

УДК 628.237

© А. М. Телятникова, аспирант  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет,  
Санкт-Петербург, Россия)  
E-mail: kononova.a.m@lan.spbgasu.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2022-19-2-120-128

© А. М. Telyatnikova, post-graduate student  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering,  
St. Petersburg, Russia)  
E-mail: kononova.a.m@lan.spbgasu.ru

## ДИФФУЗИЯ КАНАЛИЗАЦИОННОГО СЕРОВОДОРОДА В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ

### DIFFUSION OF SEWAGE HYDROGEN SULFIDE IN THE AIR

Рассмотрена проблема загрязнения атмосферного воздуха выбросами сероводорода от сооружений на сетях канализации и необходимость их учета в качестве источников воздействия. Оценена возможность применения различных методов математического моделирования для расчета рассеивания выбросов подобных сооружений как наземных источников малой производительности. В качестве натурального объекта выбрана камера гашения напора. Сравнение результатов моделирования Главной геофизической обсерватории, ОНД-86, гауссовской модели и конечно-элементного анализа в ANSYS CFX с результатами натуральных измерений показало наибольшую эффективность последнего метода.

*Ключевые слова:* сероводород, санитарно-экологическая безопасность, компьютерное моделирование, ANSYS CFX.

This article considers the problem of the atmospheric air pollution by hydrogen sulfide emissions from facilities at sewer networks and substantiates the necessity to take these emissions into account as sources of impact. The author assesses the possibility of using various mathematical modeling methods to calculate the dispersion of emissions from such structures as ground-based sources of small capacity. An energy dissipation chamber was selected as a full-scale object in the study. Comparison of the results of the simulation obtained at the Main Geophysical Observatory, OND-86, Gaussian model and finite-element analysis in ANSYS CFX with the results of in-situ measurements has shown the greatest efficiency of the latter method.

*Keywords:* hydrogen sulfide, sanitary and environmental safety, computer modeling, ANSYS CFX.

#### Введение

В настоящее время все большее внимание уделяется санитарно-экологическим аспектам хозяйственной деятельности человека. С целью защиты атмосферного воздуха в Российской Федерации под контролем находятся крупные техногенные объекты<sup>1,2</sup>: промышленные предприятия различного профиля, полигоны твердых бытовых отходов, канализационные очистные станции и др. Однако в городской черте присутствует, но никаким образом не регламентируется много других источников загрязнения ат-

мосферы<sup>3</sup>, имеющих меньшие масштабы и часто оказывающихся легкодоступными для контакта. Одним из таких источников являются сети и сооружения на сетях канализации. При транспортировке сточной жидкости в сети водоотведения образуется целый ряд газов, одним из которых является весьма опасный для живых организмов сероводород ( $H_2S$ ) [1]. Негативные последствия, которые могут наблюдаться после воздействия сероводорода в различных концентрациях на организм человека, представлены в табл. 1.

Специфический запах в городской черте является наиболее часто встречающимся последствием выбросов  $H_2S$ . Так, в результате монито-

<sup>1</sup> Приказ Минприроды России от 6.06.2017 № 273 «Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе». М., 2017. 81 с.

<sup>2</sup> Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух. СПб.: НИИ «Атмосфера», 2012. 224 с.

<sup>3</sup> Распоряжение Правительства Российской Федерации от 8.07.2015 № 1316-р «Перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды». URL: <https://base.garant.ru/71126758/> (дата обращения: 30.03.2022).

Таблица 1

**Влияние сероводорода в атмосферном воздухе на организм человека [1]**

Вид неблагоприятного воздействия	Концентрация	
	ppm	мг/м <sup>3</sup>
Порог ощущения запаха	0,0001–0,002	0,00014–0,0028
Резкий неприятный запах	0,5–30	0,71–42,4
Рефлекторные реакции (раздражение глаз, слизистых оболочек носа, горла)	10–50	14,1–70,7
Травма глаз и органов дыхания	50–300	70,7–424,2
Опасность для жизни	300–500	424,4–706,9
Мгновенная смерть	> 700	> 990

ринга на территории г. Санкт-Петербурга были выявлены следующие точки ощущения запаха от систем канализации: площадь Искусств (рядом с входом в Этнографический музей), ул. Жуковского д. 1, 4, 39, 53, Ковенский пер., наб. Обводного канала д. 118, Аптекарский пр. (рядом с Ботаническим садом) и др. Важно понимать, что данный вид воздействия не столь безобиден, как кажется, и существенно снижает качество жизни [2, 3]. Кроме того, согласно статистике [4, 5], концентрации вблизи сооружений канализации часто оказываются выше установленных для городской черты допустимых значений<sup>4</sup>. Таким образом, подтверждается необходимость учета влияния объектов системы канализации на окружающую среду при их эксплуатации.

К настоящему времени для описания распространения вредных выбросов в атмосферном воздухе и определения зоны воздействия имеется достаточно широкий ряд моделей. Однако часто они оказываются адаптированы под решение конкретных практических задач. Например, одной из наиболее известных является модель Главной геофизической обсерватории (ГГО) имени А. И. Воейкова [6, 7]. Она же лежит в основе инженерной методики, применяемой на практике для расчетов промышленных предприятий и объектов теплоэнергетики. В настоящее время данный комплекс уравнений отражен в Приказе Минприроды России от 06.06.2017 № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания

<sup>4</sup> Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 25.03.2022).

выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе». Однако наибольшую известность он имеет как ОНД-86<sup>5</sup>. Отметим, что ее применение для расчета наземных источников, таких как канализационная сеть, является весьма затруднительным, что связано с заданием стандартной минимальной высоты источника выброса  $H = 2$  м, учетом влияния фактора высоты на изменение температуры (температурная стратификация) и скорости ветра. Данные условия не позволяют корректно оценить процессы, происходящие в приземном слое атмосферы, которым ограничивается зона загрязнения от выбросов канализационного сероводорода. Также отметим, что в рамках данной концепции предложена модель для оценки влияния на окружающую среду наземных источников линейного типа [6], что также не согласуется с условиями решаемой задачи. Кроме того, для описания процессов диффузии газов в атмосферном воздухе применяют гауссовские модели, получившие свое отражение в методиках МАГАТЭ и EPA-US [8, 9]. Однако, как показывает практика, при их использовании наблюдаются проблемы со стабильностью решения на расстояниях от источника менее 100 м [10]. В случае расчетов распространения выбросов канализационных газов зона загрязнения ограничивается десятками метров, что может стать существенной проблемой при применении данной модели.

Ряд преимуществ перед описанными выше моделями имеют модели интегрального типа, реализуемые в программах «ТОКСИ-3»,

<sup>5</sup> ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 93 с.

HGSYSTEM, а также описанные в методиках *The Netherlands Organization of Applied Scientific Research* и *Det Norske Veritas* [11]. Они учитывают наиболее широкий спектр аэродинамических процессов, однако в этом не всегда есть необходимость при решении задач для наземного источника малой производительности. Кроме того, интегральные модели имеют определенный ряд допущений, например связанных с наличием застройки. Так как канализационные сети и сооружения в основном располагаются в черте населенных мест, то данный фактор играет существенную роль при оценке распространения выбросов от них.

Наиболее полная оценка процессов рассеивания газов в атмосферном воздухе возможна при помощи программных комплексов конечно-элементного анализа, основанных на численном решении полной системы уравнений. К ним относятся: *PHOENIX*, *ВНИИГАЗ*, *HEAVYGAS*, *SIGMET*, *ANSYS* и др. [12]. Применение данных продуктов позволяет учитывать наиболее широкий диапазон факторов, в том числе изменение скорости ветра, температуры, непостоянство объемов выброса загрязняющих веществ, рельеф местности, наличие застройки и многие другие.

В связи с представленным анализом целью данной работы стала сравнительная оценка применения методов математического моделирования для сооружений на сети канализации как наземных источников малой производительности. Для достижения поставленной цели определены следующие задачи: проведение натурных измерений на действующем объекте системы канализации; разработка модели в программном пакете *ANSYS CFX*; расчет рассеивания газового облака от объекта исследования по классическим методикам.

#### Методы

Для реализации поставленной цели были выполнены натурные измерения концентраций канализационного сероводорода у сооружения камеры гашения напора (КГН), расположенной в парке Победы в г. Череповце. Для проведения измерений применялся газоанализатор высокой точности Эколаб АР ( $C_{H_2S} = 0,004\text{--}200 \text{ мг/м}^3$ ), а также измерительный прибор *Testo 435-4* совместно с зондом-крыльчаткой диаметром 60 мм в качестве анемометра (скорость ветра

$V_{wind} = 0,25\text{--}20 \text{ м/с}$ ). Проведение натурных измерений включало запись функции источника, измерения концентраций по оси факела выброса и по перпендикуляру к оси факела выброса (на расстояниях до 5 м и высотах от источника до 1,5 м).

Для дальнейшей оценки распространения канализационного сероводорода в атмосферном воздухе было применено конечно-элементное моделирование в программном комплексе *ANSYS CFX*. Расчетная область моделирования представляла собой источник выброса канализационных газов (люк сооружения) и область воздушного пространства над ним. Важно отметить, что при конструировании домена были учтены особенности рельефа прилегающей местности.

При создании расчетной сетки была учтена значительная разница размеров моделируемых областей. Глобальный размер сеточного поля модели составлял 0,05 м. При этом для небольших элементов люка, таких как отверстия и щели, через которые газы попадают в атмосферный воздух, было применено локальное измельчение сетки при помощи функции *Sizing* до 10 % от глобального размера. Кроме того, для получения наиболее качественных результатов моделирования особое внимание необходимо было уделить области воздушного пространства, в котором будет наблюдаться струйное распространение выходящего потока. В связи с этим для области воздушного пространства также было применено локальное измельчение *Sphere of influence* относительного глобального размера сетки со следующими характеристиками: радиус 1 м — 25 %, 2 м — 50 %, 3 м — 75 %. Качественная оценка принятой конфигурации сеточного поля показала соответствие требованиям по таким параметрам, как *Aspect Ratio*, *Orthogonality Quality*, *Skewness* и *Mesh Expansion Factor*.

Начальные и граничные условия моделирования определялись на основании данных натурных измерений. В начальный момент времени в расчетной области задавалось присутствие только воздуха. Поступление сероводорода в модель осуществлялось в смеси с воздухом и обеспечивалось граничным условием *InletGas*, прикладываемым к нижней части канализационного люка. Скорость выходящего потока со-

ставляла  $V_{gas} = 1,3$  м/с. Принятая для моделирования концентрация газа была равна средней, зафиксированной во время натурных измерений, и составила  $C_{H2S} = 0,18$  мг/м<sup>3</sup>. Важно отметить, что при моделировании учитывался теплообмен между окружающим атмосферным воздухом ( $T_{air} = 1$  °С) и газозвушной смесью, выходящей из КГН ( $T_{EDC} = 15$  °С) [13]. Для имитации ветра к одной из границ внешнего воздушного пространства было применено граничное условие *InletWind*. При моделировании была принята средняя скорость воздушного потока, составляющая  $V_{wind} = 0,67$  м/с. Остальные границы внешней воздушной среды имели условие *Open* и позволяли определить нормальное атмосферное давление в расчётной области ( $P_{изб} = 0$  Па). Кроме того, для поверхностей, представляющих собой твердые стенки люка, а также для подстилающей земной поверхности было определено граничное условие *Wall*. Шероховатость бетона была принята  $\Delta_{con} = 0,03$  мм, для грунта  $\Delta_{soil} = 30$  мм [14]. Моделирование процесса производилось в условиях стационарного состояния и считалось завершённым при достижении уровня средних невязок менее  $10^{-5}$  и общих дисбалансах менее 1 %. Созданная в ANSYS CFX модель, а также и ее реальный прототип представлены на рис. 1.

В качестве классических подходов для моделирования данной задачи были рассмотрены:

– модель ГГО им. Воейкова для легких выбросов [6]:

$$C(x, y, z) = \frac{M}{2(1+n)k_1\sqrt{\pi k_0 x^3}} e^{\left( \frac{u_1 H^{1+n}}{k_1(1+n)^2 x} - \frac{y^2}{2k_0 x} \right)}, \quad (1)$$

где  $C$  — концентрация загрязняющего вещества, г/м<sup>3</sup>;  $M$  — интенсивность выброса, г/с;  $n$  — показатель степенной зависимости скорости ветра от высоты;  $k_1$  — коэффициент турбулентного обмена на уровне  $z_1$ ;  $z_1$  — высота слоя вытеснения, м;  $u_1$  — скорость ветра на уровне  $z_1$ , м/с;  $H$  — высота источника, м;

– модель ГГО им. Воейкова для линейных наземных источников [7]:

$$C = \frac{M}{(1+n)k_1\sigma_\phi\sqrt{2\pi}} \times \int_{L_1}^{L_2} e^{\left( \frac{\alpha_1}{a'-\eta\sin\beta} - \frac{1}{2\sigma_\phi^2} \left( \frac{b'-\eta\cos\beta}{a'-\eta\sin\beta} \right)^2 \right)} \cdot \frac{d\eta}{(a'-\eta\sin\beta)^2}, \quad (2)$$

где  $\sigma_\phi$  — дисперсия направления ветра за период осреднения;  $\eta$  — отрезок переменной длины в интервале ( $L_1, L_2$ );  $L_{1,2}$  — линейные размеры источника выброса, м;  $\beta$  — угол направления ветра относительно источника;  $a', b'$  — расчетные критерии;  $\alpha_1$  — показатель степенной зависимости;

– методика ОНД-86:

$$C_{max} = \frac{AMF\eta}{H^{4/3}} K, \quad (3)$$

где  $C_{max}$  — максимальная приземная концентрация, мг/м<sup>3</sup>;  $A$  — коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы;  $F$  —

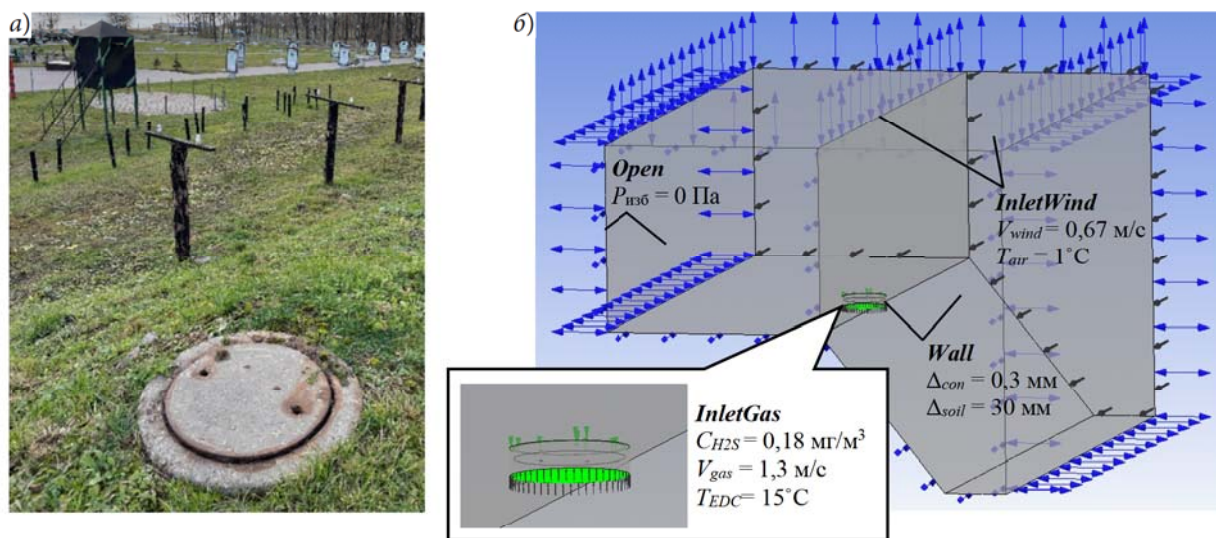


Рис. 1. Камера гашения напора: а — натурный объект; б — компьютерная модель и ее граничные условия

безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе;  $n$  — безразмерный коэффициент, учитывающий условия выхода газовой смеси из устья источника выброса;  $\eta$  — безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа;  $K$  — расчётный коэффициент.

$$C_x = S_1 \cdot C_{\max}, \quad (4)$$

где  $C_x$  — приземная концентрация вредных веществ в атмосферном воздухе на различных расстояниях по нормали к оси факела выброса, мг/м<sup>3</sup>;  $S_1$  — безразмерный коэффициент;

– гауссовская модель распределения:

$$C(x, y, z) = \frac{M}{2\pi\sigma_y\sigma_z} e^{-\frac{(y)^2}{2\sigma_y^2}} \times \left[ e^{-\frac{(z-H_{eff})^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z+H_{eff})^2}{2\sigma_z^2}} \right], \quad (5)$$

где  $M$  — интенсивность выброса, кг/с;  $H_{eff}$  — эффективная высота источника, м;  $\sigma_y$  и  $\sigma_z$  — дисперсия распределения примеси в направлениях осей  $y$  и  $z$  соответственно.

### Результаты

На рис. 2 представлены результаты записи функции источника для КГН в г. Череповце, а также их осреднение и величина ПДК<sub>м.р.</sub> = 0,008 мг/м<sup>3</sup>, установленная нормативом<sup>6</sup>. Важно отметить, что весьма низкое значение ПДК<sub>м.р.</sub> для сероводорода связано с его ароматическими свойствами [15]. В результате натуральных измерений было зафиксировано, что зона загрязнения при работе данного сооружения составляла: по направлению ветра — ≥ 5 м, по перпендикуляру к основному направлению ветра — ≥ 4 м, высота поднятия струи — ≥ 1,5 м.

Аэродинамическая картина изучаемого процесса, полученная в результате компьютерного моделирования, представлена на рис. 3. Размеры облака загрязнения составили: по направлению ветра — 5,5 м, по перпендикуляру к основному направлению ветра — 6 м, высота поднятия струи — до 3 м. Важно понимать, что данные размеры зоны влияния наблюдаются при достаточно низкой температуре окружающего воздуха,

<sup>6</sup> Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 25.03.2022).

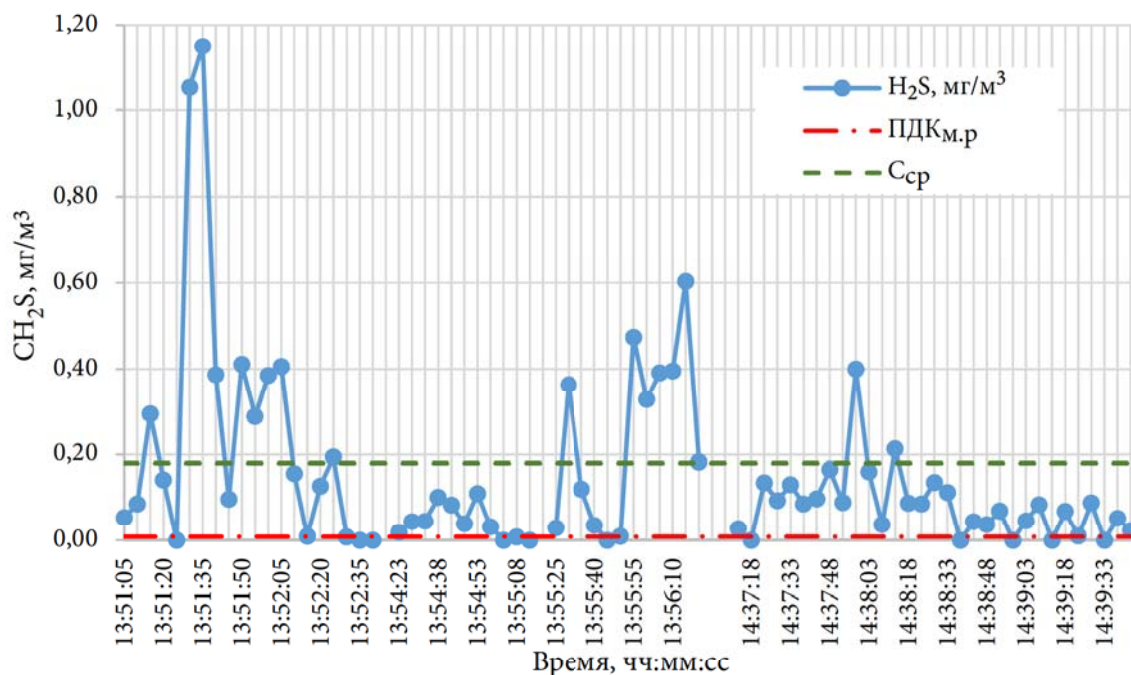


Рис. 2. Концентрации канализационных газов на выходе из люка КГН

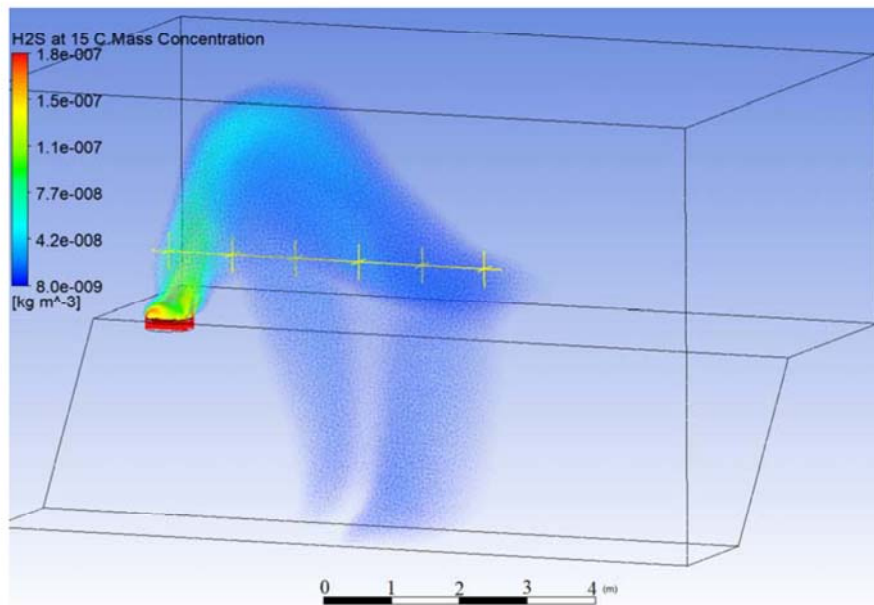


Рис. 3. Результаты моделирования в ANSYS CFX

а соответственно его высокой плотности. В случае работы данного сооружения в таком режиме в теплое время года размеры пятна загрязнения могут значительно возрасти. Также отметим, что на рис. 3 отражены только концентрации  $H_2S$ , превышающие ПДК<sub>м.р.</sub>

Результаты определения концентраций при расчете по рассматриваемым моделям, а также их сопоставление с натурными данными представлены в табл. 2. В качестве примера сравнения выбрано распределение  $C_{H_2S}$  по оси факела выброса на высоте 1 м. Пространственное расположение основных точек фиксации данных показано на рис. 3.

#### Обсуждение

Проведение натурных измерений позволило установить многократное превышение ПДК<sub>м.р.</sub>, установленной для городских и сельских поселений. Важно отметить, что полученные результаты не являются уникальными и исключительными. Подобная картина наблюдается повсеместно и в первую очередь связана с наличием напорных участков сетей большой протяженности [16–18].

Компьютерное моделирование процесса, наблюдаемого на практике, позволило наиболее наглядно и полно описать физическое явление распространения канализационного сероводорода. Стало возможным определить точные границы зоны загрязнения от КГН и траекторию рас-

пространения выходящей струи. Сравнительная оценка методов моделирования подтвердила наибольшую эффективность применения ANSYS CFX для решения поставленной задачи. Погрешность расчетов относительно данных натурных измерений не превышала 15 %.

Модели ГГО и гауссовская модель не позволили корректно оценить концентрации в атмосферном воздухе около КГН. Данное явление обусловлено их низкой чувствительностью к выбросам малой интенсивности, а также высокой погрешностью расчета на малых расстояниях от источника. Методика ОНД-86 показала завышенные концентрации сероводорода, что согласуется с результатами, полученными другими исследователями [12, 19, 20].

Также важно отметить, что при применении всех классических методик наблюдался обратный рост концентраций на удалении от источника. Данное явление хорошо согласуется с эпюрой ожидаемых приземных концентраций при расчете выбросов от высотных объектов [7], но противоречит физическому смыслу решаемой задачи. Как было сказано ранее, все представленные модели адаптированы под определенный спектр практических задач, что и получило свое наглядное отражение в результатах расчета.

## Сравнительная оценка результатов применения различных методов моделирования

Расстояние от источника по оси факела выброса, м	$C_{H_2S}$ , мг/м <sup>3</sup>					
	Натурный объект	ГГО (для легких выбросов)	ГГО (для линейных объектов)	ОНД-86	Гауссовская модель	ANSYS CFX
0	0,0482	0,0042	1,18E-07	0,0170	0,00E+00	0,0449
1	0,0355	0,0026	1,19E-07	0,0210	6,90E-10	0,0305
2	0,0387	0,0009	1,20E-07	0,0823	2,85E-08	0,0329
3	0,0364	0,0005	1,20E-07	0,1814	4,97E-08	0,0320
4	0,0253	0,0003	1,21E-07	0,3159	5,18E-08	0,0223
5	0,0077	0,0002	1,21E-07	0,4833	4,71E-08	0,0080

**Выводы**

Моделирование процесса распространения канализационного сероводорода в ANSYS CFX показало результаты, хорошо согласующиеся с данными натуральных измерений, вследствие чего оно может быть рекомендовано для применения. Отметим, что для возможности оценки рассеивания сероводорода расчетными методами необходимо формирование отдельного математического аппарата, учитывающего только особенности данной практической задачи. Однако стоит отметить, что для обеспечения санитарно-экологической безопасности не всегда необходимо иметь подробную информацию о механизмах распространения газового потока. Для инженерных расчетов будет достаточным получение зависимости, позволяющей определить размеры зоны загрязнения объекта с учетом его производительности. Под зоной загрязнения следует понимать пространство вокруг источника, где фиксируются значения концентраций выше предельно допустимых. Исходя из габаритных размеров данной зоны, возможностей ее расположения в пространстве и доступности для контакта, следует принимать решения о необходимости установки газоочистного оборудования [21, 22].

**Библиографический список**

- Hvitved-Jacobsen T., Vollertsen J., Nielsen A.H. Sewer processes. Microbial and Chemical Process Engineering of Sewer Networks. Miami: Taylor & Francis Group, LLC, 2013. 399 p.
- Sivret E., Stuetz R. Sewer odour abatement monitoring — An Australian survey // Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research. 2012. № 66. Pp. 1716–1721.
- Vollertsen J., Revilla N., Hvitved-Jacobsen T., Asbjorn H. Modeling Odors and Hydrogen Sulfide in the Sewers of San Francisco // Proceedings of the Water Environment Federation. 2014. Vol. 2014. Pp. 1–11.
- Lucie C. Caractérisation du transfert liquide/gaz du sulfure d'hydrogène dans les réseaux d'assainissement: doctoral dissertation Ecologie, Environnement. Lyon, 2016. 194 p.
- Taleb A., Kanbouchi I., Souabi S., Chtaini A. Etude de la problématique de la présence de l'H<sub>2</sub>S dans le réseau d'assainissement de la ville basse de la ville de Mohammedia // Journal of Materials and Environmental Science. 2015. № 6. Pp. 2137–2147.
- Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 272 с.
- Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 449 с.
- Рязанов В. И. Исследование распространения примесей в атмосфере при работе ракетных двигателей с учетом фактических метеопараметров: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Нальчик, 2019. 148 с.
- Беспалов М. С. Моделирование распространения примеси в атмосфере как инструмент воздухоохранной деятельности // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2016. № 1. С. 74–85.
- Горский В. Г. Научно-методические аспекты анализа аварийного риска. М.: Экономика и информатика, 2002. 260 с.
- Лисанов М. В., Пчельников А. В., Сумской С. И. Моделирование рассеяния выбросов опасных веществ в атмосфере // Российский Химический Журнал. 2005. № 4. С. 18–28.
- Купцов А. И. Прогнозирование и экологическая оценка последствий выброса газа через свечу рассеивания при опорожнении технологического оборудования: дис. ... канд. техн. наук. Казань: КНИТУ, 2016. 165 с.

13. Телятникова А. М., Федоров С. В., Алексеев М. И. Мониторинг санитарно-экологической обстановки на канализационной сети // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 5(82). С. 173–178.

14. Завгородцев А. В., Аكوпова Г. С., Мельников А. В. Теоретические основы рассеивания в атмосфере организованных нестационарных выбросов газа на объектах газотранспортных предприятий // Территория нефтегаз. 2011. № 10. С. 68–73.

15. Бударина О. В. Актуальные вопросы управления запахом в атмосферном воздухе и пути их решения в современных условиях // Мир науки, культуры, образования. 2013. № 5 (42). С. 435–437.

16. Ciobotici Iu. C. Ecological modernisation — an eco-innovative solution for the process of strategic planning and design of wastewater collection infrastructure executive: PhD thesis. Vasa, 2017. 32 p.

17. Ручкина О. И. Изменение концентрации сульфидов в хозяйственно-бытовых сточных водах в процессе транспортирования // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. 2019. № 3. С. 138–149.

18. Телятникова А. М., Федоров С. В., Кудрявцев А. В. Контроль состояния атмосферного воздуха и воздуха рабочей зоны камеры гашения напора // Вода и экология: проблемы и решения. 2020. № 4 (84). С. 58–66.

19. Завгороднев А. В., Аكوпова Г. С., Толстова Н. С., Мельников А. В. Результаты исследований рассеивания в атмосфере организованных нестационарных выбросов газа на объектах газотранспортных предприятий // Территория нефтегаз. 2011. № 12. С. 90–97.

20. Тунакова Ю. А., Шагидуллина Р. А., Новикова С. В., Шмакова Ю. А. Мониторинг качества атмосферного воздуха в зонах действия полимерных производств (на примере г. Нижнекамска) // Вестник Казанского технологического университета. 2012. № 23. С. 183–187.

21. Куреев Ю. П. Применение газоочистного оборудования для удаления запахов от канализационных сооружений АО «Мосводоканал» // X международная конференция «Пылегазоочистка-2017»: сб. докладов. М., 2017. С. 93–95.

22. Ручкина О. И. Анализ методов очистки сточных вод от сульфидов // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. 2011. № 4. С. 138–151.

## References

1. Hvitved-Jacobsen T., Vollertsen J., Nielsen A. H. *Sewer processes. Microbial and Chemical Process Engineering of Sewer Networks*. Miami, Taylor & Francis Group Publ., LLC, 2013, 399 p.

2. Sivret E., Stuetz R. Sewer odour abatement monitoring — An Australian survey. *Water science and*

*technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 2012, no. 66, pp. 1716–1721.

3. Vollertsen J., Revilla N., Hvitved-Jacobsen T., Asbjorn H. *Modeling Odors and Hydrogen Sulfide in the Sewers of San Francisco. Proceedings of the Water Environment Federation*, 2014, vol. 2014, pp. 1–11.

4. Lucie C. *Caractérisation du transfert liquide/gaz du sulfure d'hydrogène dans les réseaux d'assainissement: doctoral dissertation*. Ecologie, Environnement. Lyon, 2016, 194 p.

5. Taleb A., Kanbouchi I., Souabi S., Chtaini A. *Etude de la problématique de la présence de l'H<sub>2</sub>S dans le réseau d'assainissement de la ville basse de la ville de Mohammedia. Journal of Materials and Environmental Science*, 2015, no. 6, pp. 2137–2147.

6. Berlyand M. E. *Prognoz i regulirovanie zagryazneniya atmosfery* [Forecasting and regulation of atmospheric pollution]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1985, 272 p.

7. Berlyand M. E. *Sovremennye problemy atmosfernoï diffuzii i zagryazneniya atmosfery* [Current problems of atmospheric diffusion and atmospheric pollution]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1975, 449 p.

8. Ryazanov V. I. *Issledovanie rasprostraneniya primesey v atmosfere pri rabote raketnykh dvigateley s uchetom fakticheskikh meteoparametrov. Diss. kand. fiz.-mat. nauk* [Study of impurities diffusion in the atmosphere during rocket engines operation taking into account the actual meteoparameters. PhD in Sci. Phys-Math. diss.]. Nalchik, 2019, 148 p.

9. Bespalov M. S. *Modelirovanie rasprostraneniya primesi v atmosfere kak instrument vozdukhookhrannoy deyatel'nosti* [Modeling of impurity distribution in the atmosphere as a tool for air protection activities]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem – Problems of ecological monitoring and modeling of ecosystems*, 2016, no. 1, pp. 74–85.

10. Gorskiy V. G. *Nauchno-metodicheskie aspekty analiza avariynogo riska* [Scientific and methodological aspects of emergency risk analysis]. Moscow, Ekonomika i informatika Publ., 2002, 260 p.

11. Lisanov M. V., Pchel'nikov A. V., Sumskey S. I. *Modelirovanie rasseyaniya vybrosov opasnykh veshchestv v atmosfere* [Modeling the dispersion of hazardous substance emissions in the atmosphere]. *Rossiyskiy Khimicheskiy Zhurnal – Russian Chemistry Journal*, 2005, no. 4, pp. 18–28.

12. Kuptsov A. I. *Prognozirovanie i ekologicheskaya otsenka posledstviy vybrosa gaza cherez svechu rassevaniya pri oporozhnenii tekhnologicheskogo oborudovaniya. Diss. kand. tekhn. nauk* [Forecasting and ecological assessment of the consequences of gas emission through the cold vent during the emptying of technological equipment. PhD in Sci. Tech. diss.]. Kazan, KNRTU Publ., 2016, 165 p.



13. Teliatnikova A. M., Fedorov S. V., Alekseev M. I. *Monitoring sanitarno-ekologicheskoy obstanovki na kanalizatsionnoy seti* [Monitoring of the sanitary-ecological situation at the sewer network]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2020, no. 5 (82), pp. 173–180.
14. Zavgorodtsev A. V., Akopova G. S., Mel'nikov A. V. *Teoreticheskie osnovy rasseivaniya v atmosfere organizovannykh nestatsionarnykh vybrosov gaza na ob'ektakh gazotransportnykh predpriyatiy* [Theoretical basis of dispersion in the atmosphere of organized non-stationary gas emissions at the facilities of gas transport enterprises]. *Territoriya neftegaz – Territory of oil and gas*, 2011, no. 10, pp. 68–73.
15. Budarina O. V. *Aktual'nye voprosy upravleniya zapakhom v atmosfernom vozdukh i puti ikh resheniya v sovremennykh usloviyakh* [Topical issues of odor control in the atmospheric air and ways to solve them in modern conditions]. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya – World of Science, Culture, Education*, 2013, no. 5 (42), pp. 435–437.
16. Ciobotici Iu. C. *Ecological modernisation – an eco-innovative solution for the process of strategic planning and design of wastewater collection infrastructure executive: PhD thesis*. Bacau, 2017, 32 p.
17. Ruchkinova O. I. *Izmenenie kontsentratsii sul'fidov v khozyaystvenno-bytovykh stochnykh vodakh v protsesse transportirovaniya* [Changes in the concentration of sulfides in domestic wastewater during transportation]. *Vestnik PNIPU. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika – Bulletin of PNIPU. Applied Ecology. Urbanistics*, 2019, no. 3, pp. 138–149.
18. Telyatnikova A. M., Fedorov S. V., Kudryavtsev A. V. *Kontrol' sostoyaniya atmosfernogo vozdukh i vozdukh rabochey zony kamery gasheniya napora* [Control of the state of atmospheric air and the air of the working zone of the head quenching chamber]. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya – Water and ecology: problems and solutions*, 2020, no. 4 (84), pp. 58–66.
19. Zavgorodnev A. V., Akopova G. S., Tolstova N. S., Mel'nikov A. V. *Rezul'taty issledovaniy rasseivaniya v atmosfere organizovannykh nestatsionarnykh vybrosov gaza na ob'ektakh gazotransportnykh predpriyatiy* [The results of studies of dispersion in the atmosphere of organized nonstationary gas emissions at gas transportation facilities]. *Territoriya neftegaz – Territory of oil and gas*, 2011, no. 12, pp. 90–97.
20. Tunakova Yu. A., Shagidullina R. A., Novikova S. V., Shmakova Yu. A. *Monitoring kachestva atmosfernogo vozdukh v zonakh deystviya polimernykh proizvodstv (na primere g. Nizhnekamska)* [Atmospheric air quality monitoring in the zones of polymer productions (by the example of Nizhnekamsk)]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta – Bulletin of Kazan Technological University*, 2012, no. 23, pp. 183–187.
21. Kireev Yu. P. *Primenenie gazoochistnogo oborudovaniya dlya udaleniya zapakhov ot kanalizatsionnykh sooruzheniy AO «Mosvodokanal»* [Application of gas purification equipment to remove odors from sewage facilities JSC «Mosvodokanal»]. *Trudy X mezhdunarodnoy konferentsii «Pylegazoochistka – 2017»* [Proceedings of the X International conference «Dust and Gas Purification – 2017»]. Moscow, 2017, pp. 93–95.
22. Ruchkinova O. I. *Analiz metodov ochistki stochnykh vod ot sul'fidov* [Analysis of wastewater treatment methods from sulfides]. *Vestnik PNIPU. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika – Bulletin of PNIPU. Applied ecology. Urbanistics*, 2011, no. 4, pp. 138–151.