

УДК 544.77

Д-р физ.-мат. наук В. М. БЕЛЬКОВ, инж. М. А. ЖУРАВЛЕВА

Моделирование загрязнения железнодорожного полотна и технической полосы перегонов пылеватыми частицами

Аннотация. Загрязнение железнодорожного полотна и полосы отвода перегонов минеральными частицами складывается из загрязнения в результате трансграничного переноса выбросов от промышленных объектов, которые оседают на поверхность щебеночной призмы и почвы технической полосы. При перевозке руд происходит частичный унос пылевидных частиц из гранулированного слоя толщиной 10–15 см, на электрифицированных участках — унос пылевидных частиц медного контактного провода, образующих неподвижную форму в виде гидроксида. Концентрация подвижной формы металлических руд в грунтах полосы отвода железных дорог значительно меньше предельно допустимой концентрации (ПДК).

Определение валовой концентрации гидроксидов металлов в грунтах с помощью атомно-абсорбционного метода — операция дорогостоящая и длительная, требующая отбора и подготовки большого количества проб. Для ускорения и удешевления определения загрязнения щебеночной призмы и технической полосы перегонов тяжелыми металлами необходимо получить концентрационную зависимость, позволяющую по одной-двум точкам отбора проб получить полную кривую загрязнения технической полосы и прилегающих территорий в зависимости от координаты удаления от головки рельса и определить фоновую концентрацию.

Моделирование обтекания объекта сложной формы в турбулентных условиях относится к наиболее сложным задачам гидродинамики. Для описания турбулентных движений в слоистой газовой среде используют аппараты теории флуктуаций и теории массопереноса — второе уравнение Фика, решая которое можно найти искомые функции концентрации вредных веществ в зависимости от вертикальной Z и горизонтальной X координат.

Для ускорения и удешевления определения загрязнения технической полосы перегонов построена турбулентная модель на основе теории флуктуаций, позволяющая по одной точке отбора пробы получить полную кривую загрязнения технической полосы в зависимости от координаты удаления от головки рельса. При сравнении теоретической и экспериментальной кривых получено удовлетворительное совпадение.

Ключевые слова: загрязнение пылеватыми частицами перевозимых грузов; полоса отвода; моделирование

Загрязнение железнодорожного полотна и перегонов пылеватыми частицами (гидроксиды железа, хрома, никеля и меди, угля и торфа, строительных материалов) складывается из загрязнений в результате трансграничного переноса выбросов от промышленных объектов, а также из-за частичного уноса пылеватых частиц из полувагонов, на электрифицированных участках — частиц износа медного контактного провода. Эти загрязнения образуют подвижную (растворимые в воде соли) и неподвижную формы в виде

нерастворимых оксидов. Концентрация подвижной формы металлических руд в грунтах полосы отвода железных дорог меньше предельно допустимой концентрации (ПДК).

В результате эксплуатационной деятельности концентрация неподвижной формы тяжелых металлов, которая накапливается в поровом пространстве призмы и грунта технической полосы, возрастает и при выпадении кислых осадков может постепенно переходить в подвижную форму в пленочной воде.

Определение валовой концентрации оксидов металлов в грунтах с помощью атомно-абсорбционного метода — операция дорогостоящая и длительная, требующая отбора и подготовки большого количества проб. Для ускорения и удешевления определения загрязнения щебеночной призмы и технической полосы перегонов необходимо получить функциональную зависимость, позволяющую по двум точкам отбора проб получить полную кривую загрязнения земляного полотна и перегонов в зависимости от координаты удаления точки отбора пробы от головки рельса и определить фоновую концентрацию.

Рассмотрим задачу массопереноса пылеватых частиц в перпендикулярном направлении от головки рельса вглубь полосы отвода при прохождении поезда. Уже при скоростях движения поезда выше 10–15 км/ч происходит срыв ламинарного обтекания на выступающих частях движущихся вагонов. При дальнейшем наборе скорости движения вблизи поверхностей кузова возникает поле вихревых трубок (рис. 1). В зазоре между днищем кузова вагона и верхним строением пути образуется область повышенного давления (до 0,1 кг/см²), заполненная вихревыми трубками. Вокруг поезда образуется веерообразная пульсирующая турбулентная пограничная область, размеры и форма которой определяются длиной поезда, геометрическими неоднородностями местности, боковым ветром и скоростью движения поезда. При скорости движения поезда 50 км/ч полуширина пограничного слоя приблизительно составляет 8–10 м. При скорости поезда 150 км/ч полуширина пограничной области достигает 30 м.

Вследствие низкого давления в вихревых трубках пылевидные частицы перевозимых грузов, износа рельсов, колес, тормозных колодок, контактного провода и углерода токосяемников всасываются внутрь



Рис. 1. Турбулентный слой, возникающий при прохождении состава со скоростью 50 км/ч

вихрей, при этом происходит увеличение их устойчивости. Из-за повышенного давления между днищем кузова вагона и верхним строением пути возникает градиент давления по координате X , перпендикулярной оси рельса, что вызывает поток вихрей из щели наружу. За торцом последнего вагона электропоезда или грузового состава из-за разряжения происходит концентрирование вихрей и формируется быстро останавливающаяся пограничная область высотой 3 м и шириной приблизительно 8–10 м.

Исследование структуры пылевых частиц из-за их плохой видимости в проходящем свете провести невозможно. Однако в зимнее время при прохождении поездов лежащий снег на путях при отрицательных температурах поднимается турбулентным потоком, образуя из-за отражения света полупроницаемое облако. Поскольку плотность льда в снежинках значительно меньше плотности пылевых частиц, но их размер значительно больше поперечных размеров частиц пыли, поведение в турбулентной среде пыли и снега подобно. Поэтому по фотографиям поведения снежного облака можно приближенно судить о поведении пылевых частиц в турбулентной граничной области.

Исследование структуры снежного наносного покрова на невысоких строениях станций и платформ показывает, что после их осаждения образуются слоистые структуры толщиной слоя $\Delta h \approx 2,5 \div 3,0$ см. Толщина наносного слоя приблизительно соответствует диаметру вихрей. Воздушный поток — пограничная область разбивается на множество слоев, турбулентная диффузия в которых, полагаем для упрощения решения, протекает независимо.

Средняя скорость турбулентной пограничной области, образующейся вокруг поезда, меньше скорости

поезда, поэтому в зоне за последним вагоном происходит сжатие внешних границ отстающей пограничной области по осям X и Z (высоте), интенсивное перемешивание и усреднение вихревых трубок по оси Y , совпадающей с направлением движения поезда.

Вследствие трения пограничная область за последним вагоном поезда постепенно останавливается, слоистость течения пограничной области нарушается, вихри в слоях вблизи грунта начинают распадаться, и происходит выпадение поглощенных пылевидных частиц на путь и техническую полосу.

Моделирование обтекания объекта сложной формы в турбулентных условиях относится к наиболее сложным задачам гидродинамики [1–10]. Для описания турбулентных движений в слоистой газовой среде используют аппарат теории флуктуаций. В соответствии с теорией Тейлора [11–13] коэффициент турбулентной диффузии в направлении оси X имеет вид

$$D_{\text{турб}} = \frac{1}{2} \frac{d\sigma_x^2(\tau)}{d\tau}, \quad (1)$$

где $\sigma_x^2(\tau)$ — средний квадрат относительного смещения частиц за время τ , равное $\sigma_x^2(\tau) = [x(\tau) - x(0)]^2$.

Тейлор, выражая $\sigma_x^2(\tau)$ через коэффициент корреляции Лагранжа, определил, что у источника загрязнения атмосферы величина $\sigma_x^2(\tau)$, определяющая характер распространения факела выбросов, пропорциональна τ^2 — квадрату времени, необходимого для перемещения частицы на расстояние $x(\tau) - x(0)$, а коэффициент турбулентной диффузии $D_{\text{турб}}$ пропорционален τ . На значительном расстоянии от рельса величина $\sigma_x^2(\tau)$ пропорциональна τ , а $D_{\text{турб}}$ становится постоянной величиной. Из этого следует, что вблизи от источника выбросов распространение частиц вдоль оси X происходит по линейному закону, а вдали от источника становится пропорциональным $x^{0,5}$.

Классические подходы для определения концентраций загрязнений атмосферного воздуха в случае точечного источника с высотой трубы h при средней скорости ветра v и с постоянным расходом q разработаны Сеттоном и Бозанке — Пирсоном [11–13]. Задачи определения концентраций вредных веществ, поднимающихся в воздух из-за турбулизации потока проходящими составами, в приземном слое в научно-технической литературе не рассматривались.

В моделях Сеттона и Бозанке — Пирсона для решения задачи распределения концентрации вредных веществ в воздухе, прежде всего, находили выражения для горизонтальной и вертикальной составляющих турбулентной диффузии. В вышеуказанных моделях используется аппарат теории массопереноса — второе уравнение Фика, решая которое можно найти искомые функции концентрации вредных веществ в зависимости от вертикальной Z и горизонтальной X координат.

Как видно из рис. 1, область с приблизительно постоянной концентрацией C_0 , образующаяся при прохождении состава, можно аппроксимировать параллелепипедом шириной $2a$ и высотой H , проекция оси которого совпадает со срединной линией железнодорожного пути. Для приземного слоя толщиной $H \approx 3$ м считаем коэффициенты турбулентной диффузии в каждом слое постоянными. Система уравнений, описывающая турбулентную диффузию из параллелепипеда вдоль координаты X для слоистого течения, имеет вид

$$\begin{cases} \frac{\partial C_i(X, Z, \tau)}{\partial \tau} = D_{\text{турб}} \frac{\partial^2 C_i(X, Z, \tau)}{\partial X^2}; \\ \frac{\partial C_i(X, Z, \tau)}{\partial Z} = \text{const}, \quad Z_i < Z < Z_{i+1}; \\ C_i(X, Z, \tau) = 0 \text{ при } x > a, \tau = 0; \\ C_i(X, Z, 0) = C^0 \text{ при } -a < X < a; \\ C(X, \tau) = C^0 \text{ при } -a < X < a, \tau = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где C^0 — средняя начальная концентрация в слое параллелепипеда, i — номер слоя, $1 < i < k$, k — число слоев, $k = \frac{H}{\Delta h}$.

Из структуры системы уравнений (2) следует, что решение в слое i есть решение задачи диффузии из слоя конечной толщины ($-a < X < a$), содержащего в начальный момент диффундирующее вещество с постоянной концентрацией C^0 [9–14]:

$$C_i(X, \tau) = \frac{C^0}{2} \left[\text{erf} \left(\frac{a-X}{2\sqrt{D\tau_i}} \right) + \text{erf} \left(\frac{a+X}{2\sqrt{D\tau_i}} \right) \right]. \quad (3)$$

Уравнение (3) описывает рассеяние вихрей, содержащих примеси, в слое i . При удалении вихрей от поверхности их генерации по слою в пограничной области они замедляются из-за трения и теряют устойчивость. На каждый слой, кроме того, действует градиент давления, направленный вниз, так как в прослое наверху i -го слоя скорость движения воздуха ниже, чем внизу слоя. Вещество, содержащееся в вихре, оседает на поверхность грунта. Скорость оседания частиц из разрушенного вихря приближенно можно найти из уравнения закона Стокса. Приняв скорость оседания вихрей и частиц $v_z = \text{const}$, можно определить время существования вихря в i -м слое:

$$\tau_i = \frac{(h_0 + i\Delta h)}{v_z}, \quad (4)$$

где h_0 — среднее возвышение головки рельса над поверхностью технической полосы.

Оседание слоев приводит к концентрированию взвешенных частиц на поверхности грунта. Просуммировав C_i по всем слоям, находим

$$C_\Sigma(X, \tau_i) = \sum_{i=1}^k C_i(X, \tau_i) =$$

$$= \frac{C^0}{2} \left[\sum_{i=1}^k \text{erf} \frac{a-X}{2\sqrt{\frac{D_{\text{турб}}}{v_z} \left(h_0 + (2i-1)\frac{\Delta h}{2} \right)}} + \sum_{i=1}^k \text{erf} \frac{a+X}{2\sqrt{\frac{D_{\text{турб}}}{v_z} \left(h_0 + (2i-1)\frac{\Delta h}{2} \right)}} \right]. \quad (5)$$

Уравнение (5) имеет громоздкий вид и неудобно для проведения расчетов. Приведем уравнение (5) к безразмерному виду

$$C_\Sigma(X) = \frac{C^0}{2} \left[\sum_{i=1}^k \text{erf} \frac{1-\xi}{2\sqrt{\Omega(1+(2i-1)\lambda)}} + \sum_{i=1}^k \text{erf} \frac{1+\xi}{2\sqrt{\Omega(1+(2i-1)\lambda)}} \right], \quad (6)$$

где $\xi = \frac{X}{a}$, $\lambda = \frac{\Delta h}{2h_0}$, $\Omega = D_{\text{турб}} \frac{h_0}{v_z a^2}$.

Для величин $\Delta h \sim 0,03$ м, $h_0 \sim 0,3-1,5$ м параметр $\lambda \sim (0,05; 0,01)$, выражение $\Psi = [1 + (2i-1)\lambda]^{-0,5}$, входящее в аргумент функции erf в выражении (6), изменяется в интервале значений: при $i = 1$ $\Psi \approx 1$, при $i = k$ $\Psi \sim (0,88; 0,79)$. Выражение $\Psi = [1 + (2i-1)\lambda]^{-0,5}$ можно заменить с абсолютной погрешностью не более 11%, что приемлемо для расчетов рассеивания, средней величиной, равной 0,9. С учетом сделанных оценок и суммируя ряды в уравнении (6), находим окончательное выражение для суммарной концентрации на грунте

$$C_\Sigma(\xi) = \frac{kC^0}{2} \left\{ \text{erf} \left[0,9 \frac{1-\xi}{2\sqrt{\Omega}} \right] + \text{erf} \left[0,9 \frac{1+\xi}{2\sqrt{\Omega}} \right] \right\}. \quad (7)$$

Уравнение (7) получено в предположении, что скорость ветра в приземной области вдоль координаты X равна 0. Если слой обдувается ламинарным потоком, то решение не изменяется, но вместо координаты X в уравнении (5) следует подставить $v_x \tau$. Концентрационная кривая $C(X, \tau)$ будет не только «размываться» во времени, но и ее максимум будет перемещаться вдоль координаты X .

Коэффициент турбулентной диффузии находится в пределах от 1 до 100 см²/с [11–15]. Для взвешенных веществ коэффициент турбулентной диффузии приблизительно составляет 10–20 см²/с [11–15]. Ширина турбулентной области для скорости состава 50–60 км/ч приблизительно равна $a = 8...10$ м. Величина скорости осаждения взвешенных веществ, которые освобождаются при разрушении вихрей, размером 0,00001–1 мм при вязкости воздуха $18,1 \cdot 10^{-6}$ Па·с равна $1 \cdot 10^{-3} - 1,0$ м/с. Принимая закон распределения

частиц по размеру логарифмически нормальным, наблюдаемым при дроблении минеральных материалов, находим средний размер частицы $r \approx 10^{-3}$ мм. Тогда средняя скорость оседания будет равна $v_z = 5 \cdot 10^{-3}$ м/с.

Скорость оседания вихрей до их разрушения после прохождения грузового состава неизвестна, но может быть оценена по экспериментальным значениям концентрации пыли, осевшей на поверхность технической полосы.

Для экспериментальной проверки теоретической кривой распределения загрязнений в виде пыли в полосе отвода железной дороги нами были размещены и прикопаны перпендикулярно рельсам через каждые 10 м пластиковые боксы с диаметром горловины 50 мм в количестве 10 штук, первый бокс был установлен у торца шпалы. В течение семи дней в июльскую жаркую сухую погоду в боксах накапливалась пыль. По разности изменения веса боксов до и после экспериментов были найдены интегральные концентрации выпавшей пыли, а после деления полученных значений концентраций на число пар поездов (грузовых, пассажирских и пригородных) получена экспериментальная кривая изменения относительной концентрации осевшей пыли после прохождения грузового состава.

Средняя начальная концентрация в слое параллелепипеда kC^0 была найдена интегрированием по методу взвешивания площади под экспериментальной кривой на микровесах. Относительные экспериментальные значения концентрации пыли в точках замера находили делением их значений на концентрацию kC^0 . Для точки, лежащей на расстоянии 50 м от оси пути, концентрация равна 1,15 г/кг, а величина ξ равна 5. Для точки, лежащей на расстоянии 3 м от оси пути, концентрация равна 0,52 г/кг, а величина ξ равна

0,3. Подставив эти значения в уравнение (7), найдем выражение для отношения концентраций для выбранных реперных точек $\frac{C_z(\xi_1)}{C_z(\xi_2)} = 2,2$, решая которое относительно Ω находим $\Omega = 7,3$. Зная значение Ω , можно определить среднюю скорость осаждения вихрей $v_z = D_{\text{турб}} \frac{h_0}{\Omega a^2} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,3}{7,3 \cdot 100} = 2 \cdot 10^{-6}$ м/с. Сравнивая средние скорости оседания частиц $5 \cdot 10^{-3}$ м/с и вихрей $2 \cdot 10^{-6}$ м/с, можно сделать вывод, что процесс выпадения пыли определяет процесс турбулентной диффузии и оседания вихрей.

На рис. 2 дана теоретическая кривая распределения концентрации загрязнений перпендикулярно оси пути, экспериментальные точки (относительная концентрация осевшей пыли) изображены в виде зачерненных кружков. Как видно из сравнения теоретической и экспериментальной кривых, они близки. Теоретическая кривая выходит на фоновое значение при $\xi = 13$ (130 м). Контрольный замер концентрации минеральных частиц на удалении 150 м от оси пути принят за фоновую концентрацию. Площадь под теоретической кривой (см. рис. 2) равна произведению $\frac{C}{kC^0} \xi \Big|_{\xi=0, \xi=1} = 1 \cdot 1 = 1$.

Авторы настоящей статьи отдают себе отчет в том, что реальная концентрационная кривая может значительно отличаться от параллелепипеда, особенно на краях турбулентной пограничной области. Однако благодаря разряжению, возникающему за последним вагоном поезда, концентрационная кривая деформируется, приближаясь по форме к принятой модели, поэтому экспериментальные точки относительно близко легли к теоретической кривой распределения загрязнений.

Вихри, образующиеся при движении поездов, захватывают не только минеральную пыль, плотность которой $\rho = 2650$ кг/м³, и графита токосъемников ($\rho = 2250$ кг/м³), но и более тяжелые частицы металлов и их оксидов: железа, никеля, кобальта, хрома и меди. Поведение частиц с сильно отличающейся плотностью в вихрях не исследовано. Эксперименты показали, что медные частицы выпадают из вихрей быстрее, и для них модельная кривая лежит ниже, а максимум на 30% выше кривой, изображенной на рис. 2. Для никеля и хрома модельная кривая совпадает с теоретической кривой на рис. 2. Следовательно, должен проявляться эффект разделения вредных примесей при турбулизации потока воздуха: частицы меди и ее гидроксиды будут выпадать ближе к железнодорожной насыпи, чем прочие загрязнения. Этот эффект скорее связан не с плотностью частиц, образующихся при истирании контактного провода, а с большими размерами частиц меди из-за ее пластичности.

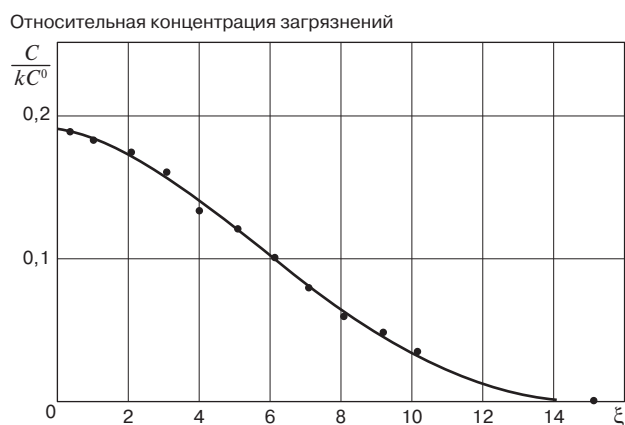


Рис. 2. Модельная теоретическая кривая (сплошная линия) распределения концентрации загрязнений перпендикулярно оси пути, экспериментальные точки — относительные концентрации осевшей пыли:
 ξ — относительное расстояние от оси пути до точки определения концентрации в технической полосе

Если скорость ветра значительна, то в приземной области образуется турбулентный слой, и против направления ветра величина коэффициента турбулентной диффузии может быть равной 0, а вдоль ветра становится выше.

В связи с установкой вдоль железных дорог шумопоглощающих экранов распространение загрязнений кардинально изменяется: загрязнения сосредотачиваются в узкой 5–6-метровой полосе от головки рельса до экрана. С одной стороны, это положительное явление, так как препятствует загрязнению полосы отвода железных дорог и прилегающих территорий, а с другой, происходит быстрое заполнение порового пространства щебеночной призмы минеральными частицами, что ухудшает ее фильтрационные и механические свойства и сокращает межремонтные сроки.

Действительно, для узкой полосы, ограниченной экранами пятиметровой высоты, распределение скоростей в турбулентной пограничной области существенно изменяется. Распределение концентрации взвешенных веществ по координате на оси, перпендикулярной оси пути, будет приближенно постоянным и равным $\frac{C}{kC^0} = 1$, а это значит, что поровое пространство щебеночной призмы будет заполняться примерно в пять раз быстрее, если бы не было шумопоглощающих экранов (см. рис. 2). Кроме того, из-за возникающего разряжения воздуха в пространстве между экранами в этой области будут концентрироваться выбросы дизельных двигателей тепловозов, продукты износа контактного провода и токосъемников, вырастет унос пылеватых частиц перевозимых грузов.

Выводы. 1. Полученная модельная кривая распределения концентрации загрязнений позволяет по одному определению концентрации перевозимого груза в реперной точке приближенно находить всю концентрационную кривую для перегона железной дороги.

2. Эколого-экономическая целесообразность установки шумопоглощающих экранов должна определяться из сопоставления:

- повышенных затрат на ремонт пути вследствие снижения межремонтных сроков с учетом того, что основной вклад в загрязнение порового пространства щебеночного слоя железнодорожного пути дает износ и дробление гранул щебня;
- повышенного загрязнения дождевых стоков с железнодорожного пути, собираемых в лотки;
- ухудшения условий труда монтеров пути из-за повышенной запыленности пространства между экранами;
- сложности выгрузки отсева балласта из щебнеочистительных машин;
- величины социального эффекта.

3. С учетом появляющихся проблем вследствие установки шумопоглощающих экранов на участках

железных дорог России рациональнее и значительно дешевле использовать для шумоподавления низкие, высотой 1,5 м, легко демонтируемые экраны и внедрять методы шумоподавления у источника образования шума (шейки рельсов, боковых поверхностей колесных пар) и модификаторы трения на дорожке катания рельсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хргиан А. Ж. Физика атмосферы. Л.: Наука, 1969.
2. Базаров И. П., Геворкян Э. В., Николаев П. Н. Термодинамика и статистическая физика. Теория равновесных систем. М.: Изд-во МГУ, 1986. 309 с.
3. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 448 с.
4. Вызова Н. Л. Рассеяние примеси в пограничном слое атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 191 с.
5. Вызова Н. Л., Гаргер Е. К., Иванов В. И. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 280 с.
6. Ионисян А. С. Математическое моделирование процесса распространения активной примеси в свободной и облачной атмосфере. Ставрополь, 2003. 190 с.
7. Каплан Л. Г. Локальные процессы в сплошной жидкой среде и атмосфере. Ставрополь: АСОК, 1993. 246 с.
8. Монин А. С. Теоретические основы геофизической гидродинамики. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 424 с.
9. Семенчин Е. А. Аналитические решения краевых задач в математической модели атмосферной диффузии. Ставрополь: Изд-во СКИ-УУ, 1993. 141 с.
10. Яглом А. М. Диффузия примеси от мгновенного точечного источника в турбулентном пограничном слое // Турбулентные течения. М.: Наука, 1974. С. 62–64.
11. Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии. Ч. 1, 2. М.: Химия, 1995. 496 с.
12. Шервуд Т., Пигфорд Р., Уилки Ч. Массопередача / пер. с англ. М.: Химия, 1982. 696 с.
13. Кафаров В. В. Основы массопередачи. М.: Высшая школа, 1972. 496 с.
14. Карлслю Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел / пер. с англ. М.: Наука, 1964. 487 с.
15. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД 86. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 94 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

БЕЛЬКОВ Владимир Максимович, научный консультант, главный научный сотрудник, ОАО «ВНИИЖТ». 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10. Тел.: (495) 260-41-56. E-mail: belkov.vladimir@vniizht.ru

ЖУРАВЛЕВА Маргарита Анатольевна, старший преподаватель кафедр «Физика и химия», «Техносферная безопасность» Российской открытой академии транспорта Московского государственного университета путей сообщения (РОАТ МИИТ). 125190, Москва, Часовая ул., д. 22/2. Тел. (495) 329-03-64. E-mail: crane_64@mail.ru

Mathematical simulation of railway track and trackside contamination with silt

Vladimir M. Belkov, Dr. of Physics and Mathematics, Science Advisor, Chief Researcher, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: + 7 (495) 260 4156. E-mail: belkov.vladimir@vniizht.ru

Margarita A. Zhuravlyova, Senior Teacher, Chairs of Physics and of Technosphere Safety, Russian Open Academy of Transport at Moscow State University of Railway Engineering (ROAT MIIT). 22/2, Chasovaya str., 125190 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (495) 3290364. E-mail: crane_64@mail.ru

Abstract. Railway track and trackside contamination with mineral particles results from transboundary transfer of emissions from industrial facilities, which are deposited on the surface of crushed stone prism and the wayside soil band. Transportation of ores suggests partial entrainment of dust particles from the top granular layer 10 – 15 cm thick; electrified lines add dust-like particles of copper contact wires, which turn to a fixed form as hydroxides. Concentration of mobile forms of metal ores in the wayside soil band is significantly less than maximum allowable concentrations (MACs).

To measure gross concentration of metal hydroxides in soils by atomic absorption method is an expensive and time-consuming procedure including withdrawal and preparation of large numbers of samples. To expedite the process and to reduce the costs of measuring the contamination of crushed stone prisms and track waysides with heavy metals we need to get the concentration dependence formula allowing to obtain the full pollution curve for the wayside and adjacent zone from one or two samples depending on the coordinates from the rail head and to determine the background concentration.

Simulation of a flow around a complex shape object in turbulent conditions relates to the most difficult tasks in fluid dynamics. To describe the turbulent motions in layered gaseous environment we normally use the instruments common for the theory of fluctuations and the theory of mass transfer—like the second Fick's equation, from which we can find the required functions of the concentration of harmful substances, depending on the vertical Z and the horizontal X coordinates.

To expedite the process and to reduce the costs of measuring the contamination of the track wayside a simulation model for turbulent areas was developed on the grounds of fluctuation theory; depending on the coordinates from the rail head, one sample allows to obtain the full pollution curve for the wayside. Comparison of theoretical and experimental curves has shown a satisfactory match.

Keywords: contamination with silt blown out from bulk loads; trackside; mathematical simulation

References

1. Khrgian A. Zh. *Fizika atmosfery* [Atmospheric physics]. Leningrad, Nauka Publ., 1969.
2. Bazarov I. P., Gevorkyan E. V., Nikolaev P. N. *Termodinamika i statisticheskaya fizika. Teoriya ravновесnykh sistem* [Thermodynamics and statistical physics. The theory of equilibrium systems]. Moscow, MSU Publ., 1986. 309 p.

3. Berlyand M. E. *Sovremennye problemy atmosfery i zagryazneniya atmosfery* [Modern problems of atmospheric diffusion and air pollution]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1975. 448 p.

4. Vyzova N. L. *Rasseyaniye primesi v pogranichnom sloe atmosfery* [Admixtures dispersion in the atmospheric boundary layer]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1974. 191 p.

5. Vyzova N. L., Garger E. K., Ivanov V. I. *Eksperimental'nye issledovaniya atmosfery diffuzii i raschyty rasseyaniya primesi* [Experimental studies of atmospheric diffusion and admixture scattering calculations]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1989. 280 p.

6. Ionisyan A. S. *Matematicheskoe modelirovaniye protsessa rasprostraneniya aktivnoy primesi v svobodnoy i oblachnoy atmosfere* [Mathematical modeling of the propagation of the active admixtures in free and cloudy atmosphere]. Stavropol', 2003. 190 p.

7. Kaplan L. G. *Lokal'nye protsessy v sploshnoy zhidkoy srede i atmosfere* [Local processes in a continuous liquid medium and the atmosphere]. Stavropol', ASOK Publ., 1993. 246 p.

8. Monin A. S. *Teoreticheskie osnovy geofizicheskoy gidrodinamiki* [Theoretical foundations of geophysical fluid dynamics]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1988. 424 p.

9. Semenchin E. A. *Analiticheskie resheniya kraevykh zadach v matematicheskoy modeli atmosfery diffuzii* [Analytical solutions of boundary value problems in the mathematical model of atmospheric diffusion]. Stavropol', SKI-UU Publ., 1993. 141 p.

10. Yaglom A. M. *Diffuziya primesi ot mgnovennogo tochechnogo istochnika v turbulentnom pogranichnom sloe* [The admixture diffusion from the instantaneous point source in a turbulent boundary layer]. Turbulentnye techeniya [Turbulent flows]. Moscow, Nauka Publ., 1974, pp. 62 – 64.

11. Dytnerskiy Yu. I. *Protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii* [Processes and devices of chemical technology]. Moscow, Khimiya Publ., 1995, Pt. 1, 2. 496 p.

12. Sherwood T. K., Pigford R. L., Wilkie C. R. *Mass transfer*. New York, McGraw-Hill Publ., 1975. (Russ. ed.: Shervud T., Pigford R., Uilki Ch. *Massoperedacha*. Moscow, Khimiya Publ., 1982. 696 p.)

13. Kafarov V. V. *Osnovy massoperedachi* [Fundamentals of mass transfer]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1972. 496 p.

14. Carlslow G., Eger D. *Teploprovodnost' tverdykh tel* (transl. from Engl.) [Thermal conductivity of solids]. Moscow, Nauka Publ., 1964. 487 p.

15. *Method of calculating the concentration in the air of harmful substances in industrial emissions*. OND 86. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1987. 94 p. (in Russ.).

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Дыдышко П. И. Земляное полотно железнодорожного пути. Справочник: науч. тр. ОАО «ВНИИЖТ». М.: Интекст, 2014. 416 с.

Изложены справочные данные и научное обоснование обеспечения стабильности земляного полотна железнодорожного пути, включая инновационные решения, на основе исследований процессов тепломассопереноса в грунтах. Представлено неизвестное ранее термоэлектрокинетическое явление, обуславливающее перенос влаги в капиллярных анизотермических системах, который влияет на несущую способность и устойчивость основания пути. Материалы справочника включают в себя порядок проведения ин-

женерных изысканий, методы расчетов, конструкции земляного полотна новых линий, дополнительных главных путей и усиления (реконструкции) эксплуатируемых линий. Рассмотрены объекты в различных инженерно-геологических условиях. Приведены порядки содержания земляного полотна, правила приемки объектов в эксплуатацию и правила охраны окружающей среды.

По вопросам предварительного заказа на приобретение книги обращайтесь в редакционно-издательский отдел ОАО «ВНИИЖТ», тел. (499) 260-43-20.