



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ**  
**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ**  
**METAL CONSTRUCTIONS**

№3, ТОМ 14 (2008) 181-188

УДК 621.315.17: 624.131.8

(08)-0165-1

## ДОСВІД ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ АВАРІЇ ПРОМИСЛОВОЇ БУДІВЛІ

**В.В. Губанов<sup>1</sup>, В.І. Москаленко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Донбаська національна академія будівництва і архітектури,  
вул. Державіна 2, 86123, м. Макіївка, Україна.

E-mail: pcheln@mail.ru

<sup>2</sup>ВАТ фірма «Промбудремонт», вул. Лазаренко, 63, 83017, м. Донецьк, Україна.

E-mail: prombudrem@mail.ru

Отримана 20 червня 2008; прийнята 30 червня 2008

**Анотація.** У статті викладається досвід ліквідації наслідків аварії в мартенівському цеху металургійного заводу. Даються результати вивчення причин обрушення розливного прольоту і обстеження конструкцій, які збереглися. Встановлено, що аварія була викликана наявністю неприпустимого зносу колон у рівні підкранових балок і впливом замерзання води в устаткуванні, установленому на покритті. Обстеження показали високу надійність конструктивної системи будівлі, унаслідок якої uszkodження були локалізовані в межах крайнього прольоту температурного відсіку довжиною 50 м. Вивчення стану будівлі дозволило визначити основні етапи ліквідації аварії, включаючи розробку проекту проведення робіт; демонтаж ушкоджених конструкцій покриття, підкранових балок, колон; ремонт конструкцій підкранових ферм, що залишилися, і колон; виготовлення і монтаж конструкцій покриття. При виконанні робіт основною задачею було поєднання будівельних робіт з безупинним технологічним процесом цеху. Для цього був складений необхідний графік виконання робіт, прийняте відповідне розташування вантажопідійомних кранів, забезпечені умови безпечного проведення робіт. На підставі проведених досліджень і виконаних будівельно-монтажних робіт запропоновано рекомендації з забезпечення безаварійної експлуатації будівель металургійного комплексу.

**Ключові слова:** промислова будівля, пошкодження, аварія, організація будівництва, металургійна промисловість.

## ОПЫТ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ

**В.В. Губанов<sup>1</sup>, В.И. Москаленко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,  
ул. Державина 2, 86123, г. Макеевка, Украина.

E-mail: pcheln@mail.ru

<sup>2</sup>ООО фирма «Промбудремонт», ул. Лазаренко, 63, 83017, г. Донецк, Украина.

E-mail: prombudrem@mail.ru

Получена 20 июня 2008; принята 30 июня 2008

**Аннотация.** В статье излагается опыт ликвидации последствий аварии в мартеновском цеху металлургического завода. Даются результаты изучения причин обрушения разливочного пролета и обследования сохранившихся конструкций. Установлено, что авария была вызвана наличием недопустимого износа колонн в уровне подкрановых балок и воздействием замерзания воды в оборудовании, установленном на покрытии. Обследования показали высокую надежность конструктивной системы здания, вследствие которой повреждения были локализованы в пределах крайнего пролета температурного отсека длиной 50 м. Изучение состояния здания позволило определить основные этапы ликвидации аварии, включая разработку проекта

производства работ, демонтаж поврежденных конструкций покрытия, подкрановых балок, колонн, ремонт оставшихся конструкций подстропильных ферм и колонн, изготовление и монтаж конструкций покрытия. При выполнении работ основной задачей было совмещение строительных работ с непрерывным технологическим процессом цеха. Для этого был составлен необходимый график выполнения работ, принято соответствующее расположение грузоподъемных кранов, обеспечены условия безопасного проведения работ. На основании проведенных исследований и выполненных строительно-монтажных работ предложены рекомендации по обеспечению безаварийной эксплуатации зданий металлургического комплекса.

**Ключевые слова:** промышленное здание, повреждения, авария, организация строительства, металлургическая промышленность.

## ELIMINATION OF CONSEQUENCES OF AN INDUSTRIAL BUILDING FAILURE. A CASE STUDY

V.V. Gubanov<sup>1</sup>, V.I. Moskalenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
Derzavin str. 2, 86123, Makeyevka, Ukraine.*

*E-mail: pcheln@mail.ru*

<sup>2</sup>*«Prombudremont» Corporation, 63, Lasorenko Str., Donetsk, 83017, Ukraine.*

*E-mail: prombudrem@mail.ru*

*Received 20 June 2008; accepted 30 June 2008*

**Abstract.** A case study of elimination of failure consequences in the open-hearth shop of a metallurgical plant is considered in the paper. There is given an analysis of causes of a pouring bay failure and an observation of the structures remained. It was found out that the failure was caused by column inadmissible wear at the level of crane girders and by a freeze-up influence in the equipment installed on the coverage. The inspection showed a high reliability of the building structure which made it possible to localize damages within the end span of the temperature section of 50 m long. Observation of the building state allowed to map out the main stages of the failure elimination including the program of fulfilling the works; a teardown of the damaged floor system, crane girders, columns; repair of the trusses and columns remained; manufacture and assembly of the floor system. When performing the works, the basic task was to combine construction works with the continuous processing procedure in the shop. So a graph of fulfilling the works had to be scheduled, a corresponding dislocation of hoisting cranes was provided, and safety labor conditions were ensured. On the base of the investigations carried out and the building and construction works fulfilled there were given recommendations on providing a trouble-free operation of the metallurgical complex buildings.

**Keywords:** industrial building, damages, failure, organization of construction, metallurgical industry.

В настоящее время постоянно увеличивается срок эксплуатации строительных конструкций зданий и сооружений, построенных в прошлом веке. Особенно это относится к зданиям металлургической промышленности, основная часть которых была построена в 30...50-х гг. [1, 2]. Процессы износа приводят к снижению несущей способности конструкций [3]. Различные сооружения требуют существенно различных мер по восстановлению несущей способности и предотвращению аварий [4, 5]. Поэтому актуальным является изучение опыта аварийных ситуаций специальных зданий и сооружений для разработки мероприятий по предупрежде-

нию и ликвидации аварий. В данной статье рассматриваются причины обрушения участка многопролетного здания, излагаются этапы и методы восстановления здания, приводятся методы предупреждения аварий.

Мартеновский цех металлургического комбината в Донецкой области эксплуатировался с 50-х годов прошлого века. В конце декабря 2005 г. произошло обрушение конструкций крайнего разливочного пролета – ферм и связей покрытия, ветроотбойных щитов и надкрановых участков колонн по крайнему ряду. Обрушение произошло рано утром в момент пересменки, поэтому из персонала цеха никто не пострадал.



Рис. 1. Разрушение разливочного пролета (вид изнутри).

Здание цеха является четырехпролетным, общей длиной более 300 м. Температурными швами здание разбито на отсеки длиной 66 м. Обрушение затронуло участок пролета длиной 50 м в пределах одного температурного отсека. Мощные подстропильные фермы длиной 33, на которые опираются стропильные фермы со стороны разливочного и соседнего печного пролетов не обрушились, и это предотвратило разрушение всего температурного отсека здания. В результате аварии покрытие с ветроотбойными щитами в виде груды металла частично обрушилось, частично зависло на связях по покрытию. Разрушение крайних колонн произошло в уровне подкрановых конструкций, в результате чего надкрановые части изогнулись внутрь пролета. Фонари не разрушились, поскольку через продольные фермы опирались на средние колонны.

ООО фирма «Промбудремонт» была назначена генподрядной организацией для ликвидации последствий аварии. Причиной назначения было то, что «Промбудремонт» уже имела опыт выполнения работ по ликвидации последствий аварии в сложных условиях действующего

производства и сжатых сроках выполнения работ.

На этапе планирования выполнения работ необходимо было решить полный комплекс задач по восстановлению здания, а именно:

- по выполнению работ определения качественного и количественного состава научно-технического персонала для проведения экспертизы, причин, а также последующей разработки проектов производства и восстановления цеха в целом;
- выявление оптимального парка грузоподъемных машин и механизмов для производства работ в указанные сроки;
- комплектация инженерно-техническими и рабочими кадрами по самой технологии выполнения работ;
- расчет предполагаемых технико-экономических показателей восстановительных работ;
- организация соответствующей службы по технике безопасности, учитывая сложность организации рабочих мест на высоте, условий действующего цеха, параллельности ведения работ в разных уровнях и совместности процессов.



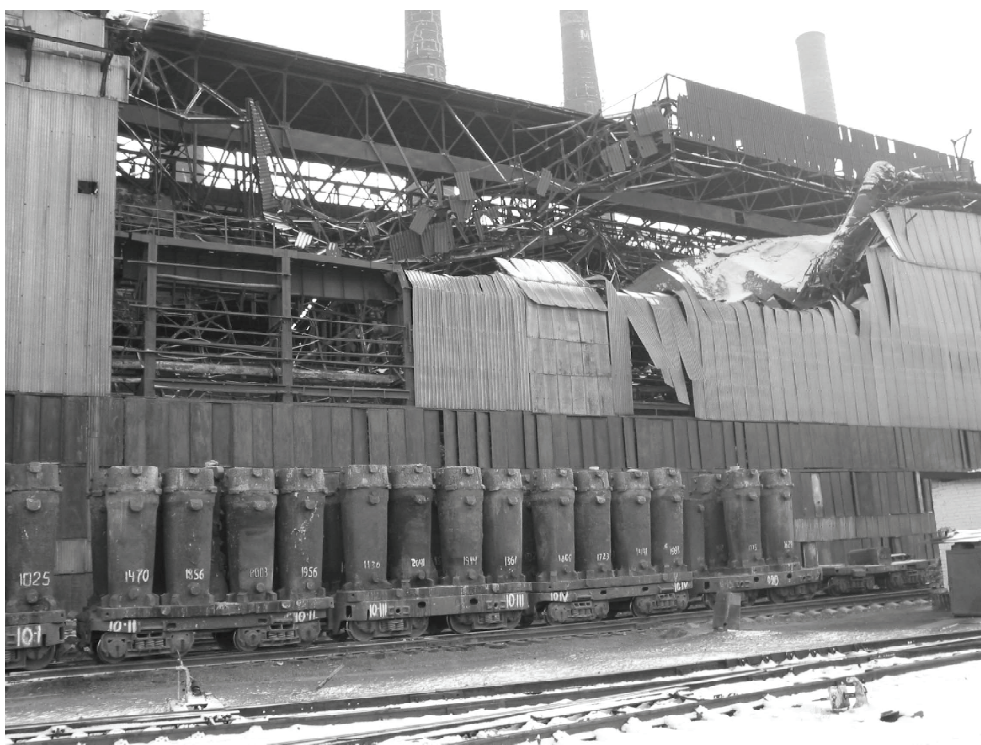


Рис. 2. Разрушение разливочного пролета (вид снаружи).



Рис. 3. Разрушение разливочного пролета (вид вдоль пролета).

На основании анализа вышеуказанных вопросов был разработан состав работ и план их выполнения, назначены руководители соответствующих подразделений, определены их функции и ответственность. Состав работ включал три стадии. На первой стадии необходимо было:

- определить причины аварии;
- выполнить демонтаж зависших конструкций (см. рис. 1, 2, 3).

На второй стадии нужно было:

- определить возможность максимального использования оставшихся конструкций балок, колонн и покрытия
- разработать проект восстановления конструкций;
- разработать проект производства работ.

Третья стадия включала изготовление новых конструкций, ремонт существующих и выполнение строительно-монтажных работ по восстановлению поврежденного участка цеха.

Для определения причин аварии была создана соответствующая комиссия. В результате работы комиссии было установлено, что при аварии обрушились строительные конструкции в разливочном пролете А-В в осях 49-39:

- надкрановые части колонн – разрушились на уровне тормозной балки, часть колонн изогнулась внутрь пролета;
- стропильные фермы – разрушилась часть узлов крепления к подстропильной ферме по ряду В и к колоннам по ряду А, произошло обрушение ферм и связей внутрь здания;
- ветроотбойные щиты в осях 43-49 частично оторвались от конструкций фонаря (по проекту щиты не должны опираться на стропильные фермы, поэтому не должны были обрушиться).

Осмотр мест разрушения конструкций показал:

- надкрановые части колонн по отдельным осям имеют локальный характер коррозионного износа с потерей сечения до 40...80% в уровне примыкания к горизонтальным тормозным конструкциям (причиной явилось скопление пыли и, как результат, замокание проемов в профлистах наружного ограждения);
- в креплениях стропильных ферм имеется коррозионный износ до 30% и дефекты изготовления – малая длины сварных швов крепления элементов.

Отставшие конструкции в осях 49-36 получили следующие повреждения:

- подкрановые конструкции – разрушение в узлах крепления к колоннам, искривления, местные погиби;
- подстропильные фермы – местные разрушения в местах опирания стропильных ферм с отрывом отдельных элементов;
- колонны ряда А – искривление ветвей и повреждение траверс.

На момент аварии технологическое оборудование в цехе – мостовые краны не перемещались, на участке обрушения кран отсутствовал, поэтому крановые нагрузки не могли явиться аварийным воздействием. Характер обрушения свидетельствовал о силовом характере разрушения – наличия дополнительных (непроектных) аварийных воздействий и нагрузок при снижении несущей способности конструкций вследствие дефектов и повреждений.

На основании работы комиссии было определено:

1. Силовым воздействием, непосредственно вызвавшим аварию, вероятнее всего, являлись непроектные воздействия от оборудования на кровле. Там находилась система испарительного охлаждения, а в ночь аварии произошло резкое падение температуры с +1°С до -20°С. Возможно было также разрушение креплений ветроотбойных щитов к фонарю и их обрушение на кровлю.
2. Конструкции, примыкающие к участку обрушения, имеют уровень поврежденности не более 15%, поэтому допустимо их использовать при соответствующем усилении.
3. Подкрановые балки по наружному ряду колонн, сделанные из прокатного двутавра высотой 1000 мм, не имели трещин в поясах и стенке, однако имелось множество трещин в области опорного ребра из-за неудачного конструктивного решения крепления балок к колоннам. Балки по внутреннему ряду пролетом 33 м, имеющие развитое коробчатое сечение, в результате аварии не пострадали.

На основании изучения причин аварии и состояния конструкций был разработан проект производства работ по демонтажу поврежденных конструкций и выполнены соответствующие работы. Основной особенностью ситуации была необходимость производства работ

в стесненных условиях при непрерывной работе оборудования мартеновского цеха, в том числе тяжелых кранов. Существенно осложняло выполнение восстановительных работ снижение температуры воздуха до  $-25^{\circ}\text{C}$  и сильный ветер. На основании анализа были определены основные требования к работам и порядок их осуществления:

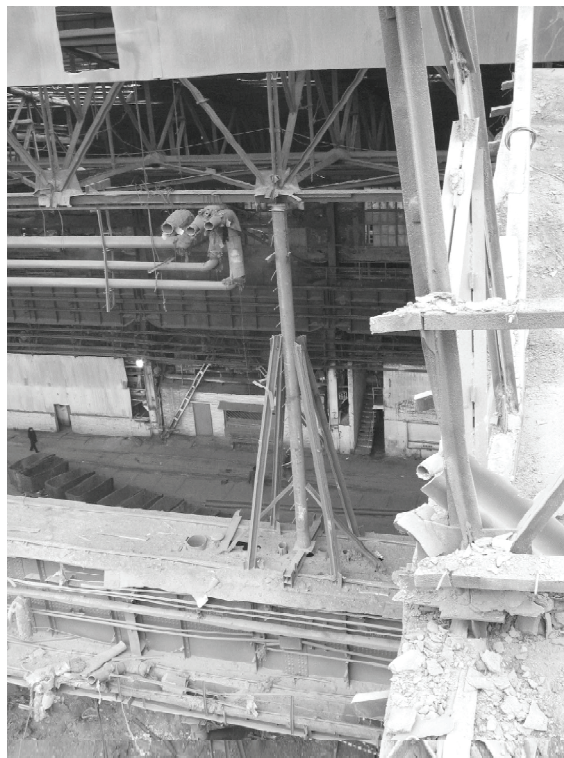
- недопущение нахождения людей на зависших конструкциях;
- временное закрепление конструкций (рис. 4), на которые опирались зависшие участки покрытия;
- минимизация размеров опасной зоны выполнения работ для недопущения повреждения действующего в цеху оборудования на момент выполнения работ.

Работы по демонтажу были закончены за 7 дней (рис. 5). В рамках следующего этапа необходимо было разработать проект на усиление оставшихся конструкций. Для этого необходимо было:

1. Решить вопрос об усилении конструкций здания, примыкающих к участку обрушения. Для этого следовало выполнить обследование колонн, подкрановых балок, ферм, фонарей и связей, примыкающих к пролету.
2. Обследовать конструкции поперечных рам по всем пролетам, находящимся в одном температурном отсеке с обрушенным пролетом. Это следовало сделать, поскольку рама здания является неразрезной и в момент обрушения могли возникнуть опасные нагрузки на колонны и фермы смежных пролетов.
3. Выполнить проверочный расчет подкрановых конструкций с учетом их действительного состояния для определения возможности их использования.

Обследование показало, что обрушение в разливочном пролете не затронуло конструкции смежных пролетов, поскольку конструкции были рассчитаны на работу тяжелых кранов и имели значительные сечения. Вместе с тем были обнаружены отдельные участки (около 3 % конструкций) со значительным коррозионным износом, которые необходимо было усилить в процессе выполнения ремонтных работ.

На основании результатов обследования и проектных разработок был разработан порядок выполнения работ:



**Рис. 4.** Временная стойка для закрепления подстропильной фермы.

- а) замена верхних участков колонн с траверсами;
- б) монтаж подкрановых конструкций;
- в) усиление оставшихся колонн и подстропильных ферм;
- г) монтаж новых конструкций покрытия;
- д) демонтаж временных стоек закрепления подстропильных ферм.

В ходе оперативного управления ходом выполнения работ приходилось решать следующие задачи:

- 1) Сведение к минимуму помех для основного технологического процесса в мартеновском цехе.
- 2) Увязка графика выполнения работ с движением внутрицехового транспорта.
- 3) Максимальное ускорение производства работ.
- 4) Контроль технологии выполнения монтажных работ с точки зрения безопасности и эффективности.

Ускорение работ было достигнуто за счет совмещения процессов изготовления, монтажа и обустройства конструкций, а также использования кранового оборудования, расположенного за пределами цеха.





Рис. 5. Демонтаж подкрановых балок.

Строительно-монтажные работы были полностью закончены в апреле 2006 г. через 3,5 месяца после аварии, но уже в марте возобновилось движение разливочных кранов по пролету. За два месяца было смонтировано 202 т металлоконструкций. Трудоемкость работ составила 1750 чел.-дн.

На основании изучения причин аварии и опыта ее ликвидации можно сделать следующие выводы:

1. Необходим периодический контроль состояния конструкций, особенно в местах скопления пыли, где могут быть скрыты опасные повреждения, и подкрановых балок. Обычный наружный осмотр не позволяет выявить такие повреждения. Проведенные обследования показали, что общий объем узлов конструкций с недопустимыми повреждениями не превышает 3...5 %, поэтому затраты на своевременное выявление таких участков и их ремонт не сопоставимы с последствиями аварии.
2. В цехах с повышенным пылевыведением необходимо тщательно следить за состо-

янием кровли и ограждения с целью недопущения попадания воды на конструкции, засыпанные пылью, поскольку наличие воды в местах скопления пыли приводит к резкому ускорению коррозионного износа и появлению сквозных повреждений.

3. Для поддержания эксплуатационной пригодности зданий металлургической промышленности, которые эксплуатируются более 40 лет, необходимо иметь документацию, которая содержит схемы относительной поврежденности конструкций и график ремонтов и замен конструкций. Использование системы предупредительных ремонтов с учетом конкретных особенностей конструктивных решений и износа конструкций позволит обеспечить их безаварийную работу и снизить затраты на эксплуатацию.
4. Основные воздействия на здания металлургической промышленности оказывает технологическое оборудование. Поэтому поддержание оборудования в исправном состоянии является необходимым условием безаварийной работы конструкций.

## Литература

1. Стан та залишковий ресурс фонду будівельних металевих конструкцій в Україні / А.В. Перельмутер, В.М. Гордєєв, Є.В. Горохов та ін.; За ред. д-ра техн. наук А.В. Перельмутера. – К.: Вид-во “Сталь”, 2002. – 166 с.
2. Добромислов А.Н. Диагностика поврежденных зданий и инженерных сооружений. – М.: Справочное пособие. Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. – 256 с.
3. Долговечность стальных конструкций в условиях реконструкции / Е.В. Горохов, Я. Брудка, М. Лубиньски и др. / Под ред. Е.В. Горохова. – М.: Стройиздат, 1994. – 488 с.
4. Металлические конструкции в 3 т. Т. 3 (Справочник проектировщика) / Под общ. ред. Кузнецова (ЦНИИпроектстальконструкция им. Н.П. Мельникова) – М.: изд-во АСВ, 1999. – 560 с.
5. Сварные строительные конструкции в 3 т. Т. 3 / Под ред. Л.М. Лобанова. – К.: ИЭС им. Е.О. Патоны, 2003 – 378 с.

**Губанов Вадим Вікторович** є доцентом кафедри "Металеві конструкції" Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член Інституту інженерів будівельників (The Institution of Civil Engineers, Великобританія). Наукові інтереси: експлуатаційна надійність будівельних металевих конструкцій, розрахунок та проектування висотних споруд.

**Москаленко Володимир Іванович** – генеральний директор ВАТ фірма «Промбудремонт» корпорації «Промстройремонт», старший викладач кафедри «Технологія, організація та охорона праці в будівництві» ДонНАБА, Академік Академії будівництва України. Наукові інтереси: пошук раціональних конструкторсько-технологічних рішень в питаннях реконструкції промислових будівель та інженерних споруд.

**Губанов Вадим Вікторович** является доцентом кафедры "Металлические конструкции" Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Член Института инженеров строителей (The Institution of Civil Engineers, Великобритания). Научные интересы: эксплуатационная надежность строительных металлических конструкций, расчет и проектирование высотных сооружений.

**Москаленко Владимир Иванович** - генеральный директор ОАО фирма "Промбудремонт" корпорации "Промстройремонт", старший преподаватель кафедры "Технология, организация и охрана труда в строительстве" ДонНАСА, Академик Академии строительства Украины. Научные интересы: поиск рациональных конструкторско-технологических решений в вопросах реконструкции промышленных зданий и инженерных сооружений.

**Gubanov Vadim Victorovich** is an Associate professor of the Department of Metal Structures at the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture; a member of the Institution of Civil Engineers, Great Britain. His research interests: operational reliability of metal structures, design and designing of high-rise special structures.

**Moskalenko Vladimir Ivanovich** is General Director of the "Prombudremont" Firm of the Corporation "Promstroiremont", a senior teacher of Department "Technology, Labour Organization and Protection in the Construction" of the DonNACEA; an academician of the Academy of Civil Engineering of Ukraine. His research interests: a search of rational design decisions for the reconstruction of industrial buildings and engineering structures.