

Восточно-Казахстанский государственный технический  
университет им. Д. Серикбаева

УДК 624.011.01

ГЕФЕЛЕ КРИСТИНА ВЛАДИМИРОВНА

Применение инновационных взрывобезопасных конструктивных решений  
при реконструкции зданий ТЭЦ (на примере Согринской ТЭЦ)

6N0729 «Строительство»  
(профильное направление)

**Реферат диссертации на соискание академической степени магистра  
техники и технологии по специальности строительство**

Научный руководитель  
к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Б.Е. Махиев

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2010 г.

Усть-Каменогорск  
2010 г.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Наиболее распространенными энергетическими объектами в городах являются тепловые электростанции, вырабатывающие одновременно тепловую и электрическую энергию (ТЭЦ - теплоэлектроцентраль). Уязвимость к техногенным воздействиям таких важных и технически сложных элементов промышленной инфраструктуры, может привести к масштабным потерям.

Производственные циклы теплоэлектростанций концентрируются в основном в главных корпусах и галереях ТЭЦ, они тесно переплетаются со строительными конструкциями. Поэтому совершенствование конструктивных решений – основной путь снижения риска повреждений зданий и сооружений.

Большинство ТЭЦ используют в качестве топлива каменный уголь. Опасность технологического процесса обусловлена возможным взрывом угольной пыли, а также огневым воздействием в случае пожара.

Эта опасность усугубилась после разрыва хозяйственных связей между бывшими республиками СССР, когда промышленность государств СНГ вынужденно переходила на собственную топливно-сырьевую базу. Так, использование каменного угля экибастузского бассейна, отличающегося высокой зольностью и выделениями пыли, вместо кузбасского, привело к взрыву на Согринской ТЭЦ в г. Усть-Каменогорске в феврале 2005 г. Подобный взрыв угольной пыли произошел и в январе 2010 г. в г. Барнауле на ТЭЦ-3.

Взрывы вызывают не только прямые материальные убытки, связанные с разрушением строительных конструкций, технологического оборудования, но и не исключают травматизм и гибель людей в результате их поражения в основном обрушающимися конструкциями. Проблема защиты людей, оборудования и зданий строительными методами от взрывов горючих смесей внутри помещений имеет не только большое экономическое значение, но и социальное.

**Целью работы** является повышение безопасности эксплуатации здания и предотвращения обрушения строительных конструкций при взрывных воздействиях.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- проанализировать конструктивные решения зданий главных корпусов ТЭЦ;
- выявить опасные участки технологического процесса ТЭЦ;
- выявить причины, усугубившие степень повреждения и обрушения строительных конструкций в результате взрыва на Согринской ТЭЦ;
- определить избыточное давление на строительные конструкции при взрыве и выполнить проверочные расчеты строительных конструкций на действие взрывной волны;
- разработать рекомендации по изменению конструктивного решения зданий главных корпусов ТЭЦ при реконструкции.

**Объектом исследования** являются существующие здания главного корпуса Согринской ТЭЦ, построенной в 1961 г. по типовому проекту 1949 г.

**Метод исследования** можно охарактеризовать как расчетно-теоретический и проектно-конструкторский.

В данной работе **получены следующие результаты:**

- определено избыточное давления взрыва;
- определено давление, требуемое для обрушения кирпичных стен;
- получены результаты сопоставления вышеназванных показателей;
- определена площадь легкобрасываемых конструкций после реконструкции главного корпуса ТЭЦ;
- расчетным путем определена требуемая площадь легкобрасываемых конструкций;
- получены результаты сопоставления двух вышеназванных показателей;
- определено давление, требуемое для вскрытия легкобрасываемых конструкций.

**Научная новизна работы** заключается в предложении совершенствования конструктивного решения зданий главного корпуса ТЭЦ с учетом взрывного воздействия, на основании расчетных данных. Так как изученные нормативные материалы, а также данные, полученные в результате анализа конструктивных решений, позволили сделать вывод, что конструктивные решения типовых проектов зданий ТЭЦ, разработаны и внедрены в массовое строительство без учета опасности технологического процесса, обусловленного возможным взрывом угольной пыли, т.е. разработанные типовые проекты ТЭЦ не соответствуют требованиям, предъявляемым к зданиям взрывоопасных производств.

**Практическая ценность работы** заключается в следующем:

- разработаны рекомендации по изменению конструктивного решения зданий главного корпуса ТЭЦ;
- разработан метод определения избыточного давления, действующего на ограждающие конструкции при взрыве угольной пыли, а также последовательность определения требуемой площади легкобрасываемых конструкций, применимый для зданий ТЭЦ;
- приведены данные о степени разрушения сооружений и отдельных конструкций в зависимости от избыточного давления, установленного расчетным путем;
- приведенный в данной работе материал, позволяет оптимизировать конструктивные решения, путем расчета требуемой площади легкобрасываемых конструкций, с целью снижения нагрузок от взрывного воздействия, действующих на ограждающие конструкции.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из нормативных ссылок, определений, введения, 4 глав, заключения, списка использованных источников и содержит 65 листов печатного текста, 5 таблиц и 7 рисунков, а также 5 приложений, которые включают в себя 20 рисунков, 7 таблиц и 16 иллюстраций.

**Перечень ключевых слов:** ТЭЦ, ТЭС, конструктивные решения, взрыв, взрывозащита, взрывобезопасность, легкобрасываемые конструкции (ЛСК), взрывоопасная смесь, угольная пыль, избыточное давление взрыва, дефекты, повреждения, обрушение.

**Публикации.** По результатам исследования, выполненного по теме диссертации, опубликован один печатный труд.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, определены положения, выносимые на защиту, сформулированы цели и задачи исследования.

В **первой главе** приведен обзор и анализ развития конструктивных решений зданий главных корпусов ТЭЦ. Рассмотрены причины, повлиявшие на создание типовых проектов, и сроки унификации объемно-планировочных и конструктивных решений. Проведенный анализ показывает, что развитие конструктивных решений энергостроительства можно разделить на несколько периодов:

- первый период (1920-1930 гг.). В эти годы строительные конструкции главного корпуса выполнялись преимущественно бескаркасными с массивными несущими кирпичными стенами и монолитными железобетонными перекрытиями;

- второй период (1930-1945 гг.). В рассматриваемый период основные конструкции выполнялись в монолитном железобетоне, а стены в кирпиче. В отдельных случаях применялись металлические каркасы;

- третий период (1945-1957 гг.). В этот период широкое применение получили железобетонные конструкции с несущими арматурными каркасами. Несущие арматурные блоки применялись для каркасов и перекрытий главных корпусов и других зданий, а также для фундаментов под турбогенераторы. В последующие годы начали применяться смешанные конструкции - колонны и ригели выполнялись в несущих арматурных каркасах, а перекрытия - в сборном железобетоне. До 1955 г. сборный железобетон применялся в ограниченных случаях и использовался для панелей покрытий, отдельных балок, плит, каналов, туннелей и т. д. Стены в главных корпусах, выполнялись в кирпиче. В последующие годы для стен начали применяться шлакобетонные блоки, железобетонные панели, армопенобетонные панели;

- четвертый период, начавшийся в 1957 г., характеризуется массовым применением сборных железобетонных конструкций заводского изготовления для всех элементов главного корпуса, в том числе для подземного хозяйства и фундаментов под здание.

Выше изложенные данные, свидетельствуют о том, что на всех этапах развития конструктивных решений зданий теплоэлектростанций, для строительства ТЭЦ применялись в основном тяжелые, массивные конструкции.

Затем был проведен анализ конструктивных решений зданий главного корпуса Согринской ТЭЦ, проект которой был разработан институтом Промэнергопроект (г. Москва) в 1960 году, и введен в эксплуатацию в 1961 г.

В плане здание Согринской ТЭЦ имеет сложную форму с максимальными размерами 79×90 м. Оно состоит из четырех отделений: машинного, деаэрационного, котельного и дымососного, которые примыкают друг к другу, образуя многопролётный каркас с перепадами высот. С одной стороны здание имеет постоянную торцевую стену; с другой стороны - котельное отделение ограждено временной торцевой стеной, так как в будущем предусматривалось расширение станции.

В этой же главе рассмотрен технологический процесс и выявлены опасные участки технологического процесса ТЭЦ, а также рассмотрены возможные причины взрыва. Для производственных зданий, где возможны взрывы горючих смесей, наряду с мерами по их предотвращению принимаются меры по защите людей, оборудования и строительных конструкций в случае возникновения взрыва внутри помещения. Такое положение объясняется тем, что образование взрывоопасных концентраций происходит так быстро, что обслуживающий персонал, как правило, не в состоянии предотвратить взрыв.

Большая скорость распространения пламени и высокая температура, создающаяся при взрыве горючих смесей в помещении, приводят к резкому повышению давления внутри здания, разрушению элементов оборудования и строительных конструкций и остановке производства. Часто в результате взрывов большое количество людей теряют трудоспособность, а иногда и гибнут. Основной ущерб производству и в том числе обслуживающему персоналу наносится за счет обрушения строительных конструкций.

При эксплуатации взрывоопасных производств источником образования взрывоопасной среды в помещении является, как правило, технологическое оборудование.

Анализ причин взрывов показывает, что чаще всего причиной взрыва является открытый огонь, самовоспламенение при взаимодействии продукта с кислородом воздуха, наличие нагретых поверхностей технологического оборудования.

Большинство взрывов сопровождается частичным или полным разрушением строительных конструкций и оборудования. Это свидетельствует о важности рассматриваемой проблемы и необходимости изменения конструктивного решения с целью снижения воздействия взрыва на оборудование и строительные конструкции.

Здесь же приведены характеристики взрывоопасности пылевоздушной смеси, мероприятия по предупреждению образования и взрыва угольной пыли.

Таким образом, взрывозащита промышленных зданий решается в основном по двум направлениям. Основным направлением является исключение возможности возникновения взрыва. В тех случаях, когда это сделать с достаточной степенью надежности не представляется возможным, предусматривается защита зданий и сооружений строительными методами -

применением легкобрасываемых конструкций в наружном ограждении зданий с целью снижения нагрузок, действующих на ограждающие конструкции. А анализ конструктивных решений показывает, что главные корпуса теплоэлектростанций выполнялись с применением массивных ограждающих конструкций и тяжелых конструкций перекрытий и покрытий. Аналогичные конструкции применены и для Согринской ТЭЦ. Такие конструктивные решения были разработаны и приняты без учета опасности технологического процесса, обусловленного возможным взрывом угольной пыли при определенной ее концентрации и температуре.

Во **второй главе** выявлены причины обрушения строительных конструкций Согринской ТЭЦ в результате взрыва, который произошел в конце февраля 2005 г. Очагом взрыва явилась башня узла пересыпки и галерея топливоподачи, расположенная на верхней отметке бункерной этажерки. Это предопределило характер повреждений строительных конструкций. Основные повреждения получили машинное и деаэрационное отделения. В наибольшей степени пострадали перегородки и стены здания. Перегородка между галереей и котельным отделением по всей длине обрушилась с высоты более 25 метров; перегородка между деаэрационным и машинным отделением разрушилась частично. Полностью рухнула продольная наружная кирпичная стена галереи. Разрушились стены башни пересыпки. Рухнула продольная наружная стена машинного отделения в основном в верхней части. Взрывной волной повредило кирпичные стены торцов, причём стена, примыкающая к башне пересыпки, частично обрушилась, изогнув фахверковую колонну, а противоположная стена отклонилась от вертикали до 100-150 мм.

В котельном отделении основную часть взрывной нагрузки воспринял временный торец; его решётчатые колонны отклонились наружу до 300-400 мм. Продольные кирпичные стены котельного и дымососного отделения пострадали меньше, а торцевые получили трещины и перемещения наружу до 30-40 мм. В дымососном отделении из-за этого произошло "сползание" со стены опорных площадок сборных железобетонных плит. В котельном отделении обрушилась торцевая стенка фонаря. И, конечно, во всем здании пострадало оконное заполнение: в большинстве окон рамы были разрушены и выбиты наружу. Обрушение стен башни пересыпки с высоты более 40 м повредило покрытие машинного отделения: часть плит в крайних шагах обрушилась, крайняя ферма потеряла устойчивость плоской формы изгиба, верхний пояс отклонился наружу до 500 мм.

В то же время большинство несущих конструкций каркаса существенных повреждений не получило.

Анализ технического состояния строительных конструкций после взрыва позволил выявить основные причины, усугубившие степень их повреждения:

- конструктивное решение здания не отвечало требованиям, предъявляемым к взрывоопасным производствам. Площадь оконных проемов оказалась недостаточной для "сбрасывания" внутреннего давления.

Кровельное покрытие, выполненное из тяжелых (а в галерее топливоподачи - из особо тяжелых усиленных) железобетонных плит не позволило "выпустить пар" и вся энергия взрыва была направлена на разрушение стен;

- наружные стены машинного отделения при толщине 380 мм не были закреплены к колоннам каркаса (по проекту предусматривалось крепление анкерами из круглой стали).

- временный торец котельного отделения не имел оконных проемов, поэтому энергия ударной волны вызвала максимальную деформацию и отклонение стены от вертикали.

Далее приведены требования к конструктивному решению зданий взрывоопасных производств.

Затем приведено описание конструктивного решения, примененного для восстановления Согринской ТЭЦ, в основу которого были положены принципы, позволившие снизить риск повреждений строительных конструкций в случае опасности повторения аварии:

- увеличение площади проемов;
- использование легких ограждений;
- разгрузка конструкций перед восстановлением, что уменьшает полную деформацию за счет исключения её упругой части;
- замена аварийных конструкций или их усиление в случаях, когда замена трудновыполнима или невозможна.

Конкретные проектные решения заключались в следующем:

- была увеличена площадь окон, вместо традиционных оконных проемов применено одинарное ленточное остекление;

- продольную наружную стену галереи топливоподачи не восстановили, что образовало сквозной проем высотой около 3 м по всей длине здания; он будет играть роль взрывного люка в случае опасности повторения аварии. В качестве ограждения была запроектирована односкатная кровля из неутепленного оцинкованного стального настила, перекрывающая крышу деаэрационного отделения. Это позволило одновременно разгрузить от снега, имеющие существенные коррозионные повреждения плиты покрытия;

- вместо кирпичной кладки для наружных стен были применены лёгкие панели типа «сэндвич» полистовой сборки из профилированного стального настила с утеплителем из базальтовой ваты. Аналогичная конструкция предусмотрена и для перегородки, отделяющей галерею от котельного отделения, что диктовалось условиями пожарной безопасности.

- было разобрано ограждение временного торца котельного отделения, после чего разгруженные колонны выпрямились, были вновь закреплены и ограждение восстановлено;

- была заменена деформированная ферма покрытия;
- были заменены и усилены поврежденные и аварийные железобетонные плиты покрытия.

Таким образом, конструктивное решение, примененное для восстановления Согринской ТЭЦ, можно охарактеризовать как «подходящее» для взрывоопасных производств, но:

- замена кирпичных стен на легкобрасываемые конструкции была произведена не для всех зданий главного корпуса ТЭЦ, а локально;
- так как реконструкция выполнялась в авральном режиме, расчет требуемой площади легкобрасываемых конструкций не был произведен;
- не была произведена замена тяжелых плит покрытия машинного зала на легкобрасываемые.

В **третьей главе** приведены общие сведения о взрывных нагрузках. Во многих случаях нагрузки, вызванные действием взрывных волн, являются для сооружений аварийными, и они значительно превосходят эксплуатационные статические нагрузки. Взрывные волны действуют на конструкции сооружений как кратковременные динамические нагрузки, и самой эффективной защитой от них являются наружные ЛСК, которые по характеру работы делятся на две группы. К первой группе относятся ЛСК, имеющие сравнительно небольшую массу и разрушающиеся практически мгновенно. Ко второй группе относятся ЛСК, при вскрытии которых нельзя пренебречь силами инерции. Для этих ЛСК характерно относительно медленное (не мгновенное) вскрытие проемов в ограждающих конструкциях.

Далее произведены проверочные расчеты:

- определено избыточное давление, требуемого для обрушения кирпичной стены;
- определено давления, действующего на ограждающие конструкции при взрыве угольной пыли;
- определена требуемая площадь легкобрасываемых конструкций;
- определено давление (усилие), требуемое для вскрытия ЛСК.

Сравнительный анализ показал, что избыточное давление взрыва, которое составило  $69 \text{ кН/м}^2$ , превысило допустимое давление равное  $50,6 \text{ кН/м}^2$ , что и вызвало обрушение кирпичных стен.

Площадь ЛСК Согринской ТЭЦ до произошедшего взрыва и реконструкции, в виде остекления, составляла  $580 \text{ м}^2$ , что почти в 4 раза меньше требуемой площади ЛСК, определенной расчетом и равной  $1933 \text{ м}^2$ . Это факт и объясняет многочисленные дефекты, повреждения и обрушения строительных конструкций в результате взрыва, так как для выхода взрывной энергии не хватило проемов, и вся сила взрывной волны была направлена на разрушение строительных конструкций.

Определив требуемую площадь ЛСК, необходимо обеспечить их вскрытие при избыточном давлении в помещении не более  $2 \text{ кН/м}^2$ . Для этого был произведен расчет крепления ЛСК и определено давление, при котором произойдет их вскрытие.

В **четвертой главе** проведено сопоставление расчетов и характера повреждения строительных конструкций галереи топливоподачи, башни узла пересыпки, а также машинного, котельного и дымососного отделений; представлен алгоритм решения подобных задач; даны рекомендации по изменению конструктивного решения зданий главного корпуса ТЭЦ.



**Основные положения диссертации опубликованы в следующей работе:**

1. **Гефеле К.В.** Необходимость совершенствования конструктивных решений зданий ТЭЦ. Сб. материалов X Республиканской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых ВКГТУ им. Д. Серикбаева «Творчество молодых - инновационному развитию Казахстана», Усть-Каменогорск, 2010. – С.47-48.

## АННОТАЦИЯ

«ТЭО ғимараттарын қайта құрылымдаған кезде инновациялық, жарылыс қауіпсіздік құрылымдық шешімдерін қолдану (Согра ТЭО үлгісінде)» тақырыбындағы диссертация магистрант К.В. Гефелемен орындалды.

Осы жұмыстың мақсаты ЖЭО (жылу электр орталығы) бас корпустарының ғимараттарын пайдаланудың қауіпсіздігін арттыру және жарылыс әсері кезінде құрылыс құрылымдары құлауының алдын алу болып табылады. ЖЭО бас корпусының құрылымдық шешімдерін талдау жүргізілді, көмір шаңы жарылу мүмкіндігі себебінен технологиялық процесстің қауіптігі анықталды. Көмір шаңы жарылу нәтижесінде Согра ЖЭО бас корпусының құрылыс құрылымдарының бұзылуы мен құлауы дәрежесін тереңдету себептері айқындалды. Жарылыстың артық қысымын анықтау бойынша есеп және жарылыс толқынының әсеріне құрылыс құрылымдарының тексеру есебі орындалды.

ЖЭО ғимаратын қайта құрылымдаған кезде, осы жұмыста келтірілген материал, қоршау құрылымдарына ықпал ететін жарылыс әсерінен жүктемелерді төмендету мақсатында тез алынатын құрылымдардың талап ететін ауданын есептеу жолымен, құрылымдық шешімдерді оңтайлатуға мүмкіндік береді.

## АННОТАЦИЯ

Диссертация на тему «Применение инновационных взрывобезопасных конструктивных решений при реконструкции зданий ТЭЦ (на примере Согринской ТЭЦ)» выполнена магистрантом Гефеле К.В.

Целью данной работы является повышение безопасности эксплуатации зданий главных корпусов ТЭЦ и предотвращение обрушения строительных конструкций при взрывных воздействиях. Проведен анализ конструктивных решений главного корпуса ТЭЦ, определена опасность технологического процесса, обусловленного возможным взрывом угольной пыли. Выявлены причины, усугубившие степень повреждения и обрушения строительных конструкций главного корпуса Согринской ТЭЦ в результате взрыва угольной пыли. Выполнен расчет по определению избыточного давления взрыва и проверочный расчет строительных конструкций на действие взрывной волны.

При реконструкции зданий ТЭЦ, приведенный в данной работе материал, позволит оптимизировать конструктивные решения, путем расчета требуемой площади легкобрасываемых конструкций, с целью снижения нагрузок от взрывного воздействия, действующих на ограждающие конструкции.

## ABSTRACT

Dissertation on the theme “Introduction of innovative explosion safe construction solutions for TPP reconstruction (by the example of Sogrinskaya TPP)” was done by undergraduate Gefele K.V.

The aim of the work is improving the maintenance safety of TPP main buildings and prevention of building structures from crushing at explosion loads. The work contains the analysis of TPP main building structural design and determines the technology process risk conditioned by potential carbon dust detonation. It identifies the causes that aggravated the degree of damage and breakdown of the building structure of the Sogrinskaya TPP main building in the result of the carbon dust detonation. In the work there is the estimation of blast overpressure and the control calculation of the building structures reaction to the blasting effect.

When reconstructing the TPP buildings the material presented in the work will allow to optimize constructive solutions by means of estimation of the required area of relief panels with the aim of reduction of explosion load affecting the building envelope.