



(18)-0386-1

## **ВЗРЫВЫ В СТАЛЕЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ НА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ**

**Н. В. Прядко**

*ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.  
E-mail: pryadko\_nv@mail.ru*

*Получена 12 ноября 2018; принята 23 ноября 2018.*

**Анотация.** Идентифицированы опасности, оценен риск аварий от взрывов при электросталеплавильном производстве металла. Приведен детальный анализ причин возникновения взрыва в электросталеплавильной печи, последствий его воздействия на строительные конструкции с учетом объемно-планировочного решения здания цеха. На конкретном примере показаны результаты влияния взрывной волны от взрыва в электросталеплавильной печи на несущие и ограждающие строительные конструкции здания. Предложены конструктивные решения по восстановлению поврежденных конструкций и мероприятия по минимизации возможных чрезвычайных ситуаций техногенного характера типа взрывов. Установлено, что для изучения интенсивности воздействия взрывной волны на строительные конструкции и принятия обоснованных проектных решений по снижению ее влияния в помещении всех пролетов цеха необходимо установить автоматические датчики, фиксирующие уровни давления воздуха при периодических взрывах при загрузке печи.

**Ключевые слова:** сталелитейное производство, взрывы, несущие конструкции, дефекты и повреждения, потеря устойчивости, усиления.

## **ВИБУХИ В СТАЛЕЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ ТА ЇХ НАСЛІДКИ НА БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЯХ ВИРОБНИЧИХ БУДІВЕЛЬ**

**М. В. Прядко**

*ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,  
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.  
E-mail: pryadko\_nv@mail.ru*

*Отримана 12 листопада 2018; прийнята 23 листопада 2018.*

**Аннотация.** Идентифіковано небезпеки, оцінено ризик аварій від вибухів при електросталеплавильному виробництві металу. Наведено детальний аналіз причин виникнення вибуху в електросталеплавильній печі, наслідків його впливу на будівельні конструкції з урахуванням об'ємно-планувального рішення будівлі цеху. На конкретному прикладі показано результати впливу вибухової хвилі від вибуху в електросталеплавильній печі на несучі і огорожувальні будівельні конструкції будівлі. Запропоновано конструктивні рішення по відновленню пошкоджених конструкцій та заходи щодо мінімізації можливих надзвичайних ситуацій техногенного характеру типу вибухів. Встановлено, що для вивчення інтенсивності впливу вибухової хвилі на будівельні конструкції і прийняття обґрунтованих проектних рішень щодо зниження її впливу в приміщенні всіх пролотів цеху необхідно встановити автоматичні датчики, здатні фіксувати рівні тиску повітря при періодичних вибухах при завантаженні печі.

**Ключові слова:** сталеливарне виробництво, вибухи, несучі конструкції, дефекти і пошкодження, втрата стійкості, підсилення.

## EXPLOSIONS IN THE STEEL INDUSTRY AND THEIR CONSEQUENCES ON THE BUILDING STRUCTURES OF INDUSTRIAL BUILDINGS

Nikolay Pryadko

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.  
E-mail: pryadko\_nv@mail.ru*

*Received 12 November 2018; accepted 23 November 2018.*

**Abstract.** Hazards have been identified; the risk of accidents from explosions during electric steelmaking metal production has been evaluated. A detailed analysis of the causes of the explosion in the electric furnace, the consequences of its impact on building structures, taking into account the space-planning solution of the workshop building, is given. A specific example shows the results of the influence of the blast wave from an explosion in an electric arc furnace on the bearing and enclosing building structures of a building. Constructive solutions for the restoration of damaged structures and measures to minimize possible man-made emergency situations such as explosions are proposed. It has been established that in order to study the intensity of the blast wave effect on building structures and make sound design decisions to reduce its influence in the room of all spans of the workshop, it is necessary to install automatic sensors that record the levels of air pressure during periodic explosions when the furnace is loaded.

**Keywords:** steel production, explosions, supporting structures, defects and damage, loss of stability, gain.

### Введение

Сталеплавильное производство — это получение высококачественных сталей в электрических печах, обладающих существенными преимуществами по сравнению с мартеновским производством.

Преимуществом электрической плавки стали по сравнению с другими способами производства является, главным образом, использование электрической энергии для нагрева металла. Это позволяет в сравнительно небольшом объеме сконцентрировать большую мощность и нагревать металл с большой скоростью до высоких температур. Таким образом, длительность плавки существенно сокращается по сравнению с мартеновским процессом, а пылевыведение значительно ниже, чем при плавке в конвертерах, что говорит об экологичности данного метода производства. Расход тепла и изменение температуры при плавке в электропечи довольно легко поддаются контролю и регулированию [1–3].

Однако, учитывая все его преимущества над другими способами производства стали в электрических печах, он обладает и недостатками. Пожалуй, самый выделяющийся из них — это

взрывоопасность [4–6]. Причиной возникновения взрыва в ходе электросталеплавильного производства является попадание в печь различных предметов. Наиболее вероятной причиной взрыва может являться:

- попадание воды из водоохлаждающей рубашки печи в расплав;
- контакт расплавленного металла с влажными материалами (загрузка в сталеплавильную печь влажного металлолома и шихты);
- попадание в печь различных взрывоопасных предметов (баллонов, снарядов вместе с металлоломом) и т.д.

Наибольшая частота взрывов в электросталеплавильном производстве возникает при контакте расплавленного металла и шлака с водой.

При контакте расплавленного металла и шлака с водой происходит взрыв, что объясняется физико-химическими свойствами воды. Соприкосновение воды с расплавленным металлом и шлаком приводит к мгновенному испарению ее, сопровождающемуся резким увеличением объема в 1600 раз больше объема воды. Такое превращение носит взрывообразный характер.

Взрывы несут целый ряд негативных последствий: госпитализация персонала, остановка производства и нарушение целостности строительных конструкций, значительные экономические потери и др.

Актуальность данной темы обусловлена довольно частыми инцидентами со взрывами на предприятиях данной отрасли, которые нарушают целостность строительных конструкций, что может привести к их непригодности и возникновению чрезвычайных ситуаций.

### Объекты и методы исследований

Целью работы является изучение последствий взрыва в печи электросталеплавильного завода, выявление нарушений целостности строительных конструкций, оценка их технического состояния и разработка проектных решений по их восстановлению.

В конце 2017 года на одном из электросталеплавильных заводов Донецкой области произошел взрыв в электросталеплавильной печи.

Здание электросталеплавильного цеха имеет размеры в осях 196,7×93,5 м и четыре пролета (рис. 1,2). Здание цеха выполнено по каркасной конструктивной схеме. В осях «Аа – Е» и «0/1–13» здание электросталеплавильного цеха имеет железобетонный каркас. Высота до низа несущих конструкций – 10,8 м. Пролет печной и разливочный «D – F» выполнен по каркасной конструктивной схеме со стальным каркасом. Высота до низа несущих конструкций – 28,7 м, до конька – 35,25 м. В пролетах «D – F» и «Аа – Б/2» имеются аэрационные фонари.

Благодаря значительному объему цеха, наличию легких ограждающих конструкций в печном пролете и большой площади аэрационных фонарей серьезных разрушений не произошло. Вместе с тем отдельные строительные конструкции здания получили различного рода разрушения и деформации. В результате детального обследования несущих и ограждающих конструкций здания электросталеплавильного цеха было установлено, что:

- взрывной волной было повреждено стеновое ограждение (выбито часть окон, деформированы и сдвинуты наружу железобетонные стеновые панели (рис. 2), располо-

женное на расстоянии 72 м от эпицентра взрыва. По частоте поврежденных окон вдоль оси «Аа» можно говорить об интенсивности распределения взрывной волны. С наружной стороны стеновые панели по оси «Аа» имеют смещение относительно друг друга с выгибом наружу до 100 мм, выпадение раствора из швов между панелями, местные разрушения в узлах крепления к колоннам (б);

- прогоны покрытия для поддержки доборных элементов в покрытии по оси «Аа» металлические решетчатые из уголков в осях «0/3–8» имеют потерю устойчивости (выгиб из плоскости прогона до 250 мм (рис. 3), что значительно превышает предельно допустимые значения –  $1/750$  длины элемента ( $12\,000/750 = 16$ ), но не более 15 мм (табл. В.1, п. 5 ДСТУ Б В.2.6-210:2016 «Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються») [7–9];
- опорный раскос стропильной фермы печного пролета, расположенной непосредственно над печью, на пересечении осей «F» и «81» имеет потерю устойчивости из плоскости до 250...300 мм (рис. 4) (выгиб из плоскости 300 мм значительно превышает предельно допустимые значения –  $1/750$  длины элемента ( $2\,300/750 = 3,1$  мм), но не более 15 мм (табл. В.1, п. 5 ДСТУ Б В.2.6-210:2016 «Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються» [10–12]);
- отдельные железобетонные плиты покрытия имели различного рода повреждения – трещины вдоль и в поперечном направлении рабочей арматуры продольных ребер (рис. 5), разрушения защитного слоя бетона и др.

По результатам анализа причин повреждения строительных конструкций после взрыва в сталеплавильной печи была проведена оценка их технического состояния [7, 13–15]) и разработаны конструктивные решения по усилению вышеперечисленных несущих и ограждающих конструкций.

Железобетонные стеновые панели по оси «Аа» в верхней части стен были «подтянуты» к плитам покрытия по рекомендациям, приведенным на рис. 6. Стеновые панели, имеющие смещение относительно друг друга с выгибом

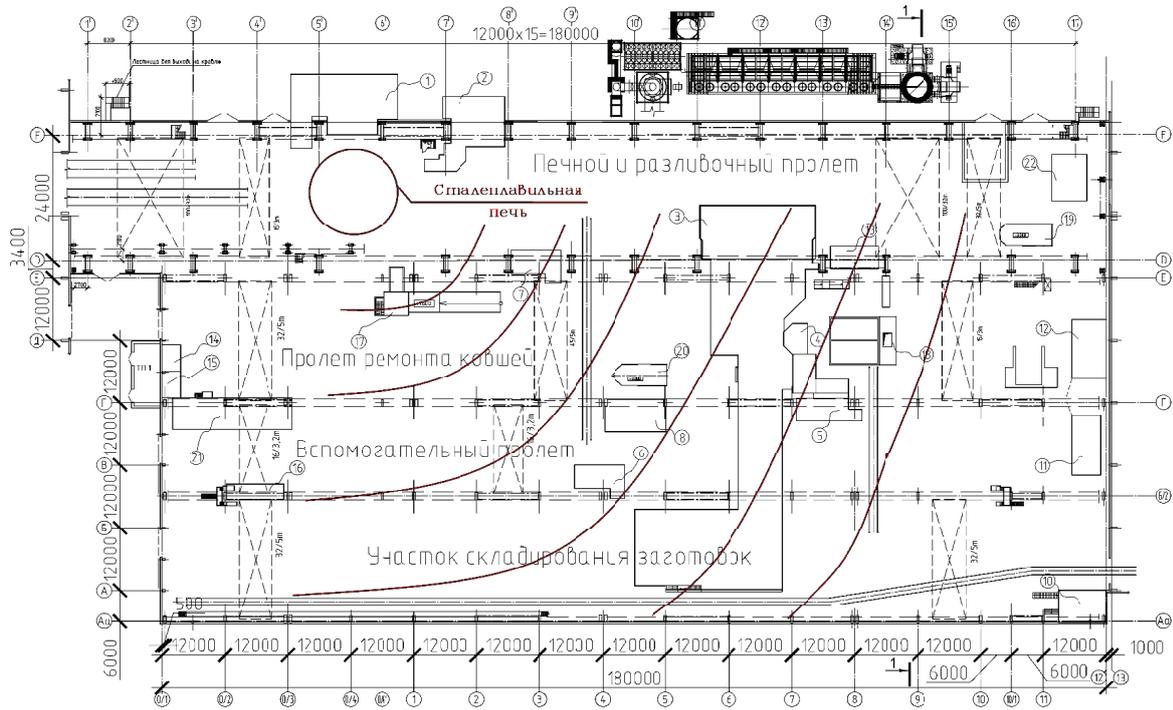


Рисунок 1. План здания электросталеплавильного цеха. Дугами показано направление действия взрывной волны на стеновое ограждение по оси «Аа».

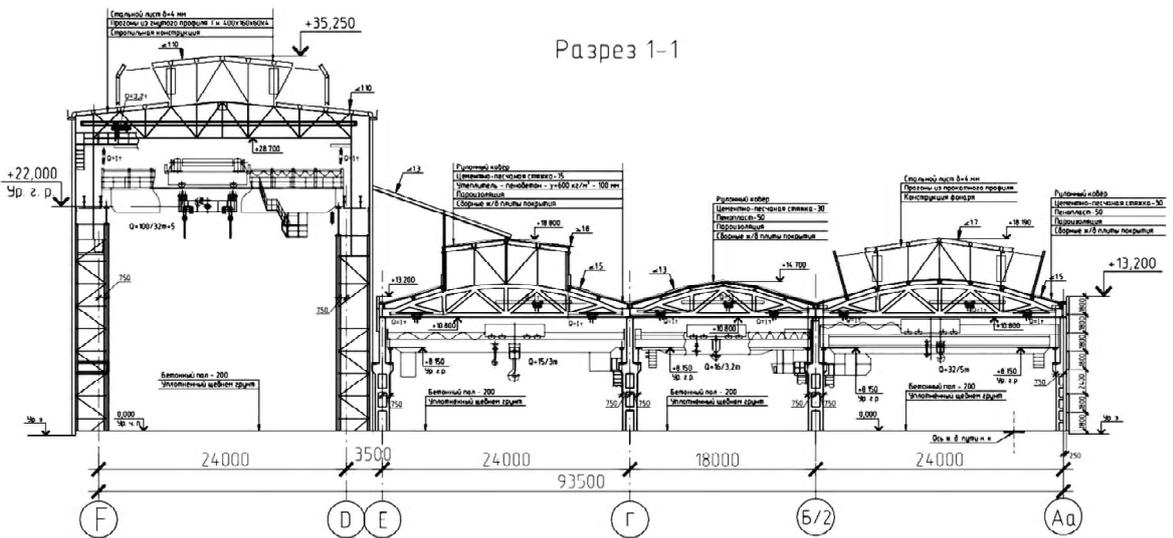


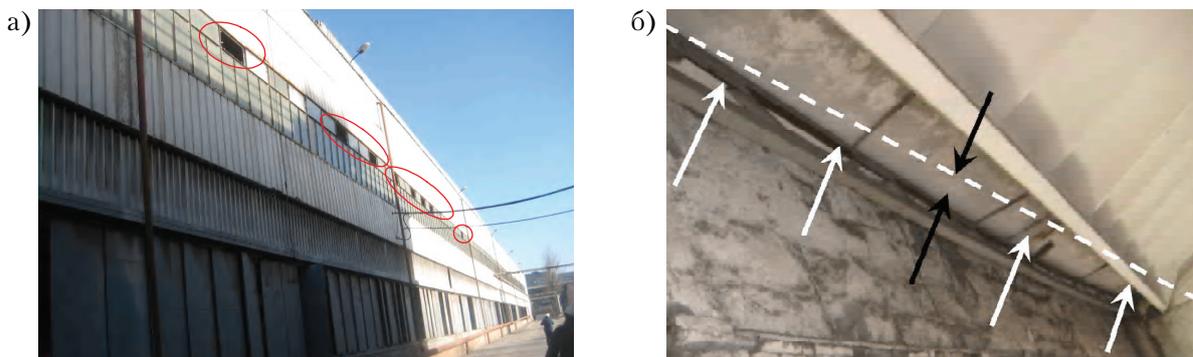
Рисунок 2. Поперечный разрез здания электросталеплавильного цеха.

наружу, рекомендовано соединить металлическими стяжками.

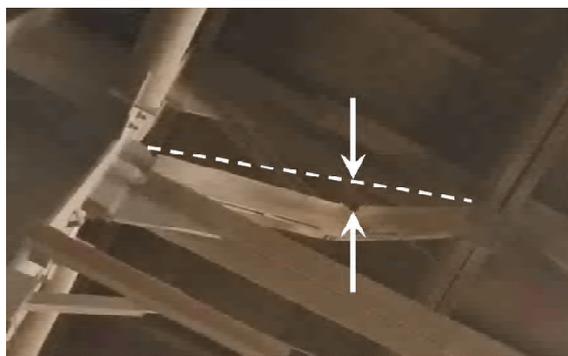
Прогоня покрытия для поддержки доборных элементов в покрытии по оси «Аа», имеющие потерю устойчивости, рекомендовано

заменить на новые либо снять, отрихтовать и установить не прежнее место.

Опорный раскос стропильной фермы печного пролета, расположенной непосредственно над печью, на пересечении осей «F» и «81»



**Рисунок 3.** Повреждение взрывной волной стенового ограждения (выбито часть окон, деформированы и сдвинуты наружу железобетонные стеновые панели). Прогоны покрытия для поддержки доборных элементов в покрытии по оси «Аа» металлические решетчатые из уголков в осях «0/3–8» имеют потерю устойчивости (выгиб из плоскости прогона до 250 мм): а – вид снаружи; б – вид изнутри.



**Рисунок 4.** Опорный раскос стропильной фермы печного пролета, расположенной непосредственно над печью, на пересечении осей «F» и «81» имеет потерю устойчивости из плоскости до 250...300 мм.



**Рисунок 5.** Отдельные железобетонные плиты покрытия, имеющие трещины вдоль и в поперечном направлении продольных ребер.

и имеющей потерю устойчивости из плоскости предложено усилить подведением дополнительных элементов (рис. 7).

Отдельные железобетонные плиты покрытия, имеющие трещины вдоль и в поперечном направлениях продольных ребер, предложено усилить шпренгельными затяжками (рис.8).

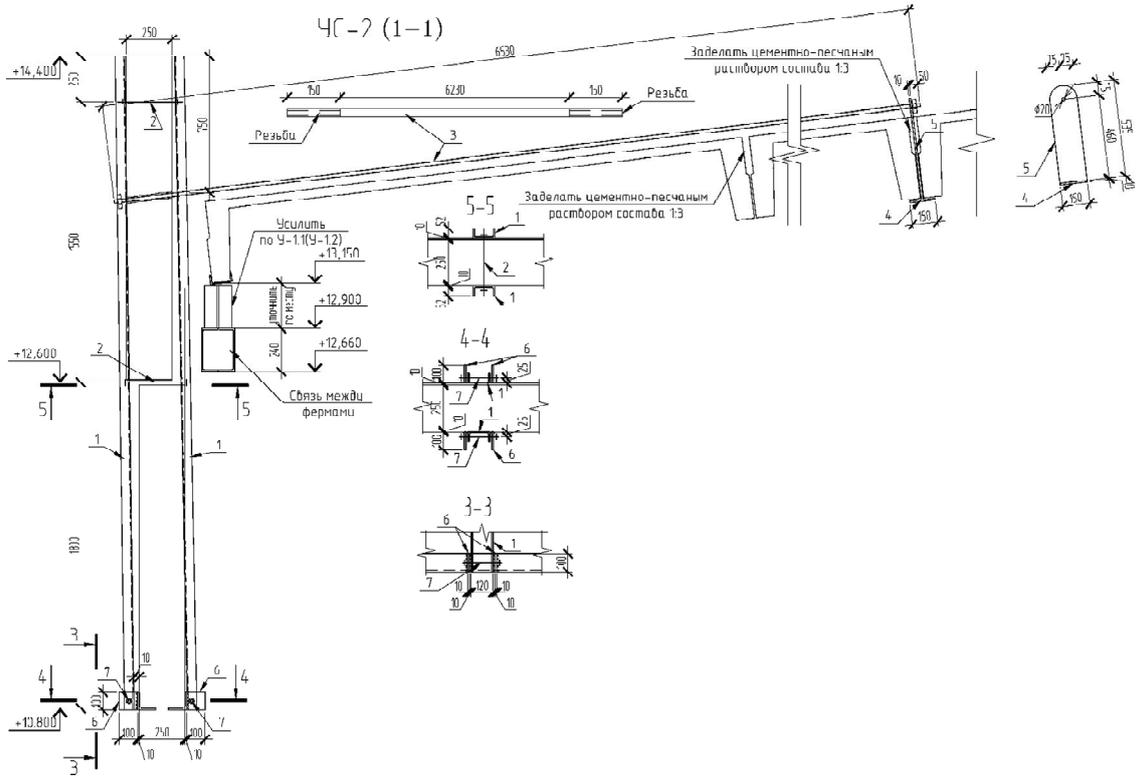
### Заключение

Детальный анализ причин возникновения взрыва в электросталеплавильной печи, последствий его воздействия на строительные конструкции с учетом объемно – планировочного решения здания цеха позволяет сделать следующие выводы:

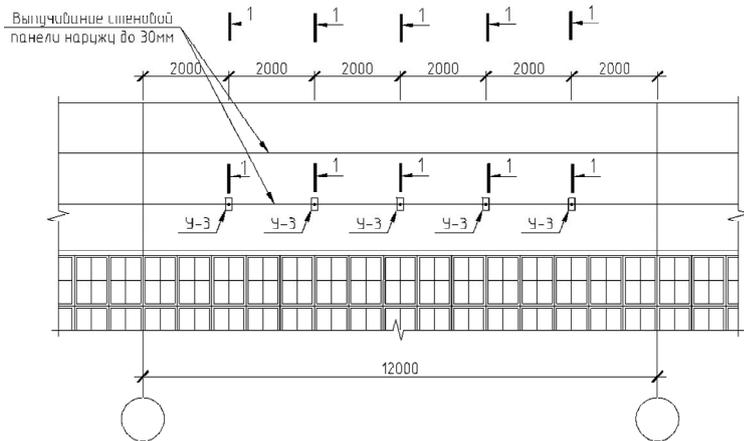
- минимизировать влияние взрывной волны можно за счет увеличения площади легкос-

брасываемого ограждения по оси «Аа» (железобетонные стеновые панели заменить на стеновое ограждение из профилированного листа в месте наибольшего воздействия взрывной волны – в осях «0/3-8»), либо путем устройства аэрационного фонаря в пролете ремонта ковшей «Г-Е»;

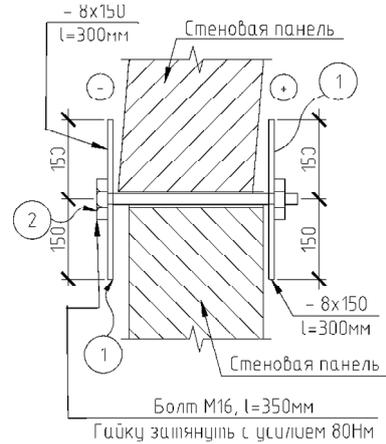
- чтобы избежать всевозможных взрывов в электросталеплавильной печи следует более тщательно подходить к выбору и обработке сырья, прежде чем загружать его в печь;
- для изучения интенсивности воздействия взрывной волны на строительные конструкции и принятия обоснованных проектных решений по снижению ее влияния в помещении всех пролетов цеха желательно установить автоматические датчики, фиксирующие уровни давления воздуха при периодических взрывах при загрузке печи.



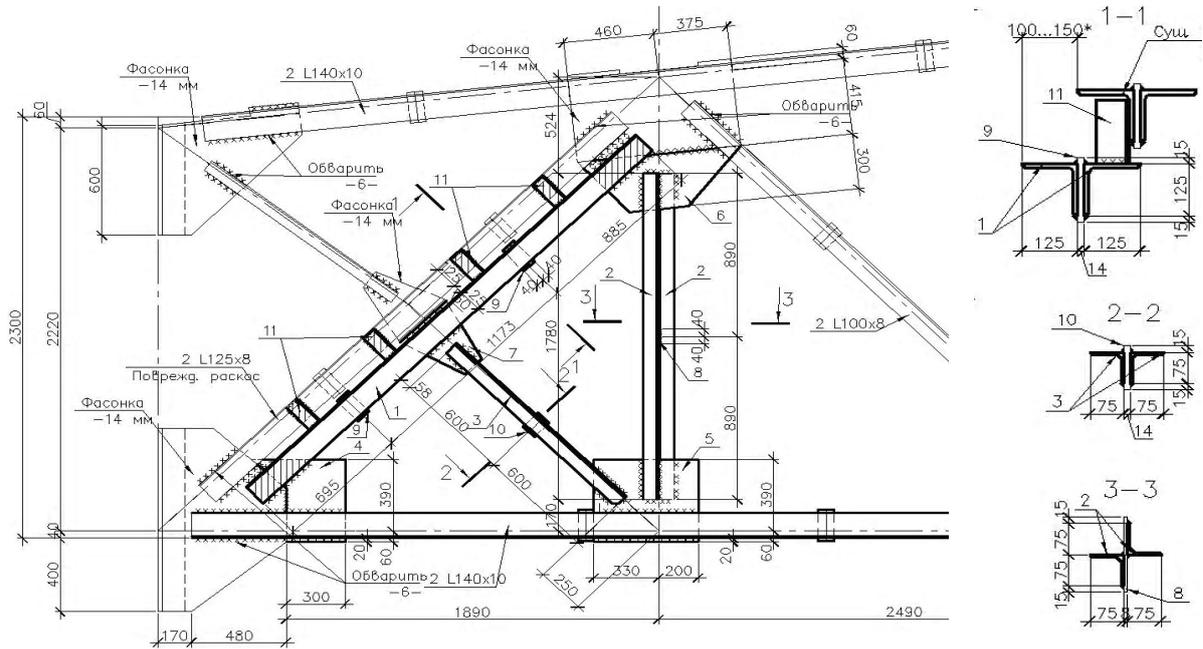
Фрагмент фасада с элементами усиления ЧС 1



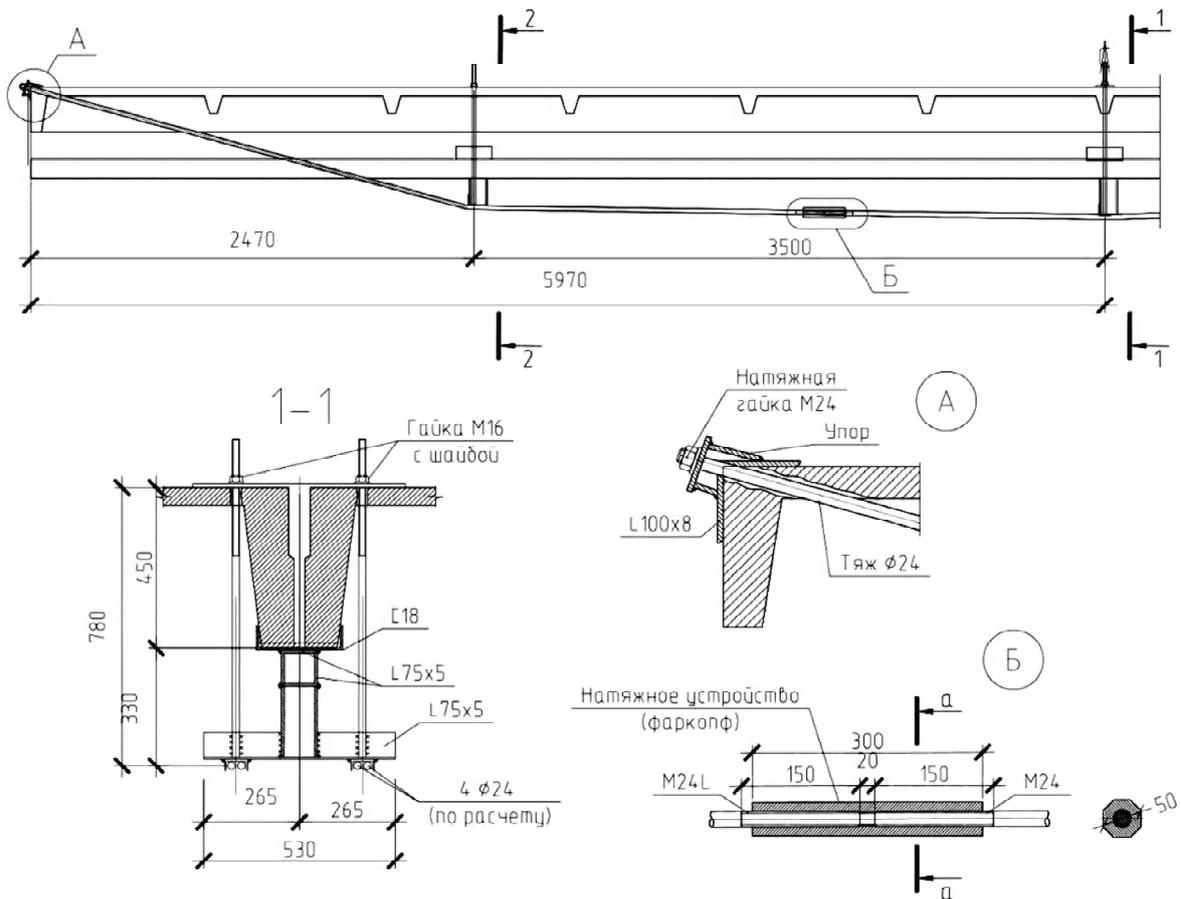
У-3



**Рисунок 6.** Стеновые панели по оси «Аа» в верхней части стены рекомендовано «подтянуть» к плитам покрытия. Стеновые панели, имеющие смещение относительно друг друга с выгибом наружу, рекомендовано соединить металлическими стяжками.



**Рисунок 7.** Опорный раскос стропильной фермы печного пролета, имеющий потерю устойчивости из плоскости, предложено усилить подведением дополнительных элементов (показано жирными линиями).



**Рисунок 8.** Схема усиления поврежденных железобетонных плит покрытия пролетом 12 м шпренгельными затяжками.

## Литература

1. Никифорова, Н. С. Обеспечение сохранности зданий в зоне влияния подземного строительства: монография / Н. С. Никифорова – М. : Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2016. – 154 с.
2. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов : РД 03-418-01. – введ. 1.10.2001. – М. : [Б. и.] 2001. – 25 с.
3. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий: учебное пособие. Книга 3 / под редакцией В. А. Котляревского, А. В. Забегаяева. – М. : Изд-во АСВ, 1998. – 416 с.
4. Тубольцев, Л. Г. Анализ риска аварий и определение возможного материального ущерба на металлургическом предприятии / Л. Г. Тубольцев, Г. Н. Голубых, Н. И. Падун // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии* : сб. научн. тр. – Днепропетровск : ИЧМ НАН Украины, 2006. – Вып. 12. – С. 407–420. – Библиогр.: 8 назв. – рос.
5. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану; чинний від 2017-01-04. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 44 с. (Національні стандарти України)
6. Чудновский, С. М. Эксплуатация и мониторинг систем и сооружений : учебное пособие / С. М. Чудновский, О. И. Лихачева. – М. : Инфра-Инженерия, 2017. – 148 с.
7. ДСТУ Б В.2.6-210:2016. Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються; чинний від 2017-01-01. – К. : Міністерство України, 2016. – 80 с. (Національні стандарти України)
8. Демидов, Н. Н. Усиление стальных конструкций : учебное пособие / Н. Н. Демидов. – М. : Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2016. – 85 с.
9. Атлас производственных разрушений различных конструкций / А. Ф. Ильющенко, Л. В. Маркова, В. А. Чекан, И. В. Фомихина, В. В. Коледа. – Минск : Белорусская наука, 2017. – 314 с.
10. Прядко, М. В. Обстеження та підсилення будівельних конструкцій промислових будівель : навч. посіб. / М. В. Прядко, І. М. Руднева, Ю. М. Прядко / за заг. ред. М. В. Прядко. – Київ : КНУБА, 2018. – 332 с.
11. Варламова, Т. В. Проектирование элементов железобетонных конструкций: учебное пособие / Т. В. Варламова. – Саратов : Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина, ЭБС АСВ, 2017. – 88 с.
12. Лукашенко, В. И. Курс лекций по дисциплине «Вероятностные методы строительной механики и теория надежности строительных конструкций» : учебное пособие / В. И. Лукашенко. – Казань : Казанский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2016. – 220 с.

## Reference

1. Nikiforova, N. S. Ensuring the preservation of buildings in the zone of influence of underground construction: monograph / N. S. Nikiforova – M. : Moscow State University of Civil Engineering, AIP Media, EBS DIA, 2016. – 154 p. (in Russian)
2. Guidelines for the risk analysis of hazardous production facilities : RD 03-418-01. – introduced 1.01.2001. – M. : [S. l.] 2001. – 25 p. (in Russian)
3. Accidents and disasters. Prevention and liquidation of consequences: a training manual. Book 3 / edited by V. A. Kotlyarevsky, A. V. Zabegayev. – M. : Publishing house DIA, 1998. – 416 p. (in Russian)
4. Tuboltsev, L. G. Analysis of the risk of accidents and determination of possible material damage at a metallurgical enterprise / L. G. Tuboltsev, G. N. Golubykh, N. I. Padun // *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy* : coll. scientific tr. – Dnipropetrovsk : ICM NAS of Ukraine, 2006. – Issue. 12. – p. 407-420. – Bookmark: 8 titles. – grew. (in Russian)
5. DSTU-N B V.1.2-18:2016. Guidance on the inspection of buildings and structures for the determination and evaluation of their technical condition; valid from 2017-01-04. – K. : Subsidiary «UkrNDNTS», 2017. – 44 p. (National Standards of Ukraine) (in Ukrainian)
6. Chudnovsky, S. M., Likhacheva O. I. Operation and monitoring of systems and structures : a tutorial / S. M. Chudnovsky, O. I. Likhacheva. – M. : Infra-Engineering, 2017. – 148 p. (in Russian)
7. DSTU B B.2.6-210: 2016. Estimations of technical stannoy steel construction constructions, which will operate; Chiny Vid 2017-01-01. – K. : Ministry of Ukraine, 2016. – 80 p. (National Standards of Ukraine) (in Ukrainian)
8. Demidov, N. N. Strengthening of steel structures: study guide / N. N. Demidov. – M. : Moscow State University of Civil Engineering, IP Media Media, DIA DIA, 2016. – 85 c. (in Russian)
9. Atlas of industrial destruction of various structures / A. F. Ilyuschenko, L. V. Markova, V. A. Chekan, I. V. Fomikhina, V. V. Koleda. – Minsk : Belarusian science, 2017. – 314 p. (in Russian)
10. Pryadko, M. V. Inspection and strengthening of building constructions of industrial buildings : teaching. manual / M. V. Pryadko, I. M. Rudnyuva, Yu. M. Pryadko / per zag. ed. M. V. Pryadko. – Kyiv : KNUBA, 2018. – 332 p. (in Ukrainian)
11. Varlamova, T. V. Designing elements of reinforced concrete structures: a tutorial / T. V. Varlamova. – Saratov : Saratov State Technical University named after Yu. A. Gagarin, EBS DIA, 2017. – 88 p. (in Russian)
12. Lukashenko, V. I. A course of lectures on the discipline «Probabilistic methods of structural mechanics and the theory of reliability of building structures» : a tutorial / V. I. Lukashenko. – Kazan : Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, DIA, 2016. – 220 p. (in Russian)

13. Малахова, А. Н. Оценка несущей способности строительных конструкций при обследовании технического состояния зданий: учебное пособие / А. Н. Малахова, Д. Ю. Малахов – М. : Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2015. – 96 с.
14. Касимов, Р. Г. Дефекты и повреждения строительных конструкций, методы и приборы для их количественной и качественной оценки : учебное пособие / Р. Г. Касимов. – Оренбург : ЭБС АСВ, 2016. – 110 с.
15. Краснощёкое, Ю. В. Проектирование конструктивных систем перекрытий и покрытий : монография / Ю. В. Краснощёкое. – М. : Инфра-Инженерия, 2017.- 188 с.
13. Malakhova, A. N., Malakhov D. Yu. Assessment of the bearing capacity of building structures in the inspection of the technical condition of buildings: a tutorial / A. N. Malakhova, D. Yu. Malakhov. – M. : Moscow State University of Civil Engineering, EBS DIA, 2015. – 96 p. (in Russian)
14. Kasimov, R. G. Defects and damage to building structures, methods and devices for their quantitative and qualitative assessment : a tutorial / R. G. Kasimov. – Orenburg : EBS DIA, 2016. – 110 p. (in Russian)
15. Krasnoschokoe, Yu. V. Designing constructive systems of floors and coatings : monograph / Yu. V. Krasnoschokoe. – M. : Infra-Engineering, 2017. – 188 c. (in Russian)

**Прядко Николай Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования зданий и строительной физики ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: обследование и реконструкция зданий и сооружений.

**Прядко Микола Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри проектування будівель та будівельно фізики ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: обстеження і реконструкція будівель і споруд.

**Pryadko Nikolay Vladimirovich** – Pr. D. (Eng.), associate professor, of department Architecture of Industrial and Civil Buildings Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: inspection and reconstruction of buildings and structures.