

УДК 624.07

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ СТАЛЬНЫХ КАРКАСОВ МНОГОПРОЛЕТНЫХ ЗДАНИЙ НА НАСЫПНЫХ ГРУНТАХ

Шаферстов Илья Александрович, магистрант, направление подготовки 08.04.01 Строительство, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: shaferstoff@mail.ru

Научный руководитель: **Никulina Ольга Владимировна**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: nov25@bk.ru

***Аннотация.** Целью данной работы является анализ возможных конструктивных решений и расчетных схем стального несущего каркаса многопролетного здания, возведенного на насыпных грунтах, на примере трехпролетного здания склада готовой продукции предприятия, расположенного на территории Оренбургской области и построенного на месте старого карьера. Выбор данного объекта исследования продиктован возникшей на объекте аварийной ситуацией с несущими элементами покрытия, в результате неравномерных осадок основания. Рассмотрены два варианта конструктивного решения каркаса: фактическое решение (реализованное на объекте), с жестким присоединением стропильных ферм к подстропильным конструкциям и колоннам и вариант с шарнирным присоединением стропильных ферм к подстропильным фермам и к колоннам. В программном комплексе ЛИРА САПР выполнены статические расчеты поперечных рам каркасов на действие неравномерных осадок колонн, численные значения которых взяты из отчетов по геодезическому мониторингу осадок. Выявлена конструктивная схема каркаса, наименее чувствительная к неравномерным осадкам опор, которую следовало реализовать при проектировании данного объекта.*

***Ключевые слова:** стальной каркас, насыпные грунты, стропильные фермы, подстропильные фермы, колонны, жесткое сопряжение, шарнирный узел, расчетная схема, нагрузки, неравномерные осадки.*

***Для цитирования:** Шаферстов И. А. Особенности работы стальных каркасов многопролетных зданий на насыпных грунтах // Шаг в науку. – 2023. – № 4. – С. 98–101.*

FEATURES OF OPERATION OF STEEL FRAMES OF MULTI-SPAN BUILDINGS ON BULK SOILS

Shaferstov Ilya Alexandrovich, postgraduate student, training program 08.04.01 Construction, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: shaferstoff@mail.ru

Research advisor: **Nikulina Olga Vladimirovna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Structures, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: nov25@bk.ru

***Abstract.** The purpose of this work is to analyze possible design solutions and design schemes of a steel load-bearing frame of a multi-span building erected on bulk soils, using the example of a three-span building of a finished goods warehouse of an enterprise located in the Orenburg region and built on the site of an old quarry. The choice of this object of study is dictated by the emergency situation that has arisen at the facility with the bearing elements of the coating, as a result of uneven precipitation of the base. Two variants of the structural solution of the frame are considered: the actual solution (implemented at the facility), with rigid connection of the trusses to the sub-trusses and columns, and a variant with hinged connection of the trusses to the sub-trusses and columns. In the LIRA CAD software package, static calculations of the transverse frames of the frames for the effect of uneven column sediments were performed, the numerical values of which are taken from reports on geodetic monitoring of sediments. The structural scheme of the frame, the least sensitive to uneven precipitation of supports, which should have been implemented when designing this object, was revealed.*



Key words: steel frame, bulk soils, trusses, sub-trusses, columns, rigid coupling, hinge assembly, design scheme, loads, uneven precipitation.

Cite as: Shaferstov, I. A. (2023) [Features of operation of steel frames of multi-span buildings on bulk soils]. *Shag v nauku* [Step into science]. Vol. 4, pp. 98–101.

Данная работа посвящена исследованию причин аварийного состояния конструкций и даны рекомендации по наиболее эффективному варианту конструктивного решения одноэтажного трехпролетного здания склада, построенного на территории бывшего карьера одного из предприятий Оренбургской области. В процессе эксплуатации объекта произошли неравномерные осадки фундаментов из-за особых грунтовых условий, характеризующихся сложением насыпных грунтов без дополнительного уплотнения. Следствием неравномерных осадок явилась потеря несущей способности отдельных элементов стропильных ферм^{1, 2}. Произошел разворот средних фланцевых узлов ферм пролетом 30 метров и потеря устойчивости приопорных панелей ферм пролетом 12 метров [3].

Основной целью данной работы является анализ конструктивных решений и расчетных схем стального несущего каркаса многопролетного здания, возведенного на насыпных грунтах, а также работы элементов металлического каркаса здания при неравномерных осадках.

Конструктивная схема рассматриваемого здания – каркасная, со стальными элементами: несущие колонны каркаса двутаврового сечения, расположенные с шагом 6 м по оси *М* и 12 м – по осям *Ж, К, Л*; стропильные фермы пролетами 30 м, 18 м и 12 м, установленные с шагом 6 м на несущие колонны и подстропильные фермы. Сечения элементов ферм выполнены из прокатных спаренных уголков. Узлы сопряжения колонн с фундаментами, колонн с фермами и стропильных ферм с подстропильными в проекте приняты жесткими.

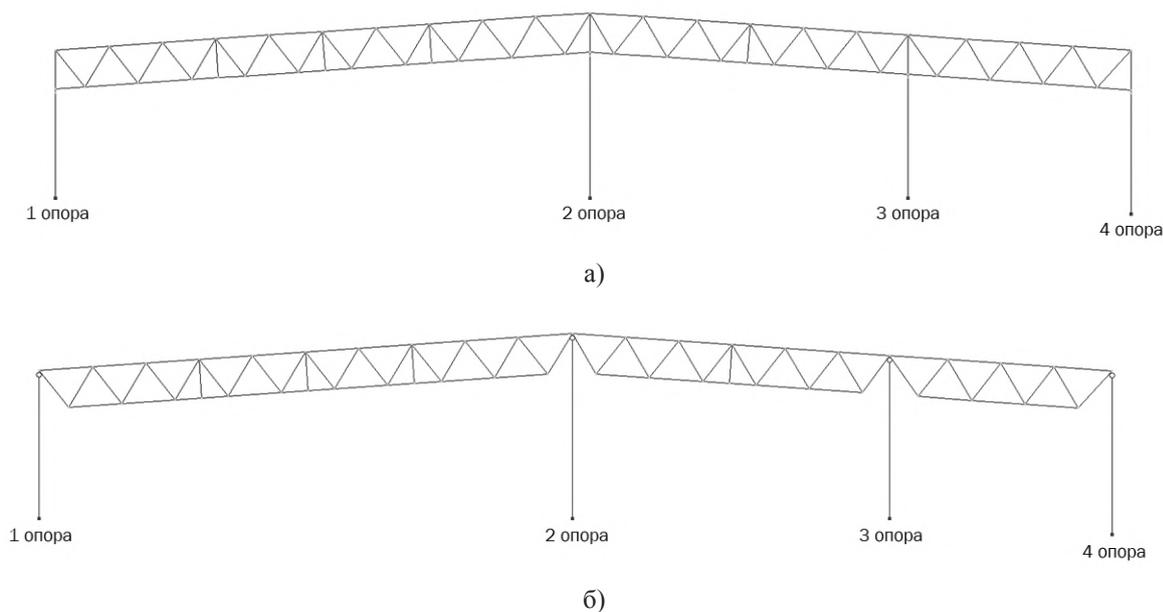


Рисунок 1. Варианты расчетной схемы поперечной рамы здания:

а) первый вариант схемы с жесткими узлами; б) второй вариант схемы с шарнирным опиранием ферм на колонны

Источник: разработано автором

¹ Никулина О. В., Шаферстов И. А. Влияние статической схемы стального каркаса одноэтажного многопролетного здания на работу его элементов при строительстве в сложных грунтовых условиях // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции, Оренбург, 26–27 янв. 2023 г. – Оренбург: ОГУ, 2023. – С. 2775–2779.

² Никулина О. В., Бобылева Д. Ю. Анализ расчетных схем стального каркаса одноэтажного многопролетного здания // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всерос. науч.-метод. конф. (с междунар. участием), Оренбург, 23–25 янв. 2019 г. – Оренбург: ОГУ, 2019. – С. 428–433.

Для предварительных исследований рассмотрены два варианта плоской поперечной рамы каркаса здания с жестким закреплением колонн на фундаментах и с двумя вариантами сопряжения ферм с колоннами: жестким и шарнирным (рисунок 1). В первом варианте расчетной схемы фермы имеют жесткое сопряжение с колоннами за счет фланцевого соединения опорных узлов верхнего и нижнего поясов ферм с колоннами на болтах, исключающих поворот опорного сечения фермы на опоре, как и в рассматриваемом здании склада. Во втором варианте применены стропильные фермы с нисходящими опорными раскосами и с шарнирным опиранием верхнего пояса ферм на колонны. Габаритная высота стропильных конструкций принята одинаковой для обоих вариантов схем, с целью возможного дальнейшего сравнения конструктивных решений по расходу материалов [4; 7].

На первом этапе сравнения решалась задача определения расчетных усилий в элементах стропильных ферм без осадок и с неравномерными осадками с целью выявления наименее чувствительной расчетной схемы к неравномерным осадкам основания.

Статический расчет двух вариантов поперечной рамы был выполнен в программном комплексе ЛираСАПР. Были проведены расчеты на действие постоянной, снеговой и ветровой нагрузок³ и смещение опор. Величины осадок принимались из отчетов геодезического мониторинга, проведенного в соответствии с требованиями нормативной документации⁴. Были

рассмотрены варианты осадки всех колонн, соответствующие осадкам стоек рамы с наибольшей разницей осадок опор в поперечном направлении, а также варианты осадки каждой опоры в отдельности с максимальным значением.

Для варианта с жестким сопряжением ферм с колоннами выявлено, что в результате действия неравномерных осадок всех колонн поперечной рамы, в отдельных стержнях ферм знаки усилий изменились на противоположные: например, в верхнем и нижнем поясах ферм пролетом 12 м и 18 м у третьей опоры. При осадках каждой колонны в отдельности выявлено следующее изменение усилий в элементах ферм: при осадках крайних колонн смена знаков происходит в элементах панелей ферм, расположенных в середине пролета, а при осадках средних колонн знаки усилий изменяются для элементов приопорных панелей ферм [6].

Приведенные в таблице 1 результаты расчетов позволяют оценить влияние осадок колонн расчетной схемы рамы с жесткими узлами сопряжений всех элементов (вариант 1) на работу элементов стропильных ферм. Очевидно, что наибольшие усилия в стержнях ферм возникают при осадке колонн, на которые опираются эти фермы. Численные значения усилий в указанных элементах в несколько десятков и даже сотни раз превышают значения усилий без осадок, что даже при одинаковых знаках усилий в элементах может привести к аварийной ситуации из-за потери их несущей способности [2].

Таблица 1. Сводная таблица результатов расчета первого варианта расчетной схемы

	Продольные усилия в стержнях приопорных панелей ферм, кН							
	Опора 1		Опора 2		Опора 3		Опора 4	
	верхний пояс	нижний пояс	верхний пояс	нижний пояс	верхний пояс	нижний пояс	верхний пояс	нижний пояс
Без осадок	-47,6	-96,6	384,2	-505,3	14,0	-101,4	-60,7	-12,7
При осадках	-8,5	-170,2	326,5	-497,3	-581,6	535,5	-101,7	-118,9
При осадке опоры 1	-76,5	-27,7	607,6	-724,7	-6,9	-63,5	-77,5	12,5
При осадке опоры 2	-3,8	-244,9	-341,4	247,4	656,4	-832,8	56,2	-29,0
При осадке опоры 3	-14,8	-86,6	1039,8	-1286,5	-1836,7	1923,6	-267,4	-200,5
При осадке опоры 4	-81,8	-38,7	342,1	-399,8	800,5	-951,5	0	114,8

Источник: разработано автором

³ СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. – М.: Стандартинформ, 2016. – 73 с.

⁴ СП 305.1325800.2017. Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве – М.: Стандартинформ, 2016. – 56 с.

И даже при незначительных изменениях абсолютных значений усилий в элементах ферм, смена знаков усилий с растяжения на сжатие может привести к потере устойчивости отдельных элементов ферм и нарушению их узловых соединений, и, как следствие, конструкция превратится в геометрически изменяемую систему, не способную воспринимать действующие нагрузки.

При рассмотрении второго варианта расчетной

схемы поперечной рамы каркаса с шарнирным вариантом опирания стропильных ферм на колонны верхним поясом для аналогичных вариантов загрузки постоянной, снеговой и ветровой нагрузками и осадками опор, выявлена практически полная нечувствительность элементов расчетной схемы к возникающим осадкам фундаментов колонн как при одновременных неравномерных осадках всех колонн, так и при осадке отдельных опор [1; 5].

Таблица 2. Сводная таблица результатов расчета второго варианта расчетной схемы

	Продольные усилия в стержнях приопорных панелей, кН				Максимальные усилия, кН	
	опора 1	опора 2	опора 3	опора 4	растяжение	сжатие
Без осадок	-118,4	-95,1	-66,5	-61,9	612	-597
При осадках	-119,4	-96,8	-71,0	-63,5	612	-598
При осадке I опоры	-117,1	-92,1	-65,5	-61,5	611	-595
При осадке II опоры	-121,2	-103,3	-66,3	-62,6	615	-602
При осадке III опоры	-117,5	-89,7	-75,5	-64,3	609	-594
При осадке IV опоры	-117,9	-94,7	-61,3	-60,0	612	-596

Источник: разработано автором

Изменение значения усилий при неравномерных осадках для второй расчетной схемы с шарнирным опиранием стропильных ферм на колонны не превышает 13%, а также не меняются знаки продольных усилий на противоположные, в отличие от первого варианта с жестким опиранием ферм на колонны.

По результатам выполненной работы можно сде-

лать вывод, что второй вариант расчетной схемы поперечной рамы каркаса с шарнирным опиранием ферм на колонны, более предпочтительный для данных грунтовых условий, так как данная схема позволяет практически полностью компенсировать неравномерность осадок, позволяя сохранить здание в работоспособном состоянии⁵ и не допустить развитие аварийных ситуаций.

Литература

1. Анализ работы узлов стропильной фермы типа «Молодечно» с учетом физической и геометрической нелинейности / Соколов С. А. [и др.] // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Строительство. Электротехника и химические технологии. – 2019. – № 2(2). – С. 36–42.
2. Арушонк Ю. Ю. Об ошибках проектирования строительных конструкций // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 11(83). – С. 488–498.
3. Бобылева Д. Ю. Оценка деформативности стальных каркасов зданий с подстропильными конструкциями // Шаг в науку. – 2019. – № 1. – С. 26–30.
4. Гринева Ю. И. Анализ статических схем стальной стропильной фермы // Шаг в науку. – 2020. – № 1. – С. 15–19.
5. Зинькова В. А., Солодов Н. В. Исследование напряженно-деформированного состояния бесфасоночных узлов трубчатых ферм // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 205.
6. Иммерман А. Г., Гукова М. И. Уточнение требований к конструированию узлов стропильных ферм // Промышленное строительство. – 1971. – № 3. – С. 45–47.
7. Ляшенко А. В., Беляева С. Ю., Сазыкин В. Г. Особенности формирования расчетных схем покрытий типа «Молодечно» в программных комплексах // Студент и наука. – 2022. – № 4(23). – С. 102–109.

Статья поступила в редакцию: 15.05.2023; принята в печать: 20.11.2023.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

⁵ Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: федер. закон 384-ФЗ. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/ (дата обращения: 11.05.2023).