

УДК 624.042.3:621.87

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ УЧЕТА ЖЕСТКОСТИ РИГЕЛЯ ПОПЕРЕЧНОЙ РАМЫ ОДНОЭТАЖНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ ПРИ ЕГО ПРОЕКТИРОВАНИИ И ОЦЕНКЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*Т. В. Золина**Астраханский инженерно-строительный институт*

Для обеспечения надежной работы промышленного здания и достоверной оценки его остаточного ресурса в процессе эксплуатации важно правильно выбрать расчетную схему, позволяющую учесть влияние жесткостных параметров основных несущих конструкций каркаса на их напряженно-деформированное состояние. В работе дается обоснование необходимости учета жесткости ригеля поперечной рамы каркаса при ее расчете на вертикальные нагрузки, что, как показали исследования, приводит к увеличению напряжений в колоннах каркаса и должно быть учтено при проектировании и оценке несущей способности здания в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: *одноэтажное промышленное здание, расчетная схема, жесткостные параметры несущих конструкций, напряженно-деформированное состояние, остаточный эксплуатационный ресурс, надежность, долговечность.*

JUSTIFICATION FOR THE REQUESTED ACCOUNTING HARDNESS RIGEL CROSS FRAMES OF INDUSTRIAL BUILDINGS IN ITS DESIGN AND EVALUATION ITS CARRYING CAPACITY DURING OPERATION

*T. V. Zolina**Astrakhan Institute of Civil Engineering*

To ensure reliable operation of an industrial building and a reliable assessment of its residual resource during operation, it is important to choose right calculation scheme, which allows taking into account the effect of the stiffness parameters of the main load-bearing structures in the framework of their stress-strain state. This paper presents the rationale for accounting rigel cross frames stiffness of the frame when the frame based on their vertical load that, as investigation has shown, results in an increase stress in the columns of the frame and should be taken into account in the design and evaluation of the bearing capacity of the building during the operation.

Key words: *single-storey industrial building, calculation scheme, stiffness parameters of load-bearing structures, the stress-strain state of the residual exploitation resource, reliability and durability.*

В связи с тем, что в последние годы развитие промышленных предприятий осуществляется в основном за счет их технического перевооружения и реконструкции, что позволяет увеличить производственные мощности без введения в эксплуатацию новых объектов, актуальным становится вопрос обеспечения безаварийного режима работы существующих предприятий, оценка их надежности и долговечности. При этом следует учесть тот факт, что срок службы большинства промышленных объектов в Российской Федерации значительно превышает нормативный. Это иллюстрируется статистическими данными, свидетельствующими об увеличении количества аварий на действующих предприятиях, находящихся в эксплуатации длительное время [1], из-за накопления в несущих конструкциях и их узловых сопряжениях некоторых дефектов и повреждений, возникающих вследствие воздействия на каркас различных факторов [2–5]. Данные явления, особенно при их комплексном воздействии на каркас промышленного здания, приводят к снижению несущей способности основных конструкций и, безусловно, должны быть учтены при оценке остаточного эксплуатационного ресурса объекта в процессе его жизненного цикла [6–10].

На основании вышесказанного, учитывая сложное напряженно-деформированное состояние (НДС) несущих конструкций одноэтажных

промышленных зданий (ОПЗ), объясняемое комплексом воспринимаемых каркасом ОПЗ нагрузок различного характера и направленности, а также снижением жесткости каркаса в процессе эксплуатации под воздействием многих факторов, имеющих случайную природу, очень важно выбрать расчетную схему, позволяющую оценить НДС конструкций адекватно и без излишних трудозатрат. Расчетные схемы ОПЗ с крановым оборудованием, полученные в результате предыдущих исследований автора [11–14] (рис. 1–2), позволяют детально проанализировать влияние различных конструктивных особенностей каркасов на НДС несущих конструкций.

Данные схемы представлены для одноэтажных многопролетных промышленных зданий, оборудованных мостовыми кранами. За расчетные точки в них приняты узлы пересечения поперечных рам и продольной оси покрытия, колонн и тормозных конструкций. Сочетание простоты предлагаемых расчетных схем и высокой точности получаемых результатов расчета, подтверждаемой их сравнением с результатами расчета поперечной рамы на действующие нагрузки по другим вычислительным комплексам (SCAD и ЛИРА), достигается выбором оптимального числа степеней свободы. При этом каждая расчетная точка системы «балка – колонна» наделяется одной степенью свободы –

горизонтальным смещением в плоскости поперечной рамы, а каждая расчетная точка на покрытии – двумя степенями: горизонтальным смещением в этой же плоскости и углом поворота в плоскости покрытия.

Следует отметить, что в этих расчетных схемах при определении напряжений, возникающих в колоннах от горизонтальных нагрузок (крановых, ветровых, сейсмических), допустимо принимать ригель в виде жесткого стержня. Однако при восприятии ригелем поперечной рамы каркаса ОПЗ вертикальных нагрузок (собственный вес, снег и др.) логично предположить, что изгибная жесткость стропильной конструкции

будет оказывать некоторое влияние на НДС колонн поперечной рамы.

В связи с вышеизложенным целью данной работы является оценка влияния жесткости ригеля поперечной рамы ОПЗ на НДС конструкций каркаса, а именно на величину изгибающих моментов, возникающих в колоннах. Для данного исследования нет необходимости применять упомянутые выше пространственные расчетные схемы (см. рис. 1–2) и вполне достаточно в качестве расчетной схемы использовать плоскую поперечную раму, так как при восприятии вертикальной нагрузки все рамы каркаса ОПЗ работают в одинаковых условиях.

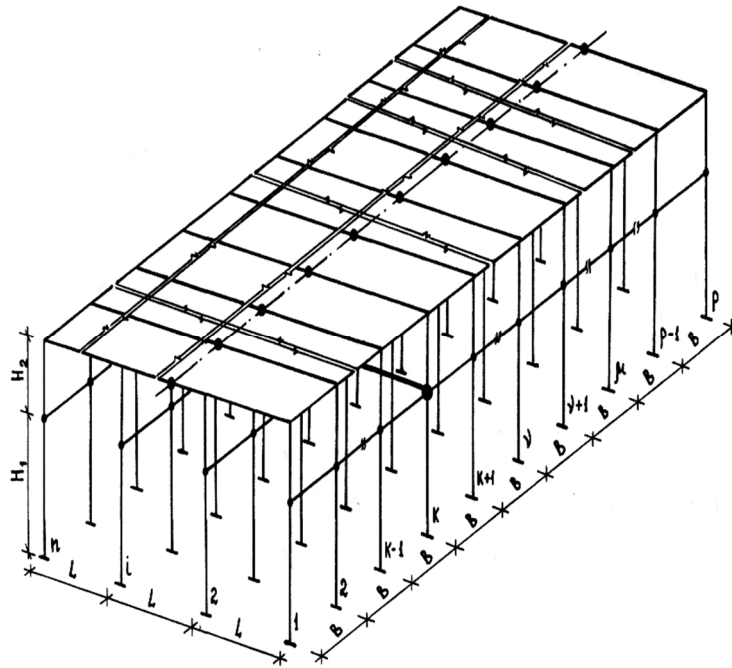


Рис. 1. Расчетная схема одноэтажного промышленного здания с податливым в своей плоскости покрытием

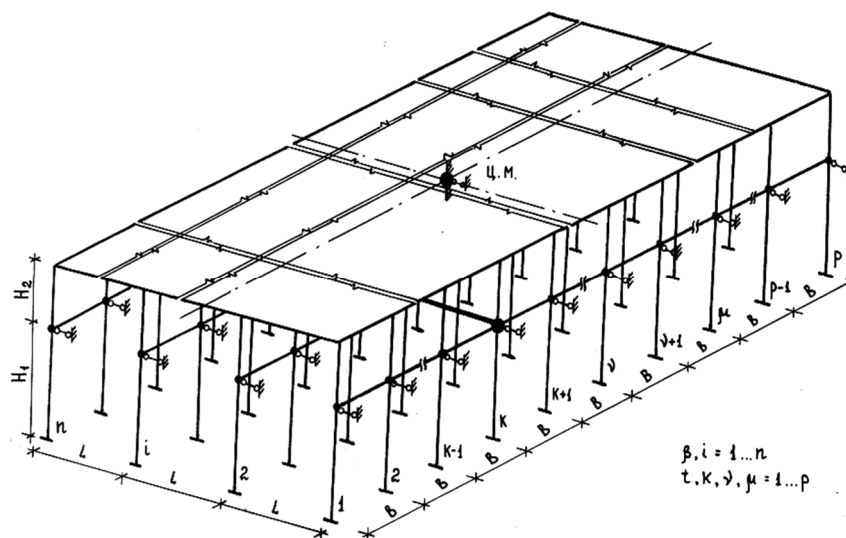


Рис. 2. Расчетная схема одноэтажного промышленного здания с жестким в своей плоскости покрытием

В качестве объекта исследования взято здание судокорпусного цеха (СКЦ), имеющего два пролета по 30 м, высоту 22 м, шаг поперечных рам 12 м, уровень головки рельса 18 м, длину 228 м и оборудованного мостовыми кранами грузоподъемностью 50 т. Характеристики сечений основных несущих конструкций поперечной рамы представлены в таблицах 1-2

и на рис. 3-5. При определении расчетных усилий в колоннах от вертикальной нагрузки учитывался собственный вес кровли, включая железобетонные плиты покрытия, вес стропильных ферм, фонаря и связевых конструкций по шатру, вес подкрановых балок и стен, вес снегового покрова и временная нагрузка на неэксплуатируемую кровлю.

Таблица 1

Геометрические характеристики сечений колонн

| Обозначение | Параметр | Значение | Единицы измерения |
|--|-----------------------------|------------|-------------------|
| Надкрановая часть крайней колонны | | | |
| A | Площадь поперечного сечения | 254,00 | см ² |
| W | Момент сопротивления | 7587,45 | см ³ |
| I | Момент инерции | 353575,23 | см ⁴ |
| Подкрановая часть крайней колонны | | | |
| A | Площадь поперечного сечения | 431,16 | см ² |
| W | Момент сопротивления | 26847,77 | см ³ |
| I | Момент инерции | 2264350,27 | см ⁴ |
| Надкрановая часть средней колонны | | | |
| A | Площадь поперечного сечения | 304,00 | см ² |
| W | Момент сопротивления | 9272,62 | см ³ |
| I | Момент инерции | 435813,33 | см ⁴ |
| Подкрановая часть средней колонны | | | |
| A | Площадь поперечного сечения | 547,20 | см ² |
| W | Момент сопротивления | 45955,96 | см ³ |
| I | Момент инерции | 5514715,14 | см ⁴ |

Таблица 2

Сечения элементов стропильной фермы

| Элемент фермы | Тип сечения |
|-------------------------------|---------------------------------|
| Верхний пояс и опорный раскос | 2 неравнобоких уголка 140x90x10 |
| Нижний пояс | 2 равнобоких уголка 110x8 |
| Основные стойки | 2 равнобоких уголка 90x7 |
| Основные раскосы | 2 неравнобоких уголка 90x56x6 |
| Вспомогательные раскосы | 2 равнобоких уголка 63x6 |

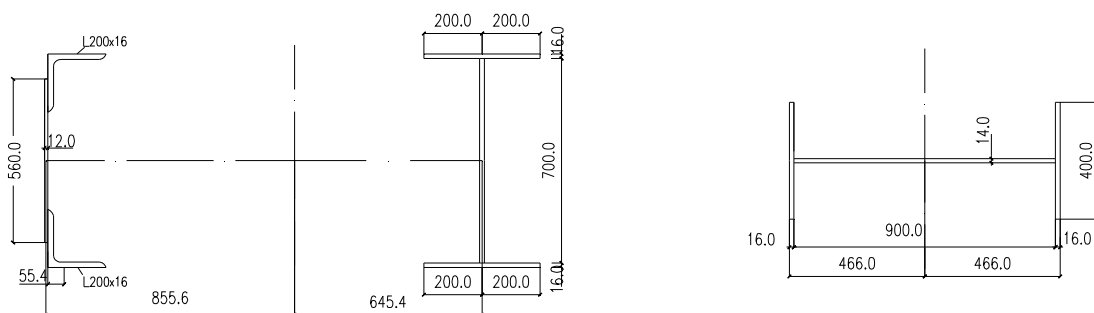


Рис. 3. Поперечное сечение подкрановой и надкрановой частей крайней колонны

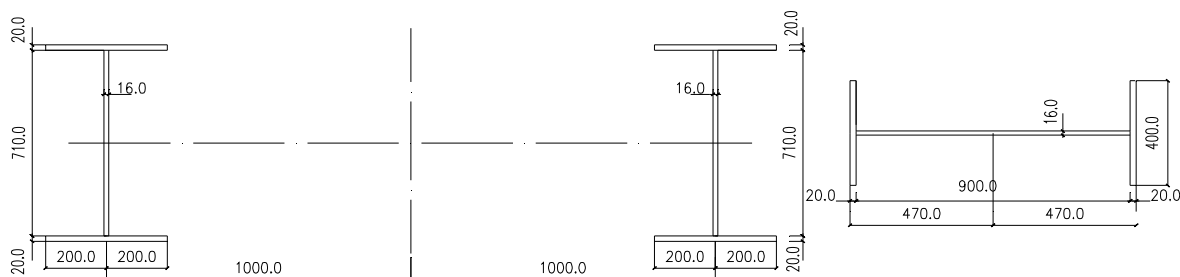


Рис. 4. Поперечное сечение подкрановой и надкрановой частей средней колонны

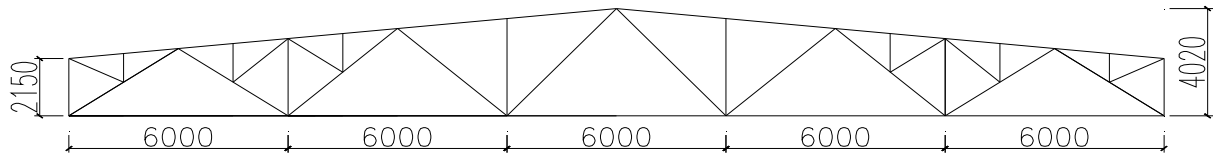


Рис. 5. Геометрическая схема стропильной фермы

Расчетные усилия и деформации определялись с помощью вычислительного комплекса для прочностного анализа конструкций методом конечных элементов SCAD.

Результаты сравнительного анализа НДС, возникающего в колоннах поперечной рамы каркаса СКЦ, представлены в таблице 3 и на рис. 6–8.

Таблица 3

Результаты определения расчетных усилий и деформаций в колоннах каркасах СКЦ

| Расчетные усилия | Учет жесткости ригеля | Колонны | |
|--|-----------------------|---------|---------|
| | | крайняя | средняя |
| Изгибающий момент внизу надкрановой части (кН·м) | с учетом | -33,37 | 0 |
| | без учета | 101,84 | 0 |
| Изгибающий момент вверху подкрановой части (кН·м) | с учетом | -249,59 | 0 |
| | без учета | -211,81 | 0 |
| Изгибающий момент в основании колонны (кН·м) | с учетом | -351,87 | 0 |
| | без учета | 100,37 | 0 |
| Поперечная сила (кН) | с учетом | 6,24 | 0 |
| | без учета | -19,04 | 0 |
| Горизонтальное смещение в уровне верха колонны (мм) | с учетом | 17 | 0 |
| | без учета | 0 | 0 |
| Горизонтальное смещение в уровне уступа колонны (мм) | с учетом | 10 | 0 |
| | без учета | 0 | 0 |

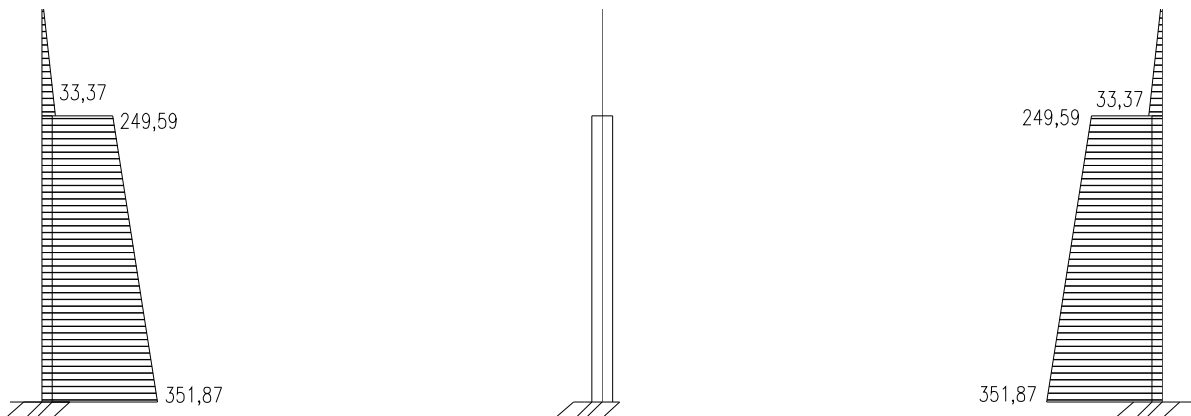


Рис. 6. Эпюра изгибающих моментов (кН·м) в колоннах поперечной рамы каркаса СКЦ, возникающих от вертикальной нагрузки, с учетом жесткости ригеля

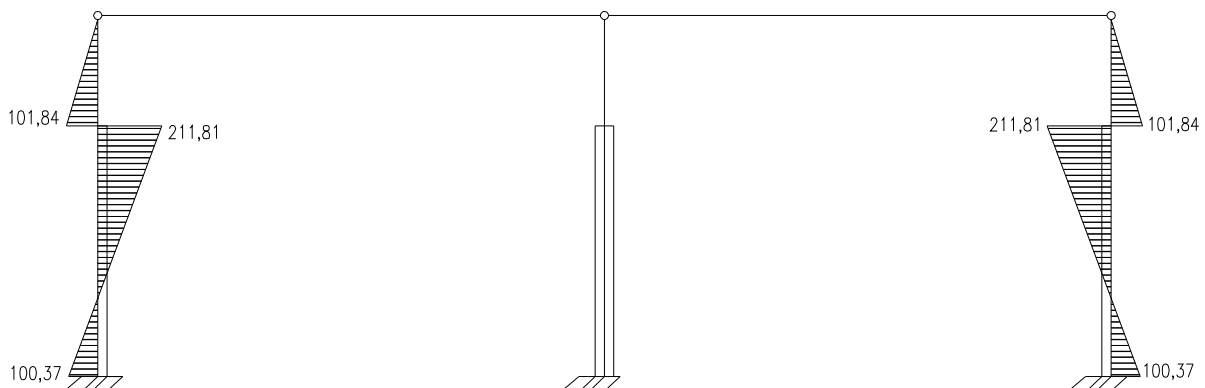


Рис. 7. Эпюра изгибающих моментов (кН·м) в колоннах поперечной рамы каркаса СКЦ, возникающих от вертикальной нагрузки, без учета жесткости ригеля

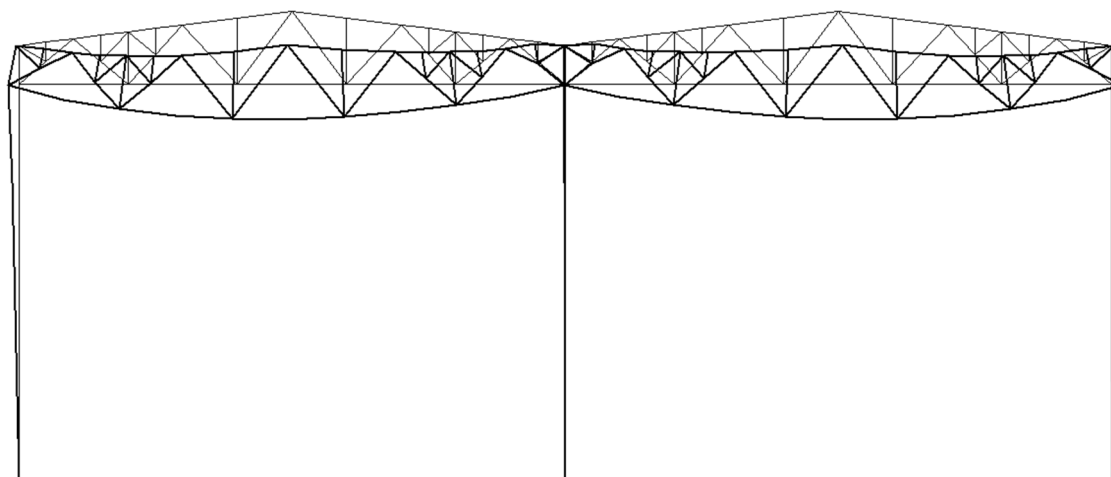


Рис. 8. Схема деформирования поперечной рамы каркаса СКЦ при действии вертикальной нагрузки

Анализ полученных результатов показывает, что учет жесткости ригеля поперечной рамы при ее расчете на вертикальные нагрузки приводит не только к изменению расчетных усилий, но и к смене их знака. И если момент в уровне уступа при учете жесткости ригеля уменьшается внизу надкрановой части колонны на 67 % и меняет знак, то сверху подкрановой части увеличивается на 18 % без смены знака, а в основании колонны – увеличивается на 250 % со сменой знака. Такое НДС колонн от вертикальной нагрузки при учете совокупности всех нагрузок, воспринимаемых поперечной рамой каркаса, приводит к увеличению суммарного момента в основании колонны на 20 %, что, безусловно, должно быть

учтено и при проектировании новых промышленных зданий, и при реконструкции и оценке эксплуатационного ресурса действующих предприятий.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о необходимости учета жесткости ригеля при расчете каркасов одноэтажных промышленных зданий на вертикальные нагрузки, так как это позволит запроектировать несущие конструкции в соответствии с действительными условиями работы при восприятии действующих нагрузок, обеспечив тем самым безаварийный режим работы существующих предприятий, их надежность и долговечность.

Список литературы

1. Аварии зданий и сооружений на территории Российской Федерации в 2003 году // Общероссийский общественный фонд «Центр качества строительства». М., 2004. URL: <http://www.strooplan.ru> (дата обращения: 31.03.2015).
2. Золина Т. В. Экспериментальное обоснование необходимости уточнения крановых воздействий для объективной оценки остаточного ресурса промышленного здания // Перспективы развития строительного комплекса : сборник материалов VII Международной науч.-практ. конф. Астрахань : АИСИ, 2013. С. 6–12.
3. Золина Т. В. Вычисление крановых нагрузок, определяющих несущую способность каркаса промышленного здания, при оценке его работоспособности // Научный потенциал регионов на службу модернизации. Астрахань : АИСИ, 2013. № 3 (6). Т. 1. С. 14–17.
4. Золина Т. В. Определение остаточного ресурса промышленного объекта как гарантия надежной эксплуатации // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании : сборник материалов Международной науч.-техн. конф. М. : МГСУ, 2013. С. 353–358.
5. Золина Т. В. Исследование напряженно-деформированного состояния несущих конструкций промышленного здания с крановым оборудованием и методика оценки его остаточного ресурса в процессе эксплуатации // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : науч.-техн. журнал. Астрахань: ГАОУ АО ВПО «АИСИ», 2014. № 1 (7). С. 44–52.
6. Золина Т. В., Садчиков П. Н. Методика оценки остаточного ресурса эксплуатации промышленного здания, оснащенного мостовыми кранами // Вестник ВолгГАСУ. Сер. Строительство и архитектура. 2013. № 33 (52). С. 51–56.
7. Золина Т. В., Садчиков П. Н. Концептуальная схема исследования напряженно-деформированного состояния промышленного здания // Вестник ВолгГАСУ. Сер. Строительство и архитектура. 2013. № 33 (52). С. 47–50.
8. Золина Т. В. Сводный алгоритм расчета промышленного объекта на действующие нагрузки с оценкой остаточного ресурса // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 6. С. 3–5.
9. Золина Т. В. Порядок проведения обследований здания с целью последующей оценки его остаточного ресурса // Вестник МГСУ. 2014. № 11. С. 98–108.
10. Программно-расчетный комплекс «DINCIB-new» : свид. о гос. регистрации программ для ЭВМ № 2014613866 (дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 9 апреля 2014 г.) / Т. В. Золина, П. Н. Садчиков.
11. Золина Т. В. Расчет одноэтажных промышленных зданий, оборудованных мостовыми кранами, на горизонтальное крановое воздействие с учетом пространственной работы : дис. ... канд. техн. наук. М. : МИСИ, 1989. 242 с.

12. Золина Т. В. Вероятностный расчет одноэтажного промышленного здания, оборудованного мостовым краном, с учетом пространственной работы его каркаса // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура, вып. 28 (47). Волгоград : ВолгГАСУ, 2012. С. 7–13.
13. Золина Т. В. Вероятностный расчет одноэтажного промышленного здания, оборудованного мостовым краном, на сейсмическое воздействие // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура, вып. 28 (47). Волгоград : ВолгГАСУ, 2012. С. 14–19.
14. Золина Т. В. Реализация комплексного подхода к исследованию при выборе расчетной схемы промышленного здания // Строительство и реконструкция : науч.-техн. журнал / ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК». Орел, 2014. № 3 (53). С. 8–14.

© **Т. В. Золина**

Ссылка для цитирования:

Золина Т. В. Обоснование необходимости учета жесткости ригеля поперечной рамы одноэтажного промышленного здания при его проектировании и оценке несущей способности в процессе эксплуатации // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский инженерно-строительный институт. Астрахань : ГАОУ АО ВПО «АИСИ», 2015. № 1 (11). С. 93–98.