

УДК 624.046

к.т.н. Псюк В. В.
(ЛГУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР, psuk@rambler.ru),
к.т.н. Антошина Т. В.
(г. Алчевск, ЛНР, tvantos@ukr.net),
Псюк М. Ю.
(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР, marikap@rambler.ru),
Никушина И. А.
(ЛГУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР, frezi9@ukr.net)

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ПОКРЫТИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЗДАНИЯ СОРТОПРОКАТНОГО ЦЕХА ФИЛИАЛА № 12 ЗАО «ВНЕШТОРГСЕРВИС»

В статье приведены результаты оценки напряженно-деформированного состояния конструкций покрытия производственного здания сортопрокатного цеха с учётом фактического технического состояния после длительного периода эксплуатации без надлежащего обслуживания. На основе полученных результатов предложены мероприятия по приведению строительных конструкций здания сортопрокатного цеха в пригодное для нормальной эксплуатации техническое состояние.

Ключевые слова: несущая способность, стропильная ферма, вертикальные и горизонтальные связи, техническое состояние, мониторинг текущего состояния.

Промышленные здания проектируют с учетом специфики предусматриваемых технологических нагрузок и воздействий, района строительства, с учетом собственного веса несущих и ограждающих конструкций. Однако в процессе строительства, эксплуатации происходят отклонения от предусмотренных в проекте конструктивных решений, нагрузок и воздействий, условий эксплуатации. Всё перечисленное, а также длительная эксплуатация без выполнения ремонтно-восстановительных работ приводит к изменению характера работы и снижению несущей способности эксплуатируемых конструкций.

Особенно остро данная проблема стоит для промышленных предприятий черной металлургии, построенных в 60–70-х годах прошлого века и находящихся в эксплуатации. Особенностью эксплуатации промышленных зданий предприятий металлургического комплекса является крайне неудовлетворительное их обслуживание со стороны эксплуатантов, которое заключается в отсутствии проведения регулярных

обследований, выполнения усиления аварийных конструкций, восстановления эксплуатационных характеристик конструкций, имеющих различную степень износа. Всё это, а также изменения действующих нормативных документов по нагрузкам и воздействиям [1] требует при обследовании конструкций предприятий черной металлургии проводить проверочный статический расчёт каркасов зданий с учётом изменившихся условий эксплуатации.

Целью данной работы является определение действующих усилий в конструкциях покрытия с учетом изменений в конструктивной схеме, а также норм по нагрузкам и воздействиям, проверка проектных сечений конструкций покрытия производственного здания сортопрокатного цеха филиала № 12 ЗАО «Внешторгсервис» на несущую способность.

Краткая конструктивная характеристика здания. Дата ввода в эксплуатацию сортопрокатного цеха — 1965 г. В январе 2019 г. произошло обрушение металлических конструкций стропильной системы и плит покры-

тия в осях 213–217 пролёта О'–Н'. Здание сортопрокатного цеха на момент обследования (август — сентябрь 2019 г.) находилось в эксплуатации, за исключением температурного блока, где произошло обрушение, и крайнего температурного блока.

В состав здания сортопрокатного цеха входят три продольных пролета: крайние пролеты О'–Н' и М'–К' по 36 м каждый и средний пролет Н'–М' — 24 м.

Участок прокатного цеха в осях 193–233 представляет собой трёхпролетное одноэтажное здание со смешанным каркасом размерами 96 м в рядах О'–К' и 240 м в осях 193–233. Данный участок разбит на температурные блоки размерами 60×96, 84×96, 96×96 м. Высота до низа стропильных конструкций составляет 16,4 м.

За условную отметку ±0,000 принята отметка головки ж/д рельса и уровня «чистого пола» цеха, абсолютная отметка которого равна 245,000 м.

Фундаменты — отдельно стоящие, монолитные железобетонные.

Колонны ступенчатые, двухветвевые железобетонные с шагом 12 м, кроме мест проездов: на этих участках предусмотрены подстропильные фермы.

По каждому ряду колонн выполнены металлические вертикальные связи.

Покрытие выполнено из металлических стропильных и подстропильных ферм, объединенных горизонтальными и вертикальными связями.

Несущие металлоконструкции покрытия запроектированы в виде системы стропильных и подстропильных ферм с параллельными поясами и связей по ним, по типовой серии ПК-01-32 вып. II. Фермы выполнены из спаренных уголков, с треугольной решеткой.

Покрытие выполнено из железобетонных плит. Кровля — рулонный ковер, с организованным внутренним водостоком.

Здание оборудовано мостовыми кранами и подвесными кран-балками. Подкрановые балки — разрезные двутаврового сечения. Крановый рельс КР-120. Крепле-

ние рельса выполнено прижимными планками на болтах.

Стены выполнены из навесных железобетонных панелей, присутствует кирпичная кладка в местах ворот и дверей. По ряду О' в осях 205–211 проектный выезд из цеха заменен на кладку из шлакоблока до отметки +6,700.

Обслуживающие площадки и лестницы — стальные.

Остекление — ленточное двухъярусное. Двери и ворота автовъездов — распашные, стальные.

Отмостка — асфальтобетонная.

Расчет температурных блоков каркаса здания выполнялся с применением ПК ЛИРА [2] методом конечного элемента, основанного на методе перемещений. Расчётная схема температурного блока каркаса здания в осях 203–217 приведена на рисунке 1.

При моделировании конструкций каркаса здания применялись следующие элементы:

– КЭ 4. Пространственный ферменный стержень. Применялся для моделирования элементов стропильных и подстропильных ферм, связей покрытия;

– КЭ 10. Пространственный стержень общего назначения. Применялся для моделирования колонн, вертикальных связей по колоннам, связей в уровне подкрановых балок, фонарных рам;

– КЭ 41, 42, 44. Треугольный, прямоугольный, четырехугольный соответственно элементы оболочки. Применялись для моделирования подкрановых балок, тормозных балок, траверс колонн, стеновых заполнений и элементов покрытия.

Жесткостные характеристики элементов задавались в соответствии с сечениями, указанными на исходных чертежах марок КМ, АР, КЖ.

Условия закрепления: жесткое защемление для колонн в уровне условной отметки 0,000; шарнирные узлы применены для крепления горизонтальных связей покрытия. Опирающие фермы на колонны приняты шарнирным ввиду применения КЭ 4.

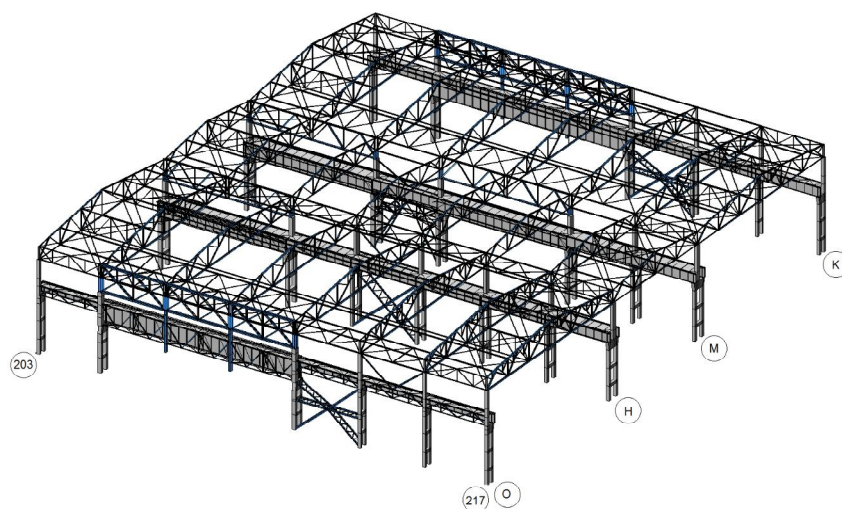


Рисунок 1 Схема температурного блока каркаса здания в осях 203–217

Сбор нагрузок осуществлялся в соответствии с действующими нормами ДБН В.1.2–2:2006 [1]. Определение статических нагрузок приведено на рисунке 2.

Собственный вес элементов каркаса собирается автоматически. При расчете собственного веса элементов задавались следующие переходные коэффициенты к объемному или погонному весу сечений элементов:

- масса стропильных и подстропильных ферм $K=1,15$ для учета деталей опорных узлов, фасонок и соединительных планок;
- масса вертикальных связевых ферм покрытия $K=1,1$ для учета деталей узлов;
- масса подкрановых балок $K=1,01$;

– масса остальных металлических элементов $K=1,05$;

– масса железобетонных элементов $K=1,1$.

Масса стеновых панелей принята усредненной по серии СТ 02-19/61, масса панелей 1,67 кПа на 1 м^2 площади стен, $K=1,1$.

Масса металлической зашивки определялась по чертежам ПКО, масса зашивки 0,487 кПа на 1 м^2 площади стеновой зашивки, $K=1,05$.

Масса окон определялась по чертежам ПКО, масса окон с учетом остекления 0,304 кПа на 1 м^2 площади окна, $K=1,05$.

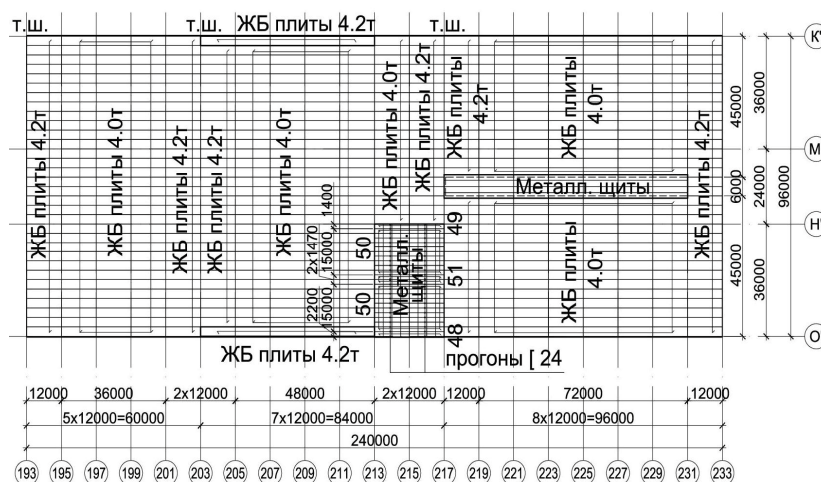


Рисунок 2 План покрытия для сбора нагрузок

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Снеговая нагрузка. Предельное расчетное и эксплуатационное расчетные значения снеговой нагрузки на горизонтальную проекцию покрытия (конструкции) определялись в соответствии с действующими нормами ДБН В.1.2–2:2006 [1]. Варианты снеговых загрузок приведены на рисунке 3.

Ветровая нагрузка. Предельное расчетное и эксплуатационное расчетные значения ветровой нагрузки определялись в соответствующих действующих нормами ДБН В.1.2–2:2006 [1]. Варианты ветровых загрузок приведены на рисунке 4.

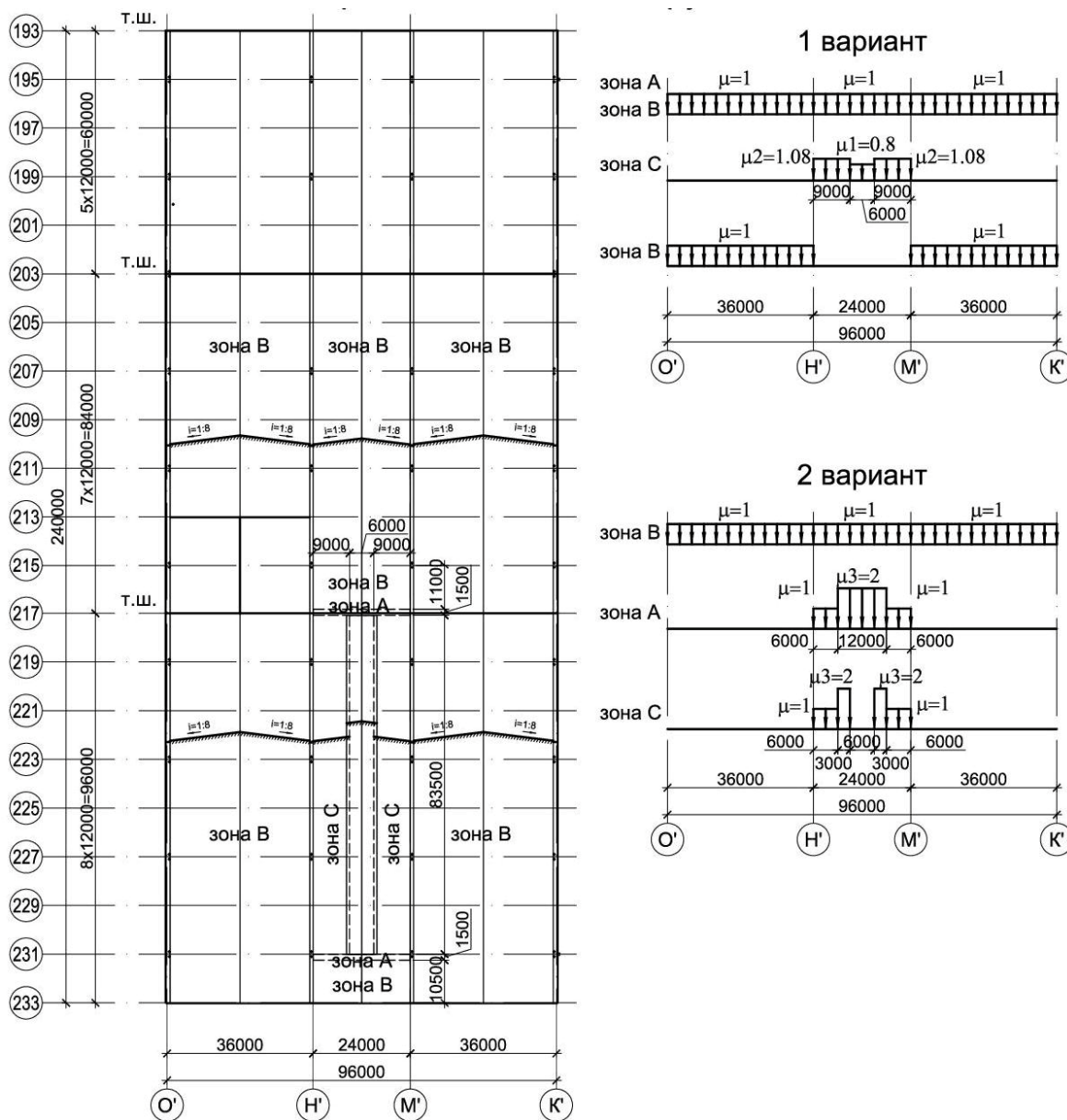


Рисунок 3 Варианты снеговых загрузок

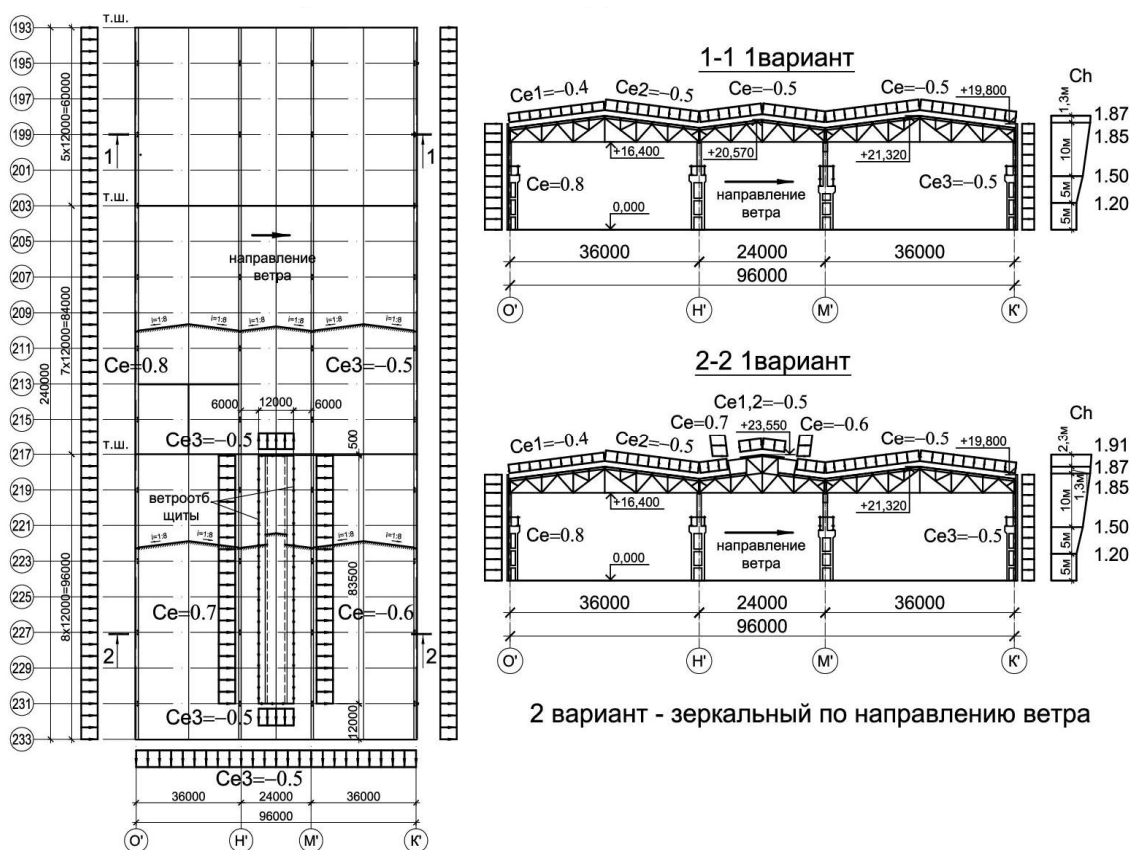


Рисунок 4 Варианты ветровых нагрузений

Нагрузки от мостовых и подвесных кранов. Для ряда крайних колонн по оси О рассматривался вариант от двух наиболее неблагоприятных по воздействию кранов 2А и 3 грузоподъемностью 80/20 т и 75/20 т соответственно. Для ряда крайних колонн по оси К рассматривался вариант от двух наиболее неблагоприятных по воздействию кранов 19 и 20 грузоподъемностью 10+10 т. Для ряда средних колонн по оси Н рассматривался вариант от четырех наиболее неблагоприятных по воздействию кранов 2А, 3 грузоподъемностью 80/20 т и 75/20 т соответственно со стороны пролета О–Н и 9, 10 грузоподъемностью 30/5 т со стороны пролета Н–М. Для ряда средних колонн по оси М рассматривался вариант от четырех наиболее неблагоприятных по воздействию кранов 9, 10 грузоподъемностью 30/5 т со стороны пролета Н–М и 19, 20 грузоподъемностью 10+10 т со стороны пролета М–К.

Крановые нагрузки прикладывались к узлам колонн и подкрановых балок, исходя из следующих предположений:

- вертикальная нагрузка от колес кранов D_{max} или D_{min} через опорные ребра подкрановых балок передается на нижнюю часть колонны в уровне опирания нижнего пояса подкрановых балок;
- боковые силы T действуют только в местах максимальных вертикальных крановых нагрузок (при нахождении тележки максимально близко к крановому пути) и передаются от колес крана через тормозные балки на верхнюю часть колонны в уровне плоскости листа тормозной балки, при этом предполагается, что на колонну передается только опорная реакция тормозной балки;
- продольные силы K вдоль кранового пути от колес крана передаются через рельс на опорные ребра подкрановых балок в уровне верхних поясов балок.

Схема приложения нагрузок на крайние и средние колонны приведена на рисунке 5. Для средней колонны изображен вариант, когда действуют максимальные и минимальные вертикальные крановые нагрузки, а в месте приложения минимальной крановой нагрузки продольные и поперечные силы условно не показаны.

Вертикальные крановые нагрузки. Наибольшая опорная реакция в разрезной балке будет при таком положении системы сил, когда одна из сил находится непосредственно над опорой, а остальные расположены как можно ближе к этой опоре.

Для кранов 2А и 3 грузоподъемностью 80/20 т и 75/20 т соответственно наибольшая опорная реакция от подкрановых балок, передающихся на колонну, при 8 силах будет при расположении над опорой первого колеса с $F_m^{\max} = 416$ кН от крана 3. Для кранов 9 и 10 грузоподъемностью 30/5 т наибольшая опорная реакция от подкрановых балок будет при расположении над опорой первого колеса с $F_m^{\max} = 323$ кН. Для кранов 19 и 20 грузоподъемностью 10+10 т наибольшая опорная реакция от подкрановых балок будет при расположении над опорой второго колеса с $F_m^{\max} = 325$ кН от крана 20. Схемы прило-

жения систем сил и величины вертикальных нагрузок показаны на рисунке 6. Вертикальные нагрузки на промежуточные узлы нижних поясов стропильных ферм определялись от одного подвесного крана при $\psi = 1$, $D_1 = 64$ кН. На узлы подстропильных ферм при расположении монорельсов с двух сторон оси фермы нагрузка принималась от двух кранов с $\psi = 1$, $D_2 = 128$ кН.

При расчете боковых сил от кранов Т, передаваемых на колонну, рассматривались такие же системы сил и коэффициенты сочетаний, как и при определении вертикальной крановой нагрузки с учетом вариантов направления поперечных сил для четырехколесных и восьмиколесных кранов.

Технологические и дополнительные нагрузки. На покрытии здания цеха по оси О' на расстоянии 3 м от парапета (см. рис. 7) расположены два трубопровода: нижняя труба диаметром 630 мм и толщиной стенки 8 мм — для отвода коксового газа; верхняя труба диаметром 250 мм (толщина стенки принята 10 мм) — паровая. Трубопроводы закреплены на железобетонные опоры размерами 620×620×1200 мм с шагом 12 м. Сосредоточенная расчетная (коэф. 1,1) нагрузка от веса труб с опорами при длине участка 12 м составляет 40 кН.

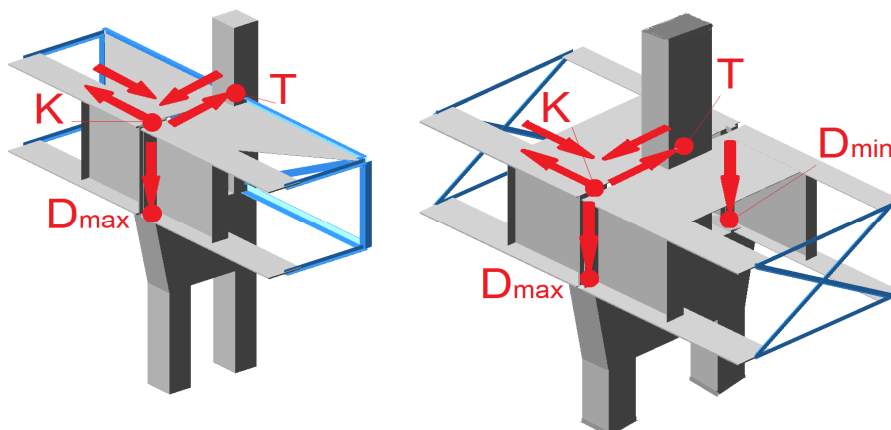
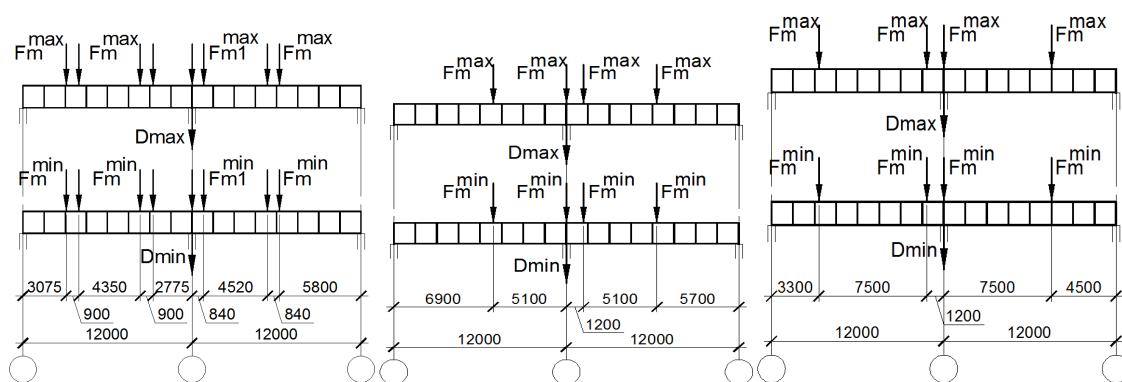


Рисунок 5 Схемы приложения крановых нагрузок

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА



Краны 2А и 3

$$D_2^{\max} = 1753 \text{ кН}$$

$$D_2^{\min} = 275 \text{ кН}$$

$$D_4^{\max} = 1444 \text{ кН}$$

$$D_4^{\min} = 226 \text{ кН}$$

Краны 9 и 10

$$D_4^{\min} = 46 \text{ кН}$$

$$D_4^{\min} = 46 \text{ кН}$$

Краны 19 и 20

$$D_2^{\max} = 1191 \text{ кН}$$

$$D_2^{\min} = 181 \text{ кН}$$

$$D_4^{\max} = 1003 \text{ кН}$$

$$D_4^{\min} = 152 \text{ кН}$$

Рисунок 6 Вертикальные крановые нагрузки на колонну

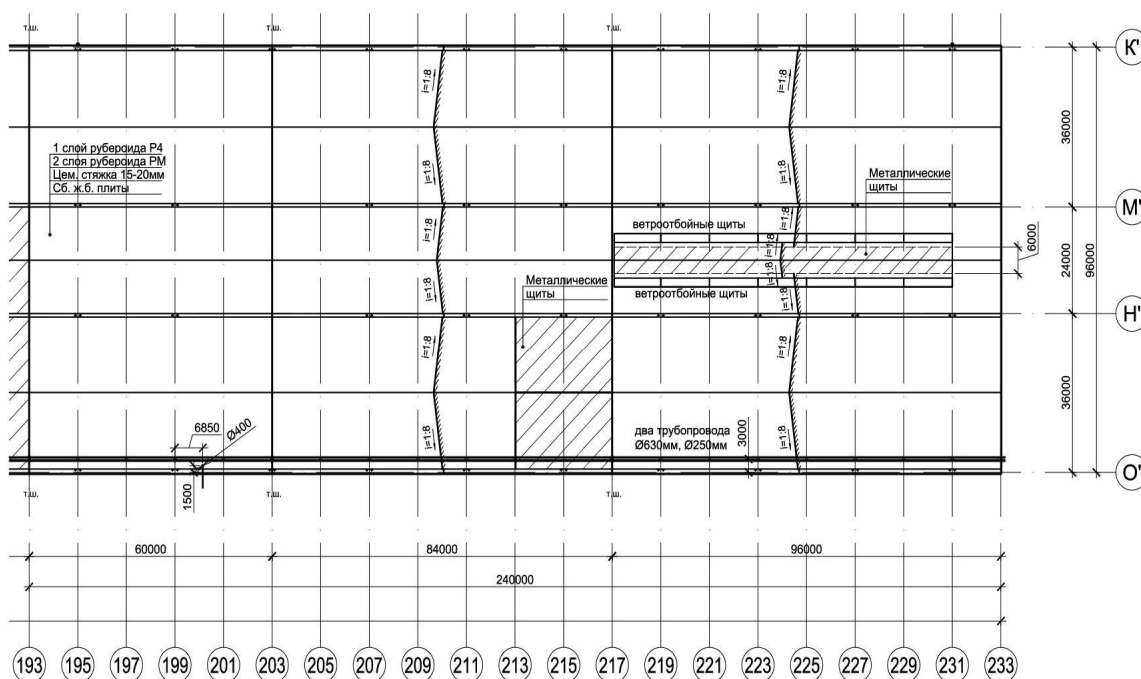


Рисунок 7 План кровли в осях 193–233

В осях 221–223 присутствует труба газопровода с принятыми диаметром 630 мм и толщиной стенки 8 мм, которая опирается на двутавровые балки 36 на расстоянии 1,0–2 м от оси 221, крепящиеся к стойкам стропильных ферм в уровне нижних поя-

сов с шагом 12 м. Сосредоточенная расчетная (коэф. 1,1) нагрузка от веса труб при длине участка 12 м составляет 20 кН.

На участках ремонта и обслуживания подвесного кранового оборудования принята полезная нагрузка: расчетное эксплуа-

тационное значение 4 кПа; расчетное предельное значение 4,8 кПа. Нагрузка принята только на специальных ремонтных площадках в местах подвесных кран-балок.

На покрытие здания принята нагрузка от производственной мокрой или слежавшейся пыли объемным весом 2 т/м^3 при максимальной толщине покрова 4 см в соответствии с Правилами технической эксплуатации производственных зданий и сооружений предприятий горно-металлургического комплекса Украины, утвержденными Министерством промышленной политики Украины в 2003 г. (г. Днепропетровск). Расчетное значение нагрузки от производственной пыли при коэффициенте надежности по нагрузке 1 составляет 0,784 кПа.

Назначение расчетных сочетаний нагрузок было принято с учётом определенных величин нагрузок и в соответствии с рекомендациями ДБН В.1.2–2:2006 [1].

Результаты расчета покрытия температурного блока в осях 203–217. Проверка проектных сечений элементов конструкций покрытия участка температурного блока в осях 203–217 пролета О–Н выполнялась в ЛИР-СТК, входящей в ПК ЛИРА.

Для всех элементов задавались марки или классы сталей согласно исходному проекту. Расчетные длины стержней задавались согласно нормам [3], при этом для верхних и нижних поясов ферм принимались расчетные длины стержней из плос-

кости ферм как расстояния между узлами, закрепленными от смещения из плоскости ферм. Подобными точками закрепления являются горизонтальные связи или узлы крепления жестких плит покрытия, прикрепленных к поясам ферм сварными швами или болтами.

В результате проверки проектных сечений были выявлены элементы конструкций покрытия, у которых превышен предел несущей способности. Результаты проверки стропильных и связевых ферм представлены на рисунке 8. На рисунке красным цветом выделены номера элементов, не прошедших проверку.

Максимальный процент исчерпания несущей способности подстропильной фермы ПФ19г составляет 76 % в средних панелях верхнего пояса.

Подстропильная ферма ПФ18 не проверялась ввиду того, что после снятия части нагрузки на ферму от веса стенового фахверка проектного выезда, т. к. проем был заложен кладкой из шлакоблока, новые усилия меньше проектных.

Максимальный процент исчерпания несущей способности опорных стоек С1 (крестовые равнополочные уголки 90×8 ; $N = -130 \text{ кН РСН1}$) средних рядов колонн и С2 (сварной двутавр — пояса $2-200 \times 8$, стенка -234×6 ; $N = -90 \text{ кН РСН1}$) крайних рядов колонн не более 35 %.

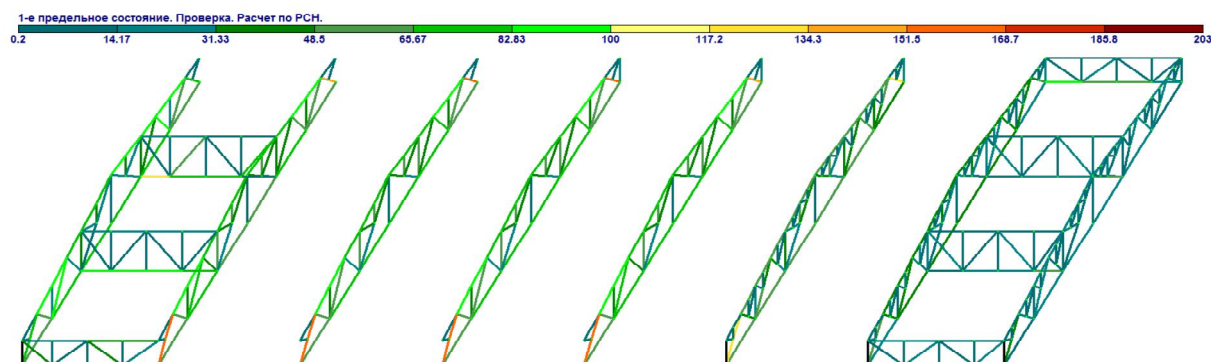


Рисунок 8 Результаты проверки Φ12, Φ16, Φ12у, Φ12Н, «г»

В результате расчёта модели здания сортопрокатного цеха с учётом фактического технического состояния были сформулированы основные выводы и рекомендации по дальнейшей эксплуатации здания:

1. Во всех стропильных фермах марки Ф12 опорные раскосы (проектное тавровое сечение из двух равнополочных уголков 100×12) работают с превышением предела несущей способности. Необходимо усиление проектного сечения.

2. В торцевой ферме марки Ф16 по оси 233 средние раскосы (проектные тавровые сечения из равнополочных уголков 63×6 и неравнополочных уголков 110×70×8) на промежуточных опорах колонн фахверка работают с превышением предела несущей способности.

3. Опорные стойки ферм марки С1 (проектное крестовое сечение из равнополочных уголков 90×8) по среднему ряду колонн оси Н и С2 (проектное двутавровое сечение: пояса — 200×8, стенка — 234×6) по крайнему ряду колонн оси О работают с запасом по пределу несущей способности.

4. Подстропильные фермы марок ПФ18, ПФ19г, ПФ19д, ПФ19а работают с запасом по пределу несущей способности.

5. Пояса вертикальных связей покрытия марки «г» не прошли проверку из плоскости связи. Рекомендуется уменьшение расчетной длины пояса из плоскости путем установки дополнительных распорок типа «п» к узлам крестовых горизонтальных связей.

6. Горизонтальные связи по нижним поясам ферм работают с учетом исключения сжатых раскосов за счет соседних растянутых раскосов.

7. Коньковые горизонтальные крестовые связи по верхним поясам ферм исключаются из работы вследствие сжатия всех раскосов, не прошедших проверку по не-

сущей способности. С учетом горизонтального жесткого диска покрытия связи продолжают работу. В случае разрушения диска или его замены рекомендуется изменение геометрической схемы связи путем добавления распорок и раскосов.

8. В горизонтальных продольных связевых фермах по верхним поясам ферм присутствуют элементы, которые исключаются из работы как не прошедшие проверку по несущей способности. С учетом горизонтального жесткого диска покрытия связевые фермы продолжают работу. В случае разрушения диска из железобетонных плит или его замены на покрытие из металлических щитов по прогонам рекомендуется усиление поясов связевых ферм в осях 229–231 по оси Н и усиление поясов и раскосов связевых ферм в осях 207–209 по оси О.

Созданная расчётная схема позволила выполнить оценку напряжённо-деформированного состояния строительных конструкций здания сортопрокатного цеха с учётом фактического технического состояния после длительного периода эксплуатации без надлежащего обслуживания. На основе полученных результатов предложены мероприятия по приведению строительных конструкций здания сортопрокатного цеха в пригодное для нормальной эксплуатации техническое состояние.

Разработанная расчётная модель позволяет осуществлять мониторинг текущего состояния здания сортопрокатного цеха и выполнять прогнозирование его работы с учётом изменения технического состояния.

Предложенная методика направлена, прежде всего, на раннее выявление аварийного состояния строительных конструкций исследуемого объекта и предотвращение разрушения объектов, имеющих важное народно-хозяйственное значение для Луганской Народной Республики.

Библиографический список

1. ДБН В.1.2–2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування [Текст]. — Введ. 2007–01–01. — К. : Мінбуд України, 2006. — 60 с.

2. ПК ЛИРА, версия 9. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций [Текст] / Д. А. Городецкий и др. — К. : НИИАСС, 2002. — 147 с.

3. ДБН В.2.6-198:2014. Державні будівельні норми України. Сталеві конструкції. Норми проектування [Текст]. — Введ. 2015-01-01. — К. : Мінрегіон України, 2014. — 199 с.

© Псюк В. В.

© Антошина Т. В.

© Псюк М. Ю.

© Никишина И. А.

*Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. СА ЛГУ им. В. Даля Емец Е. В.,
к.т.н., доц., зав. каф. АДиСК ДонГТИ Бондарчук В. В.*

Статья поступила в редакцию 29.11.2021.

PhD in Engineering Psiuk V. V. (LSU named after V. Dahl, Alchevsk, LPR, psuk@rambler.ru),
PhD in Engineering Antoshina T. V. (Alchevsk, LPR, tvantos@ukr.net), **Psiuk M. Yu.** (DonSTI,
Alchevsk, LPR, marikapt@rambler.ru), **Nikishina I. A.** (LSU named after V. Dahl, Lugansk, LPR,
frezi9@ukr.net)

ASSESSMENT OF THE STRESS-STRAIN STATE OF COATING STRUCTURES OF THE ROLL PRODUCTION ROLLING MILL OF BRANCH № 12 ZAO “VNESHTORGSERVIS”

The article presents the assessment results of the stress-strain state of coating structures of the roll production rolling mill, considering the actual technical condition after a long period of operation without proper maintenance. Based on the obtained results, measures are proposed to bring the building structures of the rolling mill into a technical condition suitable for normal operation.

Key words: *load-bearing capacity, truss, vertical and lateral bracings, technical condition, monitoring of the current condition.*