

УДК 69.059.14: 69.059.22

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ АВАРИЙНОГО СОСТОЯНИЯ ПЛОЩАДКИ ОБСЛУЖИВАНИЯ СООРУЖЕНИЯ

Локтев Д.А., Рожков А.Ф., Коренчук В.В., Лях Н.И., Белова Н.В.

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: sngv@mail.ru

Рассмотрен практический случай экспертизы аварийного состояния металлической площадки обслуживания, в которой отказ узла соединения консольной балки площадки с железобетонной колонной сооружения привел к ее обрушению. Установлено, что основной причиной обрушения стало преждевременное исчерпание несущей способности закладной детали железобетонной колонны сооружения (разрыв анкерных стержней закладной детали). В ходе технического анализа были проработаны варианты эксплуатации площадки по проекту и по факту на момент обрушения. Для этого были выявлены основные качественные и количественные отклонения конструктивного решения элементов площадки обслуживания от проекта, такие как отсутствие подкосов – ошибка изготовления или монтажа; непроектное положение анкерных стержней закладной детали – ошибка ее изготовления. С применением метода конечных элементов выполнено моделирование различного состояния площадки обслуживания: аварийного (моделирование ошибок) и проектное (без ошибок). В результате моделирования и расчета установлены наиболее нагруженные анкерные стержни закладной детали. Выполнен расчет несущей способности анкерных стержней. На основе полученных данных определены: причины обрушения площадки обслуживания сооружения и степень влияния отклонений конструктивного решения площадки от проекта на ее несущую способность.

Ключевые слова: аварийное состояние, площадка обслуживания, обрушение, моделирование, ошибка монтажа, ошибка эксплуатации, ошибка изготовления

MODELING AND ANALYSIS EMERGENCY CONDITION OF THE SERVICE PLATFORM CONSTRUCTION

Loktev D.A., Rozhkov A.F., Korenchuk V.V., Lyakh N.I., Belova N.V.

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: sngv@mail.ru

The practical case of examination of the emergency condition of the metal service platform, in which the failure of the junction of the cantilever beam platform with reinforced concrete column structures led to its collapse. It was found that the main cause of the collapse was premature exhaustion of the bearing capacity of the embedded part of the reinforced concrete column of the structure (rupture of the anchor rods of the embedded part). In the course of the technical analysis, the options for operating the site for the project and for the fact at the time of collapse were worked out. For this purpose, the main qualitative and quantitative deviations of the constructive solution of the service site elements from the project were identified, such as: the absence of struts – a manufacturing or assembly error; the non-project position of the anchor rods of the embedded part – the error of its manufacture. Using the method of finite element modeling of different States of service platforms: security (simulation error) and project (without errors). The simulation and calculation of the most loaded anchor studs of a fixture. The calculation of bearing capacity of anchor rods. On the basis of obtained data determined: causes of the collapse of the maintenance area buildings and the degree of influence of deviations of the constructive solutions of the sites of the project at its carrying capacity.

Keywords: emergency condition, service platform, failure, modeling, installation error, operational error, error of manufacture

В практике обследования и экспертизы технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений регулярно встречаются случаи аварийного и ограниченно работоспособного (предаварийного) состояния строительных конструкций, несущая способность которых или уже исчерпана, или близка к своему исчерпанию. Своевременные меры по восстановлению несущей способности аварийных конструкций позволяют существенно снизить затраты на эксплуатацию всего здания или сооружения, а главное, не допустить угрозу жизни и здоровья людей [1, 2].

При обследовании строительных конструкций фиксируются первоначальные (непроектное положение и соединение, отсутствие элементов, сниженное качество

материалов и др.) и постепенные накопления дефектов и повреждений (трещины, сколы, коррозия и др.), что в ряде случаев усложняет поверочные методы расчета этих конструкций, которые могли бы отразить их фактическую несущую способность. Поэтому перед инженерами ставится непростая задача: смоделировать расчетом аварийное состояние строительных конструкций таким образом, чтобы оно соответствовало фактическому аварийному состоянию, и предложить корректные меры по восстановлению их несущей способности.

В данной статье анализируется один из случаев аварийного состояния строительных конструкций площадки обслуживания сооружения, отказ закладной детали которой привел к ее обрушению.

Цель статьи заключается в моделировании работы закладной детали железобетонной колонны и установлении причин истощения ее несущей способности.

Для достижения цели требуется:

1. Установить метод расчета, отражающий все особенности работы конструкций.
2. Выполнить моделирование расчетных случаев.
3. Установить причины истощения несущей способности конструкции.

Конструктивное решение площадки представляет собой металлическую балочную клетку шириной до 2 м, расположенную вдоль сооружения, которая крепится

к каждой колонне через закладную деталь МН и металлический подкос П1 (рис. 1, 2).

Установленные начальные отклонения рассматриваемой конструкции от проекта:

- 1) отсутствие подкосов П1 – ошибка эксплуатации или монтажа;
- 2) непроектное положение анкерных стержней закладной детали МН (рис. 3, разрез 2–2) – ошибка изготовления.

Перед инженерами стояла задача рассмотрения совместного и отдельного влияний отклонений 1 и 2, а также их отсутствия (соответствие проекту) на несущую способность всей площадки обслуживания.

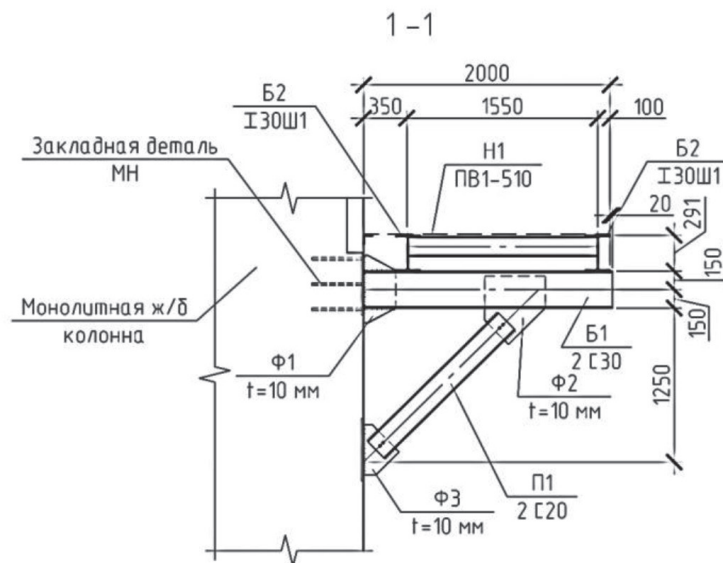


Рис. 1. Поперечный разрез и маркировка элементов площадки

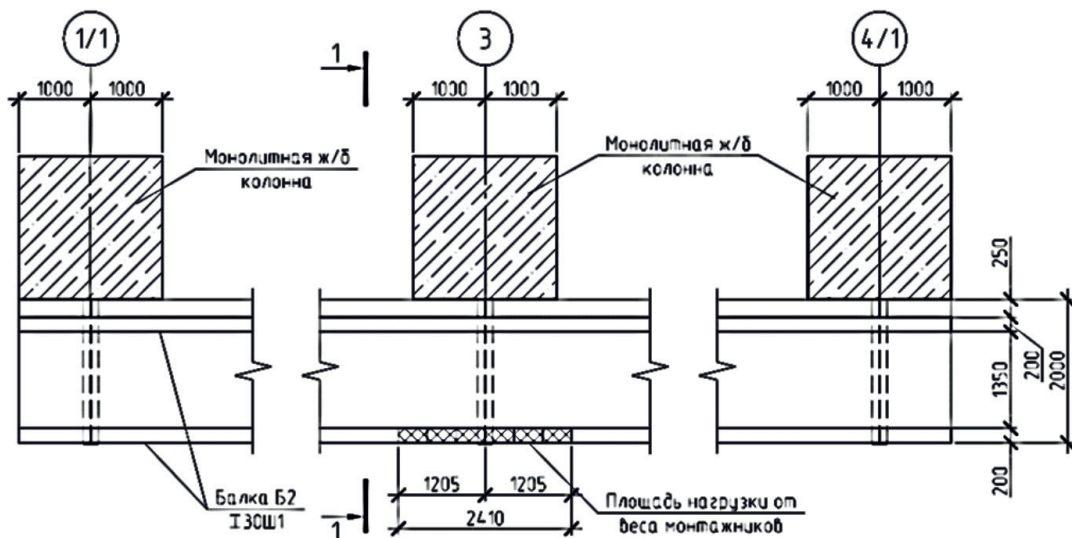


Рис. 2. Схема расположения элементов площадки и нагрузки от веса монтажников

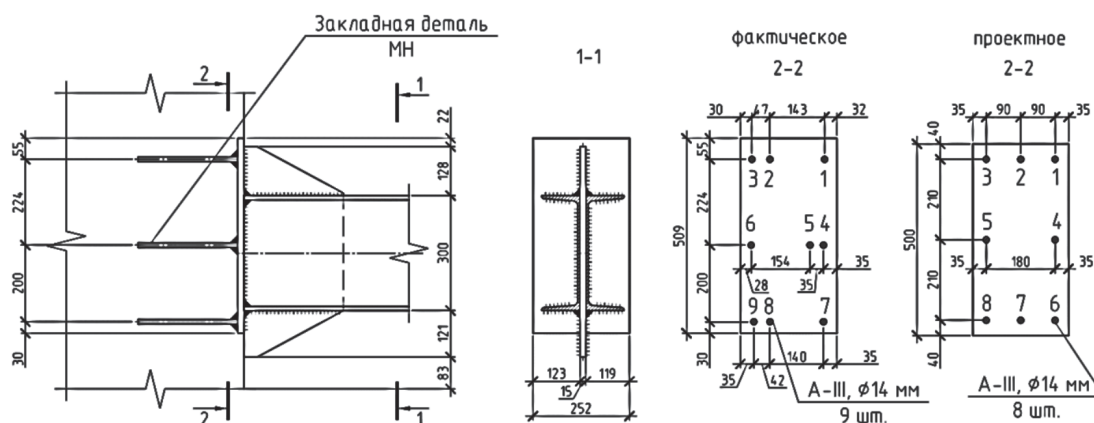


Рис. 3. Фактическое и проектное расположение элементов закладной детали МН исследуемого узла крепления

Таблица 1

Загружения и сочетания загрузки площадки

№ п/п	Загружение/сочетание	Нормативное значение	Коэф-т надежности по нагрузке	Расчетное значение
1	Собственный вес металлических деталей площадки, заданных в расчетной схеме	Рассчитывается программой	1,05	Рассчитывается программой
2	Вес настила (просечно-вытяжной лист ПВ1-510)	0,254 кПа	1,05	0,267 кПа
3	Вес ограждения	0,181 кН/м	1,05	0,19 кН/м
4	Вес монтажников (всего 6)	6 кН	1,2	7,2 кН
	C1			$N1*1,05 + N2*1,05 + N3*1,05 + N4*1,2$

Примечание. 1) N1, N2, N3, N4 – нормативные значения нагрузок; 2) Нагрузку от веса монтажников для расчетной схемы прикладывали путем пересчета в нагрузку на линию соответствующей длины.

Согласно проведенному анализу исходной проектной документации на площадку обслуживания, установлено, что равномерная передача усилий на все анкерные стержни расчетного ряда не обеспечена. В связи с этим наиболее вероятной является потеря несущей способности закладной детали через потерю несущей способности анкерных стержней в зоне их соединения с пластиной закладной детали.

Поиск усилий, действующих в анкерных стержнях закладной детали, необходимо определять путем моделирования, расчета и анализа НДС всей площадки. Это позволит найти усилия в анкерных стержнях закладной детали по отдельности, с учетом любого (проектного или фактического) их расположения и выполнить анализ их прочности, а в случае, если прочность анкерного стержня обеспечена, анализ прочности их сварных соединений к пластине.

В соответствии с [3, 4] расчет конструкций по предельным состояниям первой и второй групп следует выполнять с учетом неблагоприятных сочетаний нагрузок или соответствующих им усилий. Эти сочетания устанавливаются из анализа реальных вариантов одновременного действия различных нагрузок для рассматриваемой стадии работы конструкции.

Расчетному анализу подвергнут случай одновременного расположения 6-ти монтажников вблизи внешнего края площадки у оси «3». Подробная схема расположения нагрузки от монтажников представлена на рис. 2.

Атмосферные воздействия в расчете были приняты фактическими и на момент обрушения отсутствовали.

Прочностной анализ конструкций площадки вели от сочетания C1 расчетных нагрузок, представленного в табл. 1.

Нагрузки на схему прикладывали в соответствии с табл. 1. Нагрузку от веса монтажников суммарной величиной 7,2 кН распределили по длине 2,41 м интенсивностью 2,99 кН/м. Нагрузку от настила и от ограждения прикладывали по пролетным балкам площадки в виде равномерно-распределенной нагрузки по длине соответствующей величины.

Расчет НДС элементов площадки выполнен с использованием программного комплекса (ПК) SCAD.

Для расчета элементов площадки в условиях, приближенных к реальным, часть элементов задавали с помощью оболочечных элементов (КЭ оболочки, тип 44), а именно (маркировка приведена в соответствии с рис. 1): закладная деталь МН, консольная балка Б1, пластины Ф1, Ф2, Ф3. Остальные элементы площадки заданы стержневыми конечными элементами (рис. 4).

Физическую нелинейность работы материалов в расчете не учитывали. Геометрическую нелинейность учитывали для контактного взаимодействия пластины закладной детали МН с телом колонны.

Фактическое расположение элементов исследуемого узла, толщины пластин, а также номер профиля швеллера были приняты на основании предоставленной проектной документации.

Сетка конечных элементов закладной детали МН построена таким образом, чтобы учесть предполагаемое проектом расположение анкерных стержней (рис. 5).

Закрепление расчетной схемы в пространстве выполнено на концах анкерных стержней закладной пластины МН через шарнирно-неподвижные связи (направление вдоль X, Y, Z), а в узлах соединения анкерных стержней с пластиной задавали шарнирно-подвижные связи (по направлению вдоль X, Z – закрепляли, по Y – освобождали). Подкосы закрепили через узлы пластины Ф3 по всей высоте (через жесткие связи).

Контактное взаимодействие пластины закладной детали МН с бетоном колонны решали через односторонние связи, жесткость которых на растяжение принимали нулевой (имитация свободного отрыва пластины от поверхности колонны), а жесткость на сжатие принимали эквивалентной жесткости на сжатие бетона В25 колонны.

Силу трения закладной детали МН с телом колонны не учитывали.

Результаты расчета усилий, действующих в наиболее нагруженных анкерных стержнях закладной детали МН, расположенной в оси «3», отражены в табл. 2. Расчетом учтены проектное и фактическое расположение анкерных стержней, а также присутствие и отсутствие подкосов П1 площадки обслуживания. Нумерация анкеров приведена в соответствии с рис. 3.

В табл. 2, 3 выделены подчеркиванием те анкерные стержни, внутренние усилия в которых превышают максимально допустимые исходя из расчета анкерных стержней по несущей способности в соответствии с формулами (6), (7), (9) [5].

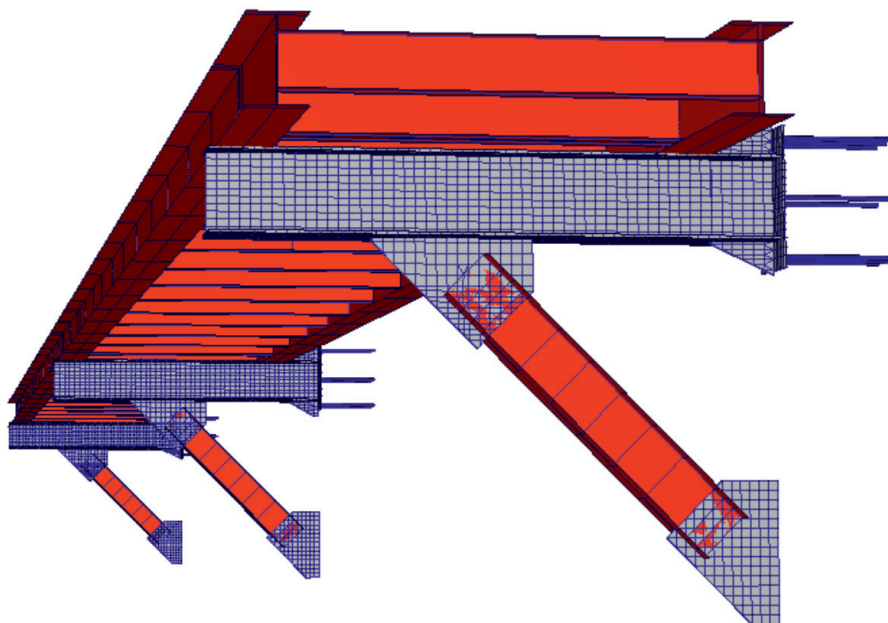


Рис. 4. Расчетная схема площадки с установленными подкосами

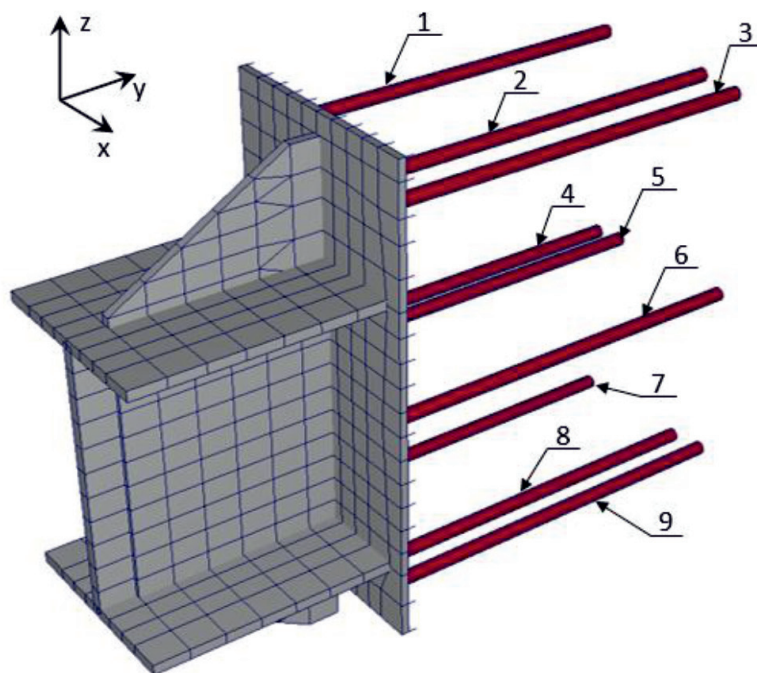


Рис. 5. Расчетная схема узла крепления консоли с фактическим положением арматурных стержней 1...9

Таблица 2

Результаты расчетов внутренних усилий в стержнях закладной детали МН

№ анк. стержня	Площадка с подкосами П1		Площадка без подкосов П1	
	Нанк., тс/Qанк., тс. (проект.)	Нанк., тс/Qанк., тс. (факт.)	Нанк., тс/Qанк., тс. (проект.)	Нанк., тс/Qанк., тс. (факт.)
1	0,316 / 0,054	0,403 / 0,088	2,221 / 0,086	3,386 / 0,603
2	1,218 / 0,153	0,679 / 0,179	6,457 / 2,309	5,964 / 1,354
3	0,316 / 0,054	0,136 / 0,04	2,221 / 0,086	1,038 / 0,237

Примечание. Все значения внутренних усилий даны по модулю.

Таблица 3

Результаты расчетов внутренних усилий в стержнях закладной детали МН без учета стержней № 2

№ анк. стержня	Площадка с подкосами П1		Площадка без подкосов П1	
	Нанк., тс/Qанк., тс. (проект.)	Нанк., тс/Qанк., тс. (факт.)	Нанк., тс/Qанк., тс. (проект.)	Нанк., тс/Qанк., тс. (проект.)
1	0,55 /	0,44 /	4,81 / 0,41	4,76 / 0,4
2	–	–	–	–
3	0,55 /	0,45 /	4,81 / 0,41	4,98 / 0,47

Примечание. Все значения внутренних усилий даны по модулю.

Анализ полученных результатов показал, что несущая способность анкерных стержней № 2 (а следовательно, и всей площадки обслуживания) при моделировании отсутствия подкосов не обеспечена. Отмечено, что стержень № 2 при фактическом расположении стержней в закладной детали

МН по сравнению с проектным расположением нагружен больше в 1,8 раза при исполнении с площадки подкосами и в 1,08 раза при исполнении без подкосов. Это обусловлено тем, что стержень № 2 при проектном расположении стержней в закладной детали МН установлен напротив верхнего ре-

бра жесткости $\Phi 1$, которое сосредотачивает изгибающий момент во всем узле, прежде всего на близлежащие стержни.

Исчерпание несущей способности узла площадки при варианте без подкосов наступает в стержнях № 2. Следующим этапом было моделирование работы площадки без учета этих стержней. Результаты представлены в табл. 3.

Анализ полученных результатов варианта площадки без подкосов показал, что отсутствие стержней № 2 распределило внутренние усилия на стержни № 1 и 3, а именно: в стержнях № 1 и 3 при проектном исполнении МН усилие возросло в 2,17 раза, при фактическом исполнении МН в стержне № 1 усилие возросло в 1,41, в № 3 в 4,8 раза. Заметим, что несущая способность стержней № 1 и 3, за счет более равномерного распределения внутренних усилий между ними, оказалась достаточной, чтобы площадка обслуживания продолжила эксплуатацию без подкосов.

Выводы

1. Отсутствие подкосов на площадке обслуживания как вид № 1 отступления от правил эксплуатации или монтажа вызва-

ло преждевременное исчерпание наиболее нагруженных анкерных стержней № 2 в закладной детали МН.

2. Исчерпание несущей способности анкерных стержней № 2 ведет к исчерпанию несущей способности площадки обслуживания только в том случае, если имеет место вид № 2 отступления от проекта – не проектное положение анкерных стержней закладной детали МН.

Список литературы

1. Шеин А.И. Некоторые причины отказа строительных конструкций / А.И. Шеин, В.В. Зернов, М.Б. Зайцев // Интернет-журнал «Науковедение». – 2016. – № 6(37). – С. 88.
2. Гукова М.И. Ошибки проектирования, изготовления и монтажа, приводящие к аварийному состоянию строительных конструкций производственных зданий и сооружений / М.И. Гукова, В.Г. Искендеров, М.И. Фарфель // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 10. – С. 25–28.
3. Свод правил: СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. – М.: Минрегион России, 2011. – 125 с.
4. Свод правил: СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП П-23-81*. – М.: Стандартинформ, 2017. – 145 с.
5. Рекомендации по проектированию стальных закладных деталей для железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1984. – 86 с.