

УДК 624.072.2.014

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2\(41\)-40-60](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2(41)-40-60)

EDN: FXWZHB

УСТАНОВКА ПОРТАЛОВ В МЕСТАХ ВЫБИВКИ КОЛОНН ПРИ ПЕРЕОБОРУДОВАНИИ ЦЕХОВ ОАО «ТАГМЕТ»

М.И. ГУКОВА¹, канд. техн. наук

М.И. ФАРФЕЛЬ^{1,2,✉}, канд. техн. наук

Д.В. КОНДРАШОВ¹

¹ Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) им. В.А. Кучеренко
АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 1, г. Москва, 109428, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ),
Ярославское шоссе, д. 26, г. Москва, 129337, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Представлены материалы по мероприятиям, проводимым в трубопрокатных цехах ОАО «Тагмет», в период модернизации, начиная с 2007 года. Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций им. В.А. Кучеренко в течение продолжительного времени проводил обследования конструкций цехов завода с целью выдачи заключений по их промышленной безопасности и рекомендаций по ремонту и усилению поврежденных элементов строительных конструкций для возможности дальнейшей безопасной их эксплуатации, в том числе цехов, в которых изменялся технологический процесс в связи с установкой нового оборудования.

Цель работы: на основе результатов обследования смешанных конструкций, расчетов и анализов резервов их несущей способности показать один из способов реконструкции промышленных зданий на примере цехов, расположенных на территории ОАО «Тагмет».

Материалы. В статье приведены чертежи КМ и представлены фотографии уже возведенных стальных конструкций для их усиления и изменения существующих параметров каркаса здания, пригодных для новых условий эксплуатации.

Результаты. Приведены рекомендации по усилению конструкций, полезные для использования их при аналогичных мероприятиях. На основе работ по научно-техническому сопровождению проектирования и строительства модернизированных трех цехов завода ОАО «Тагмет» в последующие годы завод непрерывно увеличивал свою производительность.

Выводы. При обследовании и проведении экспертиз промышленной безопасности конструкций зданий завода ОАО «Тагмет» дефекты и повреждения, превышающие значения, установленные действующими нормативными документами, влияющие на эксплуатационную пригодность зданий, выявлены не были. Полученные результаты выполненных расчетов конструкций порталов в местах выбивки колонн каркасов зданий цехов завода показали, что их прочность и устойчивость обеспечены. Проектные решения были успешно реализованы при реконструкции цехов ОАО «Тагмет».

Ключевые слова: сталь, стальная конструкция, здание, каркас, несущая способность, жесткость, колонна, балка, железобетон, стержень, сварной элемент, связь

Для цитирования: Гукова М.И., Фарфель М.И., Кондрашов Д.В. Установка порталов в местах выбивки колонн при переоборудовании цехов ОАО «Тагмет». *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2024;41(2):40–60. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2\(41\)-40-60](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2(41)-40-60)

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование выполнялось за счет средств заказчика ОАО «Тагмет».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 05.04.2024

Поступила после рецензирования 24.04.2024

Принята к публикации 02.05.2024

INSTALLATION OF PORTALS IN THE SECTIONS OF THE COLUMN DEMOLITION DURING THE RE-EQUIPMENT OF TAGMET JSC WORKSHOPS

M.I. GUKOVA¹, Cand. Sci. (Engineering)

M.I. FARFEL^{1,2,✉}, Cand. Sci. (Engineering)

D.V. KONDRASHOV¹

¹Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 1, Moscow, 109428, Russian Federation

²Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation

Abstract

Introduction. The article presents the materials on the activities, carried out in the pipe rolling shops of the Tagmet JSC during the modernization period, starting from 2007. The Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, conducted prolonged surveys of plant workshop structures in order to issue conclusions on their industrial safety and recommendations for the repair and strengthening of damaged elements in building structures for their further safe operation, including workshops, where the technological process has been changed due to the installation of new equipment.

Aim. To demonstrate one of the ways to reconstruct industrial buildings using the example of workshops, located in the territory of the Tagmet JSC, based on a survey of combined structures, calculations and analyzes of their bearing capacity margins.

Materials. The article provides the drawings of original metal structures and photographs of steel structures, already built to reinforce them and change the existing parameters of the building frame to suitable ones for new operating conditions.

Results. Recommendations for structural strengthening, applicable for similar activities, are given. Due to the scientific and technical support for the design and construction of three modernized Tagmet workshops, the plant continuously increased its productivity in subsequent years.

Conclusions. No defects and damage, which exceed the values, established by the current regulatory documents, and affect the operational suitability of buildings, were revealed during the inspection and operational safety examination of Tagmet plant structures. The results of the calculations, performed to the portal structures at the column demolition sections of the plant workshop building frames, proved the assurance of their strength and stability. The design solutions were successfully implemented during the reconstruction of workshops at the Tagmet JSC.

Keywords: steel, steel structure, building, frame, bearing capacity, rigidity, column, beam, concrete, rod, welded element, junction

For citation: Gukova M.I., Farfel M.I., Kondrashov D.V. Installation of portals in the sections of the column demolition during the re-equipment of Tagmet JSC workshops. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2024;41(2):40–60. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2\(41\)-40-60](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2(41)-40-60)

Authors contribution statement

All authors made equal contributions to the study and the publication.

Funding

The study was carried out at the expense of the Tagmet JSC.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 05.04.2024

Revised 24.04.2024

Accepted 02.05.2024

Введение

Начиная с 1995 года сотрудники ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко в соответствии с [1] в течение продолжительного времени проводили обследования [2] и экспертизы промышленной безопасности [3] конструкций цехов завода «Тагмет». В 2007–2008 годах ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко проводил договорную работу по «Научно-техническому сопровождению проектирования и строительства комплекса непрерывного стана PQF на ОАО «Тагмет».

В трубопрокатных цехах, построенных по проектам 1967–1968 годов, на заводе «Тагмет» до 2007 года эксплуатировался трубопрокатный агрегат с пилигримовым станом 4–6". За время эксплуатации в цехах были осуществлены мероприятия, обеспечивающие значительное расширение диапазона диаметров и номенклатуры выпускаемых труб. Был установлен импортный многоклетевой редуционно-растяжной стан (РРС) и поточные линии отделки труб, но перевооружение цехов продолжалось.

В проектах технического перевооружения было предусмотрено сооружение:

- нагревательных печей;
- трубопрокатного агрегата (ТПА) с непрерывным станом PQF поставки фирмы SMS MEER (Германия) на месте демонтированного прокатного агрегата с пилигримовым станом;
- нового термоотдела с оборудованием фирмы OLIVOTTO (Италия) на месте демонтированного устаревшего оборудования отделки.

Существующий редуционно-растяжной стан и следующая за ним пила сохранялись и встраивались в общий поток.

В связи с установкой нового оборудования в здании ТПЦ-1 и металлургической части здания ТПЦ-2, а также изменения технологического процесса производства труб в здании трубосварочного цеха (ТСЦ-4), переоборудуемого в трубопрокатный цех ТПЦ (участок 3), возникла необходимость увеличения шага некоторых колонн каркасов этих зданий.

Конструктивные особенности опорных конструкций под выбиваемые колонны здания ТСЦ-4, переоборудованного в трубопрокатный цех (участок 3)

Первоначально ТСЦ-4 был предназначен для производства сварных труб различного диаметра из штрипса, который после листопрямильной и стыкосварочной машин подавался в печь для нагрева и сварки труб нужного диаметра.

Здание ТСЦ-4 представляет собой блок из трех пролетов А–Б, Б–В и В–Г (оси 1–63) и пристроенных объектов со стороны ряда А (рис. 1).

В здании ТСЦ-4 по рядам А, Б, В и Г в основном были установлены железобетонные сборные двухветвевые колонны. По рядам А и Г установлены колонны крайнего ряда с шагом 6 м, по рядам Б и В – колонны среднего ряда с шагом 12 м. Колонны Б1, В1, Б5 и В5 – металлические двухветвевые среднего ряда.

В связи с установкой нового оборудования в пролете Б–В здания ТСЦ-4 возникла необходимость увеличения шага колонн по ряду Б (в осях 20–23 и 36–39) и по ряду В (в осях 10–13 и 25–28). В существующем здании шаг колонн по рядам Б и В был 12 м. Для увеличения шага колонн до 15 м в этих местах потребовалось демонтировать четыре колонны: Б21, Б37 и В11, В27.

В качестве опорной конструкции (рис. 2) под выбиваемые колонны по ряду Б (рис. 3) и по ряду В (рис. 4) были запроектированы жесткие в двух направлениях порталы, состоящие из ригеля в виде спаренной балки высотой 2,3 м и металлических колонн, устанавливаемых на расстоянии 10 и 5 м от выбиваемой колонны. Колонны – двухветвевые. Ветви выполнены из сварных двутавров, решетка – из прокатных уголков. Балки ригеля выполнены также из сварных двутавров. Полки обеих балок ригеля портала по двум уровням (на отм. +5,600 и +3,300) связаны горизонтальными треугольными связями. В месте выбивки колонн основные балки портала связаны поперечными балками. В окна существующих двухветвевых железобетонных колонн выше уровня их отрезки были установлены вспомогательные поперечные балки в двух уровнях (рис. 5 и 6).

Демонтированные существующие порталные вертикальные связи между колоннами Б37–Б39 и В27–В29 перенесены на оси 39–41 по ряду Б и на оси 29–31 по ряду В соответственно.

В местах выбивки железобетонных колонн, кроме того, были установлены дополнительные горизонтальные связи покрытия по нижним поясам стропильных ферм в осях 20–22 ряда Б и в осях 10–12 и 24–33 ряда В.

После временного закрепления в порталах (путем омоноличивания верхней зоны) мест опирания выбиваемых колонн (и после набора бетоном расчетной прочности) производилась отрезка и удаление нижних частей колонн.

Все металлические конструкции портала были изготовлены из сталей С255, С245 и С235 по ГОСТ 27772-88 [4] в соответствии с [5].

Все заводские соединения – на сварке, монтажные соединения – на сварке и на болтах с неконтролируемым натяжением. Болтовые соединения выполнены на болтах класса точности В, класса прочности 8.8.

Прочность бетона оставшихся частей железобетонных колонн определялась методом упругого отскока с использованием молотка Schmidt N-34 159590 фирмы PROCEQ. Прочность

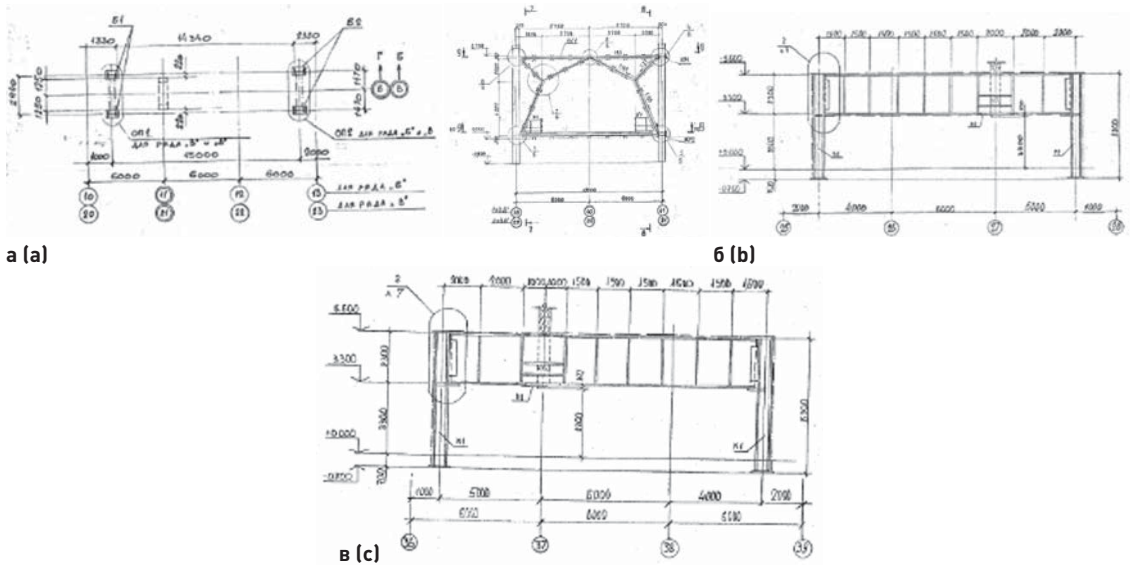


Рис. 2. Порталы под колонны: а – В11 и В21; б – В27; в – В37
Fig. 2. Column-replacing portals: a – B11 and B21; b – B27; c – B37



Рис. 3. Порталы в здании ТСЦ-4 по ряду В (вид из пролета Б-В) в местах выбитых колонн: а – В21; б – В37
Fig. 3. Portals in the TSCs-4 building along the row В (view from the В-В span) in locations of demolished columns: а – В21; б – В37



Рис. 4. Опираение на портал верхних частей вырубленной колонны В21 и передача нагрузки с покрытия здания ТСЦ-4 через верхнюю часть колонны В21 на балку портала (вид со стороны ряда В)
Fig. 4. Upper parts of the demolished В21column, supported by the portal and the load, transferred from the TSCs-4 building roof through the upper part of the В21 column to the portal beam (view from the В row)



Рис. 5. Опираение на портал верхней части вырубленной колонны Б37
Fig. 5. Upper part of the demolished B37 column, supported by the portal



а (a) **б (b)** **в (c)**
Рис. 6. Портал в здании ТСЦ-4 по ряду В в месте выбитой колонны В11: *а* – вид из пролета Б–В; *б* – вид из пролета Г–В; *в* – опиание на портал верхней части В11
Fig. 6. Portal in the TSTs-4 building along the B row in the location of the demolished B11 column: *a* – view from the Б–В span; *b* – view from the Г–В span; *c* – upper part of the B11 column, supported by the portal



Рис. 7. Устройство фундаментов колонны В27
Fig. 7. B27 column foundation

Методика расчета и выбор расчетной схемы

Так как размеры опорных конструкций (порталов) и геометрические характеристики сечений элементов всех четырех устанавливаемых в цехе порталов, а также места и способы приложения нагрузок на порталы под выбиваемые колонны здания ТСЦ-4 идентичны, проверочный расчет был проведен только для одного портала, устанавливаемого в осях 25–28 по ряду В.

Проверочный расчет несущей способности элементов портала был выполнен с помощью метода конечных элементов. Конечные элементы приняты в виде стержней, которые ограничиваются узлами, находящимися в начале и в конце стержневого элемента. Приложение граничных условий в узлах осуществлялось с помощью запрещения соответствующих степеней свободы.

Проверочный расчет портала в месте выбивки колонны 27 здания ТСЦ-4 проводился в соответствии с требованиями [5, 10–12]. Расчетные сечения элементов рамы соответствовали сечениям, принятым в проекте. Расчетное сопротивление материала колонн и ригеля принято для стали С255 равным $R_y = 2350 \text{ кг/см}^2$ в соответствии с указаниями действующих нормативных документов (рис. 8).

Расчетная схема портала представляла собой раму, стойки которой жестко закреплены в фундаментах и жестко соединены с ригелем портала. Рама – свободная: в уровне ригеля имеется возможность смещения в горизонтальной плоскости. Силовые воздействия прикладывались в виде сосредоточенной силы, приложенной в узле в месте выбивки колонны В27 (рис. 9).

Результаты расчетов

Расчет портала с металлическими колоннами между осями 25 и 28 по ряду В здания ТСЦ-4 ОАО «Тагмет» выполнен из условия нагружения ригеля такой нагрузкой, при которой в наиболее нагруженном сечении элемента портала возникает напряжение $\sigma = R_y$ (коэффициент использования сечения этого элемента будет равен 1,0). Расчетная схема портала при нагружении предельной нагрузкой представлена на рис. 8.

В результате расчета предельная нагрузка в узел В27 возникает в ригеле портала и получается $P_{\max} = 328 \text{ т}$ (рис. 8). Верхние узлы колонн портала воспринимают нагрузку только от части собственного веса ригеля (условно принята равной $0,0033 P_{\max}$ – со стороны оси 25 и $0,0067 P_{\max}$ – со стороны оси 28).

При этом коэффициент расчетной длины колонны свободной рамы, равный 1,0, был определен по формуле 69 [5]:

$$\mu = \sqrt{\frac{n + 0,56}{n + 0,14}},$$

$$\text{где } n = \frac{I_r \times l_c}{I_c \times l_r},$$

I_r и l_r – момент инерции сечения и длина ригеля соответственно;

I_c и l_c – момент инерции сечения и длина колонны соответственно.

Эпюры продольных и поперечных сил и изгибающих моментов от предельной нагрузки в ригеле и колоннах портала представлены на рис. 9.

В результате проверочного расчета установлено, что несущая способность обеих колонн и ригеля между ними обеспечена при нагрузке, равной $P_{\max} = 328 \text{ т}$. При этом в ригеле напряжение от изгибающего момента $M = 1012,43 \text{ тм}$ и (в этом же сечении) $N = 3,4 \text{ т}$ составляет $\sigma = 2345 + 5 \text{ кг/см}^2$



Рис. 8. Расчетная схема портала с указанием предельной нагрузки, местных осей элементов и граничных условий

Fig. 8. Portal calculation scheme, indicating the ultimate load, local element axes and boundary conditions

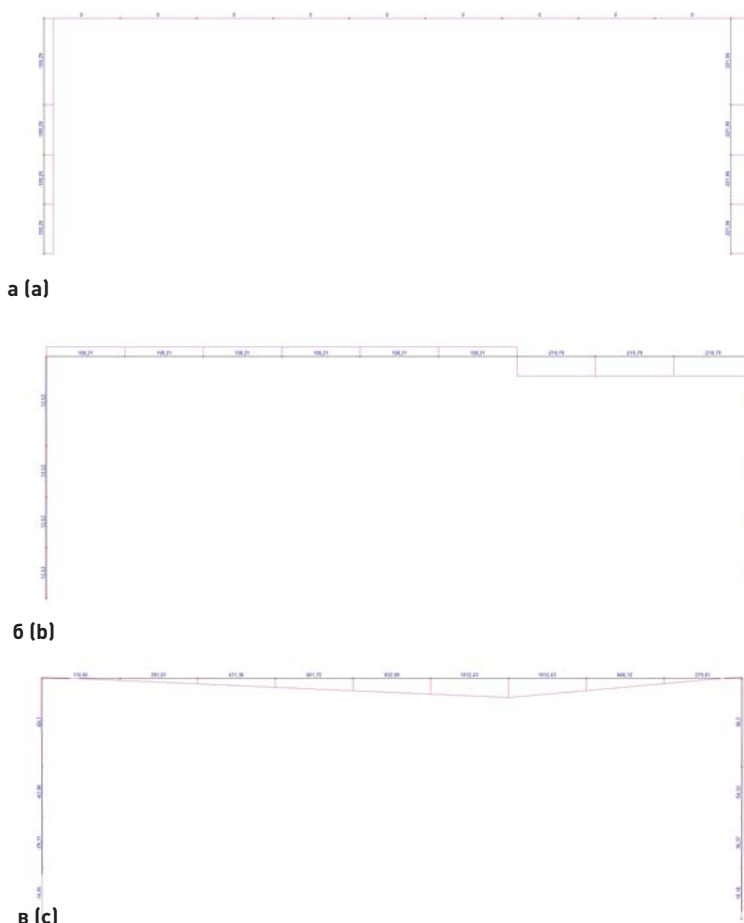


Рис. 9. Эпюры в элементах портала при предельной нагрузке: *а* – продольных сил (тс); *б* – поперечных сил (тс); *в* – изгибающих моментов (тсм)

Fig. 9. Diagrams of portal elements at the ultimate load: *a* – longitudinal forces (tf); *b* – transverse forces (tf); *c* – bending moments (tfm)

(при $R_y = 2350 \text{ кг/см}^2$), т. е. коэффициент использования сечения ригеля $\sigma/R_y = 1,0$. Предельная гибкость ригеля от максимального продольного усилия принята в соответствии с указаниями таблицы 19* [5] в зависимости от $\lambda = l \times \mu/r_x$; $\lambda = 1500 \times 1,0/84,95 = 18$ и $\varphi = 0,968$.

$$\alpha = \frac{N}{\varphi \times A_n \times R_y \times \gamma_c} = \frac{16790}{0,968 \times 688 \times 2350} = 0,011.$$

При $[\lambda] = 180 - 60\alpha = 179$.

В соответствии с данными проекта в верхнем жестком узле портала для расчета ригеля приняты: изгибающий момент $M = 225 \text{ тм}$ и продольное усилие $N = 30,7 \text{ т}$. При этих усилиях напряжение по прочности при совместном действии продольной силы и изгибающего момента в плоскости рамы в ригеле (балке) определяется по формуле 50 [5]:

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \pm \frac{M_x}{W_x} = \frac{30700}{688} + \frac{22500000}{43175} = 566 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \leq R_y \times \gamma_c = 2350 \text{ кг/см}^2,$$

т. е. коэффициент использования сечения ригеля составляет $566 \text{ кг/см}^2 / 2350 \text{ кг/см}^2 = 0,24$.

Таким образом, запас несущей способности запроектированного сечения ригеля (балки) составлял 76 % (при коэффициенте использования сечения 0,24).

Напряжение в правой колонне рамы достигало максимального значения при расчете ее на устойчивость в плоскости действия момента при внецентренном сжатии – при этом коэффициент использования сечения колонны был равен 0,97.

Учитывая, что элементы рамы работают линейно, при расчете правой колонны по прочности по формуле 50 [5] напряжение в колонне должно составить $566 \times 0,97 = 549 \text{ кг/см}^2$, что дает коэффициент использования сечения правой колонны $549 \text{ кг/см}^2 / 2350 \text{ кг/см}^2 = 0,23$.

Таким образом, запас несущей способности наиболее нагруженной (правой) колонны запроектированной рамы составлял 77 % (при коэффициенте использования сечения 0,23).

Вывод

Проверочный расчет рамы (портала) показал, что несущая способность ее элементов (колонн и ригеля) обеспечена.

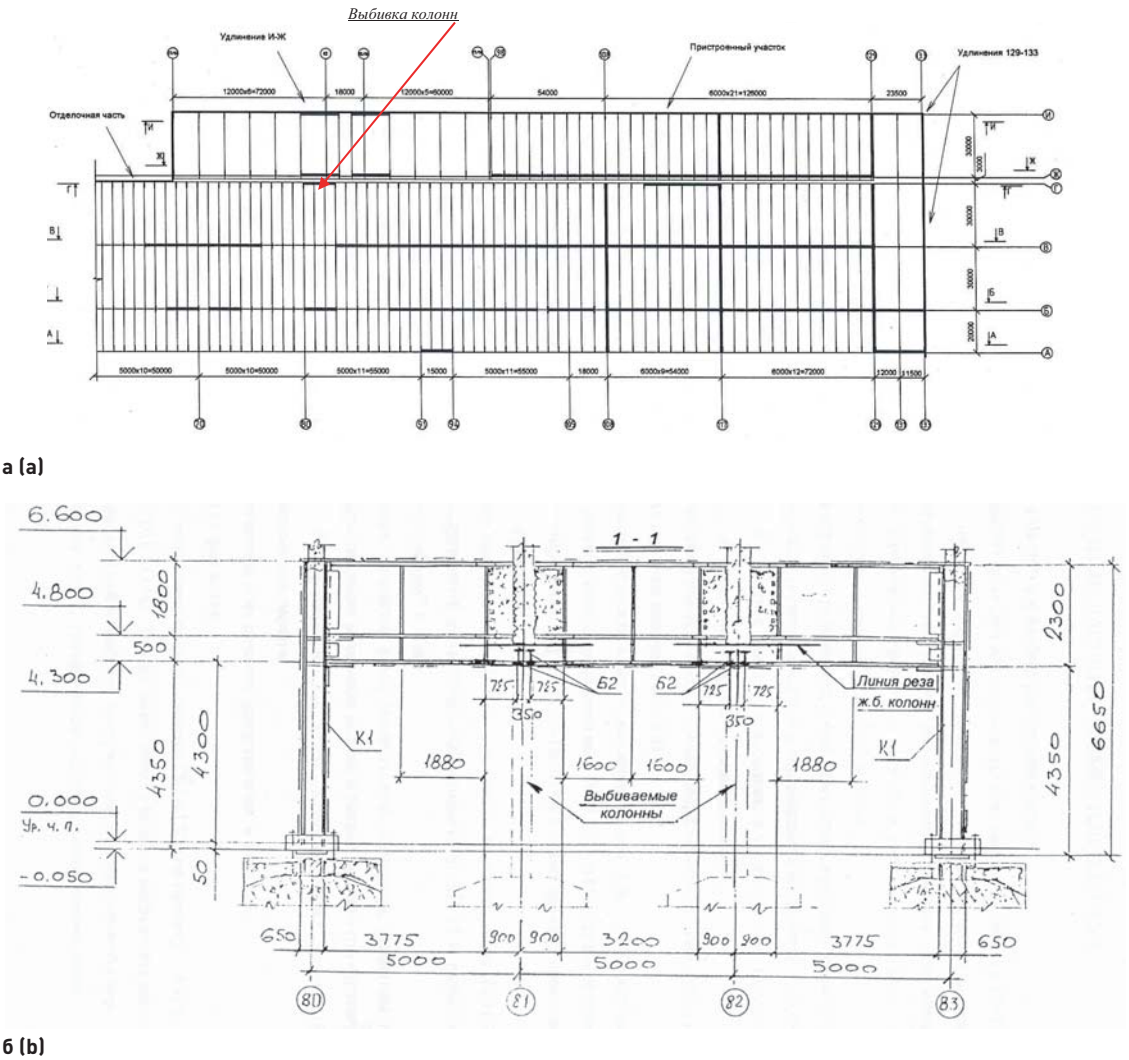
Конструктивные особенности опорных конструкций под выбиваемые колонны здания ТПЦ-1

Во время установки нового оборудования комплекса непрерывного стана PQF (2007 год) с целью увеличения шага колонн по ряду Г с 6 до 15 м (рис. 10а) в здании ТПЦ-1 ОАО «Тагмет» был возведен аналогичный описанному выше портал, выполняющий функции опорной конструкции под выбитые колонны Г81 и Г82 (рис. 10б).

Как и в здании ТСЦ-4, ригель портала в виде спаренной балки имел высоту 2,3 м, а двухветвевые металлические колонны были установлены снаружи существующих железобетонных колонн по оси 83 и по оси 80 (рис. 11) ряда Г. Ветви колонн были выполнены из сварных двутавров, решетка – из прокатного уголка. Полки балок портала расположены по двум уровням (на отм. +6,600 и +4,300) и связаны горизонтальными треугольными связями.

После временного закрепления двух колонн (Г81 и Г82) в портале путем омоноличивания верхней зоны опирания (и после набора бетоном расчетной прочности) была произведена отрезка и удаление нижних частей колонн. Остальные конструктивные особенности аналогичны порталам, установленным в здании ТСЦ-4.

В здании ТПЦ-1 были исследованы свойства существующих железобетонных колонн Г80 и Г83 и свойства фундаментов, вновь возведенных над существующими фундаментами, а также верхней части выбитой колонны Г82. Прочность бетона колонн определялась методом упругого отскока с использованием молотка Schmidt N-34 159590 фирмы PROCEQ в верхней части на доступных для обследования участках. Проведено 50 измерений в пяти элементах. Из анализа полученных материалов было определено, что класс (марка) бетона не ниже В20 (М 250) в существующих железобетонных колоннах Г80 и Г83 и во вновь возведенных фундаментах под колонны портала Г80 и Г83 здания ТПЦ-1, что соответствовало проектным маркам.



6 (b)

Рис. 10. а – Фрагмент плана здания ТПЦ-1 с указанием места выбивки колонн;
б – опорные конструкции (портал) под выбиваемые колонны Г81 и Г82 здания ТПЦ-1

Fig. 10. a – Fragment of the TPTs-1 building plan, indicating the location of demolished columns; **b** – support structures (portal), replacing demolished Г81 and Г82 columns of the TPTs-1 building

Проверочные расчеты элементов портала
Методика расчета и выбор расчетной схемы

Как и в здании ТСЦ-4, проверочный расчет для портала в здании ТПЦ-1, устанавливаемого по осям 80–83 по ряду Г, был проведен методом конечных элементов. Конечные элементы приняты в виде стержней, которые ограничиваются узлами, находящимися в начале и в конце стержневого элемента. Приложение граничных условий в узлах осуществлялось с помощью запрещения соответствующих степеней свободы.

Расчетная схема портала представляла собой раму, стойки которой шарнирно закреплены в фундаментах в горизонтальной и в вертикальной плоскостях. Соединение ригеля



Рис. 11. Конструкция портала в месте выбитых колонн Г81 и Г82 в пролете В–Г здания ТПЦ-1

Fig. 11. Portal structure in the location of demolished Г81 and Г82 columns in the В–Г span of the TPTs-1 building

с колонной – жесткое. Рама – несвободная: в уровне ригеля имелось шарнирное закрепление от смещения в горизонтальной плоскости.

Силовые воздействия прикладывались в виде сосредоточенных сил в узлах, действующих в местах выбивки колонн (Г80 и Г81).

Проверочный расчет портала в месте выбивки колонн Г80 и Г81 здания ТПЦ-1 проводился в соответствии с требованиями [5, 10–12].

Для определения несущей способности элементов портала здания ТПЦ-1 был использован сертифицированный вычислительный комплекс SCAD 11.1, разработанный в фирме «ТОПАЗ-ИНФОРМ», г. Киев (рис. 12).

Расчетные сечения элементов рамы соответствовали сечениям, принятым в проекте. Расчетное сопротивление материала колонн и ригеля было принято для стали С245 равным $R_y = 2447 \text{ кг/см}^2$ [4].

Результаты расчетов

Расчет портала с металлическими колоннами Г80 и Г83 в пролете В–Г здания ТПЦ-1 ОАО «Тагмет» был выполнен из условия нагружения ригеля такой нагрузкой, при которой в наиболее нагруженном сечении элемента портала возникает напряжение $\sigma = R_y$ (коэффициент использования сечения этого элемента будет равен 1,0). В результате расчета предельная нагрузка, принятая из условия, что коэффициент использования сечения равен 1,0, получилась $P_{\max} = 171 \text{ т}$ в каждый узел (Г81 и Г82). Узлы портала Г80 и Г83 воспринимали нагрузку только от части собственного веса ригеля (условно приняты равными $0,01 P_{\max}$). При этом коэффициент расчетной длины колонны несвободной рамы, равный 0,71, был определен по формуле:

$$\mu = \sqrt{\frac{1 + 0,46n}{1 + 0,93n}},$$

$$\text{где } n = \frac{I_r \times l_c}{I_c \times l_r},$$

I_r и l_r – момент инерции сечения и длина ригеля соответственно;

I_c и l_c – момент инерции сечения и длина колонны соответственно.
В результате проверочного расчета было установлено, что несущая способность обеих колонн (Г80 и Г83) и ригеля между ними обеспечена при нагрузке, равной $P_{\max} = 171$ т. При этом в ригеле напряжение составило $\sigma = 1884$ кг/см² (0,77 % от $R_y = 2447$ кг/см²). В соответствии с данными проекта в верхнем жестком узле портала для расчета были приняты: изгибающий момент $M = 86,5$ тм и продольное усилие в колонне $Q = 115,7$ т. При этих усилиях напряжение по прочности при совместном действии продольной силы и изгибающего момента в плоскости рамы в сжато-изгибаемой стойке (колонне) определялось по формуле 50 [5]:

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \pm \frac{M_x}{W_x} = \frac{115700}{296} + \frac{8650000}{6899} = 1645 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \leq R_y \times \gamma_c.$$

При $R_y \times \gamma_c = 2447$ кг/см² коэффициент использования в верхнем сечении колонны составил $1645/2447 = 0,68$.
Напряжение в колонне достигает максимального значения при расчете ее на устойчивость в плоскости действия момента при внецентренном сжатии – тогда коэффициент использования равен 1,0.

При расчете же колонны по прочности от усилий, полученных при предельной нагрузке, напряжение составило:

$$\sigma = \frac{170690}{296} + \frac{11383000}{6899} = 2227 \text{ кг/см}^2,$$

что дает дополнительный запас несущей способности сечения 9 % ($2227/2447 = 0,91$).
Таким образом, запас несущей способности колонн рамы составил 38 % ($1 - 0,68 \times 0,91 = 0,38$), а ригеля (при коэффициенте использования 0,77) – 49 %.

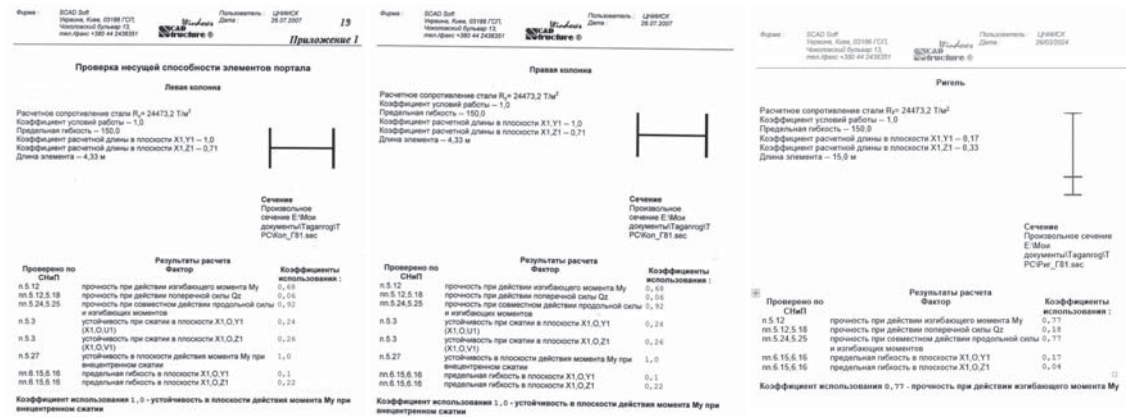


Рис. 12. Определение коэффициентов использования элементов портала Г81
Fig. 12. Determination of the utilization factor for Г81 portal elements

Вывод

Проверочный расчет рамы (портала) показал, что несущая способность ее элементов (колонн и ригеля) обеспечена. Коэффициент использования сечения колонны составил $0,62 < 1,0$; коэффициент использования сечения ригеля составил $0,52 < 1,0$.

Конструктивные особенности опорной конструкции под выбиваемую колонну Д16' металлургической части здания ТПЦ-2

В пролетах С–Д и Д–Е металлургической части здания ТПЦ-2 во время перевооружения возникла необходимость увеличения шага колонн по ряду Д в осях 13'–19' с 18 до 24 м. Для этого потребовалось демонтировать подкрановую часть колонны Д16' и установить новые колонны по осям 14' и 18' по ряду Д (рис. 13).

В качестве опорной конструкции под выбиваемую колонну был установлен жесткий в двух направлениях портал, состоящий из ригеля (одновременно выполняющего функции подкрановых балок) в виде спаренной балки высотой 2,472 м и металлических колонн, устанавливаемых на расстоянии 6 м от существующих по осям 13' и 19' колонн по ряду Д (рис. 14). Ригель представлял собой две подкрановые балки из сварных двутавров, полки которых соединены изнутри листами $t = 36$ мм. Кроме того, в 6 м от опор между балками были предусмотрены диафрагмы жесткости.

Подкрановые части заново возводимых колонн – двухветвевые – были выполнены из сварных двутавров, соединенных по стенкам листом $t = 20$ мм. Надкрановые части колонн по осям 14' и 18' сплошные, из сварного двутавра, высотой до уровня головки рельса (рис. 15). Сохраняемая надкрановая ветвь колонны по оси 16' в основании была укреплена и соединена со стенками устанавливаемых подкрановых балок с помощью вертикальных и горизонтальных ребер жесткости толщиной $t = 36$ и 25 мм.

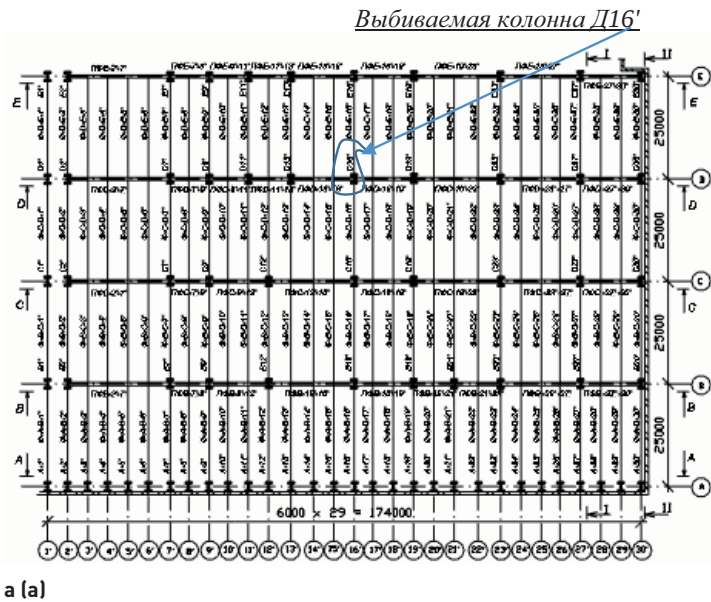
В промежутки между осями 19'–18' и 14'–13' были установлены обрезанные и подготовленные к опиранию на новые колонны части демонтированных подкрановых балок (с тормозными конструкциями) с пролетов 19'–16' и 13'–16'.

Конструкции были рассчитаны на нагрузки от кровли, покрытия, снега, собственного веса конструкций подкрановых балок и крановые нагрузки.

Все металлические конструкции портала были из стали С245 (колонны и промежуточные ребра балок), С255 (опорные ребра) и С345-3 (стенки и полки подкрановых балок) по ГОСТ 27772-88 [4] в соответствии с требованиями строительных норм [5].

Все заводские соединения – на сварке, монтажные соединения – на сварке и на болтах нормальной точности класса прочности 5.8 по ГОСТ 7798-70* [13].

В процессе проведения экспертизы во время перевооружения цеха визуальному осмотру подвергались конструктивные элементы опорной конструкции под частично демонтированную колонну Д16' здания ТПЦ-2: металлические колонны; металлические балки ригеля и металлические связи и поперечные балки в уровне ригеля; фундаменты колонн, а также стропильные фермы и горизонтальные связи покрытия (рис. 16) в осях 13'–19' вдоль ряда Д.



б) I



в) II

Рис. 13. а – План колонн в металлургической части ТПЦ-2 с указанием места выбиваемой колонны.

Установленные новые колонны по осям 14' и 18' по ряду Д в пролетах С–Д и Д–Е металлургической части здания ТПЦ-2 на месте демонтированной колонны Д16': б – со стороны ряда С; в – со стороны ряда Е

Fig. 13. а – Plan of columns in the metallurgical section of TPTs-2, indicating the location of the demolished column. Columns, installed along the axes 14' and 18' in the row D of C–D and D–E spans in the metallurgical section of the TPTs-2 building instead of the demolished D16' column: б – from the C row; в – from the E row

Проверочные расчеты элементов портала
Методика расчета и выбор расчетной схемы

Проверочный расчет несущей способности элементов портала, поддерживающего оголовки колонны Д16', был выполнен строительными отделами ГП «Укрگیпроме́з» с помощью метода конечных элементов. Конечные элементы были приняты в виде стержней, которые ограничивались узлами, находящимися в начале и в конце стержневого элемента. Приложение граничных условий в узлах осуществлялось с помощью запрещения соответствующих степеней свободы.

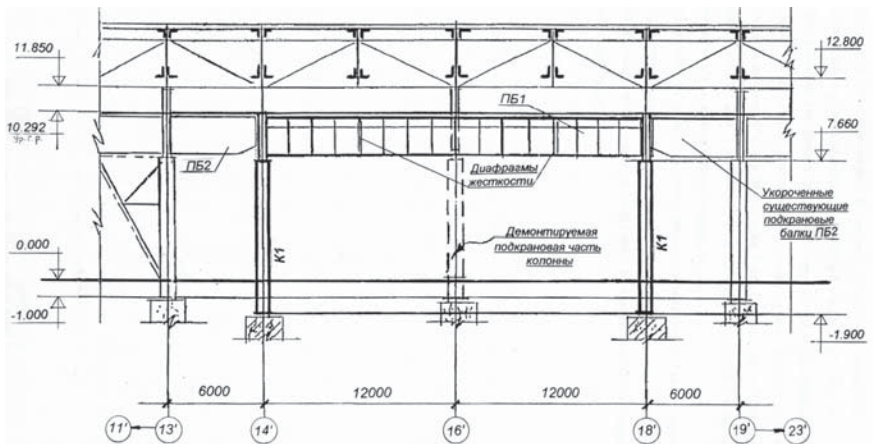


Рис. 14. Схема портала в месте выбивки колонны Д16' здания ТПЦ-2

Fig. 14. Scheme of the portal, replacing the demolished Д16' column of the TPTs-2 building



Рис. 15. Подкрановые балки портала в месте опирания оставшейся верхней части колонны Д16'

Fig. 15. Crane beams at the support point of the remaining upper Д16' column part



Рис. 16. Стропильные фермы и связи покрытия здания ТПЦ-2 над колонной портала Д18'

Fig. 16. Main trusses and roof braces of the TPTs-2 building above the Д18' portal column

Расчетная схема портала представляла собой раму, стойки которой шарнирно закреплены в фундаментах и шарнирно соединены с ригелем портала. Балки ригеля портала в раме одновременно выполняли функции подкрановых балок. Рама – свободная: в уровне ригеля имела возможность смещения в горизонтальной плоскости.

Кроме того, отдельно был проверен блок подкрановых балок ригеля ПБ1 на вертикальные и горизонтальные нагрузки. При расчете блока были использованы оболочечные четырехугольные элементы (№ 44), входящие в состав вычислительного комплекса SCAD, что дало возможность получить величины напряжений, возникающих в блоке.

Силовые воздействия от покрытия здания были представлены в виде сосредоточенной силы, приложенной в узле в месте выбивки колонны Д16'. Вертикальные и горизонтальные в продольном и поперечном направлениях нагрузки от воздействия четырех кранов прикладывались к подкрановой балке в трех вариантах.

Проверочный расчет портала в месте выбивки колонны Д16' здания ТПЦ-2 проводился в соответствии с требованиями [5, 10–12].

Для определения несущей способности элементов портала здания ТПЦ-2 был использован сертифицированный вычислительный комплекс SCAD 11.1, разработанный в фирме «ТОПАЗ-ИНФОРМ», г. Киев.

Расчетное сопротивление материала для колонн из стали С245 принято равным $R_y = 2450 \text{ кг/см}^2$, а для балок из стали С345-3 – $R_y = 3050 \text{ кг/см}^2$ в соответствии с указаниями [5].

Результаты расчетов

В результате проведенных ГП «Укрگیпромез» расчетов получены напряжения в элементах балок и колонн, прогибы и другие необходимые данные для оценки прочности и устойчивости конструкций.

Наибольшие нормальные напряжения от наиболее невыгодного сочетания нагрузок в стенке балки достигали $\sigma = 2402 \text{ кг/см}^2$, в верхней полке – $\sigma = 1455 \text{ кг/см}^2$ и в нижней полке – $\sigma = 1415 \text{ кг/см}^2$ (при $R_y = 3050 \text{ кг/см}^2$), в колонне при горизонтальном воздействии (торможении) слева – $\sigma = 1165 \text{ кг/см}^2$, при торможении справа – $\sigma = 1152 \text{ кг/см}^2$ (при $R_y = 2450 \text{ кг/см}^2$).

Коэффициент использования сечения (σ/R_y) балки портала по прочности при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов составил 0,56; колонн – 0,46; 0,47.

Таким образом, в результате проверочного расчета было установлено, что несущая способность элементов портала (колонн и ригеля, совмещающего функции подкрановой балки) при проектной нагрузке обеспечена.

Нижняя часть оставшейся после вырубki надкрановой части колонны Д16' была прикреплена к стенке подкраново-подстропильной балки с помощью ребра толщиной 25 мм. К полке сечения колонны (с двух сторон) ребро крепилось сварными швами длиной $l = 1000 \text{ мм}$, которые при этом испытывали изгиб от момента, появляющегося от поперечного торможения, и от момента, приходящего с покрытия цеха.

$$M = M_t + M_n = 9000 \text{ кг} \times 1,156 \text{ м} + 33000 \text{ кгм} = 43404 \text{ кгм}.$$

Момент сопротивления расчетного сечения этого сварного шва (с двух сторон) при ручном выполнении на монтаже с катетом 12 мм:

$$W_f = \beta_f \times I_f / y_n = 0,7 \times 2 \times 100^3 \times 1,2 / 12 \times 50 = 2800 \text{ см}^3,$$

где y_n – расстояние от центра тяжести до нижнего сечения шва.

Напряжение в шве:

$$\tau_f = M / W_f = 4340400 / 2800 = 1550 \text{ кг/см}^2,$$

$$\tau_f / R_{wf} = 1550 / 2200 = 0,7,$$

где R_{wf} – расчетное сопротивление металла шва сварного соединения элементов из стали С345-3 с угловыми швами, выполненное ручным способом электродами Э50А (проволокой марки Св-08Г2С).

Таким образом, при катете шва, равном 12 мм, напряжение условного среза в соединении составило 70 % от расчетного сопротивления.

Железобетонные фундаменты

Металлические колонны портала монтировались на вновь возводимые фундаменты, устанавливаемые в заранее укрепленные котлованы в соответствии с проектом, разработанным ОАО «Донецкшахтострой» и ДП ГХК «Донбассшахтострой», с учетом существующих подземных сооружений в условиях работающего цеха.

На основании данных инженерно-геологического заключения под площадкой дымовой трубы ТПЦ-2 расчетное сопротивление грунта в основании фундаментов было принято $R_0 = 350$ кПа (3,5 кг/см²).

Фундаменты под колонны портала – отдельно стоящие железобетонные монолитные столбчатые ступенчатые – устанавливались в заранее укрепленные котлованы с учетом существующих стенок подземных сооружений и коммуникаций (рис. 17).

Расчетные характеристики бетона и арматуры приняты в соответствии с требованиями [6]. Поскольку грунтовые воды являются агрессивными по отношению к бетону и арматуре конструкций, для фундаментов колонн был применен бетон класса В16*, марки W6 по водонепроницаемости, на портландцементе по ГОСТ 10178-85 [14] с содержанием в клинкере C_3S не более 65 %, C_3A не более 7 %, $C_3A + C_4AF$ не более 22 % или на шлакопортландцементе.

Наружные поверхности фундаментов, соприкасающиеся с грунтом, были обмазаны горячим битумом за 2 раза.

Представленные проектные решения фундаментов обеспечивали восприятие фундаментами всех прикладываемых к ним нагрузок. Надежность железобетонных фундаментов колонн портала, установленного в месте выбивки колонны Д16' здания ТПЦ-2, была обеспечена.

Выводы

Проверочный расчет рамы (портала) под выбиваемой колонной Д16' в здании ТПЦ-2, проведенный ГП «Укргипромет», показал, что несущая способность элементов портала (колонн и ригеля) обеспечена.

Конструктивное оформление закрепления оставшейся надкрановой части вырубленной колонны между вновь устанавливаемыми подкраново-подстропильными балками надежно.



а (a)



б (b)

Рис. 17. Фундаменты портала под колонны: а – Д18'; б – Д14'
Fig. 17. Foundations of the portal under columns: а – Д18'; б – Д14'

Заключение

При проведении экспертизы проектов конструкций порталов в местах выбивки четырех колонн по ряду Б (оси 21 и 37) и по ряду В (оси 11 и 27) здания ТСЦ-4, проекта конструкций портала в местах выбивки двух колонн в пролете В–Г вдоль ряда Г (оси 80–83) здания ТПЦ-1 и на основании результатов технического диагностирования конструкции металлургической части здания трубопрокатного цеха № 2 ОАО «Тагмет» и портала в месте выбитой колонны Д16' сотрудниками ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко были выполнены:

- необходимые проверочные расчеты колонн и балок ригеля порталов (в месте выбивки колонны В27 ТСЦ-4, колонн Г80 и Г83 ТПЦ-1 и колонны Д16' металлургической части ТПЦ-2) с помощью сертифицированного вычислительного комплекса SCAD 11.1 фирмы «ТОПАЗ-ИНФОРМ», г. Киев;
- визуальный осмотр и инструментальное обследование конструкций зданий, подлежащих модернизации;
- экспертная оценка надежности запроектированных конструкций.

В результате проведенной экспертизы установлено, что проекты конструкций порталов в местах выбивки колонн в зданиях ТСЦ-4, ТПЦ-1 и металлургической части ТПЦ-2 выполнены в соответствии с требованиями современных строительных норм и правил. Прочность и устойчивость порталов в целом и их отдельных элементов **обеспечена**. Дефекты и повреждения, превышающие значения, установленные действующими нормативными документами, и влияющие на эксплуатационную пригодность зданий, **не выявлены**.

Проектные решения были успешно реализованы при реконструкции цехов ОАО «Тагмет» под новое оборудование.

Список литературы

1. РД 11-589-03. Положение о проведении экспертизы промышленной безопасности опасных металлургических и коксохимических производственных объектов. Москва: НТЦ «Промышленная безопасность»; 2004.
2. Ведяков И.И., Фарфель М.И., Гукова М.И., Кондрашов Д.В., Яровой С.Н. Обследование конструкций зданий и сооружений завода ОАО «Тагмет». Строительная механика и расчет сооружений. 2013;(1):58–64.
3. Ведяков И.И., Урицкий М.Р., Гукова М.И., Фарфель М.И., Донченко О.Н. Экспертиза промышленной безопасности в обеспечении долговременной эксплуатации зданий и сооружений. ТЭК. Безопасность объектов топливно-энергетического комплекса. 2013;(2):126–130.
4. ГОСТ 27772-88. Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ; 2006.
5. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции. Нормы проектирования. Москва: Центральный институт типового проектирования; 1990.
6. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Москва; 2004.
7. СНиП 2.02.01-83*. Основания зданий и сооружений. Москва: ФГУП ЦПП; 2006.
8. СНиП 3.02.01-87. Земляные сооружения, основания и фундаменты. Москва: ФГУП ЦПП; 2007.
9. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия. Москва: ФГУП ЦПП; 2005.
10. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81*). Москва: Центральный институт типового проектирования; 1989.
11. СП 53-102-2004. Общие правила проектирования стальных конструкций. Москва; 2005.
12. СНиП 3.03.01-87. Несущие и ограждающие конструкции. Москва: ФГУП ЦПП; 2007.

13. ГОСТ 7798-70*. Болты с шестигранной головкой класса точности В. Конструкция и размеры. Москва: Стандартиформ; 2010.
14. ГОСТ 10178-85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия. Москва: ИПК Издательство стандартов; 2005.

References

1. RD 11-589-03. Regulations on the examination of industrial safety of hazardous metallurgical and coke-chemical production facilities". Moscow: STC "Industrial Safety"; 2004. (In Russian).
2. Vedyakov I.I., Farfel M.I., Gukova M.I., Kondrashov D.V., Yarovoy S.N. Inspection of structures of buildings and structures of the Tagmet plant. Structural Mechanics and Analysis of Constructions. 2013;(1):58–64. (In Russian).
3. Vedyakov I.I., Uritsky M.R., Gukova M.I., Farfel M.I., Donchenko O.N. Industrial safety expertise in ensuring long-term operation of buildings and structures. Fuel and energy complex. Bezopasnost' ob"ektov toplivno-energeticheskogo kompleksa = Safety of facilities of the fuel and energy complex. 2013;(2):126–130. (In Russian).
4. State Standard 27772-88. Rolled products for structural steel constructions. General specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2006. (In Russian).
5. SNiP II-23-81*. Steel structures. Design standards. Moscow: Central Institute standard design; 1990. (In Russian).
6. SNiP 52-01-2003. Concrete and reinforced concrete structures. Principal rules. Moscow; 2004. (In Russian).
7. SNiP 2.02.01-83*. Soil bases of buildings and structures. Moscow: FSUE CCI; 2004. (In Russian).
8. SNiP 3.02.01-87. Earthworks, foundations and foundations. Moscow: FSUE CCI; 2007. (In Russian).
9. SNiP 2.01.07-85*. Loads&actions. Moscow: FSUE CCI; 2005. (In Russian).
10. Manual on the design of steel structures (to SNiP II-23-81*). Moscow: Central Institute of Standard Design; 1989. (In Russian).
11. SP 53-102-2004. General rules for steel structure design. Moscow; 2005. (In Russian).
12. SNiP 3.03.01-87. Load-bearing and enclosing structures. Moscow: FSUE CCI; 2007. (In Russian).
13. State Standard 7798-70*. Hexagon bolts, product grade B. Construction and dimensions. Moscow: Standartinform Publ.; 2010. (In Russian).
14. State Standard 10178-85. Portland cement and portland blastfurnace slag cement. Specifications. Moscow: Publishing house of standards; 2005. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Маргарита Ильинична Гукова, канд. техн. наук, заместитель заведующего лабораторией нормирования, реконструкции и мониторинга уникальных зданий и сооружений, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: Gukova.Rita@yandex.ru

тел.: 8 (499) 170-10-87

Margarita I. Gukova, Cand. Sci. (Engineering), Deputy Laboratory Head, Laboratory for Reconstruction, Standardization and Monitoring of Unique Buildings and Structures, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: Gukova.Rita@yandex.ru

tel.: 8 (499) 170-10-87

Михаил Иосифович Фарфель , канд. техн. наук, заведующий лабораторией нормирования, реконструкции и мониторинга уникальных зданий и сооружений, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»; доцент кафедры металлических и деревянных конструкций, НИУ МГСУ, Москва

e-mail: farfelmi@yandex.ru

тел.: +7 (499) 170-10-87

Mikhail I. Farfel✉, Cand. Sci. (Engineering), Laboratory Head, Laboratory for Reconstruction, Standardization and Monitoring of Unique Buildings and Structures, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction; Associate Professor, Department of Metal and Wooden Structures, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow
e-mail: farfelmi@yandex.ru
tel.: +7 (499) 170-10-87

Дмитрий Владимирович Кондрашов, ведущий научный сотрудник лаборатории нормирования, реконструкции и мониторинга уникальных зданий и сооружений, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: dkondras@mail.ru
тел.: 8 (499) 174-73-25

Dmitry V. Kondrashov, Leading Researcher, Laboratory for Reconstruction, Standardization and Monitoring of Unique Buildings and Structures, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: dkondras@mail.ru
tel.: 8 (499) 174-73-25

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author