

*В.Н. Сырых, к.т.н., доцент, НУГЗУ,
К.М. Карпец, к.геогр.н., научн. сотр., НУГЗУ*

ОЦЕНКА ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ, ВЫЗВАННОЙ ВЗРЫВОМ ТВЕРДОТОПЛИВНОГО КОТЛА IGNIS-500

(представлено д-ром техн. наук Кривцовой В.И.)

Рассмотрены обстоятельства, динамика возникновения и развития чрезвычайной ситуации, а также наиболее характерные поражающие факторы физических взрывов.

Ключевые слова: теплообменник, физический взрыв, ударная волна.

Постановка проблемы. Исходными данными комплексного исследования возникновения чрезвычайной ситуации являются:

- фактические данные об объекте взрыва (модульная твердотопливная котельная);

- нормативные и фактические параметры работы котлов;

- обстоятельства, динамика возникновения и развития чрезвычайной ситуации, зафиксированные в представленных на исследование материалах и полученные экспертным путем – при лабораторном исследовании образцов сажи, изъятых из внутренней топки котла, и натурном исследовании места взрыва;

- информация о последствиях воздействия опасных факторов взрыва на технологическое оборудование и строительные конструкции котельной.

Анализ последних исследований и публикаций. Согласно научной классификации взрывов, приведенной в работе [1], все взрывы по механизму возникновения и образования опасных факторов (последствий взрыва) можно классифицировать на физические, химические и комбинированные.

Как известно [2], во время произвольного распада газодинамического разрыва при определенных условиях возможно возникновение следующей ситуации. Разрыв распадается на ударную волну и волну разрежения, движущиеся в противоположные стороны, и на контактный разрыв. На практике такая ситуация реализуется при разрушении оболочки емкости с последующим столкновением газов (паров), одного находившегося под давлением, и второго – окружающей газовой среды. Это наиболее типичный сценарий развития аварийного взрыва емкостей, как с горючими, так и с негорючими веществами, который реализуется при следующих условиях:

$$\frac{2c_{s2}}{\gamma_2 - 1} \left(1 - \frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{\gamma_2 - 1}{2\gamma_2}} < u_1 - u_2 < (P_2 - P_1) \sqrt{\frac{2/\rho_1}{P_1(\gamma_1 - 1) + P_2(\gamma_1 + 1)}} \quad (1)$$

где γ_2 – коэффициент адиабаты второй газовой среды; c_{s2} – скорость распространения звука во второй газовой среде; P_1, P_2 – давление газовых сред (давление первой газовой среды P_1 меньше, чем давление второй газовой среды P_2); u_1, u_2 – скорость движения газов первой и второй сред; ρ_1 – плотность газа первой среды; γ_1 – коэффициент адиабаты первой газовой среды.

Разрушения емкостей с легкокипящими жидкостями, находящимися под давлением, также сопровождается возникновением извне воздушной ударной волны и проникновением во внутрь емкости волны разрежения. Это вызывает вскипание жидкой фазы в сосуде и интенсивное парообразование. В результате высвобождения энергии фазового перехода и энергии, накопившейся при сжатии вещества, оболочка емкости разрушается с разлетом осколков на большие расстояния.

Постановка задачи и ее решение. Обобщая научно обоснованные данные об условиях возникновения и динамики развития физических, химических и комбинированных взрывов, а также данные, полученные при исследовании места взрыва, утверждается, что имел место физический взрыв теплообменника твердотопливного котла IGNIS-500. Данное утверждение подтверждается следующими фактами:

- в твердотопливном котле IGNIS-500 в качестве топлива не применялись горючие газы и жидкости, способные образовывать взрывоопасные ГПВС;

- характер разрушения теплообменника котла IGNIS-500 указывает на действие динамических нагрузок, действовавших изнутри аппарата (рис.1, 2).

По данным [3] при взрыве парового котла происходит физическое изменение вещества, сопровождающееся мгновенным выделением большого количества энергии. При этом в нем резко снижается давление, и вода мгновенно испаряется. Объем, занимаемый этим паром, значительно превышает объем воды, которая находилась в котле. Части котла разлетаются на значительное расстояние, принося разрушения за пределами здания.

Для аварий на промышленных объектах, которые не сопровождаются пожарами и химическими взрывами, наиболее характерными поражающими факторами являются ударная волна и осколочное воздействие при физических взрывах технологических аппаратов, находившихся под давлением.

Установлено, что средняя степень разрушения здания с металлическим каркасом и стенами из листового металла вызывается избыточным давлением (ΔP , кПа) при физических взрывах, эквивалентных взрывам ВВ или горючих газо-паровоздушных смесей с импульсом

ударной волны (i , кПа/с) в интервале от 111,3 кПа/с до 121,3 кПа/с.



Рис. 1. Общий вид котла IGNIS-500 со следами разрушения металлического теплообменника и корпуса



Рис. 2. Следы деформации металлического корпуса котла IGNIS 500 в результате действия динамических нагрузок изнутри

Для разрушения ударной волной стальных каркасов промышленных зданий значение критического (избыточного) давления ΔP соответствует 20 кПа.

Взрыву парового котла предшествует физическое изменение вещества, сопровождающееся мгновенным выделением большого количества энергии. В случае, что исследуется, в результате взрывного разрушения теплообменника твердотопливного котла данный агрегат был выброшен за пределы здания на 2,5-3 м.

Известно [4], что энергетический потенциал (E , МДж) взрыва сосудов с негорючими газами определяется энергией адиабатического расширения газов – единственной энергией, которая высвобождается при взрывах таких сосудов, находящихся под давлением. В данном случае, энергетический потенциал взрыва теплообменника твердотопливного котла IGNIS-500 обуславливался энергией адиабатического расширения насыщенного водяного пара. Являясь негорючим веществом, насыщенный водяной пар при физическом взрыве теплообменника не образует дополнительной энергии, которая выделяется при сгорании горючих газов.

В данном исследовании энергетический потенциал (E) физического взрыва теплообменника твердотопливного котла IGNIS-500 определяется в соответствии с методикой [4].

Энергетический потенциал физического взрыва парового котла определяется по формуле (2)

$$E = V \frac{P_p - P_0}{k - 1}, \text{ МДж}, \quad (2)$$

где k – показатель адиабаты. Для насыщенного водяного пара при температуре 100°C $k=1,324$; V – объём разрушившегося резервуара, м^3 .

Объём теплообменника твердотопливного котла IGNIS-500 равен $1,22 \text{ м}^3$; $P_0=0,1 \text{ МПа}$ – атмосферное давление; P_p – давление разрушения резервуара, МПа.

Давление разрушения резервуара (P_p) оценивается по формуле (3):

$$P_p = 1,2 P_{пр}, \text{ МПа}, \quad (3)$$

где $P_{пр}$ – пробное давление при гидравлическом испытании сосуда, МПа.

Из представленных на исследование материалов известно, что пробное давление при гидравлическом испытании котла соответствовало $0,6 \text{ МПа}$.

Подставляя исходные данные в формулы 2 и 3, получим:

$$P_p = 1,2 \cdot 0,6 = 0,72 \text{ МПа},$$

$$E = 1,22 \cdot \frac{0,72 - 0,1}{1,324 - 1} = 2,33 \text{ МДж}.$$

Определяем мощность физического взрыва теплообменника котла IGNIS-500 в тротиловом эквиваленте:

$$W_T = \frac{0,4 \cdot E}{0,9 \cdot q_T} = \frac{0,4 \cdot 2,33}{0,9 \cdot 4,19} = 0,247 \text{ кг}, \quad (4)$$

где $q_T = 4,19$ МДж/кг – удельная энергия взрыва тринитротолуола.

Проведенный расчет показал, что энергия физического взрыва парового котла составляла 2,33 МДж, что эквивалентно мощности взрыва 247 г тринитротолуола.

Выводы. Обобщая результаты исследования по данному вопросу, делается вывод о том, что организационной причиной разрушения технологического оборудования и здания модульной котельной является отступление от правил технической эксплуатации и режимов работы установки, а также несоблюдения трудовой и производственной дисциплины оператором котельной. Это обусловило появление технической причины разрушения, выразившейся, наиболее вероятно, в снижении уровня воды в теплообменнике котла, что привело к превышению в нем рабочего давления выше критического, с последующим взрывным разрушением корпуса и здания модульной котельной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Таубкин И.С. Судебная экспертиза техногенных взрывов / Таубкин И.С. – М.: Издательство «Юрлитинформ», 2009. – 592 с.

2. Зельдович Я.Б. Математическая теория горения и взрыва / Я.Б. Зельдович, Г.И. Баренблатт, В.Б. Либрович, Г.М. Махвиладзе. – М.: Наука, 1980. – 492 с.

3. Власенко С.А. Повышение безопасности паровых котлов малого давления в АПК при работе предохранительных клапанов путем разработки инженерно-технических мероприятий // Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. по специальности 05.26.01. – М.: 2003. – 24 с.

4. Кардаков С.В. Оценка поражающего действия взрывов реципиентов и их учет при проектировании производств продуктов разделения воздуха / С.В. Кардаков, А.В. Фёдорова // Технические газы. – 2009. – № 1. – С. 58-63.

V.M. Sirih, K.M. Karpets

Оцінка причин виникнення надзвичайної ситуації, спричиненої вибухом твердопаливного котла IGNIS-500

Розглянуто обставини, динаміка виникнення та розвитку надзвичайної ситуації, а також найбільш характерні вражаючі фактори фізичних вибухів.

Ключові слова: теплообмінник, фізичний вибух, ударна хвиля.

V.M. Sirih, K.M. Karpets

Assessment of the causes of the emergency caused by the explosion of solid fuel boilers IGNIS-500

We consider the circumstances and dynamics of the emergence and development of emergency sition, and the most typical factors affecting physical explosions.

Keywords: heat exchanger, physical explosion, the shock wave.