

УДК 502.36/.504.3.054:656.2

ЗАЩИТА АТМОСФЕРЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИ ЭМИССИИ ОПАСНОГО ВЕЩЕСТВА ИЗ ДВИЖУЩЕГОСЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ВАГОНА

БЕЛЯЕВ Н.Н.¹, д.т.н., профессор
БЕРЛОВ А.В.^{2*}
КИРИЧЕНКО П.С.³, к.т.н., доцент

¹ Кафедра «Гидравлика и водоснабжение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38(056) 373-15-09, e-mail: gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0002-1531-7882

^{2*} Кафедра «Гидравлика и водоснабжение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38(056) 373-15-09, e-mail: berlov_81@mail.ru, ORCID 0000-0002-7442-0548

³ Кафедра «Гидравлика и водоснабжение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38(056) 373-15-09, e-mail: gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0002-0793-9593

Цель. Разработка способа защиты атмосферы от загрязнения при горении твердого ракетного топлива, находящегося в движущемся железнодорожном вагоне. Создание метода расчета для обоснования эффективности предложенного способа защиты на основе численного моделирования процесса рассеивания примеси в атмосфере. **Методика.** Для решения поставленной задачи разработана численная модель, основанная на применении многомерного уравнения массопереноса. Для численного интегрирования уравнения транспорта загрязнителя использовалась неявная попеременно-треугольная разностная схема. При построении разностной схемы осуществляется физическое и геометрическое расщепление уравнения переноса на четыре шага. Неизвестное значение концентрации загрязнителя на каждом шаге расщепления определяется по явной схеме – методу бегущего счета. При проведении вычислительного эксперимента учитывались скорость ветрового потока, скорость поезда, процесс эмиссии химически опасного вещества и нейтрализатора. На основе построенной численной модели проведен вычислительный эксперимент по оценке уровня загрязнения атмосферы при возгорании в движущемся железнодорожном вагоне опасного груза. Проведены расчеты по применению нейтрализации продуктов горения твердого ракетного топлива. **Результаты.** Предложен эффективный способ защиты атмосферы от загрязнения при эмиссии опасного вещества из движущегося вагона. Разработана численная модель, которая позволяет оперативно рассчитать загрязнение атмосферы в случае аварии при транспортировке твердого ракетного топлива, а также рассчитать рациональные параметры процесса нейтрализации загрязнителя. Эта модель может использоваться для серийных расчетов по моделированию различных сценариев аварийных ситуаций. **Научная новизна.** Предложен новый способ защиты атмосферы от загрязнения при выбросе опасного вещества из движущегося железнодорожного вагона. Разработана численная модель, позволяющая выполнить оценку эффективности предложенного метода защиты с учетом тех физических параметров, которые влияют на этот процесс. **Практическая значимость.** Рассмотрена эффективная численная модель «diagnostic models» для экспресс расчета уровня загрязнения атмосферы, и разработан способ защиты атмосферы при аварийных ситуациях, в случае перевозки железнодорожным транспортом твердого ракетного топлива.

Ключевые слова: аварии на железнодорожном транспорте; загрязнение атмосферы; нейтрализация загрязнителя; численное моделирование

ATMOSPHERE PROTECTION FROM POLLUTION IN CASE OF EMISSION OF HAZARDOUS SUBSTANCES FROM A MOVING TRAIN CARRIAGE

BILIAIEV M.M.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*
BERLOV A.V.^{2*}
KIRICHENKO P.S.³, *Sc. (Tech.), associate Prof.*

¹Dep. «Hydraulics and Water Supply», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 273 15 09, e-mail: gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0002-1531-7882

^{2*}Dep. «Hydraulics and Water Supply», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 273 15 09, e-mail: berlov_81@mail.ru, ORCID 0000-0002-7442-0548

³Dep. «Hydraulics and Water Supply», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 273 15 09, e-mail: gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0002-0793-9593

Purpose. Development of a method for protection of atmosphere against pollution by burning solid rocket propellant within the moving railway carriage. Create a calculation method to substantiate the effectiveness of the proposed method of protection on the basis of numerical modeling of impurity scattering processes in the atmosphere. **Methodology.** To solve this problem developed a numerical model based on the application of multivariate equations of mass transfer. For the numerical integration of pollutant transport equation was used implicit «change – triangle» difference scheme. When constructing a difference scheme physical and geometric cleavage of the transfer equation is carried out in four steps. Unknown value of pollutant concentration at each step of cleavage is determined by the explicit scheme – the method of point-to-point computation. When conducting computational experiments considered the speed of the wind flow, the speed of the train, the process of emission of chemically dangerous substances and neutralizer. On the basis of the numerical model a computational experiment to assess the level of air pollution if burned in a moving railway carriage of dangerous goods. The calculations for application of the neutralization of combustion products of solid rocket propellant. **Findings.** An effective way to protect against contamination of the atmosphere in the emission of hazardous substances from a moving rail car. A numerical model that allows to quickly calculate the air pollution in the event of an accident during transport of solid rocket propellant, as well as to calculate the rational parameters of the process of neutralization of pollutant. This model can be used for serial calculations modeling the different emergency scenarios. **Originality.** A new way to protect the atmosphere from contamination by release of hazardous substances from a moving railroad car. Developed a numerical model that allows to evaluate the effectiveness of the proposed method of protection taking into account those physical parameters that affect this process. **Practical value.** An efficient numerical model, so called «diagnostic models» were considered for rapid calculation of the level of pollution of the atmosphere, and the atmosphere is provided a method of protection in emergency situations, in the case of solid rocket propellant transportation by railway.

Keywords: accident on railway transport; air pollution; neutralization of the contaminant; numerical simulation

ЗАХИСТ АТМОСФЕРИ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ ПРИ ЕМІСІЇ НЕБЕЗПЕЧНОЇ РЕЧОВИНИ З РУХОМОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО ВАГОНУ

БІЛЯЄВ М.М.¹, д.т.н., професор
БЕРЛОВ О.В.^{2*}
КІРІЧЕНКО П.С.³, к.т.н., доцент

¹ Кафедра «Гідравліка та водопостачання», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38(056) 373-15-09, e-mail: gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0002-1531-7882

^{2*} Кафедра «Гідравліка та водопостачання», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38(056) 373-15-09, e-mail: berlov_81@mail.ru, ORCID 0000-0002-7442-0548

³ Кафедра «Гідравліка та водопостачання», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38(056) 373-15-09, e-mail: gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0002-0793-9593

Мета. Розробка способу захисту атмосфери від забруднення при горінні твердого ракетного палива, що знаходиться в рухомому залізничному вагоні. Створення методу розрахунку для обґрунтування ефективності запропонованого способу захисту на основі чисельного моделювання процесу розсіювання домішки в атмосфері. **Методика.** Для розв'язання поставленої задачі розроблена чисельна модель, заснована на застосуванні багатовимірного рівняння масопереносу. Для чисельного інтегрування рівняння транспорту забруднювача використовувалася неявна поперемінно-трикутна різницєва схема. При побудові різницєвої схеми здійснюється фізичне і геометричне розщеплення рівняння переносу на чотири кроки. Невідоме значення концентрації забруднювача на кожному кроці розщеплення визначається за явною схемою – методу біжучого рахунку. При проведенні обчислювального експерименту враховувалися швидкість вітрового потоку, швидкість потягу, процес емісії хімічно небезпечної речовини та нейтралізатора. На основі побудованої чисельної моделі проведено обчислювальний експеримент по оцінці рівня забруднення атмосфери при загорянні в рухомому залізничному вагоні небезпечної вантажу. Проведено розрахунки щодо застосування нейтралізації продуктів горіння твердого ракетного палива. **Результати.** Запропоновано ефективний спосіб захисту атмосфери від забруднення при емісії небезпечної речовини з вагона, що рухається. Розроблено чисельну модель, яка дозволяє оперативного розрахувати забруднення атмосфери в разі аварії при транспортуванні твердого ракетного палива, а також розрахувати раціональні параметри процесу нейтралізації забруднювача. Ця модель може використовуватися для серійних розрахунків з моделювання різних сценаріїв аварійних ситуацій. **Наукова новизна.** Запропоновано новий спосіб захисту атмосфери від забруднення при викиді небезпечної речовини з рухомого залізничного вагона. Розроблена чисельна модель, що дозволяє виконати оцінку ефективності запропонованого методу захисту з урахуванням тих фізичних параметрів, які впливають на цей процес. **Практична значимість.** Розглянуто ефективна чисельна модель «diagnostic models» для експрес розрахунку рівня забруднення

атмосферы, і розроблений спосіб захисту атмосфери при аварійних ситуаціях, в разі перевезення залізничним транспортом твердого ракетного палива.

Ключові слова: аварії на залізничному транспорті; забруднення атмосфери; нейтралізація забруднювача; чисельне моделювання

Вступление. За последние годы наблюдается тенденция к росту числа аварийных ситуаций и даже диверсий при перевозке грузов железнодорожным транспортом. Среди потенциально опасных источников возможного химического загрязнения окружающей среды при чрезвычайных ситуациях на железной дороге относятся ракетное топливо и его компоненты. В частности по железной дороге происходит транспортировка твердого ракетного топлива (ТРТ). Во время аварийной ситуации происходит возгорание ракетного топлива, которое сопровождается интенсивной эмиссией химически опасных веществ в атмосферу – продуктов горения ТРТ [1,2]. Это создает угрозу масштабного загрязнения окружающей среды и риска токсичного поражения людей не только вблизи места аварии, но и на значительном расстоянии от нее. Возникает важная задача по разработке способов защиты атмосферы при таких чрезвычайных ситуациях на транспорте [1,10,11].



Рис. 1. Схема расчетной области: 1 – поезд с ТРТ (твердое ракетное топливо) /

The computational area: 1 – train with SRP (solid rocket propellant)

Анализ литературы. В настоящее время для прогноза уровня загрязнения атмосферы в случае аварий на железнодорожном транспорте используется нормативная методика оценки последствий аварийных ситуаций на транспорте и методика ОНД-86 [3,4,6,7]. Данные методики являются эмпирическими и не учитывают скорость ветра, атмосферную диффузию, нестационарность эмиссии загрязнителя и его движение на процесс формирования зоны загрязнения. Кроме этих методик для решения задач данного класса также применяются различные аналитические модели и модель Гаусса [4,8,12]. Они позволяют быстро рассчитать зону загрязнения, но только для упрощенных ситуаций типа точечный постоянно действующий источник выброса или точечный мгновенный выброс [4,12]. Сейчас осуществляется активная разработка CFD моделей для решения задач прогноза аварийного загрязнения атмосферы. Это

связано с тем, что модели данного класса позволяют максимально учитывать те физические факторы, которые оказывают влияющее значение на формирование зон загрязнения [9-11,13,14].

Целью данной работы является разработка способа защиты атмосферы от загрязнения продуктами горения твердого ракетного топлива, которые выбрасываются из движущегося вагона и создание численной (CFD) модели для обоснования принимаемых технических решений.

При горении ТРТ в атмосферу будут поступать различные загрязняющие вещества, и произойдет масштабное загрязнение воздушной среды [1]. Особую опасность вызывает эмиссия хлористого водорода. Поэтому возникает важная задача по уменьшению уровня загрязнения атмосферы.

Здесь следует подчеркнуть особенности рассматриваемой задачи, с точки зрения защиты атмосферы от загрязнения:

1. Эмиссия продуктов горения – очень мощная, но происходит в течение короткого промежутка времени.
2. За короткое время не успевают подъехать аварийные бригады к месту чрезвычайной ситуации.
3. Нет способов защиты от загрязнения атмосферы, если возгорание произойдет при движении поезда.

Таким образом, возникает важная задача по разработке такого способа локализации источника эмиссии, который позволил бы быстро и эффективно защитить атмосферу от загрязнения при движении поезда с горящим ТРТ.

По рекомендациям МЧС для нейтрализации HCl в атмосфере предлагается использовать раствор NaOH. Однако технология такой нейтрализации предусматривает подъезд насосной установки и емкости с реагентом к месту аварии и подачи реагента в шлейф токсичного газа. При такой технологии необходимо большое время на прибытие восстановительного поезда или подразделений МЧС. Такая длительная задержка может привести к полному выгоранию ТРТ, образованию значительной зоны загрязнения в атмосфере, которая распространяясь, приведет к загрязнению прилегающих к месту аварии (диверсии) регионов. Для минимизации масштаба загрязнения и риска токсичного поражения людей в случае чрезвычайной ситуации при транспортировке ТРТ предлагается другой способ, направленный на локализацию источника эмиссии продуктов горения ТРТ. Предлагается включить в состав поезда, который транспортирует ТРТ, вагон с насосной установкой и цистерну с запасом нейтрализующего раствора. Также предлагается включить буферный вагон

между вагоном, где транспортируется ТРТ и вагоном с насосной установкой. Этот буферный вагон будет служить «экраном» для защиты вагона с насосной установкой от теплового воздействия при горении ТРТ. При такой технологии организуется быстрая подача нейтрализующего раствора в шлейф продуктов горения и тем самым минимизируется время свободного поступления продуктов горения ТРТ в атмосферу. Кроме этого, для проведения такой нейтрализации в случае движения состава, транспортирующего этот груз предлагается подача реагента через два выдвижных напорных трубопровода с насадками. Эти трубопроводы могут, в процессе движения состава, подняться вверх, под углом вдоль состава по направлению к источнику эмиссии – горящему ТРТ. Вертикальное поднятие труб – не нужно, т.к. в этом случае будет происходить снос капель реагента при движении состава от струи продуктов горения, которая также сносится воздушным потоком. При поднятии труб под углом будет эмиссия реагента навстречу шлейфу продуктов горения. Трубы покрываются электроизолирующим материалом. Высота поднятия труб может регулироваться, например, выше контактного провода на 1 – 1,5 м. Струя реагента «рассекает» столб продуктов горения. Предлагается платформу, где находится основание напорных труб, сделать вращающейся типа турели. На платформе вагона размещаются три насоса: два рабочих + один резервный.

Для создания веерообразной струи реагента предлагается использовать на напорных трубопроводах насадки в форме диффузора. При таком насадке создается широкий фронт струи реагента и можно обеспечить взаимное перекрытие струй с помощью двух насадков, т.е. создать сплошной фронт подачи реагента.

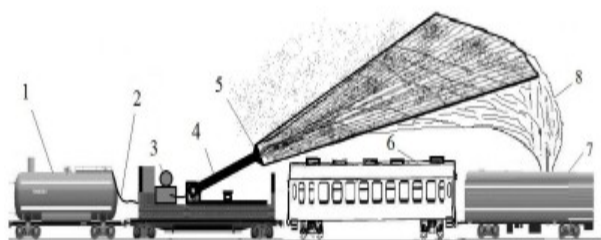


Рис. 2. Схема подачи нейтрализатора в струю продуктов горения ТРТ при движении состава:

1 – емкость с реагентом; 2 – трубопровод; 3 – насосная установка; 4 – подъемные мачты с напорными трубопроводами; 5 – насадок; 6 – вагон (буфер); 7 – железнодорожный вагон с горящим ТРТ; 8 – шлейф продуктов горения ТРТ /

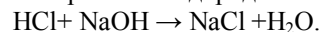
The circuit supplying the catalyst into the stream of combustion products SRP when the movement of the train: 1 – vessel with the reagent; 2 – pipeline; 3 – pump; 4 – lifting mast with pressure pipelines; 5 – nozzle; 6 – buffer car; 7 – railroad car with burning SRT; 8 – trail of SRT combustion products

Очевидно, что для эффективной локализации источника эмиссии продуктов горения ТРТ необходимо два основных условия:

1. Максимально быстрая, после начала горения ТРТ, подача нейтрализатора в шлейф.
2. Обеспечение эффективной нейтрализации, за счет правильного подбора количества реагента и места его подачи.
3. Обеспечение нейтрализации во время движения вагона с ТРТ.

Реализация первого условия может быть достигнута за счет применения предлагаемого выше способа – когда оборудование для подачи реагента, емкость реагента включены в состав поезда, который транспортирует ТРТ.

Однако реализация второго условия требует проведения расчетов, поскольку постановка и проведение физического эксперимента практически нереализуема. Единственным средством решения задачи по определению эффективности способа нейтрализации и обоснования рациональных параметров нейтрализации может быть вычислительный эксперимент. Для численного моделирования рассеивания выбросов продуктов горения ТРТ в атмосфере и рассеивания нейтрализатора применяется двухмерное уравнение массопереноса. Численное интегрирование уравнения массопереноса осуществляется с помощью неявной разностной схемы [5,9-11]. При моделировании учитывается процесс химического взаимодействия хлористого водорода с NaOH:



Данное уравнение позволяет рассчитать, какое количество щелочи необходимо для нейтрализации опасной примеси.

Разработанная модель была использована для оценки эффективности процесса нейтрализации HCl.

Ниже представлены результаты вычислительного эксперимента при нейтрализации HCl в процессе движения состава. Здесь использована двухмерная (плановая) модель массопереноса, в которой учтено, что точечный источник эмиссии HCl – движется и одновременно происходит подача нейтрализатора из расположенного в том же составе вагона. Модель соответствует ситуации прямолинейного движения источника эмиссии загрязнителя и реагента, без учета скорости выхода струи реагента из вагона.

Расчет выполнялся при следующих данных: размеры расчетной области 400*100м (расчетная область выбрана вблизи станции Павлоград-1, рис.1); скорость движения состава 30 км/ч; скорость оседания капель реагента 0,1 см/с. Скорость ветра – 2 м/с, ветер – восточный. Численное моделирование проводилось при интенсивности эмиссии HCl 12 кг/с. При моделировании полагается, что подача реагента начинается через 8с после начала возгорания ТРТ. Моменту времени t=0 соответствует начало эмиссии HCl.

На последующих рисунках показана зона загрязнения атмосферы в случае рассматриваемых

вариантов. Первый рисунок (рис. 3) соответствует ситуации, когда отсутствует подача реагента. Эта информация позволяет оценить характер формирования зоны загрязнения при выбросе HCl из движущегося вагона.



Рис. 3. Зона загрязнения атмосферы для момента времени $t = 15$ с (нет подачи реагента) /

Contamination area for time $t = 15$ sec (no flow of reagent)

Как видно из рис.3, при движении вагона с горящим ТРТ, над магистралью формируется шлейф загрязнителя, расширяющийся под действием атмосферной диффузии и покрывающий полностью магистраль.

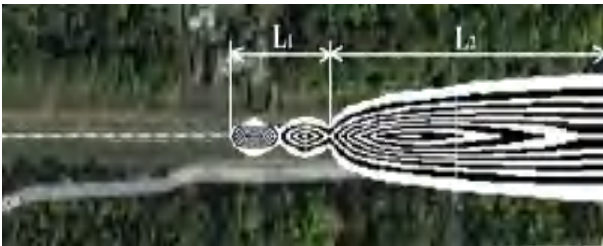


Рис. 4. Зона загрязнения атмосферы для момента времени $t = 11$ с (идет подача реагента, $Q=12$ кг/с):

L_1 – зона загрязнения попавшая под влияние нейтрализатора, L_2 – зона загрязнения не попавшая под влияние нейтрализатора /

Contamination area for time $t = 11$ sec (comes a reagent supply, $Q=12$ kg/sec): L_1 – the area of contamination influenced by the neutralizer, L_2 – the area of contamination is not influenced by the neutralizer

На последующих рисунках (рис. 4, 5) представлена зона загрязнения при подаче реагента.

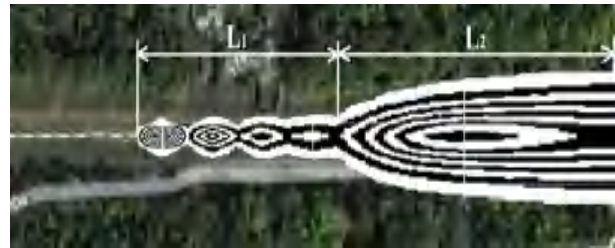


Рис. 5. Зона загрязнения атмосферы для момента времени $t = 13$ с (идет подача реагента, $Q=12$ кг/с):

L_1 – зона загрязнения попавшая под влияние нейтрализатора, L_2 – зона загрязнения не попавшая под влияние нейтрализатора /

Contamination area for time $t = 13$ sec (comes a reagent supply, $Q=12$ kg/sec): L_1 – the area of contamination influenced by the neutralizer, L_2 – the area of contamination is not influenced by the neutralizer

Как видно из представленных рисунков подача нейтрализатора дает возможность уменьшить зону загрязнения атмосферы и тем самым способствует защите прилегающей территории. Но также видно, что подача нейтрализатора в данном количестве не обеспечивает полную ликвидацию шлейфа HCl, т.е. необходимо увеличить его подачу.

Выводы. Разработан эффективный способ защиты атмосферы от загрязнения в случае возгорания твердого ракетного топлива при его транспортировке. Для поддержки принятия решений при организации предложенного способа защиты разработана численная модель. На основе разработанной модели выполнена оценка эффективности применения нейтрализатора для локализации зоны загрязнения в случае горения твердого ракетного топлива в железнодорожном вагоне при его транспортировке.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Беляев Н. Н. Моделирование нестационарных процессов аварийного загрязнения атмосферы: монография / Н. Н. Беляев, А. В. Берлов, П. Б. Машихина. – Д.: «Акцент ПП», 2014. – 127 с.
2. Беляев Н. Н. Защита атмосферы от загрязнения при чрезвычайных ситуациях на железнодорожном транспорте / Н. Н. Беляев, А. В. Берлов, П. С. Кириченко // Збірник наукових праць «Науковий вісник будівництва» – Х.: Харківський національний університет будівництва та архітектури, 2016 – №1(83). – С.203 – 207.
3. Берлянд, М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1985. – 273 с.
4. Бруязцкий Е. В. Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов / Е. В. Бруязцкий. – К.: Институт гидромеханики НАН Украины, 2000. – 443 с.
5. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М.: Наука, 1982. – 316 с.
6. Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки // Міністерство праці та соціальної політики України. Наказ №637 від 04.12.2002. – Київ, 2002. – 25 с.
7. Методика прогнозування наслідків вилливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті. – К., 2001. – 33 с.
8. Уорк, К. Загрязнение воздуха. Источники и контроль / К. Уорк, С. Уорнер – Москва : Мир, 1980. – 539 с.
9. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – К.: Наук. думка, 1997. – 368 с.

10. Belyaev M. Air Pollution Modelling of Technogenic Catastrophes caused by Terrorist Attacks on Rail Transport of Chemical Substances.// Simulation and Assessment of Chemical Processes in a Multiphase Environment . NATO Science for Peace and / Security Series. – C.: Environmental Security, Springer, 2007. P.327 – 336.
11. Biliaiev M. M. Numerical simulation of indoor air pollution and atmosphere pollution for regions having complex topography / M. M. Biliaiev, M. M. Kharytonov // Conference Abstracts of 31st NATO / SPS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and it's Application. – Torino, Italy, 2010. – № P1.7.
12. Hanna S. Air Quality Modeling Over Short Distances.// College on Atmospheric Boundary Layer and Air Pollution Modeling: 16 May-3 June 1994. №SMR/760-2 – P. 712 – 743.
13. Qu Y. Development of building resolving atmospheric CFD code taking into account atmospheric radiation in complex geometric / Y. Qu, M. Millez, L. Musson-Genon, B. Carrissimo //Conference Abstracts of 31st NATO / SPS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and it's Application, 27 September–01 October, Torino, Italy, 2010. № P. 1.5.
14. Tracking and predicting the atmospheric dispersion of hazardous material releases. Implications for Homeland Security / National research council. Committee on the Atmospheric Dispersion of Hazardous Material Releases Board on Atmospheric Sciences and Climate Division on Earth and Life Studies. – USA, Washington, D.C. – 2003. – 101 p.

REFERENCES

1. Беляев Н. Н. Моделирование нестационарных процессов аварийного загрязнения атмосферы: монография / Н. Н. Беляев, А. В. Берлов, П. Б. Машикина. – Д.: «Акцент ПП», 2014. – 127 с.
2. Belyayev N.N., Berlov A.V., Kirichenko P.S. Raschet zagryazneniya prizemnogo sloya atmosfery pri gorenii tverdogo raketnogo topliva [Calculation of ground-level air pollution at burning of solid rocket propellant]. *Zbirnyk naukovykh prats «Naukovyi visnyk budivnytstva»* [Proc. «Scientific Bulletin of construction»], Kharkiv, 2016, issue 1 (83), pp. 203-207.
3. Berlyand M.Ye. *Prognoz i regulirovaniye zagryazneniya atmosfery* [Prognosis and controlling of atmosphere pollution]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1985. 273 p.
4. Bruyatskiy Ye.V. *Teoriya atmosfernoy diffuzii radioaktivnykh vybrosov* [The theory of atmospheric diffusion of radioactive emissions]. Kiev, Institut gidromekhaniki NAN Ukrainy Publ., 2000. 443 p.
5. Marchuk G.I. *Matematicheskoye modelirovaniye v probleme okruzhayushchey sredy* [Mathematical modeling in the environmental problem]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 320 p.
6. *Metodyka vyznachennia ryzykiv ta yikh pryiniatnykh rivniv dlia deklaruvannia bezpeky ob'ektiv pid-vyshchenoi nebezpeky* [Risks definition technique and their acceptable levels for the declaration of security high-risk facilities]. Kyiv, 2002. 25 p.
7. *Metodyka prohnouzuvannia naslidkiv vylyvu (vykydu) nebezpechnykh khimichnykh rehovyn pry avariiakh na promyslovykh ob'ektakh i transporti* [Methods of prediction of the consequences of the spout (emission) of hazardous chemicals in accidents at industrial objects and transport]. Kyiv, 2001. 33 p.
8. Uork, K., Uorner S. *Zagryazneniye vozdukha. Istochniki i kontrol* [Air pollution. Sources and control]. Moscow, Mir Publ., 1980. 539 p.
9. Zgurovskiy M.Z., Skopetskiy V.V., Khrushch V.K., Belyaev N.N. *Chislennoye modelirovaniye rasprostraneniya zagryazneniya v okruzhayushchey srede* [Numerical modelling of pollution spreading in the environment]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1997. 368 p.
10. Belyaev M. Air Pollution Modelling of Technogenic Catastrophes caused by Terrorist Attacks on Rail Transport of Chemical Substances.// Simulation and Assessment of Chemical Processes in a Multiphase Environment . NATO Science for Peace and / Security Series. – C.: Environmental Security, Springer, 2007. P.327 – 336.
11. Biliaiev M. M. Numerical simulation of indoor air pollution and atmosphere pollution for regions having complex topography / M. M. Biliaiev, M. M. Kharytonov // Conference Abstracts of 31st NATO / SPS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and it's Application. – Torino, Italy, 2010. – № P1.7.
12. Hanna S. Air Quality Modeling Over Short Distances.// College on Atmospheric Boundary Layer and Air Pollution Modeling: 16 May-3 June 1994. №SMR/760-2 – P. 712 – 743.
13. Qu Y. Development of building resolving atmospheric CFD code taking into account atmospheric radiation in complex geometric / Y. Qu, M. Millez, L. Musson-Genon, B. Carrissimo //Conference Abstracts of 31st NATO / SPS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and it's Application, 27 September–01 October, Torino, Italy, 2010. № P. 1.5.
14. Tracking and predicting the atmospheric dispersion of hazardous material releases. Implications for Homeland Security / National research council. Committee on the Atmospheric Dispersion of Hazardous Material Releases Board on Atmospheric Sciences and Climate Division on Earth and Life Studies. – USA, Washington, D.C. – 2003. – 101 p.

Статья рекомендована к публикации д.физ.-мат.н., проф. С. А. Пичуговым (Украина), д.т.н., проф. С. З. Полищуком (Украина)

Поступила в редколлегию: 20.04.2016