

УДК 624.046

к.т.н. Псюк В. В.
(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР, psukvv@gmail.com),
к.т.н. Антошина Т. В.
(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР, tvantos@ukr.net),
Мерзляков И. А.
(ООО «НПЦ „Сваркон“», г. Алчевск, ЛНР, svarkon1@mail.ru,
Никушина И. А.
(ЛГУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР, nik1.ir@yandex.ru)

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГАЛЕРЕИ МОСТА У-4 КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ФИЛИАЛА № 1 «АМК» ООО «ЮГМК»

В статье приведены результаты оценки напряженно-деформированного состояния строительных конструкций галереи моста У-4 с учётом фактического технического состояния после длительного периода эксплуатации без надлежащего обслуживания. На основе полученных результатов предложены мероприятия по приведению строительных конструкций галереи в пригодное для нормальной эксплуатации техническое состояние.

Ключевые слова: несущая способность, стропильная ферма, транспортная галерея, техническое состояние, мониторинг текущего состояния.

Транспортерные галереи, предназначенные для перемещения сыпучих материалов, являются одним из наиболее распространенных видов транспортных коммуникаций на большинстве современных заводов различных отраслей промышленности. Предприятия чёрной и цветной металлургии, химической, энергетической, лёгкой и пищевой промышленности, промышленности строительных материалов, а также других отраслей народного хозяйства не могут обойтись без транспортерных галерей как наиболее функциональных транспортных коммуникаций сыпучих грузов.

При этом транспортерные галереи — одни из самых сложных в проектировании, возведении, эксплуатации и обслуживании сооружений, так как сочетание статических, динамических, а иногда аварийных нагрузок приводит к быстрому износу механизмов галерей, а также их несущих и ограждающих конструкций [1]. Выход их из строя влечёт за собой остановку сложных технологических процессов. Поэтому предотвращение выхода из строя галерей с

помощью обследований является актуальной темой.

Целью данной работы является определение максимальных усилий в конструкциях галереи с учетом изменений норм нагрузок от 2006 г., ослаблений проектных сечений элементов вследствие коррозии и других дефектов, а также проверка ослабленных сечений конструкций галереи на несущую способность.

Краткая конструктивная характеристика здания. Галерея моста У-4 с эстакадой № 3 была построена по проекту, разработанному институтом «ГИПРОКОКС» (г. Харьков) и предназначена для транспортировки углей от здания отделения предварительного дробления в здание закрытого склада углей. За время эксплуатации галереи моста У-4 (по проекту «УкраНИИпроектстальконструкция», г. Жданов, 1988 г.) была выполнена замена всех существующих строительных конструкций методом обстройки: замена металлоконструкций пролетных строений; установка новых опор для переопирания пролетных

строений (ферм); замена ограждающих конструкций; демонтаж всех существующих строительных конструкций.

Галерея моста У-4 (замененная) выполнена отапливаемой трехпролетной с консольным примыканием к эстакаде № 3. Угол наклона галереи $18^{\circ}20'14''$.

Проектные строения галереи по проекту приняты из металлических ферм (из прокатных профилей) решетчатого типа с параллельными поясами, развязанными между собой по верхним и нижним поясам прогонами, балками и связями, что образует единую жесткую пространственную систему. Опоры металлические сварные решетчатого типа из прокатных профилей. Опоры ОП2 и ОП3 — плоские, ОП1 — пространственная неподвижная.

Согласно проекту 11046-КМ «Комплекс коксовой батареи 9-бис. Техническое перевооружение. Замена строительных конструкций транспортной галереи У-4», выполненному в 1988 г. Ждановским комплексным отделом УкрНИИпроектстальконструкции, в качестве материала для поясов ферм пролетом 36 м несущих конструкций пролетных строений галереи У-4 принята сталь марки 09Г2с-6 с расчетным сопротивлением 315 МПа, для остальных элементов — сталь марки СтЗсп5 с расчетным сопротивлением 240 МПа.

Строительные конструкции галереи:

– фундаменты под колонны — монолитные железобетонные;

– стены — волнистые асбестоцементные листы в два слоя с утеплителем из минераловатных плит толщиной 80 мм;

– перекрытие и полы: покрытие пола — бетон М200 (по уклону), гидроизоляционный слой 10 мм, цементно-песчаная стяжка 20 мм, утеплитель (газобетон) 100 мм, ж. б. ребристые плиты перекрытия 140 мм;

– покрытие — волнистые асбестоцементные листы в два слоя с утеплителем из минераловатных плит 80 мм.

Внутри моста находится конвейер со следующими характеристиками: ширина ленты 1400 мм, скорость ленты 2,18 м/с,

производительность 800 т/ч, транспортируемый материал — уголь.

Галерея моста У-4 находится на территории углеподготовительного цеха, поблизости от коксовой батареи и тушильной башни, поэтому металлоконструкции, находящиеся на открытом воздухе, подвергаются атмосферному воздействию, воздействию окислов углерода, угольной пыли, сероводорода, сернистого ангидрида. Группа агрессивности газов по СНиП 2.03.11–85 — А; степень агрессивного воздействия среды («Методическим указанием по защите от коррозии строительных и технологических конструкций и коммуникаций лакокрасочными покрытиями» СТ8060, ГИПРОКОКС) — сильно-агрессивная.

Расчет конструкций галереи моста У-4 выполнялся с применением ПК ЛИРА [3] методом конечного элемента, основанного на методе перемещений.

При моделировании конструкций каркаса здания применялись следующие элементы:

– КЭ 4. Пространственный ферменный стержень. Применялся для моделирования элементов ферм, кроме верхних поясов, связей покрытия и перекрытия;

– КЭ 10. Пространственный стержень общего назначения. Применялся для моделирования ветвей опор, балок, а также верхних поясов ферм;

– КЭ 41, 42, 44. Треугольный, прямоугольный, четырехугольный соответственно элементы оболочки. Применялись для моделирования стенового ограждения и покрытия галереи. Общий вид конечно-элементной схемы указан на рисунке 1.

Жесткостные характеристики элементов задавались в соответствии с сечениями, определенными фактическими промерами поперечных сечений, а также с учетом уменьшения толщин вследствие коррозии. Вспомогательные элементы задавались в схеме с единичной жесткостью, чтобы исключить влияние на основные элементы схемы.

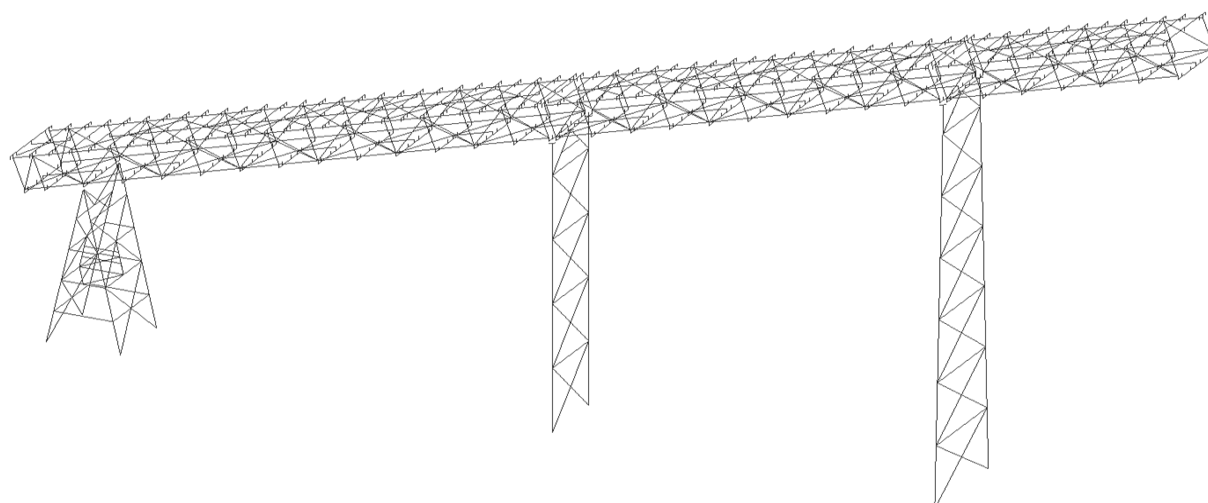


Рисунок 1 Вид пространственной конечно-элементной схемы галереи (вспомогательные элементы не показаны)

Условия закрепления: шарнирно-неподвижное закрепление для опор в уровне обреза фундамента; шарнирно-неподвижное закрепление нижних концов и шарнирно-подвижное закрепление верхних концов наклонных нижних поясов ферм к верхушкам опор.

Первоначально были смоделированы опорные узлы ферм по фактическим узлам галереи. В процессе расчета было выявлено, что второй и третий пролеты галереи представляют собой геометрически изменяемые схемы, расчет таких схем невозможен.

В опорные узлы модели были добавлены связи по нижним поясам ферм в соответствии с проектом, хотя по факту эти связи отсутствуют.

Также были смоделированы опорные узлы посередине пролета балок по нижним поясам смежных ферм с верхушками раскосов опор посредством КЭ10 с пластинчатым сечением, которое объединяет две смежные балки вдоль галереи.

При моделировании опорных узлов использовалось объединение перемещений узлов по трем или двум линейным направ-

лениям в зависимости от вида шарнирного закрепления.

Видоизменение расчетной схемы с фактической геометрически изменяемой на правильную показано на рисунке 2. Смоделированный опорный узел смежных ферм с опорой показан на рисунке 3.

Сбор нагрузок.

Постоянные нагрузки: выполнен сбор нагрузок на 1 м^2 покрытия, на 1 м^2 пола, на 1 м. п. стенового ограждения, на 1 м. п. стенового ограждения с окном.

Длительнодействующие нагрузки: расчетом предусмотрена нагрузка от пыли на 1 м^2 покрытия галереи 25 кг/м^2 , нагрузка от конвейера на 1 м. п. пола галереи 235 кг/м , нагрузка от транспортируемого материала (угольная шихта) и ленты на 1 м. п. пола галереи 187 кг/м .

Кратковременные нагрузки.

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 4.

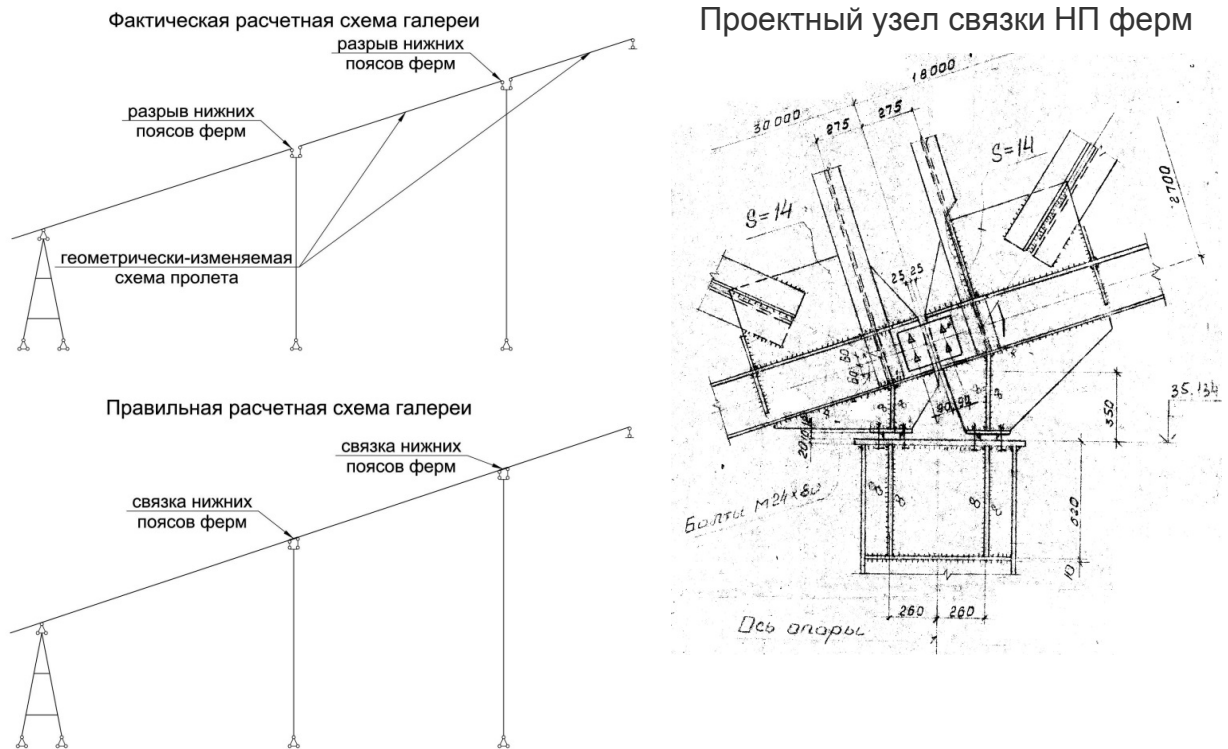


Рисунок 2 Упрощенная расчетная схема галереи

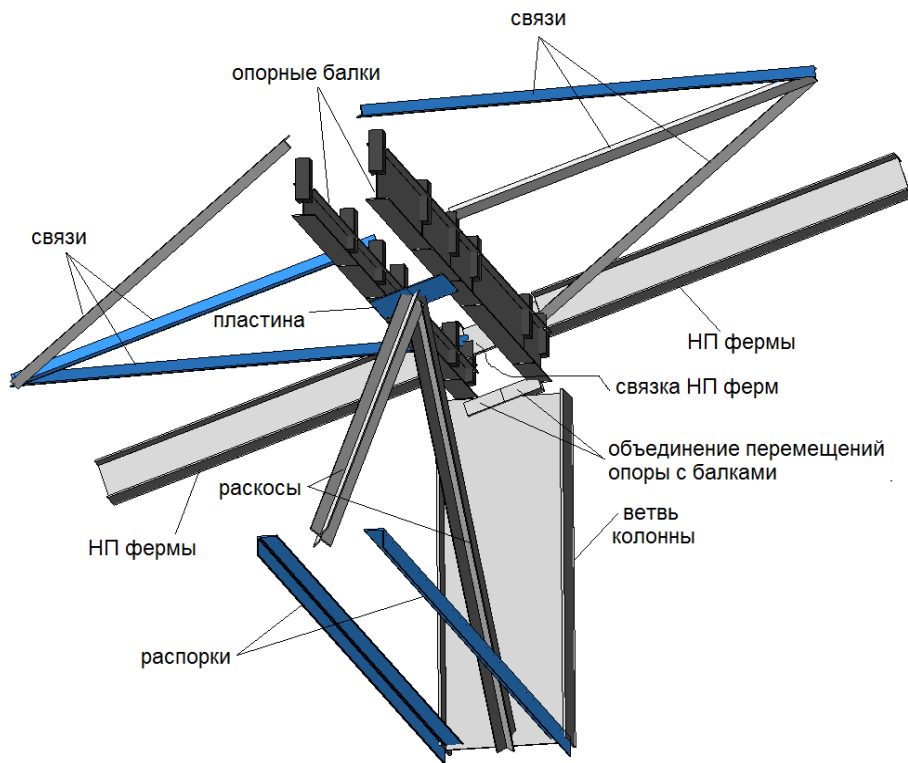


Рисунок 3 Опорный узел смежных блоков галереи, сформированный в расчетной схеме

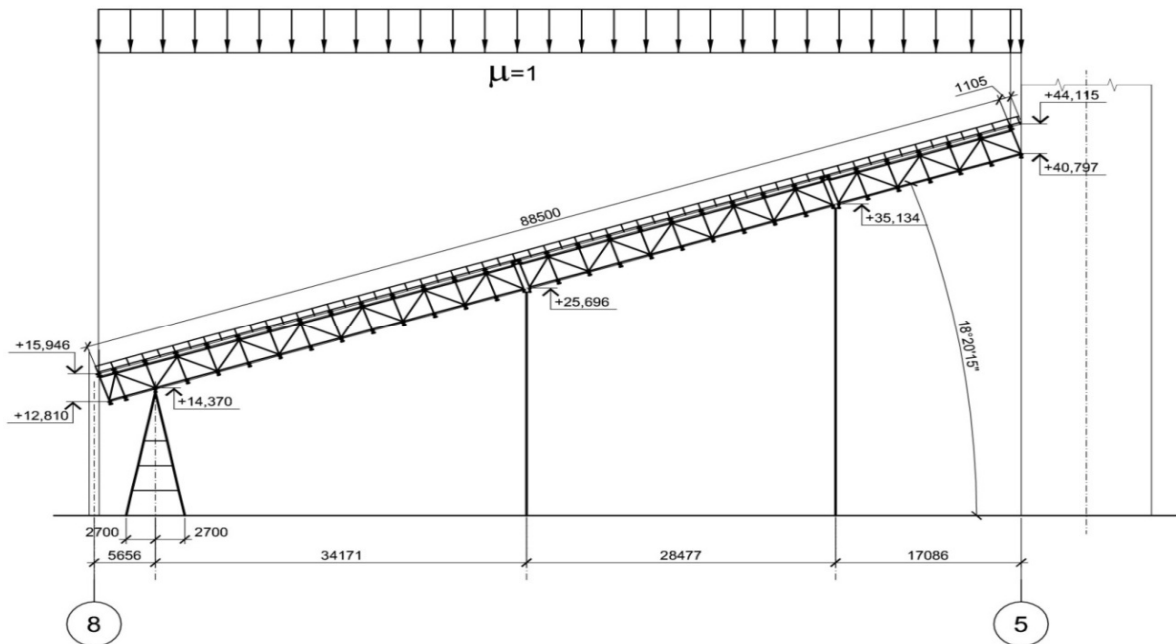


Рисунок 4 Варианты снеговых нагрузений

Ветровая нагрузка. Предельное расчетное и эксплуатационное расчетное значения ветровой нагрузки определялись в соответствии с действующими нормами ДБН В.1.2-2:2006 [1]. Варианты ветровых нагрузений приведены на рисунке 5.

Расчетом предусмотрена **полезная нагрузка** от веса людей и просыпи деталей на 1 м^2 пола 200 кг/м^2 .

Расчетные сочетания нагрузок.

В расчетной схеме галереи приняты следующие загрузки.

Загрузка № 1. Собственный вес конструкций. Постоянная.

Загрузка № 2. Длительнодействующая.

Загрузка № 3. Снеговая нагрузка.

Кратковременная.

Загрузка № 4. Ветровая нагрузка на стену ферм Ф1, 2, 3, I вариант. Кратковременная.

Загрузка № 5. Ветровая нагрузка на стену ферм Ф1', 2', 3', II вариант. Кратковременная.

Загрузка № 6. Полезная. Кратковременная.

Для расчетной схемы галереи приняты следующие варианты расчетных сочетаний нагрузок (РСН) с соответствующими коэффициентами сочетаний нагрузок.

РСН 1:

$$\text{№ } 1 \times 1 + \text{№ } 2 \times 0,95 + \text{№ } 3 \times 0,9 + \text{№ } 6 \times 0,9.$$

РСН 2:

$$\text{№ } 1 \times 1 + \text{№ } 2 \times 0,95 + \text{№ } 3 \times 0,9 + \\ + \text{№ } 4 \times 0,9 + \text{№ } 6 \times 0,9.$$

РСН 3:

$$\text{№ } 1 \times 1 + \text{№ } 2 \times 0,95 + \text{№ } 3 \times 0,9 + \\ + \text{№ } 5 \times 0,9 + \text{№ } 6 \times 0,9.$$

Результаты проверки пролетных строений и опор. Проверочный расчет сечений стержней элементов опор, связей и ферм выполнялся как для центрально-сжатых (растянутых) и внецентренно-сжатых (растянутых) элементов, а также изгибаемых элементов балок в соответствии с требованиями [2].

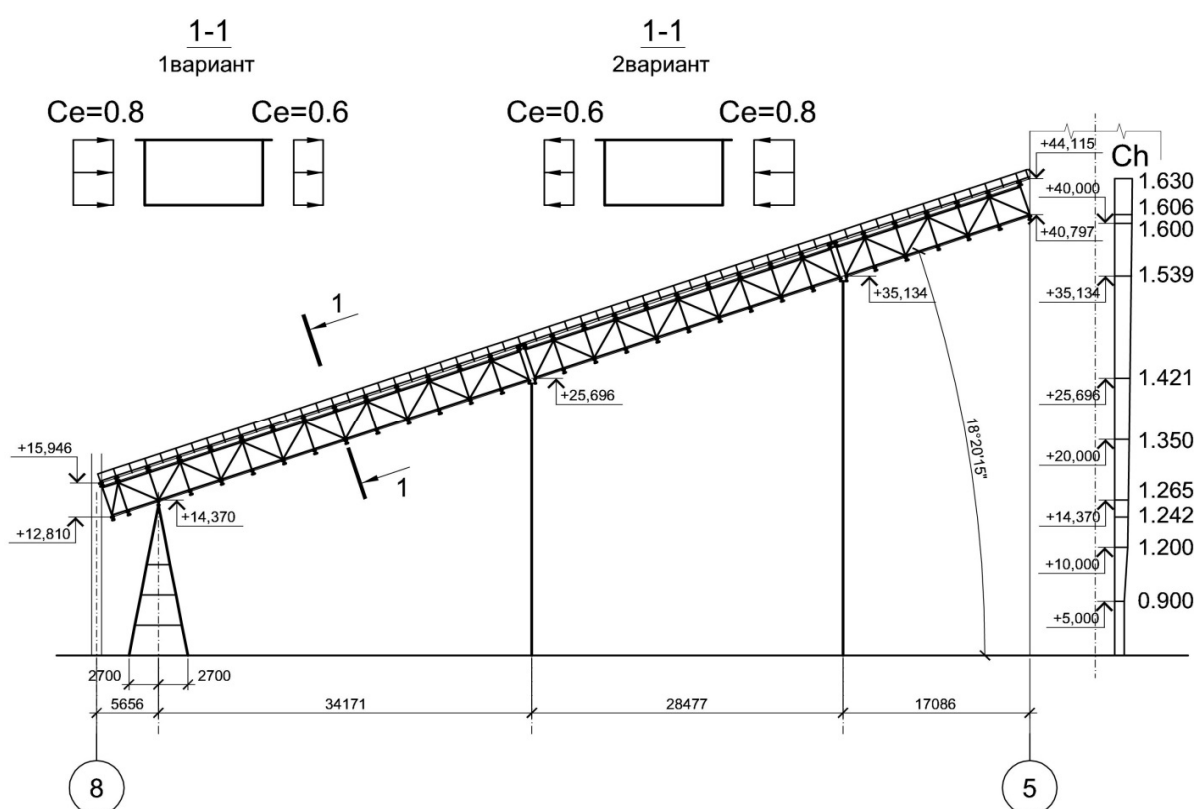


Рисунок 5 Варианты ветровых нагрузений

Расчет изгибаемых элементов выполнялся без учета или с учетом развития пластических деформаций в соответствии с типами сечений по п. 5.3.6 [2].

При расчете балок принят I класс сечения, предполагающий работу в пределах упругих деформаций.

Расчет на прочность балок в расчетных сечениях I класса необходимо выполнять по формулам [2]:

– при действии изгибающего момента M в одной из главных плоскостей:

$$\frac{M\gamma_n}{W_{n,\min}R_y\gamma_c} \leq 1. \quad (1.1)$$

– при действии поперечной силы Q , направленной параллельно срединной плоскости стенки:

$$\frac{QS_x\gamma_n}{J_x t_w R_s \gamma_c} \leq 1. \quad (1.2)$$

– при действии изгибающих моментов M_x и M_y в двух главных плоскостях:

$$\frac{M_x\gamma_n}{J_{xn}R_y\gamma_c} y \pm \frac{M_y\gamma_n}{J_{yn}R_y\gamma_c} x \leq 1, \quad (1.3)$$

где x и y — координаты рассматриваемой точки сечения относительно его главных осей.

Расчет на прочность элементов, подверженных центральному растяжению силой N , выполнялся по формуле [2]

$$\frac{N\gamma_n}{A_n R_y \gamma_c} \leq 1. \quad (1.4)$$

Расчет на устойчивость сплошностенчатых элементов, подверженных центральному сжатию силой N , выполнялся по формуле [2]

$$\frac{N\gamma_n}{\varphi A R_y \gamma_c} \leq 1. \quad (1.5)$$

Численные значения φ приведены в приложении Ж [2].

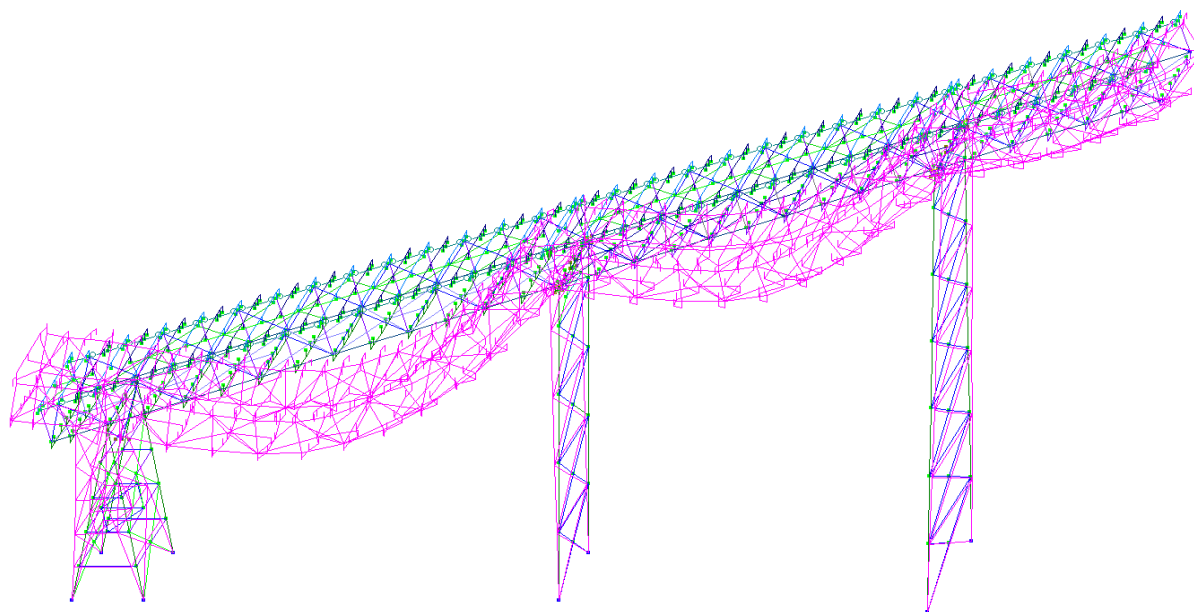


Рисунок 6 Деформированная схема галереи (масштаб деформаций сильно увеличен)

Проверочный расчет по деформациям.

Расчет перемещений узлов схемы галереи выполнялся в ПК Лира.

Ниже приведены рисунки исчерпания несущей способности элементов по первой группе предельных состояний (прочность и устойчивость) для пролетных строений и опор (рис. 7). На рисунках красным цветом выделены элементы, у которых перенапряжение свыше 100 %, розовым цветом показаны элементы, у которых исчерпание несущей способности находится в шкале 90–100 %.

Во всех пролетных строениях и опоре ОП1 присутствуют элементы, у которых напряжения свыше несущей способности, а также элементы, у которых напряжения приближены к несущей способности. А именно:

- фермы Ф1, Ф1', Ф3 — раскосы, ферма Ф2 — верхний пояс и раскос;
- балки и связи по нижним поясам ферм всех пролетов, причем в связях гибкость выше предельной;
- опора ОП1 — ветви.

В опоре ОП2 у верхней распорки гибкость выше предельной.

В опоре ОП3 гибкость ветвей в плоскости опоры между узлами решетки выше 80, поэтому ветви работают по деформированной схеме.

Выводы. В процессе длительной эксплуатации транспортной галереи, в результате воздействия химически агрессивной среды в условиях действующего предприятия коксохимического производства, произошла значительная коррозия элементов конструкций. Это привело к уменьшению расчетного сечения конструктивных элементов галереи (нижних поясов, стоек, раскосов и др.), что, в свою очередь, вызвало их перенапряжение, так как действующие нагрузки остались прежними.

В результате осмотра конструкций транспортной галереи при проведении оценки технического состояния, установлено, что проводившиеся в период эксплуатации ремонты были выполнены некачественно, с нарушением действующих норм проектирования. Особенно следует отметить дефекты сварных швов при усилении, а также выполнение антикоррозионного лакокрасочного покрытия без должной поверхностной подготовки.

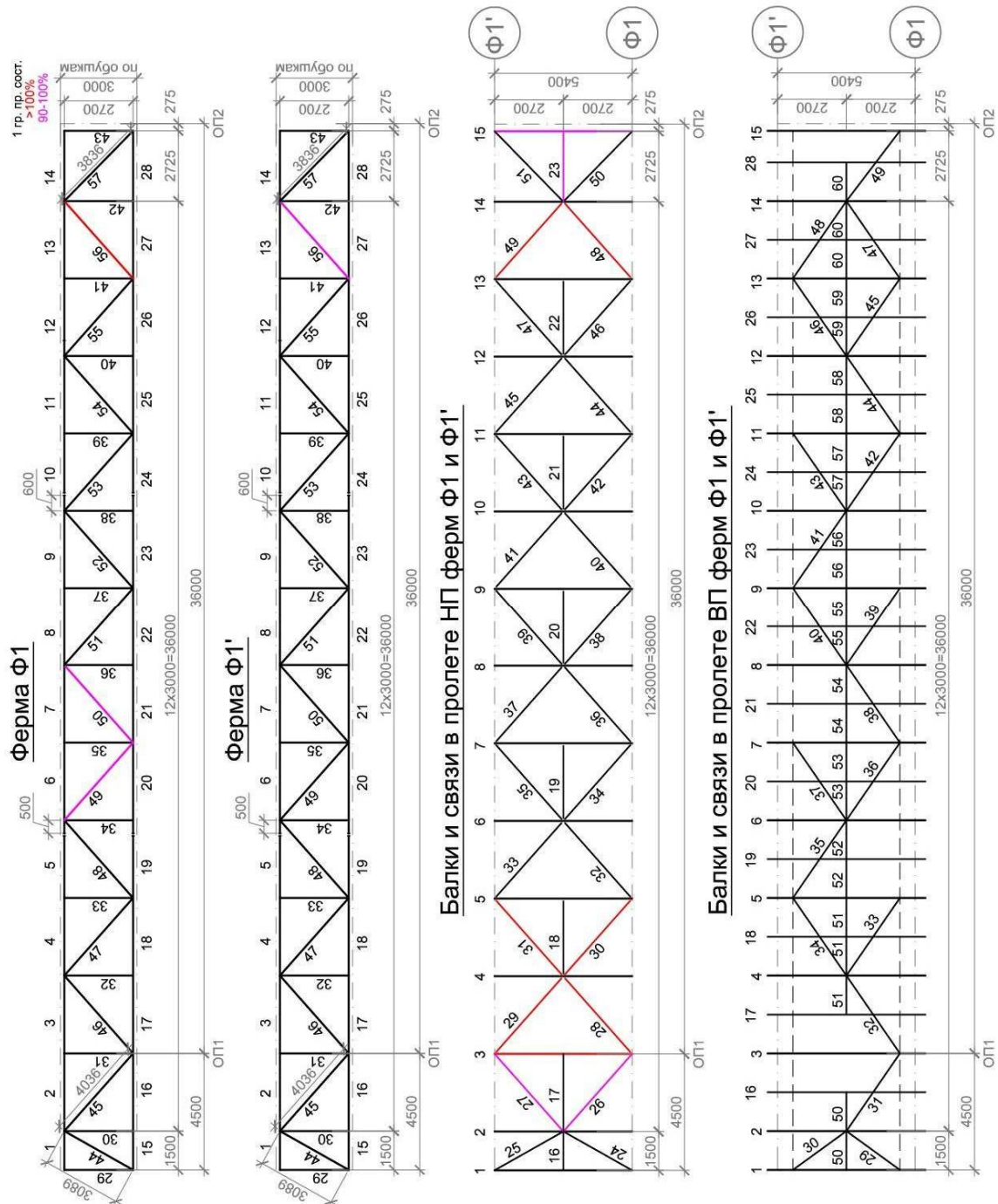


Рисунок 7 Исчерпание несущей способности элементов первого пролета

Рекомендации. Для обеспечения длительной и безаварийной работы транспортной галереи моста У-4 необходимо выполнить следующие мероприятия:

1. Для исключения геометрически изменяемой схемы работы галереи необходимо выполнить связки нижних поясов ферм.

2. Выполнить усиление элементов, у которых предел исчерпания несущей способности выше 100 %; рекомендуется также выполнить усиление элементов, у которых предел исчерпания несущей способности свыше 80–90 % в соответствии с проектом.

3. Уменьшить гибкость связей по нижним поясам ферм во всех пролетах и верхней распорки ОП2 путем образования крестового сечения в соответствии с действующими нормами.

4. Уменьшить гибкость ветвей опоры ОПЗ.

5. Выполнить антикоррозионную защиту металлических конструкций галереи.

Дальнейшим направлением исследований эксплуатируемых транспортных галерей в условиях действующих предприятий является разработка мероприятий по их безопасной эксплуатации с учетом действительного технического состояния, а также совершенствование технологических операций по восстановлению их эксплуатационных свойств.

Библиографический список

1. СП 43.13330.2012. Сооружения промышленных предприятий. Актуализированная редакция СНиП 2.09.03-85 / Госстрой России. — Введ. 2013-01-01. — М. : ФГУПЦПП, 2012. — 66 с.
2. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування : чинні з 2015-01-01. — К. : Мінрегіон України, 2014. — 199 с. — (Державні будівельні норми України).
3. ПК ЛИРА, версия 9. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций. — К. : НИИАСС, 2002. — 147 с.
4. ДБН В.1.2-14-2009. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ : чинні з 2009-12-01. — К. : Мінрегіонбуд України, 2009. — 32 с.
5. ДСТУ Б В.2.6-193:2013. Захист металевих конструкцій від корозії. Вимоги проектування : чинний з 2014-01-01. — К. : Мінрегіон України, 2013. — 46 с. — (Державний стандарт України).
6. ДБН 362-92. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій експлуатованих виробничих будівель та споруд : чинні з 1992-07-01. — К. : Держбуд України, 1993. — 46 с.
7. ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013. Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва : чинний з 2013-09-01. — К. : Мінрегіонбуд України, 2013. — 47 с.
8. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Прогини і переміщення. Вимоги проектування : чинний з 2007-01-01. — К. : Мінбуд України, 2006. — 10 с.

© Псюк В. В.
 © Антошина Т. В.
 © Мерзляков И. А.
 © 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 01.06.2022.

PhD in Engineering Psiuk V. V. (*DonSTI, Alchevsk, LPR, psukvv@gmail.com*), **PhD in Engineering Antoshina T. V.** (*DonSTI, Alchevsk, LPR, tvantos@ukr.net*), **Merzliakov I. A.** (*ООО “SPC ‘Svarkon’”, Alchevsk, LPR, svarkon1@mail.ru*), **Nikishina I. A.**

(*LSU named after V. Dahl, Lugansk, LPR, nik1.ir@yandex.ru*)

ASSESSING THE STRESS-STRAIN STATE OF U-4 BRIDGE GALLERY STRUCTURES OF THE COKE-CHEMICAL PRODUCTION OF THE BRANCH № 1 “ALCHEVSK IRON-AND-STEEL WORKS” ООО “YuGMK”

The article presents the results of assessing the stress-strain state of U-4 bridge gallery structures, considering the actual technical condition after a long period of operating without proper maintenance. Based on the results obtained, measures are proposed to bring the gallery structures into a technical condition suitable for normal operating.

Key words: *load-bearing capacity, pitched truss, transport gallery, technical condition, monitoring of the current condition.*