

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТЕЧЕНИЯ И РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ НА УЧАСТКЕ Р. ОБЬ У Г. БАРНАУЛА

варианту № 1 существенно не изменит скоростную структуру речного потока и тенденции развития современных русловых процессов на рассматриваемом участке реки в различные гидрологические сезоны. При выполнении берегоукреплений по варианту № 2 кинематическая структура речного потока может претерпеть качественные изменения, в результате чего изменятся условия взаимодействия потока и русла. Так, у левого берега ниже по течению будет формироваться циркуляционная зона. В результате этого на данном участке русла усилятся процессы аккумуляции и повысятся отметки дна. Перед фронтом сооружения возникнет область локального размыва русла. Возможно усиление процесса отклонения стрежневой зоны речного потока вправо из-за усиления размыва русла у правого берега. Эти локальные изменения протекания руслового процесса не отвечают требованиям хозяйственной деятельности на рассматриваемом участке реки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействию малых форм предприятий в научно-технической сфере (проект № 5752) и Российского фонда фундаментальных исследований (грант 05-05-98012-р_Обь).

ЛИТЕРАТУРА

1. Коробкова Г.В. Обь // Барнаул: Энциклопедия. – Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2000а. – С. 208-209.
2. Чалов Р.С. Географические исследования русловых процессов. – М., Изд-во МГУ, 1979. – 234 с.

3. Зиновьев А.Т., Марусин К.В., Шлычков В.А., Затинацкий М.В. Численное моделирование динамики речного потока на участке размываемого русла // Материалы VIII Всероссийской конференции "Современные методы математического моделирования природных и антропогенных катастроф", 2005, Кемерово, (www.ict.nsc.ru/ws/hazards2005/).

4. Зиновьев А.Т., Марусин К.В., Марков А.М., Боечко К.Н. Математическое моделирование русловых процессов на участке р. Обь для выбора инженерных мероприятий по расчистке русла // Фундаментальные и прикладные исследования по приоритетным направлениям науки и техники. Ч.2. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2005. – С. 178-181.

5. Engelund F., Hansen E. A monograph on Sediment transport In Alluvial Streams // Nordic Hydrology. – No 7. – 1967.

6. Van Rijn Leo C. Sediment transport by Currents and Waves. The Handbook. – Delft Hydraulics, 1989. – 360 p.

7. Караушев А.В. Речная гидравлика. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 416 с.

8. Беликов В.В., Семенов А.Ю. Численный метод распада разрыва для решения уравнений теории мелкой воды // ЖВМиМФ. – 1997. – Т. 37. – № 8. – С. 1006-1019.

9. Зубкова К.М. Формирование и баланс взвешенных наносов р.Оби на участке от г. Барнаула до г. Камень-на Оби // Труды ГГИ. – 1991. – Вып. 349. – С. 30-46.

10. Зиновьев А.Т., Марков А.М., Шибких А.А., Котовщиков А.В. Построение цифровой модели рельефа русла р. Катунь для математического моделирования русловых процессов // Фундаментальные и прикладные исследования по приоритетным направлениям науки и техники. Ч.2 – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2005. – С. 176-178.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ АТМОСФЕРНЫМИ ВЫБРОСАМИ ОТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО РЕГИОНА

А.А. Быков, Е.Л. Счастливец, С.Г. Пушкин, О.В. Смирнова

В настоящей статье рассказывается о разработанной и программно реализованной в Институте угля и углехимии СО РАН локальной долгопериодной модели расчета осаждения атмосферных частиц на подстилающую поверхность. Рассматриваются возможности модели и перспективы ее применения для решения практических задач управления качеством природной среды угледобывающего региона.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время Кузбасс является основным угледобывающим регионом Рос-

сии. Концентрация производства на незначительной территории является причиной очень высокой экологической нагрузки на население.

ние и природные комплексы. Дальнейшее развитие отрасли должно производиться только на основе современных технологических проектов, минимизирующих дополнительную экологическую нагрузку.

Производственные процессы, связанные с добычей угля, являются мощными источниками выбросов в атмосферу. К ним относятся энергетические установки, взрывные работы, разработка и транспортировка породы и угля, пылящие (горящие) отвалы, дегазационные и вентиляционные установки, ремонтно-технологические службы, карьерный транспорт, сопутствующие производства. При оценке воздействия производственных процессов на загрязнение атмосферного воздуха с целью выбора экологически приемлемого варианта технологии и начислении платы за выбросы (для действующих предприятий) используется математическое моделирование [1, 2]. Существует целый ряд моделей расчета загрязнения атмосферы [3,4]. Следует подчеркнуть, что официально принятая в России для проектных работ методика расчета загрязнения атмосферы промышленными выбросами (ОНД-86) [5] предназначена для вычисления максимальных разовых (осредненных за 20 минут) концентраций $C_{мр}$ загрязняющих веществ (ЗВ) в приземном слое. Именно $C_{мр}$ не должны превышать предельно допустимые разовые концентрации (ПДК_р) при определении допустимости воздействия предприятия на атмосферный воздух. Использование других методик или расчеты других показателей (кроме $C_{мр}$) не являются нормативными и не влияют в настоящее время на принятие решения об утверждении или отклонении проектных разработок [2].

Выбросы угольной отрасли характерны тем, что содержат большой процент пылевых частиц, обладающие эффектом оседания на подстилающую поверхность. При экологической экспертизе проектов возникают, наряду с

$$P_m = \frac{(1+b)M}{2\pi ur L_0} \left[a L_1 t_{e1} \sum_{i=1}^K m_i y_i \exp\left(-\frac{ay_i r}{u}\right) + L_3 t_{e3} \sum_{i=1}^K m_i y_i \exp\left(-\frac{y_i r}{u}\right) \right], \quad (1)$$

где b – относительный вклад смешанных атмосферных осадков в их общее количество; m – масса твердых зв, выбрасываемых источником в атмосферу в течение года, г/год; \bar{u} – среднегодовая средняя скорость ветра в слое распространения зв, м/сек; r – расстояние от источника, м; l_0 – повторяемость направления ветра данного румба для круговой розы ветров; a – эмпирическая поправка на отличие в интенсивности вымывания жидкими и твердыми осадками; l_1, l_3 – повторяемости

другими, задачи по оценке количества пыли, выпадающей из атмосферы на заданную территорию в течение длительного промежутка времени (сезон, год). В частности, представляют интерес оценки выпадения и накопления пылевых выбросов на сельскохозяйственных землях, в снежном покрове, в бассейнах рек и т.д. При этом не исключена ситуация, когда промышленные выбросы, будучи допустимыми с точки зрения максимального разового загрязнения атмосферы, приводят к весьма существенному накоплению вредных веществ в почвенном покрове.

Для проведения количественной оценки осаждения твердых зв на заданную территорию в институте угля и углехимии разработана модель расчета потока пылевых частиц промышленного происхождения на подстилающую поверхность. Целью представленной работы является рассмотрение возможностей использования модели для разработки региональных методических указаний по расчету осаждения пыли от промышленных источников угледобывающих предприятий.

МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ВЫПАДЕНИЯ

Модель базируется на работах [6, 7] и дает возможность по данным о параметрах источников, фракционному составу выбрасываемых зв и климатическим метеопараметрам территории оценить среднегодовую приземную концентрацию зв, мокрый поток зв на подстилающую поверхность (вымывание) p_m , сухой поток (осаждение) p_c и полный поток p , представляющий собой сумму двух названных), загрязняющих веществ, выбрасываемых одиночным точечным источником, на составляющих $p = p_m + p_c$. Расчет среднегодового мокрого потока p_m , г/(м²год), загрязняющих веществ, выбрасываемых одиночным точечным источником, на подстилающую поверхность в заданной точке осуществляется по формуле [10]:

направлений ветра данного румба для летней и зимней розы ветров соответственно; t_{bl}, t_{bz} – относительные (в долях года) продолжительности выпадения жидких и твердых осадков; k – число рассматриваемых фракций частиц; m_i – доля общей массы зв, приходящая на i -ю фракцию частиц; y_i – постоянная вымывания i -ой фракции частиц, с⁻¹.

Среднегодовой сухой поток p_c , г/(м²год), оценивается в виде суммы [10]:

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ АТМОСФЕРНЫМИ ВЫБРОСАМИ
ОТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО РЕГИОНА

$$P_c = \sum_{i=1}^K (V_{i3} t_{c3} + V_{in} t_{cl}) q_i, \quad (2)$$

Где v_{i3} – скорость осаждения i -ой фракции частиц в зимний период, м/сек; t_{c3} – продолжительность периода залегания снежного покрова за вычетом времени выпадения осадков в этот период, сек; v_{in} – скорость осаждения i -ой фракции частиц на поверхность, лишенную снежного покрова, м/сек; t_{cl} – продолжительность периода отсутствия снежного покрова за вычетом времени выпадения осадков, сек; q_i – среднегодовая приземная концентрация i -ой фракции, г/м³. Последняя пересчитывается через максимально разовую, определяемую на основе нормативной методики [5]. Для пересчета используются среднегодовая скорость ветра, роза ветров и повторяемость условий, определяющих рассеивание зв в приземном слое атмосферы. Расчет среднегодовой концентрации производится в каждой интересующей точке отдельно по фракциям частиц с различными

параметрами осаждения, после чего результаты складываются для получения суммарной концентрации для каждого источника.

Соотношения (1) и (2) показывают, что в рамках принятой модели можно легко оценить сезонное выпадение. В частности, для расчета осаждения зв в снеговой покров (зимний период) достаточно положить $t_{bl} = t_{cl} = 0$ и использовать суммарный выброс m для каждого источника только за зимний период. При расчете среднегодовых концентраций q_i следует, естественно, использовать только зимнюю розу ветров I_3 и среднюю за зимний период скорость ветра.

Для первых численных экспериментов, на основе которых проверялась работоспособность модели [7], выбрано 5 фракций пылевых частиц, параметры которых представлены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры удаления частиц из атмосферы на подстилающую поверхность

Класс по размеру	Диаметр частиц, Мкм	Постоянная вымывания, $Y_j \cdot 10^{-4}, \text{сек}^{-1}$	Скорость осаждения на снег, $v_{i3}, \text{м/с}$	Скорость осаждения на почву, $v_{in}, \text{м/с}$	Параметр f из [5]
1.очень мелкие	<1	0,01	0,001	0,010	1,0
2.мелкие	1-10	0,70	0,007	0,013	1,1
3.средние	10-50	3,83	0,042	0,043	1,5
4.крупные	50-100	4,48	0,151	0,155	3,0
5.очень крупные	>100	5,00	0,420	0,430	4,5

Приведенные в таблице 1 параметры v_{i3} и v_{in} имеют размерность скорости, зависят от размера, плотности частиц и шероховатости подстилающей поверхности (снег считается поверхностью с низкой, а почва – со средней степенью шероховатости).

Все упомянутые выше расчетные схемы программно реализованы в составе широко используемого для проектных работ в сибирском регионе программного комплекса “эра”. Это позволяет проводить практические расчеты с использованием нормативных баз данных (для расчетов по онд-86) как по отдельным промышленным объектам, так и по любым их совокупностям (город, регион). Для расчета осаждения зв на поверхность разработана функция автоматического разбиения суммарных значений выбросов частиц промышленных источников по фракционному составу в зависимости от процентного содержания данной фракции в суммарном выбросе. Проведенная в [7] апробация модели на основе данных снегового анализа показала,

что она достаточно хорошо отражает тенденции осаждения частиц по исследуемой территории, а после соответствующей калибровки - и количественные характеристики.

Для иллюстрации важнейшего момента корректного использования модели осаждения пылевых частиц приведем пример сопоставления результатов расчета с натурными наблюдениями за содержанием в снеге бенз(а)пирена вблизи автодороги. Снеговые пробы отбирались в конце апреля 2003 года в рамках интеграционного проекта СО РАН “Аэрозоли Сибири” (к.ф.-м.н В.Ф.Рапута, Институт вычислительной математики и геофизики СО РАН). Исследован прямолинейный участок дороги, проходящий с юго-востока на северо-запад (рис. 1).

Моделирование осуществлялось для линейного неорганизованного (т.е. без перегрева и вертикальной составляющей начальной скорости выброса) источника, расположенного по диагонали квадрата 2000х2000 метров. Высота источника 4 метра взята по

высоте дорожной насыпи. Предполагалось, что выброс является равномерным по всей протяженности участка, а размер выбрасываемых частиц укладывается в одну из групп, представленных в таблице 1. Поскольку ве-

личина суммарного выброса бенз(а)пирена в эксперименте неизвестна, то она взята условной из соображений наилучшего совпадения средних значений. Результаты моделирования приведены в таблице 2 и на рис. 2.

Таблица 2

Результаты натуральных наблюдений и расчетов (серые колонки) в контрольных точках

Номер точки	1	2	3	4	5	6	7	8
Расстояние от дороги, м	15	20	30	50	75	100	200	300
Замер (доли фона)	12,7	13,7	15,1	17,4	14,9	15,4	9,8	6,4
Очень мелкие, <1 мкм	6,85	7,34	8,32	9,88	11,06	11,58	11,12	9,41
Мелкие, 1-10 мкм	10,97	11,90	13,66	16,06	17,20	17,41	14,85	11,60
Средние 10-50 мкм	12,63	13,86	15,82	17,43	17,44	16,62	12,00	8,38
Крупные 50-100 мкм	18,32	19,07	19,05	16,84	13,68	11,19	5,20	3,76

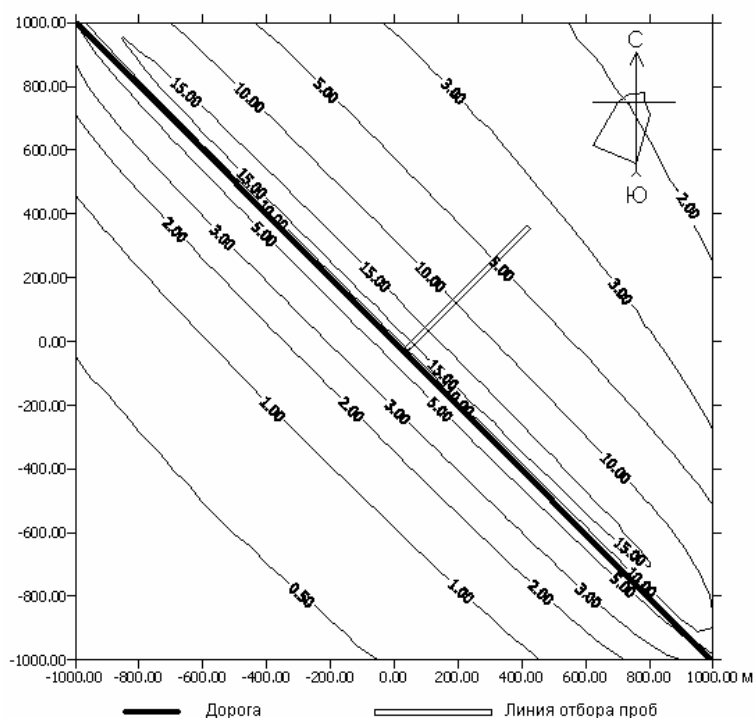


Рисунок 1 – Расчетная оценка выпадения бенз(а)пирена в окрестности автодороги. Изолинии выпадения в долях фонового значения на метр квадратный за зимний период

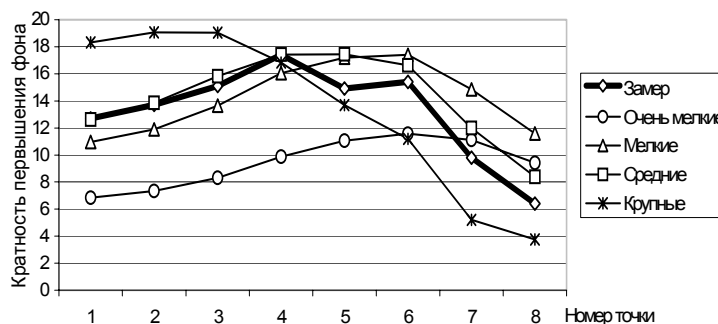


Рисунок 2 – Графическое сопоставление натуральных наблюдений и результатов моделирования при задании выброса с поверхности дороги частицами различных размеров

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ АТМОСФЕРНЫМИ ВЫБРОСАМИ ОТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО РЕГИОНА

Нетрудно заметить, что наилучшее согласование расчетов и замеров может быть получено для средних по размеру частиц, диаметром от 10 до 50 мкм. Приведенный пример показывает, что при неизменных условиях выброса и переноса частиц (тип источника, средняя скорость ветра, плотность осадков, роза ветров) весьма существенное влияние на результат моделирования оказывает разбиение суммарного выброса источника по дисперсному составу.

ОЦЕНКА ПЫЛЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ ПРИ УГЛЕДОБЫЧЕ

В России уже более 20 лет функционирует государственная система управления выбросами загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферу от источников промышленных предприятий. Целью системы является обеспечение нормативного уровня загрязнения воздушного бассейна населенных мест путем финансового и административного принуждения предприятий к выполнению атмосфероохранных мероприятий. Планы мероприятий разрабатывается для перспективных предприятий в процессе проектирования, а для действующих – при разработке проекта нормативов предельно допустимых выбросов (ПДВ). К настоящему времени степень охвата предприятий и объектов работами по нормированию выбросов в атмосферу составляет более 85 % [2].

Добычей угля в Кемеровской области занимается более 52 шахт и 37 разрезов, его обогащением – 17 обогатительных фабрик. На долю угледобывающей промышленности приходится почти третья часть от общего объема промышленного производства. И доля, которую составляют выбросы угольной отрасли Кузбасса в атмосферу, также составляет почти 30% от общего выброса [8]. Для каждого из действующих предприятий разрабатываются проекты нормативов ПДВ. В соответствии с планами освоения новых месторождений разрабатываются проекты новых угледобывающих предприятий, каждый из которых проходит экологическую экспертизу.

Важнейшей информацией для разработки проекта нового предприятия и установления ПДВ для существующего являются параметры источников загрязнения атмосферы (ИЗА). Существует ориентированная на данные цели система сбора и хранения такой информации на государственном уровне. Информация о параметрах ИЗА представляется предприятиями в природоохранные ор-

ганы на основе проведения инвентаризации. В Федеральный Закон "Об охране атмосферного воздуха" [1] введена статья, касающаяся инвентаризации выбросов ЗВ в атмосферный воздух. В соответствии с этой статьей "юридические лица, имеющие источники выбросов ЗВ в атмосферный воздух, проводят инвентаризацию выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и их источников в порядке, определенном специально уполномоченным федеральным органом исполнительной власти в области охраны атмосферного воздуха». Инвентаризацию проводят все действующие предприятия, организации, учреждения независимо от их организационно-правовых форм и форм собственности, производственная деятельность которых связана с выбросом ЗВ в атмосферу. Ответственность за полноту и достоверность данных инвентаризации несет предприятие (в лице руководителя). Инвентаризация выбросов (т.е. представление информации с точностью до каждого ИЗА) проводится 1 раз в 5 лет [1, 2]. Кроме того, ежегодно предприятия отчитываются по форме государственного статистического наблюдения № 2-тп (воздух), которая содержит сведения только о годовых выбросах предприятия в сумме по всем источникам.

В настоящее время данные инвентаризации содержат сведения о типе источника, координатах его расположения на карте (схеме) местности, высоте выброса, геометрии выходного канала, объеме (или скорости выхода) газовой смеси и ее температуре. Выброс загрязняющих веществ характеризуется суммарным значением за год [т/год] и разовым [г/сек], под которым понимается осредненный за 20 минут выброс при максимальной нагрузке производственного оборудования.

Этой информации достаточно для расчета максимальной разовой концентрации $C_{\text{мр}}$ как от отдельных источников, так и для их совокупностей. Однако, необходимый для расчета осаждения в почву фракционный состав пылевых частиц в данных инвентаризации промышленных источников отсутствует. А поскольку результаты расчета весьма существенно зависят от дисперсного состава суммарного выброса (рис. 2), то, очевидно, что для получения достаточно надежных расчетных оценок необходимы специальные исследования, направленные на его определение для различных типов источников загрязнения атмосферы угледобывающей промышленности.

С точки зрения удобства использования в автоматизированных модельных расчетах представляется естественным провести классификацию источников выброса в атмосферу, характерных для предприятий угледобывающей промышленности. Присвоив каждому классу уникальный код и задав для этого класса индивидуальный дисперсный состав можно непосредственно в процессе расчета проводить разбиение суммарного пылевого выброса по фракционному составу. При этом в данные инвентаризации достаточно добавить только код, характеризующий принадлежность источника к тому или иному классу. Для того, чтобы не нарушать стандартизированную структуру баз данных инвентаризации, естественно сделать это с помощью дополнительного списка.

Во введении перечислены основные производственные процессы угледобычи, Авторами предприняты первые шаги по проведению обзора литературы, в которой есть сведения о дисперсном составе пыли, выбрасываемой некоторыми из перечисленных источников. Результаты с соответствующей ссылкой представлены в таблицах 3-7. Естественно, поскольку каждый исследователь

при построении таблицы преследовал собственные цели, приведенные таблицы являются несогласованными как по количеству фракций, так и по границам размеров частиц.

В таблице 8 представлена попытка приведения отдельных данных к тому виду, в котором возможно их усвоение программной реализацией разработанной модели расчета осаждения. Строки таблицы 8 получены путем осреднения и интуитивного продолжения отдельных данных на единую сетку разбиения частиц по фракциям. Особенно переработаны данные по взрывным работам, поскольку в модели следует задавать именно дисперсный состав выброса, а в таблице 5 указывается состав уже осевшей пыли на определенном расстоянии. Авторы отдают себе отчет, что заполнение классификационной таблицы 8 по обзору столь малочисленных литературных данных (относящихся к другим территориям, типам пород и т.д.) является только иллюстрацией той большой исследовательской работы, которую предстоит проделать при классификации источников пылевых выбросов угольной промышленности Кузбасса по фракционному составу.

Таблица 3

Фракционный состав летучей золы в дымовых газах котельных установок [9]

Размер частиц, мкм	Цепные решетки	Пылеугольные топки с сухим шлакоудалением	Циклонные Топки
0-10	-	25	72
10-20	11	24	15
20-30	-	16	6
30-40	-	14	2
40-74	12	13	-
74-149	30	6	5
>149	47	2	-

Таблица 4

Дисперсный состав пыли, осевшей после взрыва [10]

Расстояние от взрываемого блока, м	Содержание фракции, %					
	< 1,4мкм	1,4-4 мкм	4-15 мкм	15-50 мкм	50-100 мкм	> 100 мкм
100	72,98	18,31	6,84	1,8	0,06	0,01
200	74,31	17,52	7,33	0,8	0,04	-
300	75,11	19,5	4,8	0,57	0,02	-

Таблица 5

Дисперсный состав пыли, сдуваемой с поверхности отвалов [11]

Породы, слагающие отвал	Содержание (%) по фракциям пыли, мкм					
	до 1,4	1,4-4,2	4,2-9,8	9,8-15	15-30	>30
Безрудные кварциты	91,29	7,05	1,11	0,37	0,14	0,04
Окисленные кварциты	90,91	8,01	0,94	0,04	0,1	-
Сланцы	89,01	8,77	1,49	0,66	0,06	0,01
Меломергельные	91,59	6,08	1,22	0,91	0,15	0,05

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ АТМОСФЕРНЫМИ ВЫБРОСАМИ ОТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО РЕГИОНА

Таблица 6

Дисперсный состав пылевых частиц на пунктах погрузки угля [12]

Марка угля	Среднее массовое содержание фракций (%) взвешенной пыли при размере частиц, мкм				Средний диаметр взвешенной пыли
	Менее 5	5-10	10-30	Более 30	
А	8	9	33	50	30
ПА	4	6	30	60	35
Т	5	7	32	56	32
ОС	7	10	37	46	28
К	6	7	29	58	33
Ж	4	9	41	46	29
Г	10	9	28	53	32

Таблица 7

Дисперсный состав пылевых частиц в воздухе горных выработок [12]

Тип горных выработок	Среднее массовое содержание (%) фракций взвешенной пыли при размере частиц, мкм				Средний диаметр частиц, мкм
	Менее 5	5-10	10-30	Более 30	
Очистные забои (пологие)	9	11	39	41	25
Очистные забои (крутые)	6	9	37	48	29
Забои подготовительные	5,5	7	28	59	38
Вентиляционные штреки	12	15	47	27	19

Таблица 8

Классификационная таблица для автоматического разбиения суммарных выбросов пыли по фракционному составу

Класс источника		Класс частиц по размеру, мкм						
		1	2	3	4	5	6	7
КО	Тип	0-5	5-10	10-20	20-30	30-50	50-100	>100
Д 001	Котельная с ручной загрузкой.	32	-	15	11	8	5	11
002	Котельная с механической решеткой	0,5	1,5	6	9	21	17	30
003	Котельная с пылевидным сжиганием	3	16	25	20	24	7	-
004	Циклонная топка	40	32	15	6	2		5
101	Взрывные работы	50	20	15	10	4	0,9	0,1
201	Сдувание с отвалов	95	3	0,9	0,1			
301	Погрузка угля	6	8	-	31	54	-	-
401	Вентвыброс	2	8	20	20	25	10	5
501	Дробление горной массы	20	30	35	13	-	2	-

Естественно, главную роль в исследованиях должны играть натурные наблюдения, которые следует организовать для основных типов производственных процессов угледобычи. Одним из возможных методов является краткосрочное (например, за 1 час) исследование подфакельного осаждения пыли на различных расстояниях от источника вдоль по ветру для известных метеоусловий. При этом возможно ограничиться и суммарным весовым контролем оседающей пыли. А дисперсный состав восстанавливать из сообра-

жений наилучшего согласия расчетов и замеров в процессе модельной вариации данных. Для этой цели рассмотренная выше долгосрочная модель дополнена моделью расчета среднего за 1 час осаждения, основанной на гауссовском подходе [4]. Интервал осреднения может быть и другим, однако следует учитывать, что в течение этого интервала должна быть приемлема гипотеза о неизменности метеоусловий. На рисунке 3 представлен пример расчета среднего за час осаждения пыли при взрывных работах для условий,

описанных в [13] и дисперсном составе, взятом из таблицы 8. Аналогичные кривые могут быть легко насчитаны и для других вариантов дисперсного состава. В качестве оценки исходного дисперсного состава выброса может

быть принят тот, при котором будет иметь место наилучшее совпадение расчетов и наблюдений.

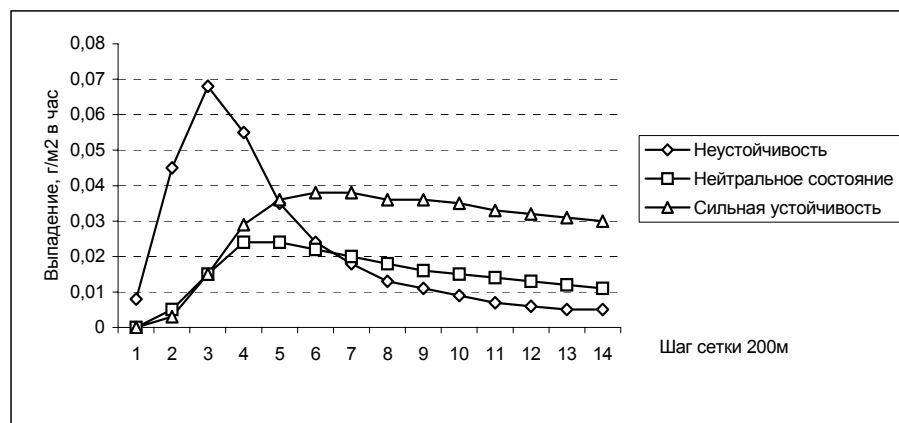


Рисунок 3 – Расчетная оценка часового выпадения пыли по оси факела после взрывов горной массы при различной устойчивости атмосферы. Высота начального облака 100м, размеры 200 x 200 м. Скорость ветра 1 м/сек. Выброс 100 г/сек (0,36 т/час)

Аналогичную настройку можно делать и на данных снегового анализа, проведенного весной в окрестности источников загрязнения атмосферы. Однако в этом случае, естественно, предполагается использование расчетных оценок осаждения, осредненного за длительный (зимний) период. При этом необходимо обязательно учитывать другие близлежащие источники, которые могут создавать существенный фон даже при тех направлениях ветра, когда факел от интересующего пылевого выброса не оказывает влияния на исследуемую точку.

ВЫВОДЫ

1. В Институте угля и углехимии СО РАН разработана и программно реализована локальная модель расчета потока пылевых частиц промышленного происхождения из атмосферы на подстилающую поверхность.
2. Опытная эксплуатация модели показала существенную зависимость результатов от разбиения суммарного выброса источника пыли по дисперсному составу частиц.
3. Начата работа по классификации источников пылевого загрязнения атмосферы с точки зрения дисперсного состава выбросов для основных производственных процессов угледобывающих предприятий.
4. Намечены перспективы экспериментального изучения дисперсного состава промышленных выбросов для угледобывающих предприятий Кузбасса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный Закон об охране атмосферного воздуха от 31.12.2005. N 199-ФЗ.
2. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. – СПб.: НИИ Атмосфера, 2005.-211с.
3. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 272 с.
4. Атмосферная турбулентность и моделирование распространения примесей / Под. ред. Ньюстада Ф.Т.М., Ван-Допа Х. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 350 с.
5. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 92 с.
6. Газиев Я.И., Соснова А.К. Физико-математическое моделирование процесса азрального загрязнения почв промышленными дымовыми выбросами в атмосферу и продуктами их физико-химических превращений // Труды ИЭМ, вып. 14(129). – М.: Гидрометеиздат, 1987. – С. 3-15.
7. Быков А.А., Счастливец Е.Л., Пушкин С.Г., Климович М.Ю. Разработка и апробация локальной модели выпадения загрязняющих веществ промышленного происхождения из атмосферы на подстилающую поверхность // Химия в интересах устойчивого развития. – 2002. – Т. 10, No 5. – С. 563-573.
8. О состоянии окружающей природной среды в Кемеровской области в 2001 году. Государственный доклад. – Кемерово: Издательский дом Азия, 2002. – 342 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ АТМОСФЕРНЫМИ ВЫБРОСАМИ ОТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО РЕГИОНА

9. Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. – Л.:Недра, 1977. – 294 с.
10. Ушаков В.А., Михайлов В.А. Аэрология карьеров. – М.: Недра, 1975. – 248 с.
11. Лобода А.И., Ребристый Б.Н., Тыщук В.Ю. и др. Борьба с пылью на открытых горных работах. – Киев: Техника, 1989. – 152 с.
12. Справочник по борьбе с пылью в горнодобывающей промышленности / Под ред. А.С. Кузьмича. – М.: Недра, 1982. – 240 с.

13. Быков А.А., Счастливец Е.Л., Пушкин С.Г. Модельная оценка выпадения атмосферных аэрозолей в регионах с развитой угледобывающей промышленностью // Региональные проблемы устойчивого развития природоресурсных регионов и пути их решения: Труды IV Всероссийской конференции. Том 2. – Кемерово: ИУУ СО РАН, 2003. – С. 394-406.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА ПРИМЕСИ ОТ ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА НА ПЕРЕМЕННОЙ СЕТКЕ

С.А. Петров, Ю.А. Суковатов

Проведено сравнение способов расчёта переноса примеси в атмосфере на равномерной и неравномерной сетках. Показано преимущество использования неравномерной сетки.

ВВЕДЕНИЕ

Моделирование переноса примеси от импульсного источника на переменной сетке. Процесс переноса примеси в атмосфере моделируется следующим образом:

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \sum_{i=1}^3 \frac{\partial u_i s}{\partial x_i} = 0. \quad (1)$$

Это уравнение непрерывности, где s – концентрация примеси, u_i – компоненты скорости ветра, x_i – ось координат.

Представим скорость ветра и концентрацию в виде суммы средних значений и пульсаций. Уравнение (1) примет вид

$$\frac{\partial \bar{s}}{\partial t} + \sum_{i=1}^3 \frac{\partial \overline{U_i s}}{\partial x_i} = - \sum_{i=1}^3 \frac{\partial P_i}{\partial x_i}, \quad (2)$$

где $P_i = -\overline{u_i' s'}$ – потоки примеси, вызванные турбулентными пульсациями концентрации и поля скоростей.

Принимается гипотеза, что

$$P_i = -K_i \frac{\partial \bar{s}}{\partial x_i},$$

где K_i – коэффициенты турбулентной диффузии.

Опуская знаки усреднения, получаем уравнение:

$$\frac{\partial s}{\partial t} + u \frac{\partial s}{\partial x} + v \frac{\partial s}{\partial y} + (w - w_g) \frac{\partial s}{\partial z} - \mathcal{G} \frac{\partial^2 s}{\partial z^2} - \mu \frac{\partial^2 s}{\partial x^2} - \mu \frac{\partial^2 s}{\partial y^2} = 0, \quad (3)$$

где u, v, w – компоненты скорости по осям x, y, z , \mathcal{G} – коэффициент молекулярной диффузии по вертикальной оси, μ – коэффициент молекулярной диффузии по горизонтальным осям, w_g – коэффициент гравитационного оседания, s – концентрация примеси.

Граничные условия – равенство нулю производных концентрации примеси по координате. Эти условия выбраны из того соображения, что вдали от источника концентрация меняется медленнее. На нижней границе действует условие Монина осаждения примеси на поверхность.

$$\mathcal{G} \frac{\partial s}{\partial z} + w_g s = \beta s \quad \text{при} \quad z = z_0, \quad (4)$$

где β – параметр, зависящий от свойств подстилающей поверхности и частиц примеси, а также от состояния атмосферы [1].

СПОСОБ РАСЧЁТА

Уравнение (3) решается методом прямых. Используется метод Рунге-Кутты второго порядка. Точки, в которых ведётся расчёт, образуют сетку. Сетка может быть регулярной, где расстояние между соседними точками постоянно, и нерегулярной.

Пусть при удалении от источника расстояние между текущей и предыдущей точками возрастает в k раз. Таким образом, точек станет меньше и время расчёта сильно сократится.

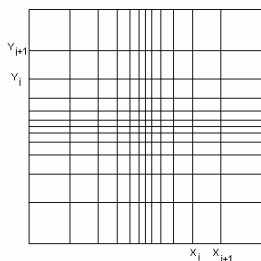


Рисунок 1

Дискретизация переменных на постоянной и переменной сетках происходит по-разному. Если используем сетку с постоянным размером ячеек, то производные считаются так:

$$\frac{d^2 U_{i,j,k}}{dx^2} = \frac{1}{\Delta x^2} (U_{i+1,j,k} + U_{i-1,j,k} - 2U_{i,j,k}), \quad (5)$$

$$\frac{\partial U_{i,j,k}}{\partial y} = \frac{U_{i,j+1,k} - U_{i,j-1,k}}{2(y_{i,j+1,k} - y_{i,j-1,k})} = \frac{U_{i,j+1,k} - U_{i,j-1,k}}{2\Delta y}. \quad (6)$$

Если используем сетку с переменным размером ячеек, то

$$\frac{d^2 U_{i,j,k}}{dx_{i,j,k}^2} = \frac{2}{x_{i+1} - x_{i-1}} \left(\frac{U_{i+1,j,k} - U_{i,j,k}}{x_{i+1} - x_i} - \frac{U_{i,j,k} - U_{i-1,j,k}}{x_i - x_{i-1}} \right), \quad (7)$$

$$\frac{\partial U_{i,j,k}}{\partial y_{i,j,k}} = \frac{U_{i,j+1,k} - U_{i,j-1,k}}{2(y_{i,j+1,k} - y_{i,j-1,k})}. \quad (8)$$

СРАВНЕНИЕ ДВУХ СПОСОБОВ РАСЧЁТА

Размеры области 5*5км., высота – 2 км. Начальный столб загрязняющих веществ имеет высоту 2 км, концентрация выбрана 1 млн. частиц на кубический метр. $\eta=15$ $\mu=1000$ $\beta=0,1$ $ws=0,03$. Время расчёта 1 час.

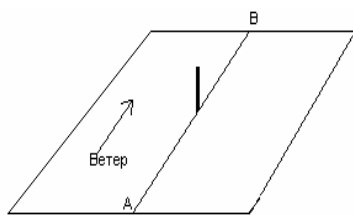


Рисунок 2

На подстилающей поверхности обозначим прямую, проходящую через источник параллельно направлению ветра.

Для сравнения двух способов расчёта приведу несколько графиков числа частиц, выпавших на отрезок прямой АВ, от координаты. Черной нарисованы графики, полученные программой с постоянным размером ячейки, точками – программой с переменным размером ячейки. k - коэффициент увеличения ячейки.

О том, насколько выгодно использование сетки с переменной ячейкой, можно судить по данным в таблице 1.

Таблица 1

К	Размеры расчётной области для 51 узла сетки
1,00	5100
1,05	9544
1,10	19670
1,15	42558
1,20	94396
1,25	210958
1,30	269760

Случай первый. Ветра нет.

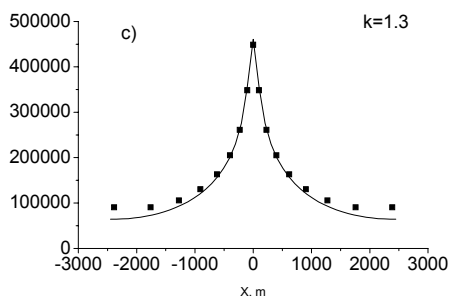
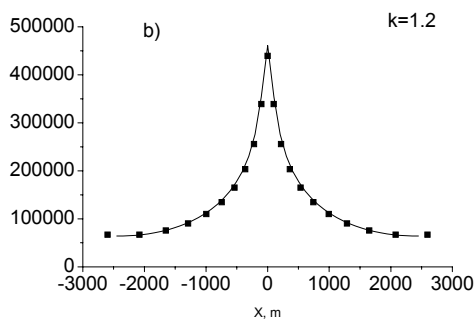
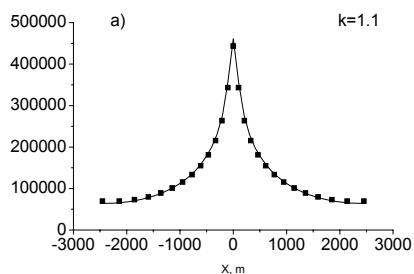


Рисунок 3 – Зависимость числа частиц от координаты: а) $k=1,1$ б) $k=1,2$ в) $k=1,3$

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА ПРИМЕСИ ОТ ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА НА ПЕРЕМЕННОЙ СЕТКЕ

Случай второй. Ветер 10 м/с

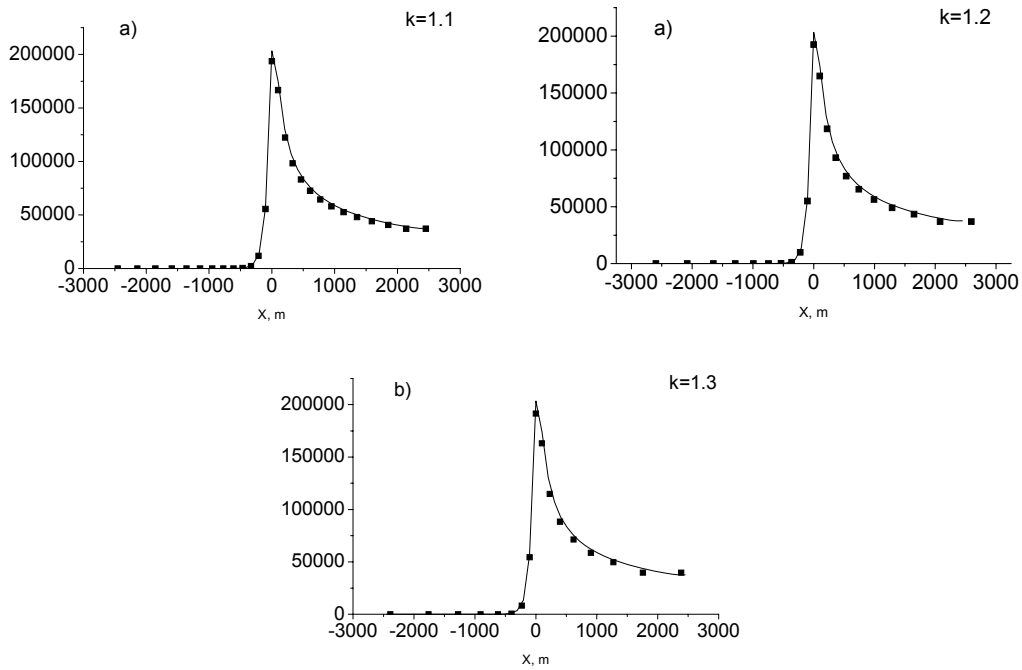


Рисунок 4 – Зависимость числа частиц от координаты: а) $k=1,1$ б) $k=1,2$ в) $k=1,3$

Случай третий. Ветер 20 м/с

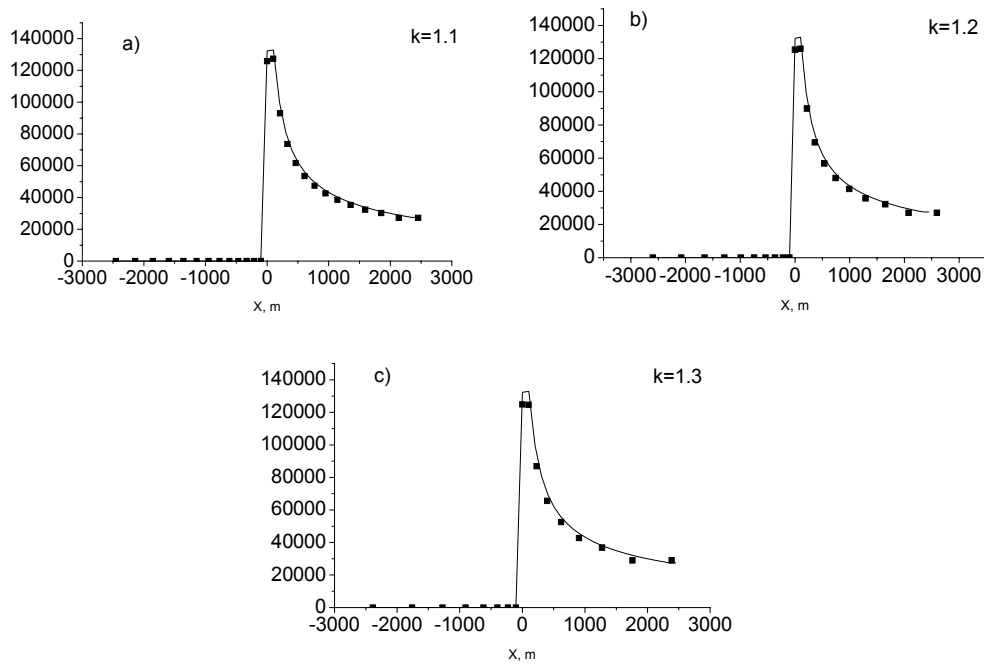


Рисунок 5 – Зависимость числа частиц от координаты а) $k=1,1$ б) $k=1,2$ в) $k=1,3$

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

$K=1,2$ $\eta=15$ $\mu=1000$ $\beta=0,1$ $ws=0,03$. Время расчёта 1 ч. Изолинии числа частиц на единице площади подстилающей поверхности.

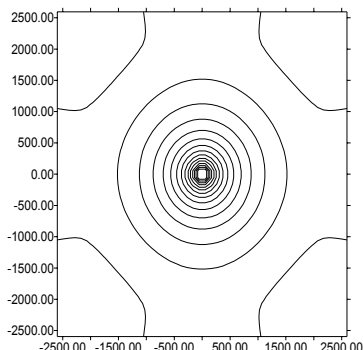


Рисунок 6 – Изолинии концентрации (ветра нет)

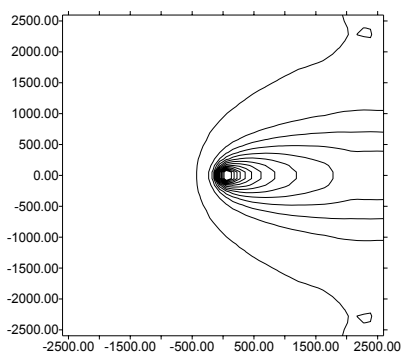


Рисунок 7 – Изолинии концентрации (ветер 10 м/с)

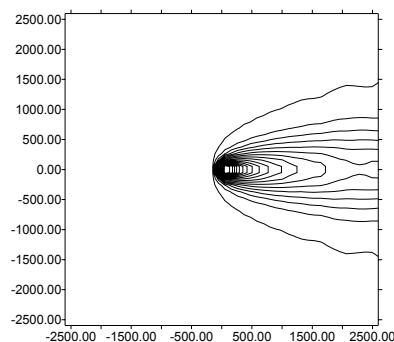


Рисунок 8 – Изолинии концентрации (ветер 20 м/с)

ВЫВОДЫ

Использование неравномерной сетки позволяет в несколько раз сократить время расчёта или увеличить размеры расчётной области. Расхождение с результатами, полученными на равномерной сетке при этом незначительно. Расхождение больше вблизи границ расчётной области и обусловлено главным образом граничным условием – необходимостью совпадения значений в последней и предпоследней точках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пененко В.В., Алоян А.Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды. – Новосибирск: Наука, 1985.
2. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы: учебное пособие для вузов. – М.: Наука, 1989.
3. Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем. – М.: Главная редакция физико-математической литературы, 1971.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗОЛЫ УГЛЯ, ВЫПАДАЮЩЕЙ НА СНЕГ В РАЙОНЕ ТЭЦ ЗАО КУЧУКСУЛЬФАТ ЗА ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Н.Н. Безуглова, С.А. Петров, Ю.А. Суковатов, И.А. Суторихин

Рассматривается математическая модель осаждения примеси на подстилающую поверхность с учетом климатических характеристик. Приводятся результаты расчетов концентраций золы угля, выпавшей за зиму на территории ТЭЦ ЗАО КУЧУКСУЛЬФАТ, и сравнение их с экспериментальными данными.

Эффективное решение природоохранной проблемы может быть достигнуто лишь в том случае, когда в единый механизм управления будут увязаны научные, технические, организационные, экономические, со-

циальные и правовые аспекты [1]. Важным звеном в системе управления является организация надёжного и эффективного мониторинга выбросов загрязняющих веществ.