

5. Евдокимова Н. Г. Разработка научно-технологических основ производства современных битумных материалов как нефтяных дисперсных систем: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Н. Г. Евдокимова. – Москва : Российский государственный университет нефти и газа имени И. М. Губкина, 2015. – 417 с.
6. Гужов С. А. Эффективность применения полимерно-битумных вяжущих на объектах НП «БКАД» / С. А. Гужов, А. Б. Санакулов, В. В. Лебедев, Д. Ю. Небрatenko // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. – № 12 (109). – С. 60–68. – doi.org/10.30987/1999-8775-2021-12-60-682022.
7. Alekseenko V. Rheology properties of bitumen binders with various fillers / V. Alekseenko, E. Verkhoturova, R. Zhitov, D. Nebratenko // Vojnotehnicki glasnik, – 2024. – Vol. 72 (2). – P. 695–707. – doi.org/10.5937/vojtehg72-48380.
8. Гохман Л. М. Дорожный полимерасфальтобетон / Л. М. Гохман. – Москва : Экон-Информ, 2017. – 477 с.
9. ГОСТ Р 52056-2003. Вяжущие полимерно-битумные дорожные на основе блоксополимеров типа стирол-бутадиен-стирол. Технические условия. – Дата введения 2004–01–01. – Москва : Стандартинформ, 2007. – 8 с.
10. ГОСТ 33133-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические требования. – Дата введения 2015–10–01. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 12 с.
11. Паспорт № 1821/2024 от 05.06.2024 на битум нефтяной дорожный вязкий БНД 50/70.
12. Паспорт качества № 1826 от 29.06.2024 на полимерно-битумное вяжущее ПБВ 60.
13. Паспорт №7/01-24 от 30.06.2024 на комплексный модификатор асфальтобетона «Руббермастик» ПГ.
14. Самсонов И. В. Практико-инновационные решения в сфере дорожного покрытия с применением модифицированной добавки VECTORUBER / И. В. Самсонов, С. В. Алексиков // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности: материалы конференции молодых исследователей, Волгоград, 2021 г. – Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2021. – 439 с.
15. Бузиков Ш. В. Исследование эффективности применения уплотняющих машин при формировании дорожных покрытий с учетом напряженно-деформированного состояния асфальтобетонных слоев / Ш. В. Бузиков, М. В. Мотовилова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 3 (41). – С. 22–27. – DOI 10.52684/2312-3702-2022-41-3-27-31.
16. Лаврухин В. П. Усталостная долговечность асфальтобетонов на модифицированных битумах / В. П. Лаврухин, Ю. И. Калгин, В. Т. Ерофеев // Вестник Мордовского университета. – 2001. – № 3-4. – С. 128–135.
17. Guo F. Wang Study on Adhesion Property and Moisture Effect between SBS Modified Asphalt Binder and Aggregate Using Molecular Dynamics Simulation / F. Guo, J. Pei, J. Zhang, R. Li, P. Liu, D. // Materials. – 2022. – № 15 (19). – P. 6912. – doi.org/10.3390/ma15196912.
18. Xu W.. Using an anti-aging agent to improve asphalt modified with styrene-butadiene-styrene / W. Xu, et al. // Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Transport. – 2022. – Vol. 175. – P. 115–124.
19. Рожков И. М. Современные подходы при прогнозировании температурных условий эксплуатации асфальтобетонных конструктивных слоев дорожных одежд / И. М. Рожков, Е. Н. Симчук // Дороги России. – 2020. – № 3 (117). – С. 55–71.

© Д. Х. Исенбулатова, И. А. Ефремов, Н. А. Лушников, Д. Ю. Небрatenko, С. В. Алексиков

#### Ссылка для цитирования:

Исенбулатова Д. Х., Ефремов И. А., Лушников Н. А., Небрatenko Д. Ю., Алексиков С. В. Влияние состава модифицированных и полимерно-битумных вяжущих на технические показатели щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2024. № 4 (50). С. 39–44.

УДК 624.042.7

DOI 10.52684/2312-3702-2024-50-4-44-52

## ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО НАГРУЖЕНИЯ НА ИЗМЕНЕНИЯ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ И ФОРМ КОЛЕБАНИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ.

### Часть 2

*А. В. Синельщиков, Р. А. Завьялов*

**Синельщиков Алексей Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация; e-mail: laex@bk.ru;

**Завьялов Роман Александрович**, магистрант, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация; e-mail: 39bazaz@gmail.com

Работа направлена на совершенствование динамических методов расчета промышленных зданий с переменными эксплуатационными состояниями, связанными с наличием внутри них мостовых ранов большой грузоподъемности и их работой. Рассмотрена симметричная для промышленного здания задача определения собственных форм и частот собственных колебаний при различном положении шести мостовых кранов без рабочей нагрузки. Приведены результаты сравнительного анализа частот и форм колебаний протяженного в плане здания с учетом влияния положения кранов внутри него. Сделан вывод о значимом влиянии включения в расчетную модель здания моделей грузоподъемного крана на периоды собственных колебаний и характер собственных форм колебаний здания, а также ухудшения расчетных динамических характеристик здания.

**Ключевые слова:** собственные частоты и формы колебаний, промышленное здание, внешнее нагружение, мостовые краны, динамические характеристики.

**THE EFFECT OF EXTERNAL LOADING ON CHANGES IN NATURAL FREQUENCIES  
AND THE OSCILLATION PATTERNS OF AN INDUSTRIAL BUILDING.  
Part 2**

**A. V. Sinelshchikov, R. A. Zavyalov**

**Sinelshchikov Aleksey Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Industrial and Civil Engineering Department, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation; e-mail: laex@bk.ru;

**Zavyalov Roman Aleksandrovich**, undergraduate, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation; e-mail: 39bazaz@gmail.com

The work is aimed at improving the dynamic methods of calculating industrial buildings with variable operational states associated with the presence and operation of heavy-duty bridge cranes inside the building. A symmetrical problem for an industrial building of determining the natural modes and frequencies of natural oscillations is considered for different positions of six bridge cranes in the building without an operating load. The results of a comparative analysis of the frequencies and modes of oscillations of an extended industrial building are presented, taking into account the influence of the position of the cranes inside the building. A conclusion is made about a significant effect of including overhead crane models in the calculation model of the building on the periods of natural oscillations and the nature of the natural modes of oscillations of the building, as well as deterioration of the calculated dynamic characteristics of the building.

**Keywords:** natural frequencies and modes of vibration, industrial building, external loading, overhead cranes, dynamic characteristics.

**Введение**

Расчет промышленных зданий включает в себя обязательный этап – проверку эксплуатационных характеристик здания при действии динамических нагрузок. Нормативными документами [1, 2] указывается необходимость проверки совпадения собственных частот колебаний здания и частоты внешнего динамического воздействия для исключения эффекта резонанса при динамической реакции промышленных зданий.

Несмотря на существование классификации промышленных зданий по типам и видам, их конструкции обладают рядом индивидуальных особенностей [13, 14], что приводит к их индивидуальным динамическим характеристикам. Более того, в зависимости от степени детализации модели здания обладают разным количеством собственных форм и частот колебаний, имеющих различную степень вклада в суммарную динамическую реакцию сооружения [3].

При проектировании здания, как правило, используется ограниченное количество первых форм колебаний, а для проектировщика выработаны рекомендации по количеству учитываемых собственных форм и частот, а также оценки их значимости с точки зрения влияния на точность получаемого результата [5].

Так, ISO 4866:2010 [6] для оценки корректности полученных первых трех форм и частот колебаний для прямоугольных в плане зданий предлагает в зависимости от высоты здания (Н) использовать следующие критерии: для изгибно-поступательных колебаний основного тона в более «гибком направлении» значение частоты, близкое к  $46/H$  (Гц), в более «жестком направлении» –  $58/H$  (Гц) и третья форма – вращательная в плане (крутильная) форма основного тона, частота которой должна быть в диапазоне  $72-77/H$  (Гц). Кроме

рекомендаций по характеру первых трех собственных форм и частот колебаний вторым важным фактором является количество значимых и учитываемых при расчетном анализе форм для достижения необходимой полноты учета динамических характеристик здания [4].

В отечественных нормативных документах [7, 8] указывается, что одним из признаков сооружения с простым конструктивно-планировочным решением является отсутствие кручения в первой и второй формах собственных колебаний (п. 5.3 [8]). Особенно важен учет наличия крутильных колебаний (и их частоты) при расчете здания на пульсационную часть ветровой нагрузки, а также на сейсмостойкость. На сегодняшний день отсутствуют какие-либо нормативные документы, в которых в полной мере освещались бы эти вопросы и нормировались углы поворота здания в плане при крутильно-поступательных смещениях в собственных формах колебаний.

В СП 14.13330.2018 [8] рекомендуется при проектировании зданий и сооружений принимать, как правило, симметричные конструктивные схемы, равномерное распределение жесткостей конструкций и их масс, а также нагрузок на перекрытия. При расчете зданий и сооружений (кроме гидротехнических сооружений) длиной или шириной более 30 м необходимо учитывать крутящий момент относительно вертикальной оси здания или сооружения, проходящей через его центр жесткости.

Наиболее распространенной причиной возникновения крутильных форм колебаний является несимметричность расположения совокупной массы сооружения по отношению к центру жесткости [15]. Для рассматриваемого промышленного здания эксцентриситет зависит от положения мостовых кранов внутри здания и является переменной величиной.

Проектирование и расчет динамических характеристик промышленных зданий, согласно требованиям пункта 10 СП 20.13330.2016 [9], ведется с учетом нагрузок, обусловленных нахождением в здании мостовых кранов и нагрузок, возникающих при выполнении ими грузоподъемных операций и передвижении внутри промышленного здания. Указанные факторы как правило учитываются при расчете промышленных зданий как дополнительной статической нагрузки в виде собственного веса кранов и создаваемых ими эксплуатационных нагрузок. Согласно [9], при расчете промышленного здания рекомендуется выбирать наиболее невыгодное для здания положение мостовых кранов. Конкретные рекомендации отсутствуют.

При динамических расчетах зданий и сооружений [17] замена мостовых кранов создаваемыми ими нагрузками, даже меняющимися во времени, требует дополнительного обоснования, так как достаточно сложно установить характер (функциональную зависимость) изменения инерционных нагрузок со стороны кранов. Это связано с рядом конструктивных особенностей мостовых кранов, среди которых в первую очередь следует учесть, что, по сравнению с несущими конструкциями здания, мостовые краны обладают большей гибкостью при одном и том же пролете (со зданием) [16]. Мостовые краны не связаны жестко со зданием и в месте контакта ходовых колес имеют шарнирное соединение с крановым рельсом.

#### **Постановка задачи и расчетные методы**

В работе [10] авторами уже было проведено сравнение собственных частот колебаний промышленного здания для трех расчетных случаев: без мостовых кранов, с установленными четырьмя мостовыми кранами большой грузоподъемности и с мостовыми кранами с рабочим грузом. При этом нагрузка от мостовых кранов моделировалась включением в расчетно-динамическую модель (РДМ) промышленного здания РДМ мостовых кранов. Показано, что наличие в здании мостовых кранов, даже в том случае, когда они не нагружены рабочим грузом, существенно меняет частоты и формы колебаний промышленного здания и ухудшает его динамические характеристики. Кроме этого, наличие поднимаемого рабочего груза меняет и характер собственных форм колебаний, смещая характерные формы в область с большей частотой (меньшим периодом). Область низких частот занимают собственные формы, относящиеся к колебаниям мостовых кранов. Таким образом, для получения уточненных расчетных реакций промышленного здания на динамическое воздействие необходимо не только учитывать нахождение в здании грузоподъемного оборудования, но и исследовать случаи грузоподъемных кранов как без, так и с рабочим грузом.

В дополнение к исследованию [10] в настоящей работе рассматривается влияние расположения мостовых кранов на динамические характеристики промышленного здания.

Промышленное здание судокорпусного цеха судостроительного завода имеет длину 228 м (предельную для зданий без температурных швов) и два пролета по 30 м. Расчеты производились методом конечных элементов. РДМ промышленного здания (рис. 1) состоит из 12332 стержней, 1160 пластин, 2760 жестких тел (жестких связей) и 8094 узлов. Общее число степеней свободы –  $n = 48564$ . Внешнее нагружение создают четыре крана грузоподъемностью 100 т и два крана – 50 т (рис. 2) [11].

Задача влияния подвижной нагрузки на собственные частоты и формы колебания промышленного здания является многовариантной. Это связано со следующими обстоятельствами:

1) установлено шесть кранов, работающих на всем протяжении здания и в двух пролетах (по три крана в каждом пролете – рис. 2), что приводит к множеству расчетных случаев расположения кранов внутри здания;

2) у мостовых кранов при каждом их положении может быть различное расположение грузовых тележек, что создает различные варианты нагружения колонн среднего и крайних рядов, а также изменяет распределения масс внутри здания;

3) мостовые краны могут выполнять грузоподъемные операции, имея попарно (не более двух одновременно) рабочий груз на гибком подвесе, соответствующий грузоподъемности [12]. В этом случае добавляется масса поднимаемого груза, что оказывает влияние на собственные частоты и формы колебаний здания.

В то же время есть и ряд факторов, упрощающих решение поставленной задачи, среди которых можно указать следующие:

1) задача определения собственных частот и форм колебаний является линейной [18], значит, нет необходимости исследовать непрерывную последовательность состояний (расположения кранов). Анализ влияния изменения подвижной нагрузки от мостовых кранов на собственные частоты и формы колебаний здания можно производить с некоторым шагом, линейно аппроксимируя значения между расчетными состояниями;

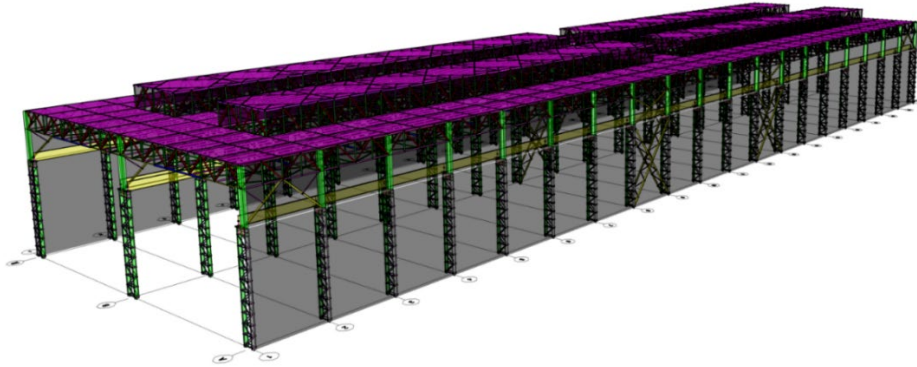
2) промышленное здание судокорпусного цеха имеет две плоскости симметрии. Это означает, что можно исследовать только половину расчетных случаев расположения подвижной нагрузки от мостовых кранов (до середины здания) [19, 20].

С целью определения влияния подвижной нагрузки на собственные частоты и формы колебания промышленного здания рассмотрим семь расчетных случаев расположения мостовых крана внутри здания (рис. 3). Учитывая, что промышленное здание симметрично, расчетные случаи

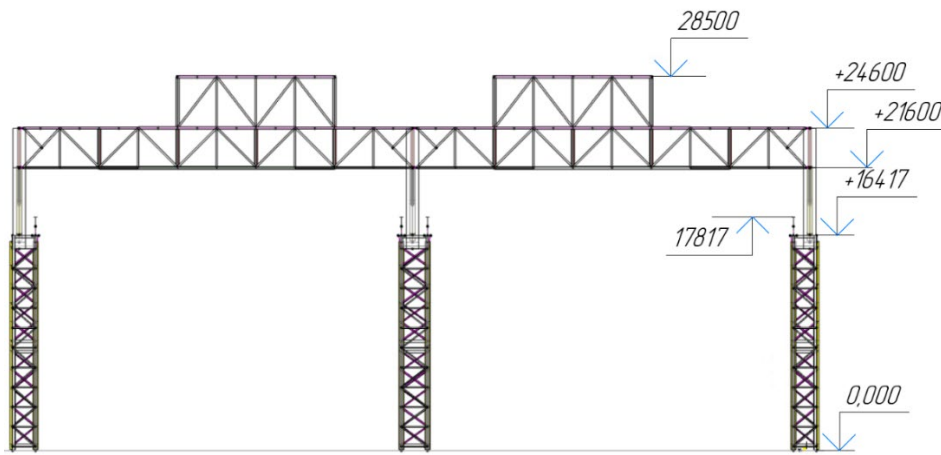
охватывают изменение положения кранов до середины здания – от оси 1 до оси 10. Из-за ограничений, накладываемых на объем публикации, рассмотрим только первые шесть форм собственных колебаний промышленного здания и приведем

вид только первой формы, а для остальных – только качественное описание изменения вида формы колебания в зависимости от расчетного случая – от PC1 до PC7.

а



б



в

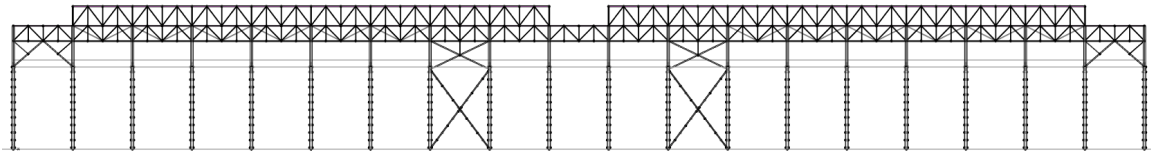


Рис. 1. Расчетно-динамическая модель промышленного здания судокорпусного цеха судостроительного завода: а – изометрия; б – вид сбоку; в – вид спереди

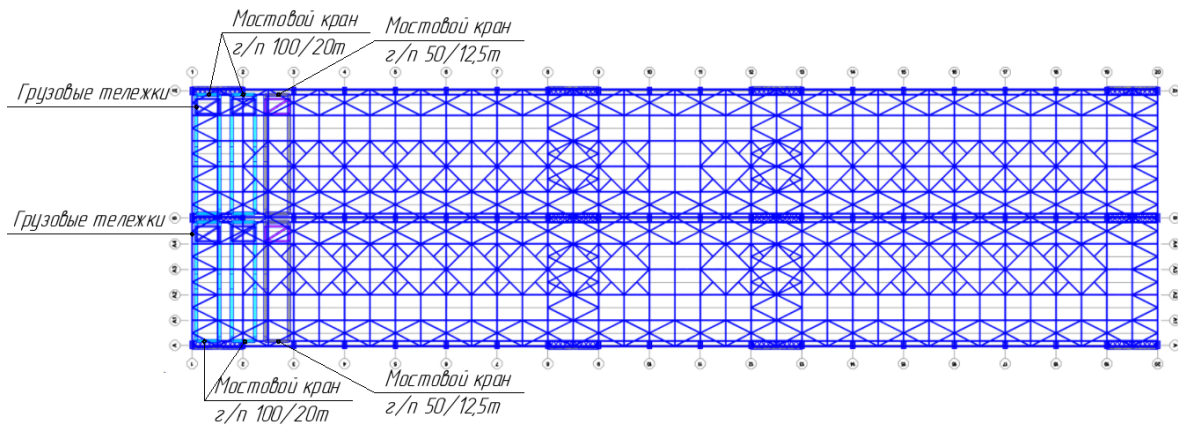


Рис. 2. Один из вариантов расположения мостовых кранов внутри промышленного здания



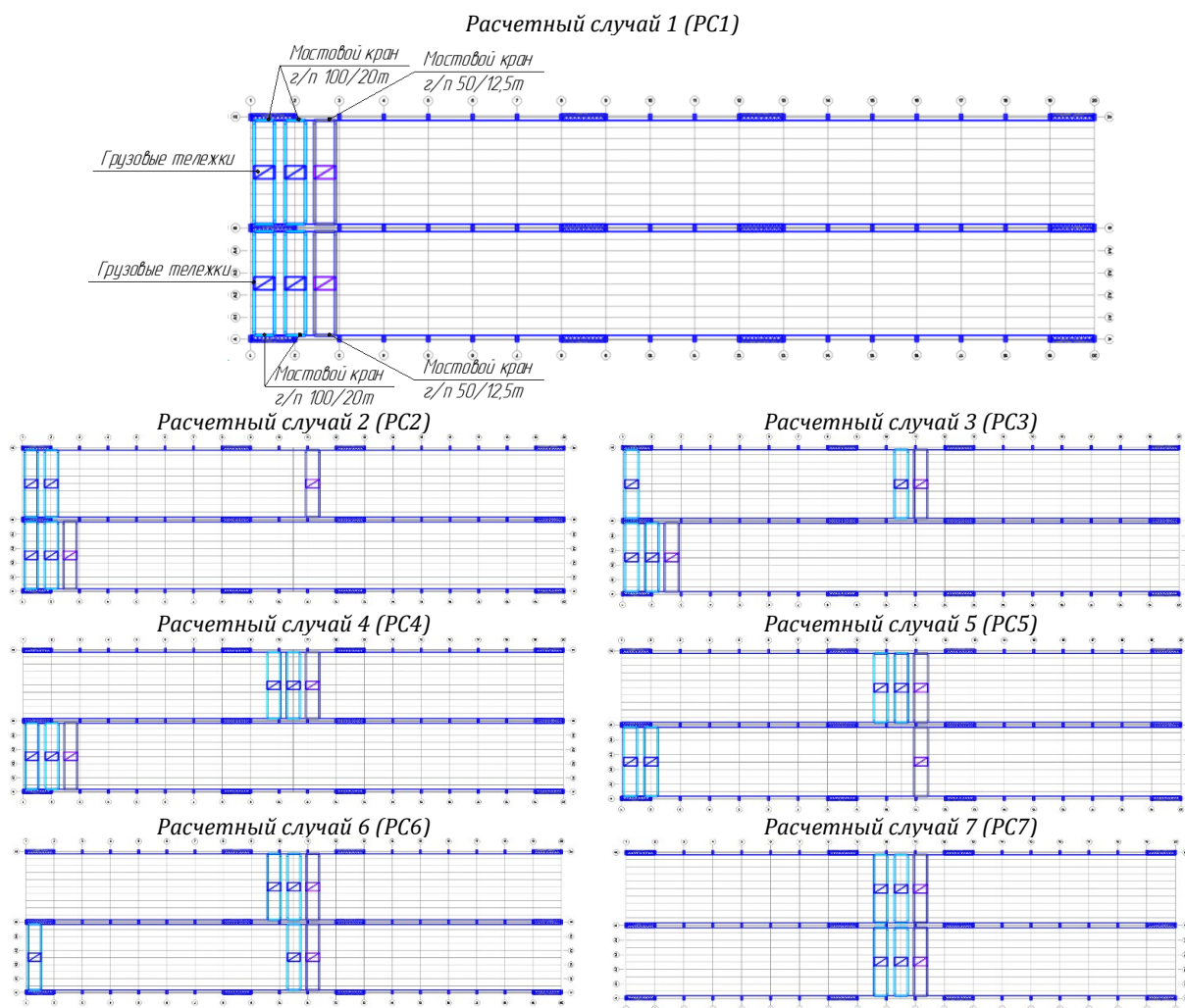


Рис. 3. Расчетные случаи расположения мостовых кранов внутри промышленного здания

### Результаты расчета и обсуждение

Собственная форма № 1 (рис. 4). В отличие от изгибно-поступательной для промышленного здания без мостовых кранов, в расчетно-динамической модели с мостовыми кранами собственная форма колебаний № 1 в PC1 приобрела вид крутильных колебаний с максимальной амплитудой в месте установки мостовых кранов в начале здания. По мере перемещения масс кранов к центру здания (от PC1 к PC7) крутильные колебания преобразуются в изгибные.

Собственная форма № 2. В PC1, как и в случае промышленного здания без мостовых кранов, колебания имеют несимметрично крутильный вид с центром, смещенным от середины промышленного здания в сторону мостовых кранов. В PC3-PC5 крутильные колебания меняют знак на противоположный и в PC6 – приобретают практически симметричный вид относительно центра здания. В PC7 крутильные колебания имеют симметричный вид относительно центра здания. Однако помимо крутильных колебаний в PC7, изгибно-сдвиговые колебания крановых балок и колонн здания наблюдаются в месте расположения мостовых кранов в осях 9–12 и только крановых балок в осях 13–15.

Собственная форма № 3. В PC1-PC5 наблюдаются изгибно-поступательные колебания вдоль продольной оси, аналогичные собственно случаю промышленного здания без мостовых кранов. В PC6 и PC7 вследствие перераспределения масс внутри здания изгибно-поступательные колебания преобразуются в изгибно-крутильные. Кроме этого, присутствуют изгибно-сдвиговые колебания крановых балок и колонн в месте расположения мостовых кранов в осях 9–12. Собственная форма № 4 соответствует изгибно-крутильной форме колебаний № 3 промышленного здания без мостовых кранов. Собственная форма № 4 для здания с мостовыми кранами колебаний в PC1-PC5 сохраняет свой изгибно-крутильный вид. Кроме этого, в PC1-PC5 присутствуют изгибно-сдвиговые колебания крановых балок и изгибные колебания колонн здания в месте расположения мостовых кранов, а также изгибные колебания ферменных конструкций крыши. В PC6 и PC7 вследствие перераспределения масс внутри промышленного здания изгибно-крутильные колебания дополняются изгибно-поступательными вдоль продольной оси.



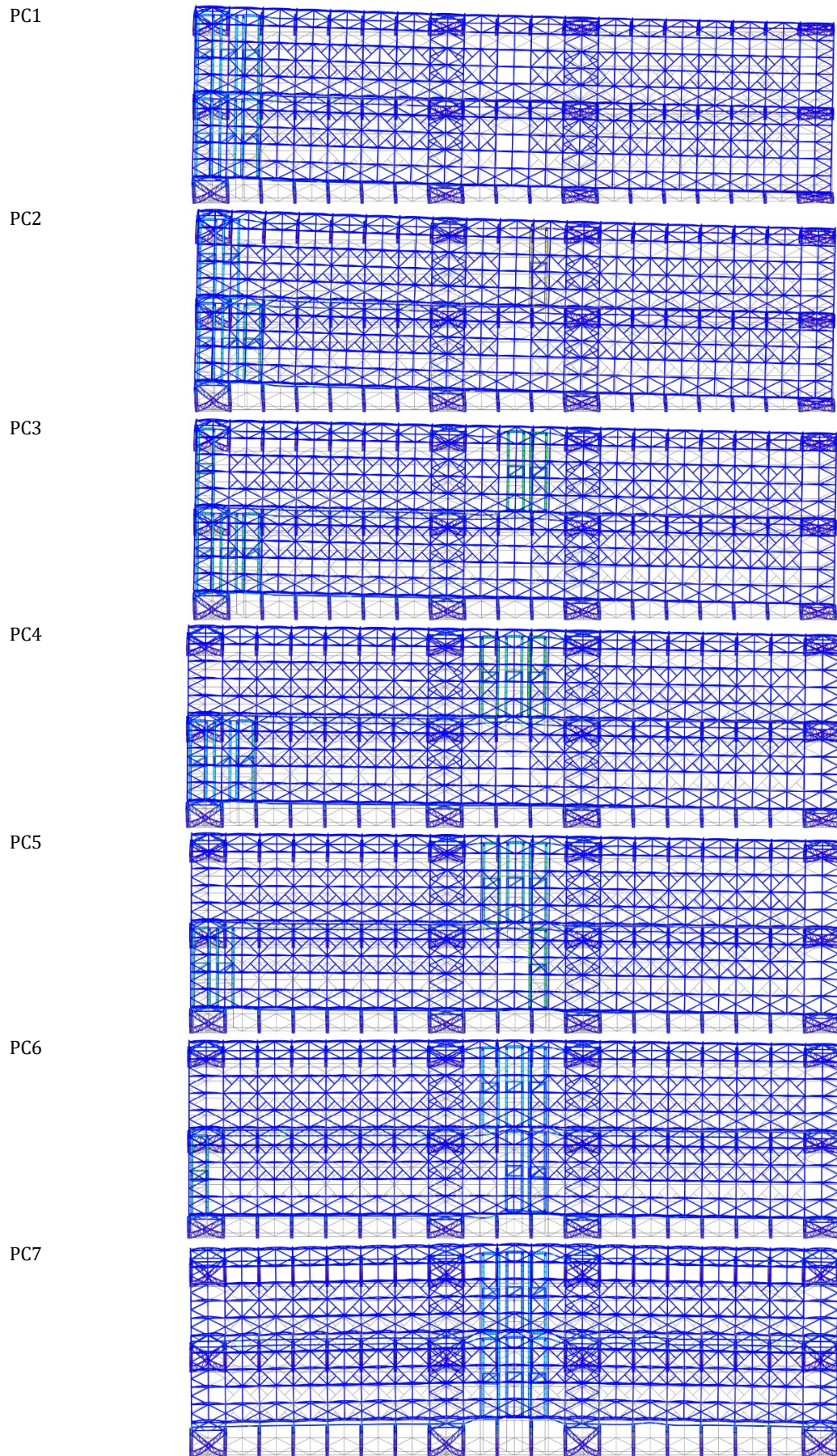


Рис. 4. Собственная форма № 1 для расчетных случаев PC1-PC7



Собственная форма № 5. В промышленном здании без мостовых кранов представляла собой изгибные колебания крановой балки в осях 12–15. В зависимости от расчетного случая, собственная форма колебаний № 5 с мостовыми кранами имеет свой собственный вид:

1) РС1 – представляет собой изгибные колебания мостовых кранов и колонн крайних рядов промышленного здания;

2) РС2 – изгибные колебания промышленного здания в осях 1–10 и изгибно-сдвиговые колебания крановых балок и колонн здания в осях 10–14;

3) РС3 – несимметричные изгибно-крутильные колебания всего промышленного здания и изгибно-сдвиговые колебания крановых балок и колонн в месте расположения мостовых кранов в центре здания (в осях 10-11);

4) РС4, РС5 – несимметричные изгибно-крутильные колебания всего промышленного здания, изгибно-сдвиговые колебания крановых балок в месте расположения мостовых кранов в центре здания (в осях 9–11) и изгибные колебания элементов ферменных конструкций крыши здания;

5) РС6 – изгибно-сдвиговые колебания крановой балки и колонн в месте расположения мостовых кранов в центре здания (в осях 9–11) и изгибно-поступательные колебания промышленного здания в продольном направлении;

6) РС7 – почти симметричные изгибно-крутильные колебания всего промышленного здания и изгибно-сдвиговые колебания крановых балок и колонн в месте расположения мостовых кранов в центре здания (в осях 9–11).

Собственная форма № 6 для РС1 соответствует собственной форме колебаний № 6 промышленного здания без мостовых кранов. Для РС2-РС5 преобладают изгибные колебания мостовых кранов. Собственная форма № 6 для РС6 представляет собой изгибно-крутильную форму всего здания в целом, изгибно-сдвиговые колебания крановой балки и колонн здания в осях 8–11 и изгибные колебания элементов ферменных конструкций крыши. В РС7 происходят изгибные колебания мостовых кранов в сочетании с изгибно-сдвиговыми колебаниями крановых балок и колонн крайних рядов здания в месте расположения мостовых кранов в осях 9–12.

Периоды собственных колебаний для расчетных случаев РС1-РС7 приведены в таблице 1 и на рисунке 5. Для сравнения в таблицу и на рисунке добавлен столбец с периодом собственных колебаний промышленного здания без мостовых кранов. На рисунке приведено распределение частот собственных колебаний с установленными мостовыми кранами для различных расчетных случаев.

Таблица 1

**Периоды собственных колебаний промышленного здания с установленными мостовыми кранами для различных расчетных случаев**

Период, соответствующий расчетному случаю, с							Без кранов
РС1	РС2	РС3	РС4	РС5	РС6	РС7	
0.98174	0.97807	0.97264	0.96736	0.96648	0.96823	0.96852	0.927134
0.83083	0.82923	0.82132	0.80911	0.80484	0.79094	0.56626	0.75255
0.50183	0.50138	0.49936	0.50077	0.49991	0.49222	0.48744	0.372134
0.43584	0.43113	0.47427	0.46646	0.46880	0.40155	0.43232	0.220966
0.23575	0.28385	0.37197	0.32674	0.32036	0.31210	0.32272	0.182194
0.18962	0.23583	0.23228	0.23001	0.23042	0.28278	0.26487	0.133586
0.16744	0.18533	0.17583	0.18941	0.19094	0.22616	0.21571	0.128708
0.12944	0.13175	0.14448	0.16103	0.17686	0.14772	0.13151	0.111966
0.11296	0.11566	0.12135	0.12299	0.12297	0.12158	0.11686	0.098961
0.09697	0.10279	0.09918	0.10056	0.10009	0.09719	0.09899	0.069821
0.09209	0.09503	0.09591	0.09578	0.09623	0.09703	0.09632	0.05867
0.04347	0.04433	0.04537	0.04662	0.04648	0.04552	0.04424	0.043385

На основе таблицы 1 и рисунков 5 и 6, с учетом сравнения собственных частот и форм колебаний промышленного здания, полученных при различных положениях мостовых кранов, можно сделать следующие выводы:

1. В результате изменения местоположения подвижной нагрузки, создаваемой мостовыми кранами, меняющими свое положение внутри здания, собственные частоты (периоды) колебаний промышленного здания совместно с мостовыми кранами остаются практически неизменными. Максимальное отличие периода колебаний (более 0,2 с) наблюдается для собственной частоты № 2 расчетного случая № 7.

2. Формы колебаний промышленного здания существенно зависят от положения мостовых кранов внутри него и могут для одной и той же по порядку собственной формы, но для различных расчетных случаев положения мостовых кранов внутри здания меняться от изгибно-поступательных до изгибно-крутильных. Большинство изгибно-крутильных колебаний имеют несимметричный вид (имеют эксцентриситет).

3. Мостовые краны в месте своего расположения внутри здания создают локальные изгибно-сдвиговые колебания крановых балок со значительной амплитудой. В свою очередь крановые балки вызывают изгибные колебания колонн как крайних рядов, так среднего ряда – локально в месте расположения мостовых кранов.

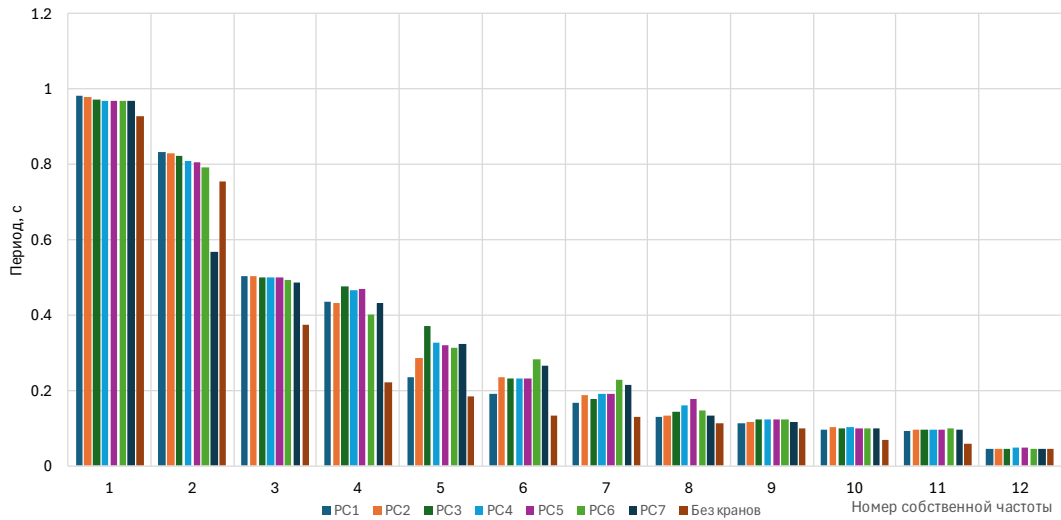


Рис. 5. Распределение периодов собственных колебаний промышленного здания с установленными мостовыми кранами для различных расчетных случаев

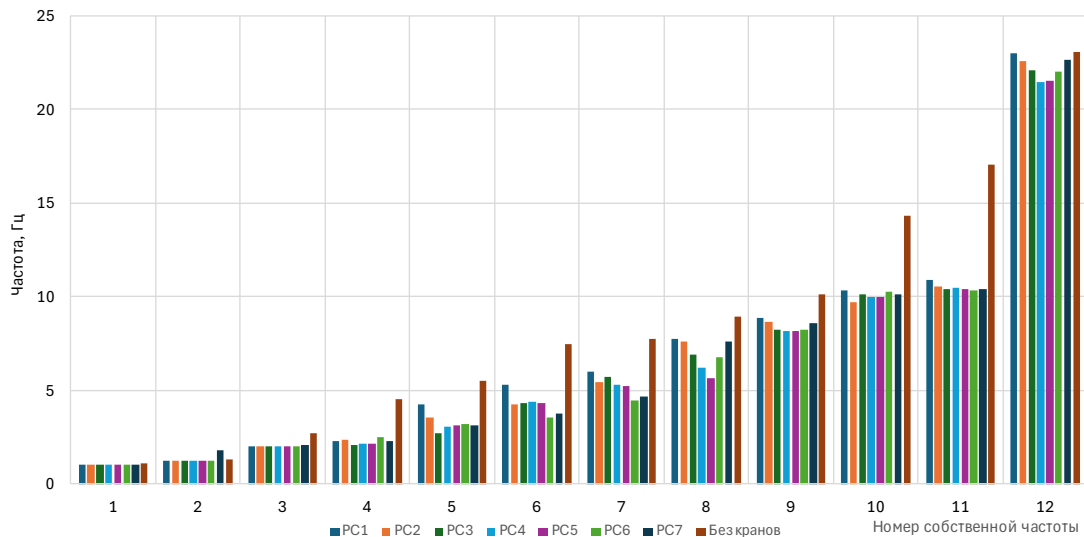


Рис. 6. Распределение частот собственных колебаний промышленного здания с установленными мостовыми кранами для различных расчетных случаев

### Выводы

С учетом работы [10] и в дополнение к сделанным в ней выводам можно заключить:

1) наличие в промышленном здании мостовых кранов, даже в том случае, когда они не нагружены рабочим грузом, изменяет собственные частоты и формы колебаний здания, ухудшает динамические характеристики;

2) несмотря на то, что перемещение грузовых тележек перераспределяет суммарную массу каждого мостового крана, их положение на мостах кранов практически не оказывает влияние на собственные частоты и формы колебаний промышленного здания. Это связано с тем, что масса грузовых тележек существенно меньше, чем сумма масс главных и концевых балок мостовых кранов.

3) наличие поднимаемого рабочего груза существенно меняет характер собственных форм колебаний промышленного здания и смещает характерные формы колебаний здания в область с большей частотой (меньшим периодом). Область низких частот занимают собственные формы, относящиеся к колебаниям мостовых кранов;

4) с целью полного решения поставленной задачи в качестве варьируемых параметров необходимо использовать положение каждого мостового крана в здании и для каждого положения – нагружение попарно двух кранов рабочим грузом. Из перечисленных наиболее существенное влияние на собственные частоты и формы колебаний промышленного здания оказывает положение мостовых кранов внутри здания.



## Список литературы

1. СП 413.1325800.2018. Здания и сооружения, подверженные динамическим воздействиям. Правила проектирования. – Дата введения 2019–05–08. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 36 с.
2. СП 296.1325800.2017. Здания и сооружения. Особые воздействия (с Изменениями № 1, 2). – Дата введения 2018–02–04. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 28 с.
3. Панасенко Н. Н. Конечно-элементный анализ и проектирование подъемных сооружений в сейсмостойком исполнении : монография / Н. Н. Панасенко, А. В. Синельщиков. – Москва : АСВ, 2020. – 760 с.
4. Филимонов А. В. Учет найденных форм собственных колебаний при расчете реакции зданий и сооружений на сейсмические воздействия / А. В. Филимонов // *Строительная механика и расчет сооружений*. – 2014. – № 2. – С. 46–53.
5. Синельщиков А. В. Конечно-элементный анализ сейсмостойкости грузоподъемных кранов на основе двухмерных конечных элементов / А. В. Синельщиков, Н. Н. Панасенко // *Инженерно-строительный вестник Прикаспия*. – 2019. – № 1 (27). – С. 56–73.
6. ISO 4866:2010. Вибрация и удар механические. Вибрация зданий. Руководящие положения по измерению вибраций и оценке их воздействия на здания. – Дата введения 2010–03–01. – 48 с.
7. Вычегжанин Е. В. Способы исключения крутильных колебаний по основным формам при проектировании многоэтажных монолитных зданий / Е. В. Вычегжанин, А. Н. Сычков // *Перспективы развития строительного комплекса : материалы XIII Международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов, Астрахань, 29–31 октября 2019 года / под общ. ред. В. А. Гутмана, Т. В. Золиной*. – Астрахань : Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2019. – С. 175–178.
8. СП 14.13330.2018. Актуализированная редакция СНиП II-7-81\*. Строительство в сейсмических районах. – Дата введения 2018–11–25. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 122 с.
9. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* (с Изменениями № 1–4). – Дата введения 2017–06–04. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 95 с.
10. Синельщиков А. В. Влияние внешнего нагружения на изменения собственных частот и форм колебаний промышленного здания. Часть 1 / А. В. Синельщиков, Р. А. Завьялов // *Инженерно-строительный вестник Прикаспия*. – 2023. – № 4 (46). – С. 8–13.
11. ГОСТ 6711-81. Краны мостовые электрические общего назначения грузоподъемностью от 80 до 500 т. Основные параметры и размеры. – Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам № 1094 от 27 февраля 1981 г. – Москва : Издательство стандартов, 1985. – 35 с.
12. Копытов А. М. Металлические конструкции каркасных зданий / А. М. Копытов. – Москва : АСВ, 2016. – 400 с.
13. Завьялова О. Б. Применение условного сдвига-изгибного стержня при расчете рам на устойчивость / О. Б. Завьялова, А. И. Шеин // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. – 2010. – № 1 (613). – С. 99–105. – EDN: OZHVVV.
14. Юзиков В. П. Расчет тонкостенных стержней открытого профиля с учетом сдвига срединной поверхности / В. П. Юзиков, О. Б. Завьялова // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. – 2011. – № 1 (625). – С. 108–115. – EDN: OZNB RJ.
15. Синельщиков А. В. Спектральный анализ сейсмических воздействий в теории сейсмостойкости подъемных сооружений / А. В. Синельщиков, Н. Н. Панасенко // *Вестник Астраханского государственного технического университета*. – 2008. – № 2 (43). – С. 27–34. – EDN: IJVMNL.
16. Завьялова О. Б. Способы усиления одноэтажного промышленного здания, оборудованного мостовым краном, при защите от прогрессирующего обрушения / О. Б. Завьялова, Р. А. Завьялов // *Инженерно-строительный вестник Прикаспия*. – 2024. – № 1 (47). – С. 5–10. – DOI 10.52684/2312-3702-2024-47-1-5-10. – EDN: VJVT FV.
17. Клаф Р. Динамика сооружений : пер. с англ. / Р. Клаф, Дж. Пензиен. – Москва : Стройиздат, 1979. – 320 с.
18. Парлетт Б. Симметричная проблема собственных значений. Численные методы : пер. с англ. / Б. Парлетт. – Москва : Мир, 1983. – 384 с.
19. Fialko S. Yu. High-performance aggregation element-by-element Ritz-gradient method for structure dynamic response analysis. *CAMES / S. Yu. Fialko // Computer Assisted Mechanics – Engineering Sciences*. – 2000. – № 7. – P. 537–550.
20. Solving large – scale problems in mechanics / M. Papadrakakis. – John Wiley & Sons Ltd., 1993.

© А. В. Синельщиков, Р. А. Завьялов

## Ссылка для цитирования:

Синельщиков А. В., Завьялов Р. А. Влияние внешнего нагружения на изменения собственных частот и форм колебаний промышленного здания. Часть 2 // *Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2024. № 4 (50). С. 44–52.*