

А.А. Голышев, ассистент,
Э.В. Серебренников, старший преподаватель,
Криворожский технический университет

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ В ВЫТЯЖНОМ ЗОНТЕ

У статті розглянуті математичні моделі витяжних зонтів при наявності кільцевого уступу і без нього. Проведені обчислювальні експерименти по визначенню залежності швидкості повітряного потоку в приймальному отворі зонта від ширини кільцевого уступу, кута розкриття конуса та відносної відстані в приймальному отворі зонта. Отримані результати показали ефективність використання кільцевого уступу для вирівнювання поля швидкостей повітряного потоку.

MATHEMATICAL MODELLING OF AIR FLOWS IN EXHAUST HOOD

In the article there are considered mathematical models of exhaust hoods at presence of circular ledge and without him. Conducted computer experiments by definition of dependence of speed of air flow in the receiving hole from the width of circular ledge, aperture angle of cone and relative distance in the receiving hole. The received results showed efficiency of the use of circular ledge for smoothing of the field of speeds of air flow.

Вредные выделения, поступающие в атмосферу помещений горнодобывающих предприятий, наиболее эффективно локализуются местными отсосами полностью закрытого типа. Так как их использование не всегда возможно, применяют местные отсосы открытого типа, в частности, вытяжные зонты. Однако, вытяжные зонты имеют недостаток – они требуют существенно больших, по сравнению с полностью закрытыми отсосами, объемов удаляемого воздуха. В статье рассмотрен вопрос повышения эффективности вытяжных зонтов путем использования кольцевых уступов.

Анализ функционирования вытяжных зонтов указывает на сложность процессов, происходящих при их работе, что связано с особенностями конструкции самих вытяжных зонтов. Поэтому естественным решением вопроса исследования функционирования вытяжных зонтов является применение метода математического моделирования.

Важнейшей особенностью и преимуществом метода математического моделирования является возможность организации вычислительного эксперимента. Это позволяет при наличии соответствующего программного обеспечения проводить расчеты, с помощью которых устанавливается не только адекватность математических моделей, но и указываются пути дальнейшего исследования изучаемых процессов.

Анализ аэродинамики воздушных потоков при работе вытяжного зонта указывает на возможность рассмотрения его как точечного стока. Причиной образования стока является разность между атмосферным давлением и разрежением воздуха в плоскости всасывающего отверстия, создаваемым работой отсасывающего устройства. Под действием разности давлений воздух со

всех сторон устремляется к всасывающему устройству. При этом по мере движения воздуха его давление уменьшается, а скорость движения увеличивается. Через любые замкнутые поверхности, которые охватывают всасывающее устройство, проходит за один и тот же момент времени одинаковое количество воздуха, равное количеству отсасываемого воздуха за тот же промежуток времени.

Если сток воздуха развивается вдали от твёрдых стенок, то ничто не тормозит его свободного течения. В воздухе не проявляются трение и вязкость, что даёт возможность рассматривать воздух как идеальную жидкость. Эта особенность течения воздуха позволяет применять простейшие зависимости аэродинамики. Необходимо также подчеркнуть, что имеет место интенсивный характер затухания скорости воздушного потока по мере удаления от центра стока. Поэтому сток воздуха играет заметную роль только в сравнительно небольшом районе вблизи отсасывающего отверстия.

Математическое моделирование вытяжного зонта состоит в нахождении параметров потока воздуха, удаляющего вредные вещества из рабочей зоны.

На первом этапе математического моделирования рассмотрим конический зонт с круговым приёмным отверстием (рис. 1).

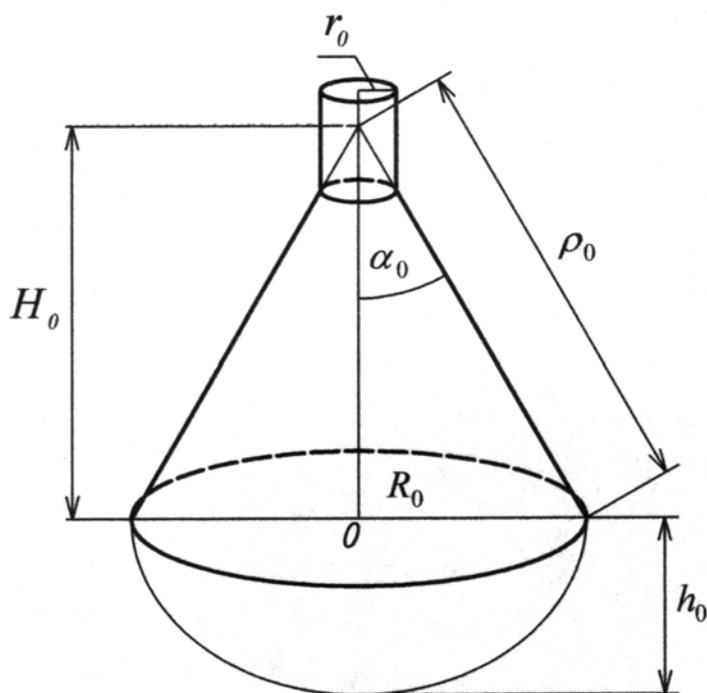


Рис. 1 – Схема вытяжного зонта с круговым приёмным отверстием

Задаваемый расход отсасываемого воздуха в коническом зонте является количественной мерой стока, образованного воздушным потоком для этого зонта. При этом вход в вытяжной патрубок, расположенный в вершине конуса, можно рассматривать как точку исчезновения воздушного потока, то есть полюсом. Линии тока такого точечного источника – прямые, сходящиеся в

полюсе, а точки с одинаковым значением скорости расположены на одинаковом расстоянии от полюса, принадлежат сферическим поверхностям.

Для определения расхода отсасываемого воздуха для приемного отверстия зонта используем очевидное соотношение

$$Q_0 = v_0 \cdot S_0, \quad (1)$$

где v_0 – скорость воздуха, м/с; S_0 – площадь поверхности шарового сегмента, соответствующего приёмному отверстию зонта, м².

Особенностью движения воздушного потока в приёмном отверстии конического зонта является неравномерность распределения скорости потока воздуха в плоскости этого отверстия. Для исследования этого вопроса введём цилиндрическую систему координат (r, φ, z) , начало которой расположим в центре круга приёмного отверстия. Полярную ось направим горизонтально, ось Oz вертикально вверх. В приёмном отверстии зонта координате r соответствует шаровой сегмент, который имеет площадь поверхности $S(r)$. В свою очередь координате r соответствует вектор скорости воздушного потока $\vec{v}(r)$, который ортогонален поверхности этого шарового сегмента. Проводя интегрирование формулы (1), находим

$$Q_0 = v(r) \cdot S(r), \quad (2)$$

где $v(r)$ – проекция вектора скорости воздушного потока на прямую, соединяющую данную точку поверхности шарового сегмента с вершиной конуса, м/с.

Путем математических преобразований находим зависимость скорости воздушного потока в приемном отверстии зонта от расстояния до центра круга этого отверстия

$$v(r) = \frac{Q_0(1 + \cos \alpha_0)}{2\pi R_0^2 \left(1 + \frac{r^2}{R_0^2} \operatorname{tg}^2 \alpha_0\right) \cdot \cos^2 \alpha_0}, \quad (3)$$

где $2\alpha_0$ - угол при вершине конуса, рад; R_0 - радиус приемного отверстия, м.

Максимальное значение скорости v_{max} будет в центре приемного отверстия, минимальное (v_{min}) – у его краев. Неравномерность распределения скорости воздушного потока в приёмном отверстии можно оценить с помощью отношения

$$\frac{v_{max}}{v_{min}} = \frac{1}{\cos^2 \alpha_0}. \quad (4)$$

Таким образом, можно сделать вывод, что степень неравномерности скорости воздушного потока в приёмном отверстии зонта определяется только углом при вершине конуса зонта.

Вертикальная проекция скорости воздушного потока в безразмерном виде

$$v_{z(омн)} = \frac{1 + \cos \alpha_0}{2(1 + \bar{r}^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_0)^{\frac{3}{2}} \cos^2 \alpha_0}; \quad (5)$$

$$v_{z(омн)} = \frac{\pi R_0^2 v_z(r)}{Q_0}; \quad \bar{r} = \frac{r}{R_0},$$

где $v_z(r)$ - проекция вектора скорости $v(r)$ на ось OZ , м/с.

На рис. 2 представлены результаты расчетов по формуле (5)

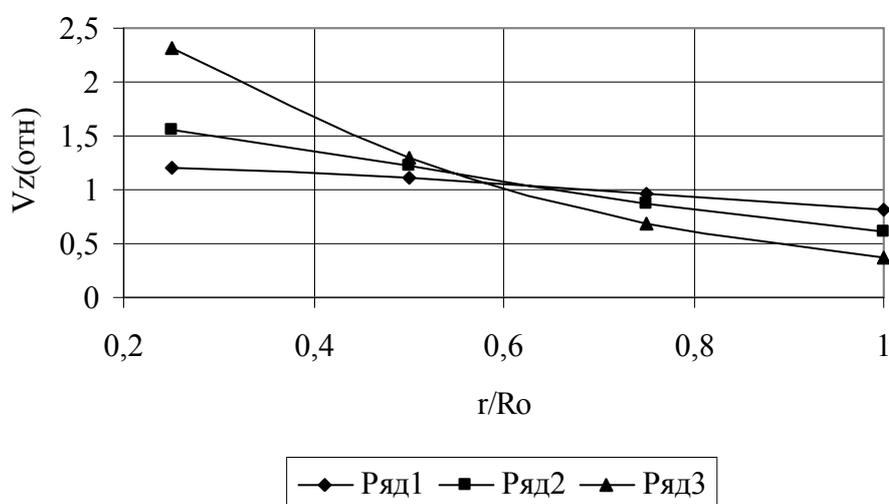


Рис.2 – Зависимость вертикальной проекции скорости воздушного потока от относительного расстояния в приемном отверстии зонта (ряд 1- $\alpha_0 = 30^\circ$, ряд 2- $\alpha_0 = 45^\circ$, ряд 3- $\alpha_0 = 60^\circ$)

Анализ графиков, приведённых на рис. 2, показывает, что с увеличением угла при вершине конуса, неравномерность поля вертикальных проекций скоростей воздушного потока в приёмном отверстии зонта возрастает.

Следующим вопросом математического моделирования местных отсосов, расположенных соосно с источником выделения вредных веществ, является исследование поля скоростей воздушного потока в приёмном отверстии вытяжного зонта при наличии кольцевого уступа (рис. 3).

Наличие кольцевого уступа, расположенного на окружности приёмного отверстия, даёт возможность увеличить площадь поверхности шарового сегмента, пересекаемого воздушным потоком. Вместе с тем, необходимо отметить, что часть воздушного потока набегает на кольцевой уступ, отклоняется от первоначального направления и только после этого попадает в приёмное отверстие.

Учитывая ламинарный характер движения воздушного потока, можно

предположить, что часть воздушного потока, который отклоняется кольцевым уступом, пересекает плоскость приёмного отверстия по кольцу, прилегающему к границе приёмного отверстия зонта. Скорость воздушного потока, проходящего через кольцо, может быть вычислена по формуле

$$v = \frac{\Delta Q}{2\pi R_0 \Delta r}, \quad (6)$$

где Δr – ширина кольца, которое пересекает воздушный поток, м; ΔQ – расход части воздушного потока, набегающей на уступ и отклоняющейся от первоначального направления, м³/с.

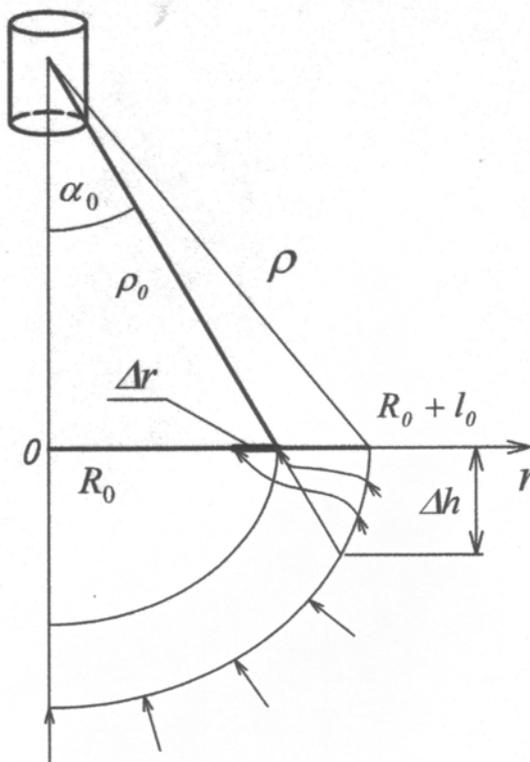


Рис. 3 – Схема вытяжного зонта при наличии кольцевого уступа

Скорость воздушного потока у края приёмного отверстия без учёта кольцевого уступа

$$v(R_0) = \frac{(Q_0 - \Delta Q)(1 + \cos \alpha_0)}{2\pi R_0^2}. \quad (7)$$

Учитывая, что направления скоростей (6) и (7) совпадают, можно записать результирующую величину скорости как сумму

$$v_p = \frac{(Q_0 - \Delta Q)(1 + \cos \alpha_0) + \Delta Q \cdot \frac{R_0}{\Delta r}}{2\pi R_0^2} \quad (8)$$

Наличие кольцевого уступа влечёт за собой изменение не только скоростей воздушного потока в приёмном отверстии зонта, но и величин их проекций. Так, отношение вертикальных проекций скорости воздушного потока в центре приемного отверстия к скорости у его края при наличии кольцевого уступа запишется так

$$\frac{v(0)}{v_p} = \frac{1}{\cos^2 \alpha_0} \frac{1 + \cos \alpha_0}{(1 + \cos \alpha_0) \cos \alpha_0 + \frac{1}{\Delta r} \frac{\cos \alpha_0 \sqrt{1 + (1 + \bar{l}_0)^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_0 - 1}}{\sqrt{1 + (1 + \bar{l}_0)^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_0 - 2 \cos \alpha_0 \sqrt{1 + (1 + \bar{l}_0)^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_0 + 1}}}}, \quad (9)$$

$$\bar{l}_0 = \frac{l_0}{R_0}$$

где l_0 - ширина кольцевого уступа, м.

На рис. 4 представлены результаты расчетов по формуле (9).

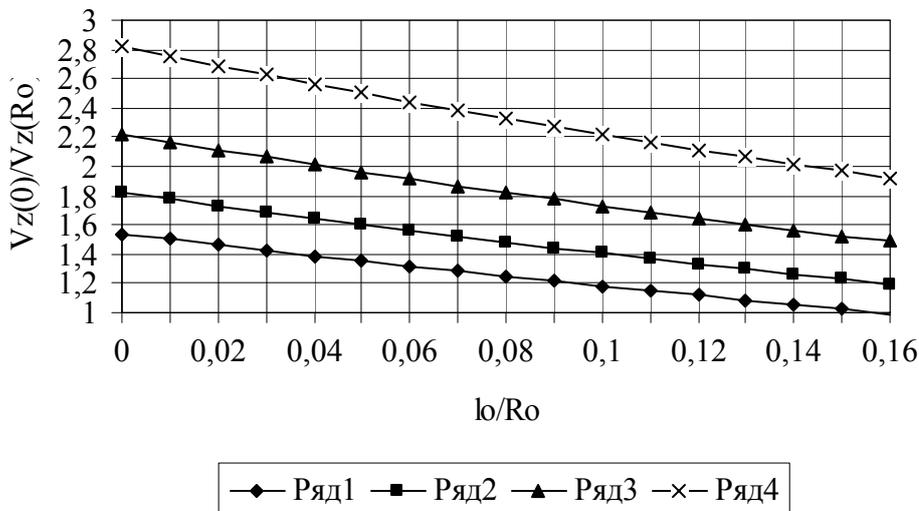


Рис. 4 – Зависимость коэффициента неравномерности поля вертикальных проекций скоростей воздушного потока от относительной ширины кольцевого уступа (ряд 1- $\alpha_0 = 30^\circ$, ряд 2- $\alpha_0 = 35^\circ$, ряд 3- $\alpha_0 = 40^\circ$, ряд 4- $\alpha_0 = 45^\circ$)

Анализ представленных графиков показывает, что при возрастании относительной ширины кольца уступа неравномерность поля вертикальных проекций скоростей уменьшается. Увеличение же угла в вершине конуса зонта приводит к дополнительному увеличению относительной ширины кольца зонта для достижения такого же коэффициента неравномерности.

Наличие кольцевого уступа влечёт за собой изменение средней величины вертикальной проекции скорости воздушного потока в приёмном отверстии

зонта. Средняя величина вертикальной проекции скорости воздушного потока в приёмном отверстии зонта находится по формуле

$$\bar{v}_{oz} = \frac{Q_0 - \Delta Q}{\pi R_0^2} + \frac{\Delta Q}{2\pi R_0 \Delta r}. \quad (10)$$

Отношение вертикальных проекций скорости воздушного потока в центре приемного отверстия к средней скорости в приемном отверстии зонта при наличии кольцевого уступа

$$\frac{v_z(0)}{\bar{v}_{oz}} = \frac{1}{\cos^2 \alpha_0} \frac{1 + \cos \alpha_0}{2 + \frac{1}{\Delta \bar{r}} \frac{\cos \alpha_0 \sqrt{1 + (1 + \bar{l}_0)^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_0 - 1}}{\sqrt{1 + (1 + \bar{l}_0)^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_0 - 2 \cos \alpha_0 \sqrt{1 + (1 + \bar{l}_0)^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_0 + 1}}}}, \quad (11)$$

На рис. 5 представлены результаты расчетов по формуле (11).

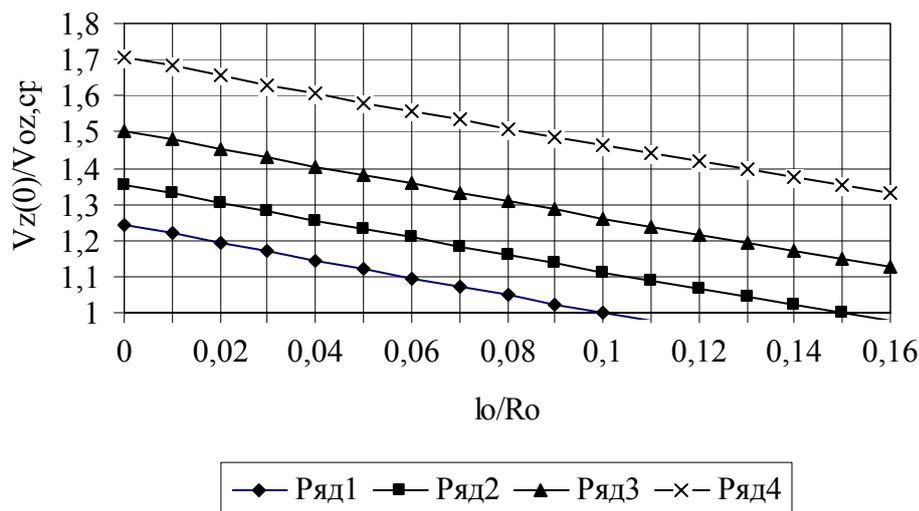


Рис. 5 – Зависимость коэффициента неравномерности поля средних величин вертикальных проекций скоростей воздушного потока от относительной ширины кольцевого уступа (ряд 1- $\alpha_0 = 30^\circ$, ряд 2- $\alpha_0 = 35^\circ$, ряд 3- $\alpha_0 = 40^\circ$, ряд 4- $\alpha_0 = 45^\circ$)

Как видно, при возрастании относительной ширины кольца уступа неравномерность поля средних величин вертикальных проекций скоростей уменьшается. Увеличение же угла в вершине конуса зонта приводит к дополнительному увеличению относительной ширины кольца зонта для достижения такого же коэффициента неравномерности. Необходимо также отметить, что коэффициент неравномерности средних величин вертикальных проекций скоростей меньше, чем такой же коэффициент для отношения экстремальных значений.

Полученные результаты позволили построить математическую модель конического зонта с кольцевым уступом. Исследования, проведённые на моде-

ли, показали, что кольцевой уступ позволяет достигнуть более равномерного распределения скорости воздушного потока, и тем самым обеспечить эффективное всасывание практически по всей площади приёмного отверстия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проектирование промышленной вентиляции: Справочник / Торговников Б. М., Табачник В. Е., Ефанов Е. М. – Киев: Будівельник, 1983. – 256 с.
2. Волков О. Д. Проектирование вентиляции промышленного здания (Учеб. пособие). – Х.: Выща шк. Изд-во при ХГУ, 1989. – 240 с.: ил.
3. Самарский А. А., Попов Ю. П. Вычислительный эксперимент. – М.: Наука, 1988. – 279 с.

УДК 622.647.2

Д.Д. Брагинец, ведущий инженер,
Т.Ф. Мищенко, мл. науч. сотр.,
ИГТМ НАН Украины

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СИСТЕМ ПОДЗЕМНОГО КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА УГОЛЬНЫХ ШАХТ

У результаті застосування методу декомпозиції й подання системи конвеєрного транспорту у вигляді фрактала отримано алгоритм визначення її пропускної здатності. Отримані результати перевірялися за допомогою імітаційного моделювання на ЕОМ.

DETERMINATION OF COEFFICIENT OF CARRYING CAPACITY OF THE SYSTEMS OF UNDERGROUND CONVEYER TRANSPORT OF COAL MINES

As a result of application of method of decomposition and presentation of the system of conveyor transport in a fractal form the algorithm of determination of its carrying capacity is got. The obtained results were checked up by the imitating computer modeling.

Опыт эксплуатации угольных шахт показал, что одним из главных факторов, снижающих эффективность их работы, является недостаточная пропускная способность системы подземного конвейерного транспорта, связанная с простоями конвейерного оборудования.

Поэтому при проектировании систем подземного конвейерного транспорта необходимо уметь определять ее реальную производительность с учетом простоев конвейерного оборудования, другими словами, на стадии эскизного проектирования системы транспорта определить ее пропускную способность.

Обычно системы подземного конвейерного транспорта имеют сложную разветвленную структуру, включающую в себя участки как с последовательным, так и с параллельным соединением элементов, что значительно усложняет определение их пропускной способности (рис. 1).