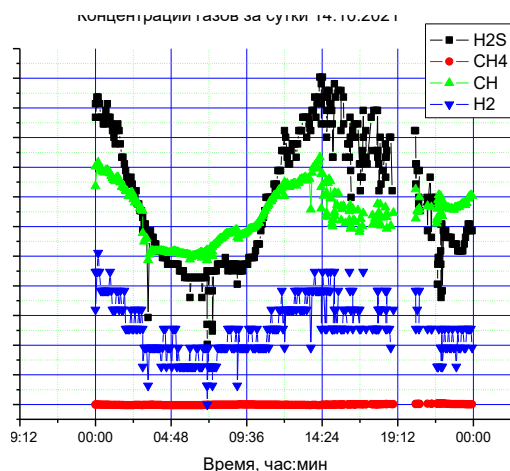


Рис. 3. Сведенные на единое поле графические зависимости, иллюстрирующие колебания концентрации различных газов

Параллельно с измерением концентраций газов с помощью газоанализаторов осуществлялись периодические замеры концентраций измеряемых веществ лабораторными методами. Анализы проводились на хроматографе. Различие между лабораторными измерениями и натурными замерами по сероводороду можно охарактеризовать как не принципиальные: разница составляла от 15 до 20 % в течение суток.

При микробиологическом исследовании воздуха, содержащегося в подводящем пространстве трубопровода, выделены следующие бактерии: *Leclerciaadecarboxylata*, *Escherichia vulneris*, *Escherichia coli*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus cereus*,

Bacillus megaterium, *Citrobacter gillenii*, *Streptococcus haemolyticus*.

В отношении качественного и количественного присутствия микроорганизмов в водной среде необходимо отметить наличие бактерий *Providencia stuartii*, *Proteus mirabilis*, *Escherichia coli*, *Citrobacter freundii*, а на смывах со стенок трубопровода – *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli*, *Aeromonas hydrophila*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas soleovorans*, *Staphylococcus epidermidis*, *Citrobacter freundii*, *Enterobacter cloacae*, *Bacillus subtilis*, *Streptococcus haemolyticus*.

Кроме того, в ходе микробиологических исследований сточной воды было определено, что общее количество бактерий (ОКБ) составило $4,4 \times 10^8$ КОЕ/мл, что свидетельствует о значительной загрязненности сточной воды. При этом бактерий рода *Salmonella* не выявлено, так как в противном случае они могли бы являться дополнительным источником образования сероводорода.

Обнаруженный род бактерий *Escherichia* включал типовой вид *E. coli*, что служит показателем свежего фекального загрязнения. Согласно результатам экспериментов количество бактерий на среде Эндо составило 9×10^2 КОЕ/м³ воздуха, а на среде МПА – $8,9 \times 10^2$ КОЕ/м³ воздуха, что свидетельствует о высокой степени исходности результатов. Протеолитическая активность (способность расщепления белка до пептидов и аминокислот) у *Escherichia* выражена слабо и не способствует образованию сероводорода.

В отношении условно-патогенных бактерий *Citrobacter freundii* можно отметить, что при адекватном функционировании иммунной системы они не опасны для здоровья и жизни человека. Аналогична интерпретация в отношении бактерии *Bacillus pumilus*, присутствие которой на МПА составило $8,9 \times 10^2$ КОЕ/м³ воздуха, что негативного воздействия на организм человека не оказывает.

Обнаруженные в пробах воздуха бактерии *Citrobacter gillenii*, являясь представителями условно-патогенной микрофлоры, могут даже в минимальных их количествах привести к цитробактериозу, то есть острому инфекционному заболеванию пищеварительной системы, что сопровождается выраженной интоксикацией и ее обезвоживанием).

По результатам опытов со смывами наиболее опасными микроорганизмами являются *Klebsiella pneumoniae*, которые могут вызывать различные инфекции, включая пневмонию, сепсис, инфекции мочевыводящих путей, бактериемии, менингит и абсцессы в печени.

Что касается бактерий *Pseudomonas soleovorans*, то они, относясь к одноуглеродным или C1-соединениям, способны являться источником углерода и энергии. К одноуглеродным веществам относятся метан (CH₄), метанол (CH₃OH), формальдегид (HCOH), формиат (HCOOH), метиламин (CH₃NH₂), хлорметан (CH₃Cl), цианид калия (KCN) и др.

Enterobacter cloacae, представляя собой вид грамотрицательных условно патогенных прямых палочковидных бактерий, может вызывать у человека кишечные, респираторные, урогенитальные гнойные заболевания.

В то же время обнаруженная в смывах *Bacillus subtilis* (сенная палочка) для организма человека безопасна, так как является антагонистом патогенных и условно-патогенных организмов таких, как сальмонелла, стафилококки и т.д., улучшая и регулируя здоровый метаболизм.

Заключение

1. В ходе проведения экспериментов по отбору проб воздуха с помощью газоанализаторов проведен анализ их информативности, позволяющей выявить плавную суточную цикличность изменения концентрации сероводорода и других газов, что совпадает с суточным графиком водоотведения.

2. По результатам исследования установлено, что циклическое изменение концентрации газов в течение суток может свидетельствовать о зависимости их эмиссии из сточной воды

в воздух в разные часы суток, скорости течения сточной воды в трубопроводе и попутном движении воды и газов.

3. Констатировано, что выявленные в результате проведения экспериментов видовые составы микроорганизмов в пробах сточной воды и воздуха замкнутых пространств канализационных колодцев и подсводных пространств безнапорных трубопроводов не могут оказывать влияния на здоровье людей при наличии герметичной системы транспортирования сточной воды по водоотводящим сетям.

4. Результатами исследований доказано, что некоторые виды микроорганизмов, присутствующие в замкнутом пространстве колодцев (например, *Bacillus cereus*, *Citrobacter freundii*, *Citrobacter gillenii* и другие), способны оказывать негативные последствия на человеческий организм и представлять угрозу здоровью обслуживающего персонала водоотводящих сетей при проведении им работы в колодцах без средств индивидуальной защиты дыхательных путей.

Список литературы

1. Кулаков А.А. Экологическая оценка комплекса «водный объект – выпуск очищенных сточных вод» / А. А. Кулаков // Водоснабжение и санитарная техника. – 2013. – № 5. – С. 25–30.
2. Примин О.Г. Методы повышения экологической безопасности трубопроводов канализационных сетей / О. Г. Примин, Е. И. Пупырев // Экология и промышленность в России. – 2013. – №3. – С. 13–17.
3. Храменков С.В. Методы предотвращения распространения неприятных запахов от сооружений канализации / С. В. Храменков, А. Н. Пахомов, Д. А. Данилович и др. // Водоснабжение и санитарная техника. – 2011. – № 11. – С. 25–30.
4. Майоров В.А. Запахи: их восприятие, воздействие, устранение / В. А. Майоров. – Москва : Мир, 2006. – 366 с.
5. Michael D. Municipal gravity sewers: An unrecognised source of nitrous oxide / D. Michael // Science of the Total Environment. – 2014. – № 468–469. – Pp. 211–218.
6. Кофман В.Я. Сероводород и метан в канализационных сетях / В. Я. Кофман // Водоснабжение и санитарная техника. – 2012. – № 11. – С. 72–78.
7. Васильев В.М. Места образования агрессивных газов в канализационной сети / В. М. Васильев, А. В. Малков // Водоснабжение и санитарная техника. – 2017. – №1. – С. 66–74.
8. Васильев В.М. Разрушение канализационных тоннелей и сооружений на них вследствие микробиологической коррозии / В. М. Васильев, Г. А. Панкова, Ю. В. Столбихин // Водоснабжение и санитарная техника. – 2013. – №9. – С. 55–61.
9. Волоник Г.И. Техническая эксплуатация коммунальных систем водоснабжения и водоотведения / Г. И. Волоник, Л. Д. Терехов, Е. В. Сошников, В. И. Стеблевский. – Хабаровск: Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 2008. – 195 с.
10. Kyooohong P. Mitigation strategies of hydrogen sulphide emission in sewer networks: a review / P. Kyooohong // International Biodeterioration & Biodegradation. – 2014. – Vol. 95. – Pp. 251–261.
11. Рублевская О.Н. Мероприятия по предотвращению распространения неприятных запахов на объектах ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» / О. Н. Рублевская // Водоснабжение и санитарная техника. – 2013. – №10. – С. 46–55.
12. Чупин Р.В. Оптимальная реконструкция канализационных сетей / Чупин Р. В., Нгуен Туан Ань // Водоснабжение и санитарная техника. – 2015. – № 2. – С. 16–19.
13. Кондакова Н. В. Оценка состояния воздуха рабочей зоны и выделяемых запахов в условиях крытых очистных сооружений / Н. В. Кондакова, А. А. Мозгунова, Ю. А. Гаврилина, Н. С. Серпокрылов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2019. – № 4 (30). – С. 13–16.
14. Орлов В.А. Образование и нейтрализация запахов в водоотводящих сетях как в важнейших артериях жизнеобеспечения / В. А. Орлов, Е. А. Королева, О. В. Мельник // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 4 (34). – С. 89–92.
15. Нетрусов А. И. Практикум по микробиологии: лаб. практикум / А. И. Нетрусов, М. А. Егорова, Л. М. Захарчук. – Москва: Академия, 2005. – 608 с.



Ссылка для цитирования:

Мельник О. В., Орлов В. А. Исследования микробиологического состава сточных вод и газовой среды в воздушном пространстве самотечных трубопроводов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2022. № 4 (42). С. 29–34.

УДК 691.322

DOI 10.52684/2312-3702-2022-42-4-34-39

ОЦЕНКА РИСКОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Л. Н. Лисиенкова, Л. С. Носова, И. Г. Рекус

Лисиенкова Любовь Николаевна, доктор технических наук, доцент кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация, тел.: +7-977-499-35-04; e-mail: lisienkovaln@mail.ru;

Носова Людмила Сергеевна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры информатики, информационных технологий и методики обучения информатике, Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет, г. Челябинск, Российская Федерация, тел.: +7(351)216-63-09; e-mail: nosovals@csru.ru;

Рекус Ирина Григорьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры инновационных материалов принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, г. Москва, Российская Федерация, тел.: +7-915-002-80-16; e-mail: irina.rekus@mail.ru

Исследован процесс проектирования состава бетонной смеси на основе риск-ориентированного подхода. Для обнаружения и расчета рисков использован экспертный метод. По результатам экспертного анализа проведен FMEA-анализ и установлены потенциальные риски на этапе проектирования бетонной смеси. В экспериментальной части рассчитаны количественные характеристики отказов (приоритетное число риска) с учетом их значимости по последствиям, вероятности возникновения и обнаружения. Установлены отказы, имеющие наибольшее приоритетное число риска на этапах определения расхода портландцемента, фракций мелкого заполнителя, водоцементного соотношения бетонной смеси, коэффициента качества крупного заполнителя. Полученные результаты используются при оптимизации состава бетонной смеси.

Ключевые слова: *риски, бетонные смеси, проектирование, FMEA-анализ, приоритетное число риска, портландцемент.*

RISK ASSESSMENT IN THE DESIGN OF CONCRETE MIXTURES

L. N. Lisiyenkova, L. S. Nosova, I. G. Rekus

Lisiyenkova Lyubov Nikolayevna, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor Department of Integrated Safety in Civil Engineering, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation, phone: +7-977)499-35-04; e-mail: lisienkovaln@mail.ru;

Nosova Lyudmila Sergeevna, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Informatics, Information Technologies and Methods of Teaching Informatics, South Ural State Humanitarian Pedagogical University, Chelyabinsk, Russian Federation, phone: +7(351)216-63-09; e-mail: nosovals@csru.ru;

Rekus Irina Grigoryevna, Candidate of Technical Science, Associate Professor of the Department of Innovative Materials for the Print Media Industry, Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation, phone: +7-915-002-80-16; e-mail: irina.rekus@mail.ru

This article is dedicated to the process of the concrete mixture composition design based on a risk-oriented approach. For risk detection and calculation, the expert-assessment method has been used. Based on the results of the expert-assessment method, an FMEA analysis has been carried out and potential risks have been identified at the design stage for the concrete mixture composition. In the experimental part, the quantitative characteristics of failures (the priority number of risk) have been calculated considering their significance in terms of consequences, the probability of occurrence and the probability of detection. As a result, failures that have the highest priority number of risk at the stages of determining the consumption of Portland cement, fractions of fine aggregate, water-cement ratio of the concrete mix, quality factor of coarse aggregate have been identified. The research results have been used to optimize the composition of the concrete mixture.

Keywords: *risks, concrete mixtures, design, FMEA analysis, risk priority number, Portland cement.*