

## РАСЧЕТ КОНЦЕНТРАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ ПРИ ВЫБРОСАХ ИЗ НОВОГО БЕЗОПАСНОГО КОНФАЙНМЕНТА ЧАЭС

**В. Г. Батий, В. В. Егоров, Ю. И. Рубежанский**

*Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль*

Решена нестационарная задача распространения радиоактивного выброса в атмосфере в непосредственной близости от здания нового конфайнмента, который будет сооружен над разрушенным 4-м энергоблоком ЧАЭС. Вычисления проводились на основе уточненных расчетных методик, разработанных для повышения радиационной безопасности в процессе эксплуатации нового безопасного конфайнмента. Методика расчета может найти применение на действующих объектах атомной энергетики.

### Введение

В настоящее время начинаются работы по проектированию и строительству нового безопасного конфайнмента (НБК) над существующим объектом "Укрытие" ЧАЭС. В частности, планируется демонтировать существующую вентиляционную трубу (ВТ-2) между 3-м и 4-м энергоблоками (она препятствует строительству НБК) и создать новую вентиляционную трубу (НВТ).

В процессе эксплуатации НБК и в результате возможной аварии на объекте (падение груза, обрушение строительных конструкций, пожар и пр.) в принципе возможен кратковременный выброс радиоактивных веществ через НВТ. Задача оценки последствий такого выброса в новой конфигурации системы (выброс из НБК с НВТ) ранее не рассматривалась. При этом для разработки системы управления радиационными рисками очень важной задачей является изучение динамики распространения радиоактивного загрязнения.

В настоящей работе рассматривается динамика распространения облака радиоактивной примеси в непосредственной близости от здания НБК.

### Общий методический подход

Расчеты проводились с помощью уточненной модели переноса радиоактивной примеси [1 и 2]. Рассматривается турбулентное движение многокомпонентной смеси – вязкого сжимаемого нагреваемого газа. При этом предполагается, что наличие примесей не влияет на реологические и термодинамические параметры газа. Химические реакции не учитываются. При расчетах использовалась  $k$ - $\epsilon$  модель турбулентности. Плотность потока определяется из уравнения состояния с учетом удельной концентрации каждой примеси. Остальные параметры потока (вязкость, теплопроводность, теплоемкость) вычисляются как линейная комбинация от соответствующих параметров примесей. При этом зависимость вязкости и теплопроводности от температуры для каждой примеси задаются по формулам [3].

Общий вид существующего объекта "Укрытие" и планируемой "Арки" (основной локализирующей оболочки) НБК приведен на рис. 1.

В настоящей работе решается плоская задача о распространении радиоактивной примеси. Объект (НБК+блок №3 ЧАЭС) представлен своим плоским сечением "запад – восток" по ряду Е (рис. 2).

Численное решение задачи разделялось на несколько этапов, на каждом из которых использовались свои граничные и начальные условия.

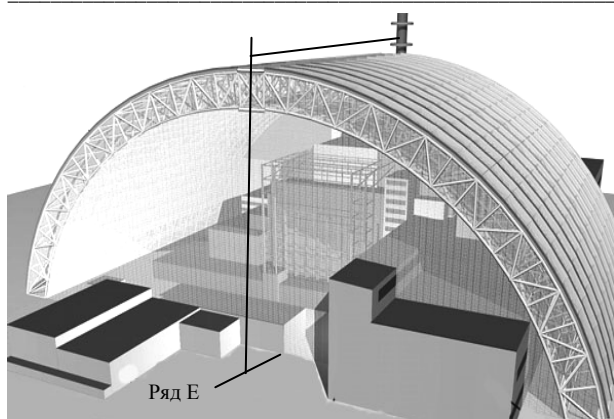


Рис. 1. Общий вид объекта "Укрытие" и "Арки".

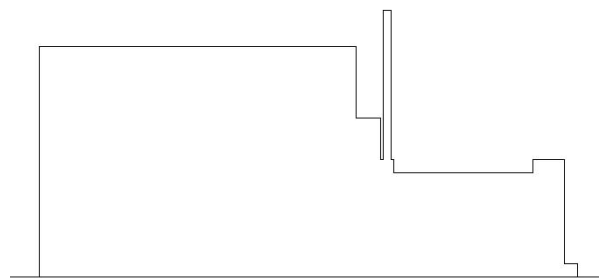


Рис 2. Расчетная область задачи. Поперечное сечение НБК + блок № 3 ЧАЭС по ряду Е.

### Результаты вычислений

На первом этапе решалась задача обтекания объекта, показанного на рис. 2, ветровым потоком. Были рассчитаны поля скоростей, температур и давлений при следующих граничных условиях. На поверхности земли и на стенах объекта задаются условия прилипания (скорость воздушного потока равна нулю). На правой и верхней границах области задается условие сопряжения с внешней средой (избыточное давление равно нулю). На левой границе области задается следующее распределение горизонтальной составляющей скорости набегающего воздушного потока

$$v_x = v_x^{(10)} \left( \frac{y}{10} \right)^s.$$

Здесь  $v_x^{(10)}$  – скорость ветра на высоте флюгера (10 м);  $y$  – высота над уровнем земли;  $s$  - показатель, зависящий от устойчивости атмосферы. При расчетах принимались следующие значения параметров:  $s = 0,08$ ,  $v_x^{(10)} = 1,5$  м/с .

Начальные значения изменения температуры  $T$  с высотой задавались по линейному закону, при этом градиент температуры принимался равным  $-0,015$  К/м, температура воздуха у поверхности земли ( $y = 0$ ) принималась равной 293 К. Начальные значения давления воздуха задавалось по барометрической формуле

$$p = p_0 \exp \left( - \frac{g y}{R_B T} \right),$$

где  $R_B = R/M$ ,  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $M$  – молекулярная масса;  $p_0$  - давление у поверхности земли.

На рис. 3 показано поле скоростей, найденное в результате решения задачи обтекания объекта. Влиянием НВТ на движение воздушных потоков при проведении расчетов пренебрегалось.

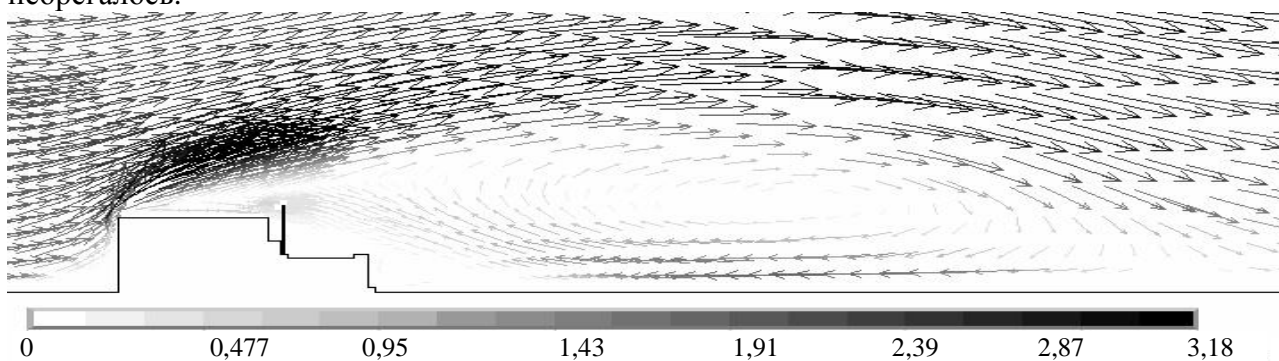


Рис. 3. Скорости ветрового потока, м/с (скорость ветра на высоте флюгера 1,5 м/с).

Поля скоростей, температуры, давления возмущенного потока, найденные на первом этапе решения задачи используются в качестве начальных значений при последующем решении.

На втором этапе рассматривается выброс радиоактивной примеси вместе с воздухом из НВТ. Задаются начальные условия для массовой доли примеси и температура выбрасываемого воздуха. Этап разбивался на несколько шагов по времени с соответствующими граничными условиями для выбрасываемой примеси.

Параметры выброса: диаметр НВТ 4 м; высота устья источника выброса над уровнем земной поверхности 125 м; средняя скорость выхода воздушной смеси из источника выброса 10 м/с; продолжительность выброса 1 с; температура воздушной смеси 293 К.

На третьем этапе, после прекращения выброса радиоактивной примеси, решается задача ее переноса ветровым потоком.

На рис. 4 – 9 приведены величины относительной объемной активности воздушной смеси (отношение объемной активности к активности в устье НВТ в момент выброса) в различные характерные моменты времени.

Как видно из расчетов (см. рис. 4), практически вся выброшенная активность попадает в зону аэродинамической тени здания НБК.

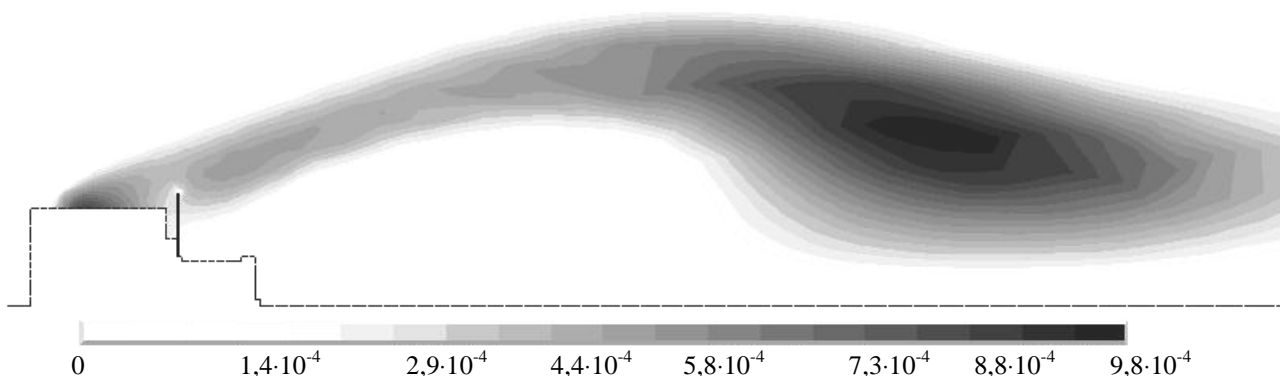


Рис. 4. Относительная объемная активность - 10 мин после выброса.

Далее, облако радиоактивной примеси «садится» на поверхность Земли (рис. 5 и 6).

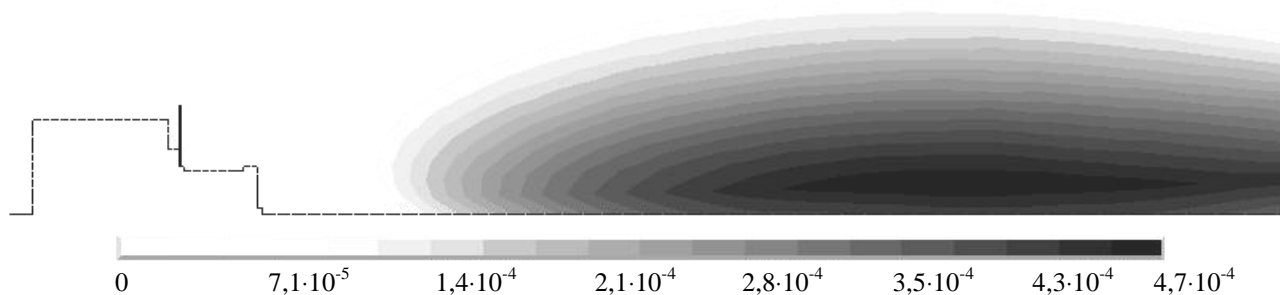


Рис. 5. Относительная объемная активность - 20 мин после выброса.

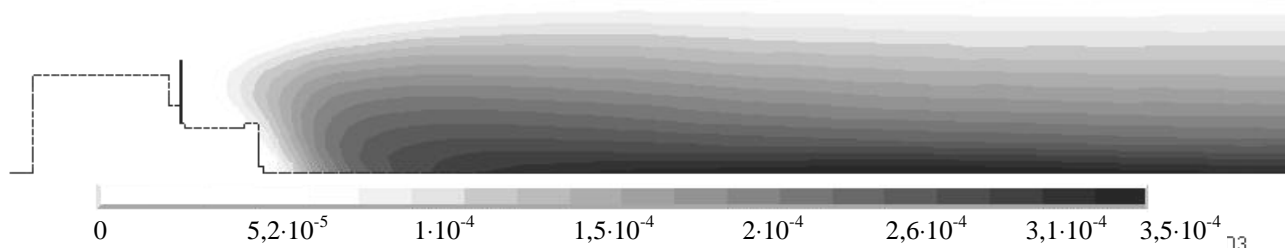


Рис. 6. Относительная объемная активность - 30 мин после выброса.

И, затем, облако примеси разделяется на две части (рис. 7 и 8). Первая часть обратным потоком (см. рис. 3) как бы поджимается к НБК, а вторая – уносится прочь от НБК (рис. 6 - 8).

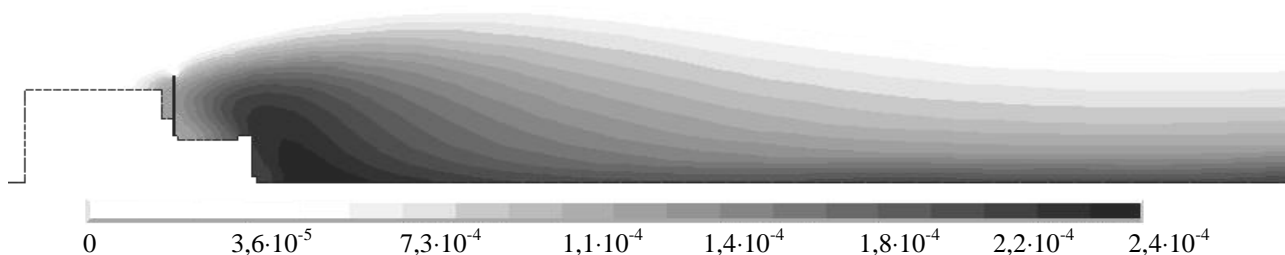


Рис. 7. Относительная объемная активность - 40 мин после выброса.

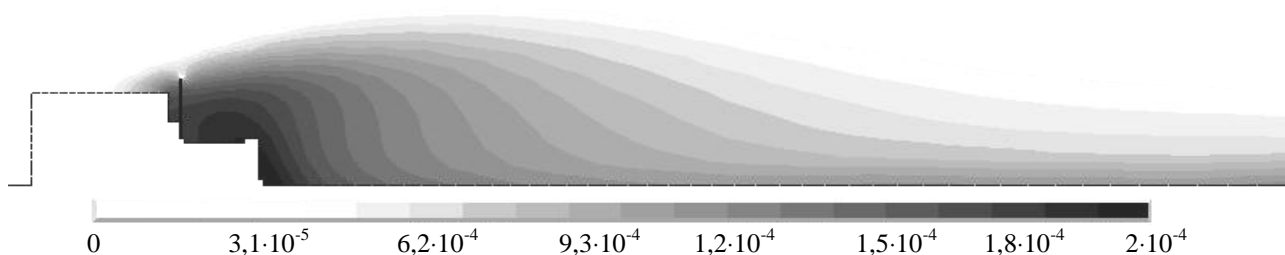


Рис. 8. Относительная объемная активность - 50 мин после выброса.

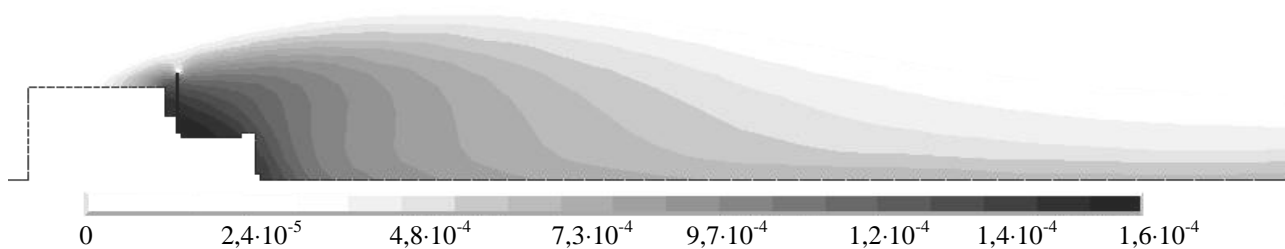


Рис. 9. Относительная объемная активность - 60 мин после выброса.

На рис. 10 и 11 показана относительная объемная активность у поверхности земли как функция времени и расстояния от НБК. На рис. 10 также приведены результаты расчетов по методике ОНД-86 с учетом тени здания (штриховая линия).

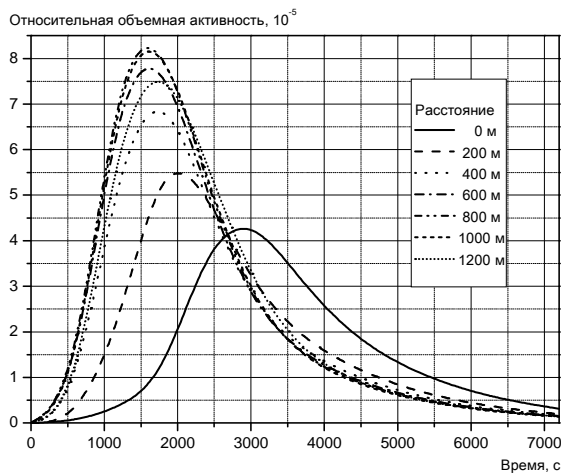


Рис. 10. Относительная объемная активность как функция времени после выброса на различных расстояниях от НБК.

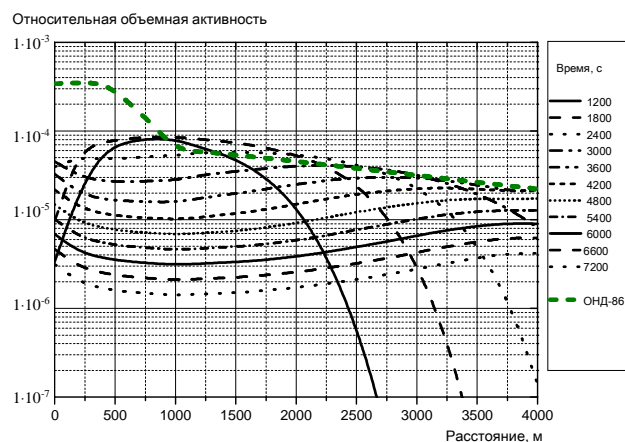


Рис. 11. Относительная объемная активность как функция расстояния от НБК в различные моменты времени после выброса.

Результаты, полученные на основании уточненной методики расчета концентрации радиоактивной примеси, сравнивались с приближенными методиками, которые часто используются для прогнозных оценок. А именно с гауссовой моделью переноса примеси [4] (рекомендована МАГАТЭ) и методикой ОНД-86 [5]. Результаты, как гауссовой модели, так и ОНД-86 следует интерпретировать как осредненные примерно за 20 – 30 мин значения мгновенной концентрации. Поэтому максимальные значения относительной объемной концентрации, полученные с помощью уточненной методики, также усреднялись за период времени 20 мин.

На рис. 12 и в таблице приведены расчеты по уточненной и приближенным моделям. Сплошной линией показана зависимость относительной интегральной объемной активности у поверхности земли от расстояния до НБК, найденная по уточненной методике. Там же показаны результаты расчетов по методике ОНД-86 (с учетом и без учета влияния аэродинамической тени здания НБК), а также по гауссовой модели.

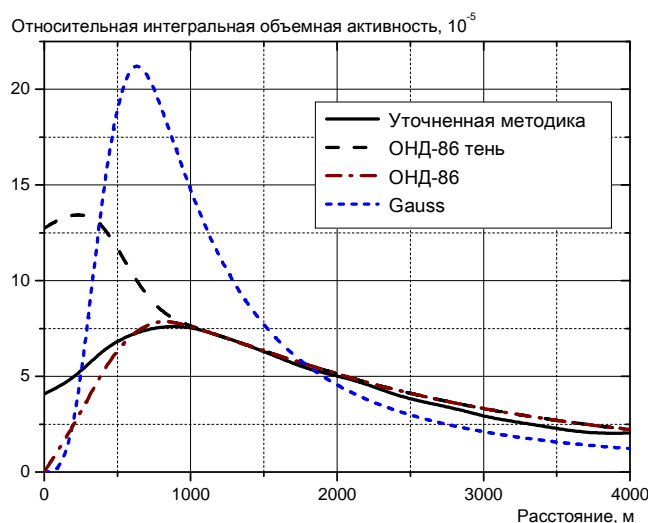


Рис. 12. Относительная интегральная объемная активность в зависимости от расстояния до НБК.

#### Результаты расчетов по уточненной и приближенным моделям

Расстояние, м	Относительная интегральная объемная активность, $10^{-5}$			
	уточненная	ОНД-86 тень	ОНД-86	Гаусс
200	4,82	13,63	2,32	0,08
400	6,43	13,21	5,37	15,77
1000	7,61	7,62	7,62	14,58
3000	2,91	3,31	3,31	2,10

Проведенные расчеты показывают, что для рассматриваемого случая на расстоянии 1000 м от здания НБК Гауссова модель завышает значения объемной активности на 91,5 %, а на расстоянии 3000 м их занижает на 27,8 %. Методика ОНД-86 расстоянию 1000 м дает те же результаты, что и уточненная модель, а на расстоянии 3000 м от НБК дает значения активности выше на 13,7 %. В непосредственной близости от здания НБК методика ОНД-86 с учетом аэродинамической тени завышает значения активности на 182,8 %, гауссова модель в этой области не работает.

#### Заключение

Проведенные расчеты показали, что в непосредственной близости от здания НБК прикладные методики расчета объемной концентрации радиоактивных примесей могут давать недостоверные результаты. В этом случае желательно использовать более точные методики учета влияния застройки, стратификацию температуры, давления и скорости ветра.

Вне области аэродинамической тени здания НБК методика ОНД-86 в целом удовлетворительно описывает концентрацию радиоактивных аэрозолей. Гауссова методика может давать как заниженные, так и завышенные значения объемной активности и в целом мало приемлема.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Батий В.Г., Егоров В.В., Рубежанский Ю.И.* Расчет концентрации радиоактивных аэрозолей вблизи объекта «Укрытие» на основе уточненных компьютерных моделей // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. - 2006. - Вип. 4. - С. 69 -75.
2. *Батий В.Г., Егоров В.В., Рубежанский Ю.И.* Математическое моделирование процесса распространения радиоактивных аэрозолей внутри радиационно-опасных объектов // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. - 2007. - Вип. 7. - С. 55 - 61.
3. *White F.M.* Viscous Fluid Flow, Second Edition, McGraw-Hill, New York (1991).
4. *Atmospheric dispersion in nuclear power plant siting: A Safety Guide, No.50-SG-S3.* – Vienna: IAEA, 1980. – 95 p.
5. *Методика* расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 94 с.

Поступила в редакцию 31.01.08

**16 РОЗРАХУНОК КОНЦЕНТРАЦІЇ РАДІОАКТИВНИХ АЕРОЗОЛІВ ПРИ ВИКИДАХ З НОВОГО БЕЗПЕЧНОГО КОНФАЙНМЕНТА ЧАЕС**

**В. Г. Батій, В. В. Єгоров, Ю. І. Рубежанський**

Вирішена нестационарна задача розповсюдження радіоактивного викиду в атмосфері в безпосередній близькості від будівлі нового конфайнмента, який буде споруджений над зруйнованим 4-м енергоблоком ЧАЕС. Обчислення проводилися на основі уточнених розрахункових методик, розроблених для підвищення радіаційної безпеки в процесі експлуатації нового безпечного конфайнмента. Методика розрахунку може знайти застосування на діючих об'єктах атомної енергетики.

**16 CALCULATION OF CONCENTRATION OF RADIOACTIVE AEROSOLS AT EXTRASS FROM NEW SAFE TO KONFAYNMENTA CHAES**

**V. G. Batiy, V. V. Yegorov, Yu. I. Rubezhanskiy**

The unstationary problem of spreading of the radioactive release in an atmosphere is solved in a direct closeness from building of new Confinement, which will be erected above the destroyed Chornobyl NPP Unit-4. The calculations were conducted on the basis of the specified calculations methods developed for the increase of radiation safety in the process of operation of New Safe Confinement. The method of calculation can be applicated at the operative objects of atomic energy.