

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРИГОДНОСТИ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГАЛЕРЕИ СКЛАДА
РЯДОВОГО УГЛЯ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ**

УДК 624.012.35/.137.54:623.687
ГОУ ВПО «Томский государственный
архитектурно-строительный универ-
ситет»

Василий Сергеевич Плевков
Профессор кафедры «Железобетонные
и каменные конструкции»,
доктор технических наук, профессор

Игорь Владимирович Балдин
Доцент кафедры «Железобетонные и каменные конструкции», кандидат технических наук

Дмитрий Геннадьевич Уткин
Доцент кафедры «Железобетонные и каменные конструкции», кандидат технических наук

Сергей Владимирович Балдин
Аспирант кафедры «Железобетонные и каменные конструкции»

В настоящей статье приведены результаты оценки технического состояния и восстановления эксплуатационной пригодности строительных конструкций галереи от блока надшахтного здания на склад рядового угля обогатительной фабрики шахты им. С.М. Кирова в г. Ленинск-Кузнецке Кемеровской области, проведенной осенью 2010 г.

Галерея представляет собой многопролетное инженерное сооружение переменной высоты по длине и прямоугольной формы в плане. Проект галереи разработан институтом «Гипроуголь». Общие размеры сооружения в плане равны 137,4×4,9 м, высота – от 1,35 (у оси «Г») до 34,5 м (в месте примыкания к разгрузочной башне по оси «Л»). Общий вид галереи представлен на рис. 1. В галерее установлен подвесной конвейер производительностью 1600 т/ч.

Несущими конструкциями пролетных строений галереи являются металлические балки сварного двутаврового сечения: двухпролетные (2×30 м) Б1 в осях «И-Л» высотой 2,0 м, трехпролетные (2×24+21 м) Б2 и Б3 в осях «Г-Ж» высотой 1,5 м. Балки состоят из нескольких отпавочных марок по длине конструкций, отличающихся по толщине и марке стали стенок. Соединения марок – фланцевые, на высокопрочных болтах. Балки пролетных строений опираются на железобетонную разгрузочную башню по оси «Л», металлическую неподвижную пространственную опору в осях «И-Ж», неподвижную опору по оси «Г», металлические качающиеся опоры по осям «К», «Е», «Д».

По балкам пролетных строений уложены сборные керамзитобетонные «корытообразные» плиты перекрытия. По плитам смонтированы металлические рамы надпролетного строения, состоящие из полуарок, к которым подвешены конструкции конвейера.

Стеновое ограждение выполнено из металлических стеновых панелей арочного типа с утеплителем из минераловатных плит.



Рис. 1. Общий вид галереи

Фундаменты под опоры галереи – свайные, с монолитными железобетонными ростверками.

Проведенное обследование показало, что галерея от блока надшахтного здания на склад рядового угля обогатительной фабрики шахты им. С.М. Кирова в целом находится в недопустимом состоянии. Некоторые строительные конструкции галереи (металлические балки Б1 пролетного строения в осях «Л-И», металлическая качающаяся опора по оси «К») находятся в аварийном состоянии.

При обследовании выявлено, что фактическое расположение конуса угля у галереи существенно отличается от проектного, что вызывает горизонтальное и вертикальное давление на качающуюся опору и приводит к ее дополнительным деформациям. При этом верхняя часть металлической опоры выше обетонированных участков стоек наклонилась в сторону крайней левой опоры относительно вертикали на 24° (рис. 2).

Металлические балки Б1 пролетного строения в осях «И-Л» имеют значительные перемещения в месте установки качающейся опоры по оси «К» и находятся в аварийном состоянии (рис. 3).



Рис. 2. Деформации металлической качающейся опоры по оси «К»

В процессе инструментального обследования строительных конструкций галереи производился мониторинг за деформациями неразрезных металлических балок Б-1 в осях «И-Л, 4/1-4/2». С помощью сертифицированных и поверенных приборов (электронный теодолит DJD5, электронный уровень S-Digit60 и лазерный дальномер «Leica Disto A5») была проведена геодезическая съемка металлических балок в осях «И-Л».

Кроме того, маркшейдерской службой шахты была произведена исполнительская съемка прогибов металлических балок Б-1. В процессе наблюдений было отмечено развитие деформаций металлических балок в зоне промежуточной качающейся опоры. При этом выявлено, что в период с августа по ноябрь прогиб балок в зоне установки качающейся опоры по оси «К» увеличился в 1,32 раза, и, по состоянию на 24 ноября 2010 года, составил 49,6 см, что в 2,07 раза выше предельно допустимого прогиба для таких конструкций.

В рамках противоаварийных мероприятий были установлены временные ряжевые и гидравлические опоры с обеих сторон деформированной качающейся опоры по оси «К». При этом ряжевая опора из деревянных брусьев, установленная первоначально только с одной стороны опоры, по состоянию на сентябрь 2010 года была разрушена (рис. 4). Под деформированные балки пролетных строений были подведены гидравлические подъемники.

В результате деформаций металлических балок и качающейся опоры по оси «К» деформировались и другие строительные конструкции и их элементы в осях «4/1-5/1, Л-И», в частности, узлы опирания металлических балок Б-1 на неподвижную металлическую пространственную опору, расположенную в осях «4/1-4/2, И-Ж». При этом болты крепления балок к опорам оказались сорванными или загнутыми.



Рис. 3. Прогиб металлических балок Б1



Рис. 4. Разрушенная ряжевая опора из деревянных брусьев

У металлических балок Б-1 в отдельных местах стенка, сваренная из стальных листов по длине и высоте балок, потеряла устойчивость в результате общих деформаций конструкций, повреждены также сварные швы между отдельными элементами стенки.

Для оценки деформативности и прочности элементов галереи выполнены статические расчеты пространственной системы, которая образована металлическими балками пролетных строений, опорами, рамами надстройки, связями, железобетонными плитами перекрытия галереи, железобетонными и металлическими конструкциями разгрузочной башни. При этом рассмотрены:

- расчет галереи при проектном конструктивном решении;
- расчет галереи по деформированной схеме, обусловленной деформациями металлической качающейся опоры по оси «К»;
- расчет галереи с учетом усиления поврежденной опоры по оси «К», путем подведения дополнительных стоек и подкосов;
- расчет галереи с учетом подведения дополнительных опор и усиления поврежденной опоры по оси «К»;
- расчеты галереи с учетом подведения дополнительных опор и усиления, с учетом выключения из работы поврежденной опоры по оси «К».

Пространственные расчетные схемы галереи содержат свыше 3470 узлов и 3930 конечных элементов. Общий вид расчетной схемы пространственной системы галереи представлен на рис. 5. Статические расчеты выполнены в линейной постановке и с учетом геометрической нелинейности.

На первом этапе статических расчетов получены значения перемещений узлов системы и усилия в элементах от каждого нагружения; расчетные сочетания усилий в элементах несущих конструкций; перемещения и усилия при расчетных комбинациях нагружений, напряжения в элементах балок пролетных строений и другие параметры при проектном конструктивном решении.

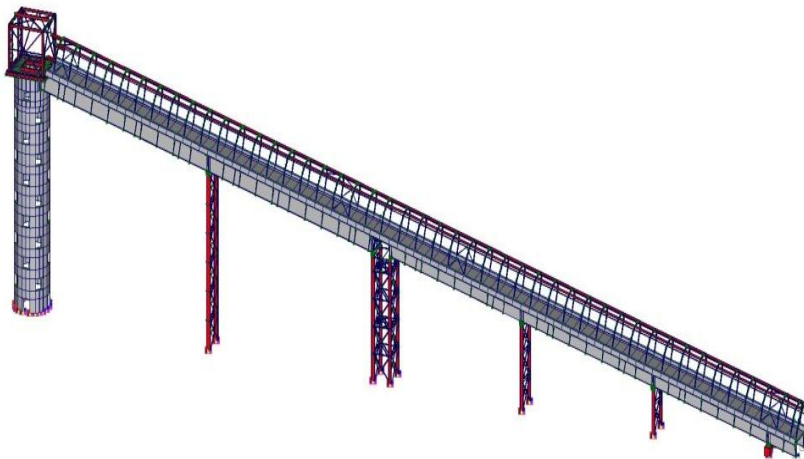


Рис. 5. Общий вид расчетной схемы пространственной системы галереи

На втором этапе было смоделированы замена связей балок Б1 с пространственными опорами на реакции в качающейся опоре по оси «К» и уменьшение опорных реакций, полученных на предыдущем этапе расчета, таким образом, чтобы перемещения балок пролетных строений соответствовали реальным, полученным в результате деформаций качающейся опоры по оси «К».

Далее, по полученным значениям перемещений построена деформированная схема пространственного блока в осях «И-Л» галереи, с учетом деформаций опоры по оси «К». На деформированную схему приложены дополнительно нагрузки от веса транспортируемого угля, снеговая нагрузка, нагрузка от просыпи угля, ветровая нагрузка. Расчет блока выполнялся в линейной и геометрически нелинейной постановке.

Оценка несущей способности балок Б-1 деформированного блока галереи в осях «И-Л, 4/1-4/2» выполнялась по суммарным напряжениям в элементах балок Б-1 при действии постоянных и временных нагрузок на основе поверхностей относительного сопротивления по прочности сечений и элементов в целом [1, 2].

Условия относительной прочности нормальных сечений металлических элементов (во всем диапазоне их загрузки от растяжения до сжатия) определены численно, на основе деформационной модели, и аналитически. Предельные изгибающие моменты, воспринимаемые элементом, приняты относительно центра тяжести сечения. За единичные параметры назначены несущая способность сечения при сжатии и сжатии с изгибом относительно его центра тяжести.

На рис. 6 приведены области относительной прочности прямоугольного и двугаврового несимметричного сечений, полученные численно на основе деформационной модели и нелинейной диаграммы для стали. При одинаковой прочности стали стенок и полок в зависимости от величины пластических деформаций ε_{pl} очертания границ и площади относительной прочности сечений изменяются. При $\varepsilon_{pl} = 0$ границы областей относительной прочности ограничены четырьмя отрезками прямых линий (1). Для прямоугольных сечений (рис. 6,а) область прочности симметрична относительно осей $\alpha_n = N/N_0$ и $\alpha_m = M/M_0$, где $N_0 = R_y \cdot A$, $M_0 = R_y \cdot S$. При этом максимальные и минимальные относительные моменты равны $\pm 2/3$.

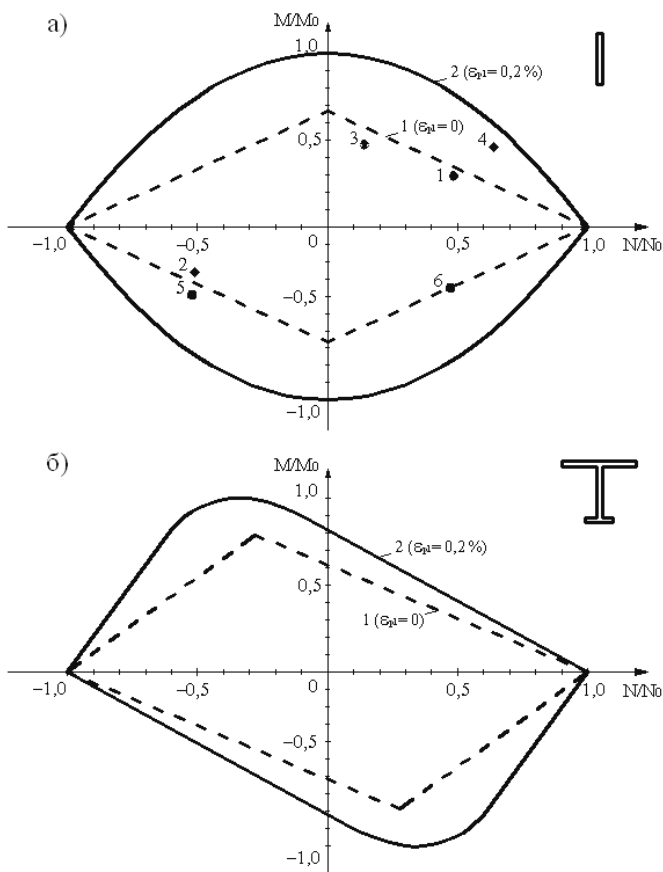


Рис. 6. Области относительной прочности для прямоугольного (а) и двугаврового (б) сечений при $\varepsilon_{pl} = 0$ (линия 1) и $\varepsilon_{pl} = 0,2\%$ (линия 2)

Для двутаврового несимметричного сечения (рис. 6,б) при $\varepsilon_{pl} = 0$ (линия 1) максимальные и минимальные относительные моменты осесимметричны на величину $\alpha_{n0} = \beta = (A_1 - A_2) / A$ (где A , A_1 , A_2 – площади соответственно всего сечения и его частей, расположенных ниже и выше центра сечения).

При учете пластических деформаций границы областей прочности (кривая 2 на рис. 6) искривляются, площадь относительной прочности увеличивается, при этом максимальный относительный момент приближается к единице. В общем случае кривая, ограничивающая область относительной прочности несимметричных сечений, может быть аппроксимирована восходящей и нисходящей ветвями двух парабол, основания которых соответственно равны $C+\beta$ и $C-\beta$ (здесь $C = 2$ для металлических элементов).

Большая наглядность в расчетах прочности элементов достигается при векторном представлении относительных усилий, возникающих в рассматриваемых сечениях, части или элементе в целом от внешних воздействий. При этом каждому воздействию или сумме воздействий будут соответствовать компоненты векторов действующих относительных усилий. Концы данных векторов описывают поле или поверхность относительных усилий от внешних воздействий. В то же время отдельным точкам поверхности или областям относительной прочности элементов соответствуют компоненты вектора сопротивления. Разность между компонентами векторов относительного сопротивления и действующих относительных усилий названа компонентами векторов запаса прочности сечений элементов. При положительном их значении условия прочности рассматриваемого элемента выполняются, в противном случае – не выполняются. Графически это означает, что если вектора относительных усилий от внешних воздействий располагаются внутри поверхности сопротивления, то условия прочности сечений выполняются, если выходят за пределы поверхности сопротивления, то прочность не обеспечивается. На рис. 6 точками обозначены концы векторов относительных усилий от нагрузок 1...6. При отсутствии пластических деформаций для нагрузок 1, 2, 3 и 6 прочность обеспечена, а для 4 и 5 – не обеспечена.

Таким образом получено, что при фактическом состоянии деформированного блока галереи в осях «И-Л, 4/1-4/2» с поврежденной опорой при фактически действующих нагрузках не обеспечивается прочность балок Б-1 в середине пролетов, перегрузка составляет до 29,5%. Устойчивость стенки и сжатых полок балок Б1 с учетом имеющихся деформаций также не обеспечивается.

Институтом «Кузбассгипрошахт» предложен вариант усиления балок путем подведения двух дополнительных пространственных опор: на расстоянии 2,85 м от поврежденной опоры по оси «К» в сторону оси «Л»

и на расстоянии 5,85 м от опоры по оси «К» в сторону оси «И». Дополнительные опоры выполняются из металлических труб, заполненных бетоном. Трубы по высоте соединяются горизонтальными распорками. По верху опор устанавливаются металлические балки, на которые осуществляется опирание балок Б1 пролетного строения галереи. Опорные балки приняты двутаврового сечения высотой 1500 мм с шириной полки 600 мм, толщиной 60 мм и толщиной стенки 20 мм.

На данной расчетной схеме было промоделировано выключение из работы верхней части деформированной опоры по оси «К» и полная передача нагрузки от балок пролетного строения на балки дополнительных опор. Анализ результатов расчетов показал, что при выключении из работы деформированной опоры и полной передаче нагрузок от балок пролетного строения на дополнительные опоры максимальные дополнительные перемещения балок Б1 при действии временных и технологических нагрузок существенно возрастают.

Анализ результатов проверочных расчетов показывает, что при усилении деформированного блока галереи в осях «И-Л, 4/1-4/2» с поврежденной опорой путем подведения дополнительных пространственных опор при фактически действующих нагрузках напряженно-деформированное состояние балок Б-1 практически не меняется, прочность в пролетах не обеспечивается, перегрузка составляет до 29,6%.

Авторами предложен как противоаварийный вариант усиления деформированной опоры по оси «К» путем подведения дополнительных элементов, для которого были выполнены статические расчеты пространственного блока деформированных балок пролетного строения и опоры по оси «К» с учетом предложенного усиления деформированной опоры. При этом получено, что дополнительные перемещения балки от действия временных и технологических нагрузок в данном случае уменьшились на 4,6%, а дополнительные напряжения в элементах балки Б1 – в 1,44-1,50 раза по сравнению с расчетом блока с подведением дополнительных опор, предложенных институтом «Кузбассгипрошахт». В данном случае напряжения в балках Б-1 снижаются до 15% по сравнению с расчетом без усиления, однако прочность балок в пролетах также не обеспечивается.

Установлено, что усиление поврежденной опоры установкой дополнительных элементов (подкосов) приводит к значительному снижению горизонтальных и вертикальных деформаций опоры, а также к значительному снижению изгибающих моментов, возникающих в элементах поврежденной опоры.

Для уменьшения общих прогибов балок Б-1 пролетного строения галереи, уменьшения напряжений, возникающих в элементах балок, а также для возвращения расчетной схемы пространственного блока галереи в осях «И-Л» к близкой к проектной расчетной схеме рекомендовано выполнить частичную разгрузку балок Б-1. Разгрузка выполняется при

помощи гидравлических домкратов в количестве 4 шт., устанавливаемых на опорные металлические балки дополнительных опор под балки Б-1 в местах их опирания.

Были выполнены статические расчеты пространственного блока галереи в осях «И-Л» с целью получения напряженно-деформированного состояния балок Б-1 пролетного строения и подводимых опор усиления при различных уровнях создаваемых домкратами разгружающих усилий. Расчет выполнялся в несколько этапов.

Для получения деформированной схемы предварительно было выполнено сопоставление результатов расчета пространственной системы галереи исходной схемы с подведением пространственных опор усиления и расчета рассматриваемого блока с заменой связей балок Б1 с пространственными опорами на реакции. Анализ результатов расчетов показывает, что разница в перемещениях и напряжениях не превышает 2,5-4,2%.

На полученную схему с опорными реакциями приложены разгружающие усилия от домкратов. Были рассмотрены три варианта расчетов, когда каждым из 4-х домкратов создается усилие, равное: 10 тс (100 кН), 15 тс (150 кН), 20 тс (200 кН).

Оценка несущей способности металлических балок Б-1 пролетного строения при создании разгружающих усилий показала, что прочность всех сечений балок пролетного строения обеспечивается с минимальным запасом $K = 1,01$ при уровне разгружающего усилия, равного 15 тс (150 кН) под каждой опорой. При этом деформации балок Б-1 над поврежденной опорой по оси «К» уменьшаются на 225 мм.

При уровне разгружающего усилия равного 20 тс (200 кН) под каждой опорой балок Б-1 прочность всех сечений балок пролетного строения обеспечивается с минимальным запасом $K = 1,03$. При этом деформации балок Б-1 над поврежденной опорой по оси «К» уменьшаются на 300 мм.

Кроме противоаварийных мероприятий, разработаны варианты усиления:

- потерявших устойчивость участков стенки и полок балок Б1;
- поврежденных узлов опирания балок на металлическую пространственную опору по оси "И-Ж";
- узлов опирания металлических балок Б2 и Б3 на железобетонную опору по оси "Г";
- железобетонной опоры по оси "Г", имеющей многочисленные механические и коррозионные повреждения и низкую прочность бетона.

Для дальнейшей нормальной эксплуатации галереи разработаны также рекомендации по восстановлению эксплуатационной пригодности металлических конструкций и керамзитобетонных плит перекрытия, усилению их механических и коррозионных повреждений.

Выполнение предложенного комплекса противоаварийных мероприятий и ремонтно-восстановительных работ обеспечило дальнейшую нормальную эксплуатацию галереи подачи угля, которая является одним из основных сооружений, обеспечивающих бесперебойную работу шахты.

Библиографический список

1. Болдышев А.М. Расчет стальных стержневых конструкций с использованием областей прочности // Вестник ТГАСУ. 2000, №1. – С.136-143.
2. Оценка прочности и деформативности элементов купола здания мечети мусульманского духовно-культурного центра в г.Кемерово при статических и динамических воздействиях / В.С. Плевков, И.В. Балдин, Е.А. Мелехин, С.В. Балдин // Пространственные конструкции зданий и сооружений (Исследования, расчет, проектирование и применение): Сб. статей. Вып. 11 / МОО «Пространственные конструкции»; под. ред. В.В. Шугаева и др. – М., 2008. С. 165-172.