УДК 622.41

**С.Н.КУЗЬМИН**
*ОАО «Гранит-Кузнечное», пос. Кузнечное, Ленинградской обл., Россия*

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОДЕЛИ ВЕНТИЛЯЦИИ ГЛУБОКОГО КАРЬЕРА КАСКАДНЫМ ВЗРЫВОМ ТОПЛИВНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

Предложена модель каскадного взрыва топливно-воздушной смеси в глубоком карьере с целью его вентиляции. Расчеты по модели и эксперименты подтверждают принципиальную возможность вентиляции глубокого карьера указанным способом.

The model of cascade explosion of a fuel-air mix in deep is offered to career with the purpose of his ventilation. Calculations on models and experiments confirm a basic opportunity of ventilation deep career by the specified way.

В развитие работ [1, 3] проведено численное моделирование вентиляции глубокого карьера каскадным взрывом топливно-воздушной смеси (ТВС).

В начальный момент времени в расчетной области задавались один или три покоящихся объема нагретого газа, давление внутри которых соответствовало давлению в невозмущенной атмосфере на данной высоте. Параметры этих объемов были определены из условий взрыва. При этом предполагалось, что вся энергия взрыва перейдет в тепловую энергию облака. Хотя это предположение приводит к некоторому завышению размеров облака, следует учесть, что при объемном взрыве или сгорании горючей смеси доля энергии, остающейся в облаке, может быть намного больше, чем при детонации тротила. Тогда начальный радиус облака $R_0$ можно определить по заданному энерговыделению $E$, исходя из соотношения

$$R_0 = \left[\frac{(\gamma - 1)E}{4/3\pi P_a}\right]^{1/3},$$

где $P_a$ – атмосферное давление.

Для энергии, соответствующей 1 т тротила, $R_0 = 16$ м.

Распределение атмосферной температуры соответствовало Стандартной модели атмосферы СССР 1964 г. [2]: температура подстилающей поверхности ($z = 0$) равна 288,15 K, давление – 101325 Па, температурный градиент постоянен и равен –6,5 К/км. На нижней границе задавались условия прилипания и температура, равная значению в невозмущенной атмосфере, а плотность находилась из уравнения неразрывности [3]. Для задания начальных значений параметров турбулентности были выбраны следующие величины: $k = 0{,}1$ м$^2$с$^{-2}$, $\varepsilon = 4 \times 10^{-3}$ м$^2$с$^{-3}$.

Для численного решения использовалась явная по давлению схема переменных направлений [6], дополненная специально разработанными процедурами монотонизации [4].

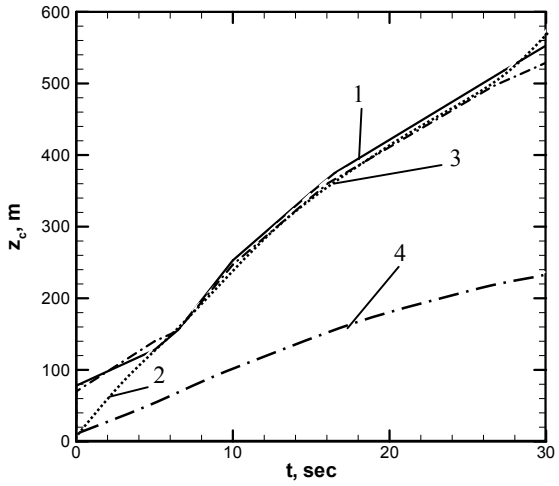



Рис.1. Зависимости высоты подъемов термиков от времени. Номера кривых соответствуют номерам вариантов

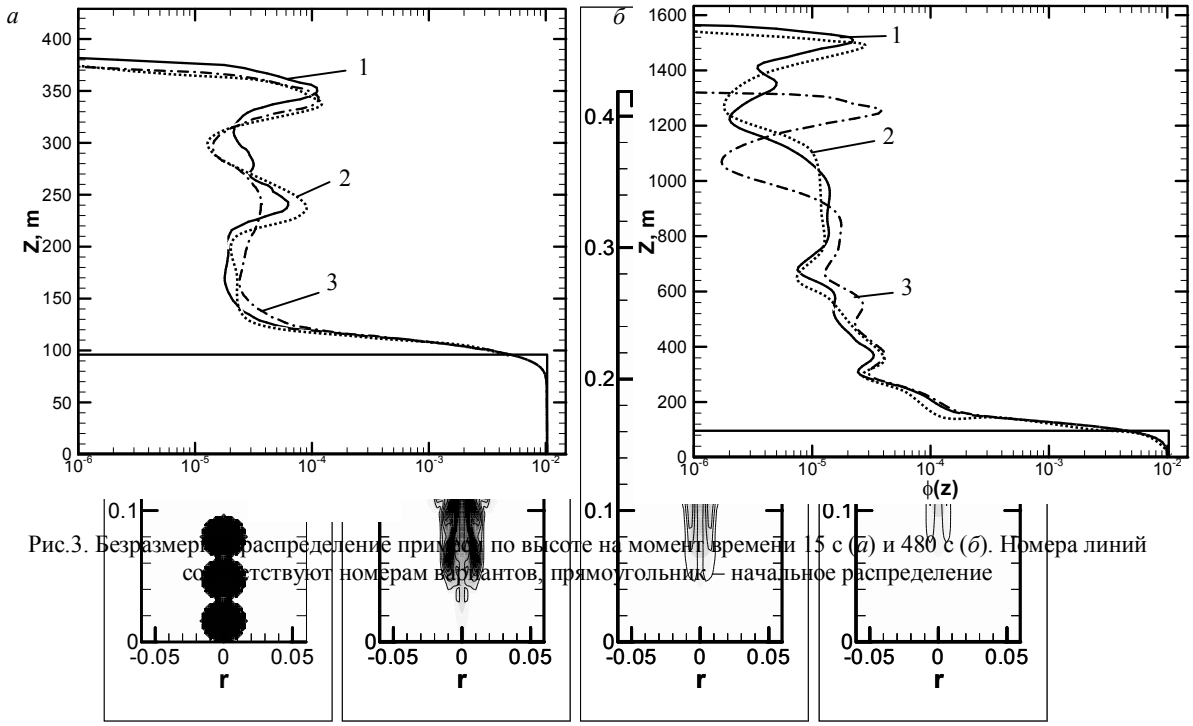



Рис.3. Безразмерное распределение примеси по высоте на момент времени 15 с (*а*) и 480 с (*б*). Номера линий соответствуют номерам вариантов, прямоугольник – начальное распределение



Рис.2. Распределения избыточной температуры (заливка) и завихренности (изолинии) на различные моменты времени для варианта 1

В начальный момент времени от подстилающей поверхности до высоты 96 м располагался слой примеси, которая моделировала загрязняющее вещество. Диаметр расчетной области был принят равным 320 м.

Было выполнено три варианта расчета, соответствующих трем взрывам: 1) три взрыва мощностью 1 т; 2) взрывы мощностью 1,5; 1 и 0,5 т; 3) взрывы мощностью 0,5; 1 и 1,5 т. Контрольный вариант (вариант 4) одиночный взрыв мощностью 1 т.

Во всех случаях центры взрывов располагались по высоте таким образом, что начальные объемы, радиусы которых определялись по приведенной формуле, касались друг друга.

Высоты подъема образовавшихся термиков (рис.1) определялась по положению точки с максимальной завихренностью. Скорость подъема термика для трех взрывов существенно превосходит скорость подъема облака одиночного взрыва, однако процесс объединения облаков носит достаточно сложный характер (рис.2). В вариантах 1 и 2 в течении сохраняется состоящая из нескольких взаимодействующих вихрей структура, в то время как в варианте 3 последующие вихри достаточно быстро втягиваются в головной и разрушаются.

Для оценки количества выносимой примеси на рис.3, *а* показаны распределения по высоте массы примеси, отнесенной к ее суммарной массе, полученные при расчетах этих вариантов. Для того, чтобы получить общую массу вынесенной примеси, необходимо эти распределения проинтегрировать по $z$. Для приведенных на рис.3, *а* данных масса вынесенной примеси составляет примерно 1 % от полной массы. Получение точных оценок для более поздних моментов затруднено возникновением на поздней стадии подъема облака возвратного течения, а также постепенным размазыванием верхней границы слоя за счет процессов турбулентного перемешивания. Результат действия этих процессов хорошо виден на рис.3, *б*, однако их расчет требует более детального описания турбулентности в пограничном слое атмосферы с учетом конкретных условий.

Основные результаты экспериментов и их сравнение с расчетами представлены в работе [1]. Приведенные результаты подтверждают реализуемость «Способа…» [5].

## Выводы

1. Разработанная модель вентиляции карьера каскадным взрывом ТВС адекватно описывает реальные физические процессы.

2. Наиболее эффективным является взрыв с увеличивающейся массой топлива на каждом вышележащем горизонте карьера. В целом объем замещаемого в карьере воздуха увеличивается до 20 % по сравнению с равномерным распределением массы топлива на горизонтах.

### ЛИТЕРАТУРА


1. *Бригадин И.В.* Экспериментальное и теоретическое обоснование возможности вентиляции глубокого карьера каскадным взрывом ТВС / И.В.Бригадин, М.А.Затевахин, С.Н.Кузьмин // Физические проблемы разрушения горных пород / Институт проблем комплексного освоения недр РАН. М., 2005. С.267-270.

2. *Глаголев Ю.А.* Справочник по физическим параметрам атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1971. 212 с.

3. *Затевахин М.А.* Турбулентный термик во влажной атмосфере // Теплофизика высоких температур. 2001. Т.39. № 4. С.573-580.

4. *Затевахин М.А.* Монотонизация конечно-разностных схем численного решения уравнений гидромеханики / М.А.Затевахин, Е.Н.Станкова // Труды Глав. геофиз. обсерватории. 1991. Вып.34. С.73.

5. Пат. 2162944 РФ. 7У21F1/00/ Способ вентиляции рудника / Акентьев В.С., Борачук В.С., Бригадин И.В., Голенков А.П., Кузьмин С.Н. Заявлено 28.01.2000. Опубл. 10.02.2001. Бюл. № 4.

6. *Полежаев В.И.* Численное моделирование естественной конвекции жидкостей и газов // Некоторые [illegible]нения метода сеток в газовой динамике. М.: Изд-[illegible]У, 1971. Вып.4. С.86.