



3. Душко О. В. Bar structures calculation by the method of discrete elements with generalized unknowns in aggressive environments / О. В. Душко, Г. В. Воронкова, С. С. Рекунов // International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (IC-CATS 2020) : IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (6–12 September 2020, Sochi, Russia). – IOP Publishing, 2020. – Vol. 962, № 2. – 7 p. – Режим доступа: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/962/2/022073/pdf>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
4. Makarov A. Design features of bimetallic bridges / A. Makarov, S. Kalinovsky // E3S Web of Conferences. 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM 2019. – 2019. – С. 06001.
5. Калиновский С. А. Роль мостов в повышении качества городской среды и создании архитектурного ансамбля города / С. А. Калиновский, А. В. Макаров, Д. А. Гурова, И. В. Шестопалов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 1 (39). – С. 90–94
6. Макаров А. В. Обследование мостовых сооружений с помощью современного оборудования / А. В. Макаров, Е. В. Крошнева, А. Ф. Файзаалиев, М. А. Павлова, Д. М. Лепехина // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 7. – С. 10. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7095>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
7. Рекунов С. С. Об оценке надежности и восстановлении эксплуатационных качеств мостовых сооружений / С. С. Рекунов // Транспортные сооружения. – 2016. – Т. 3, № 2. – С. 7.
8. Makarov A. V. Some aspects of the bridges' functional qualities restoration / A. V. Makarov, S. A. Kalinovsky, T. V. Ereshchenko, M. A. Pavlova // IOP Conference Series. Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development Materials Science and Engineering : International Scientific Conference. – 2021. – С. 012069.
9. Rune E. Assessing the validity of road safety evaluation studies by analysing causal chains / E. Rune // Accident Analysis and Prevention. – 2003. – № 35 (5). – С. 741–748.
10. Pshenichkina V. A. Research of the dynamical system “beam – stochastic base” / V. A. Pshenichkina, G. V. Voronkova, S. S. Rekunov // Procedia Engineering. – 2016. – Т. 150. – С. 1721–1728.
11. Пшеничкина В. А. Stochastic Process Simulation of Soil Displacement in Calculations of Seismic Resistant Buildings / В. А. Пшеничкина, С. С. Рекунов, Р. И. Баженов // IOP Conference Series. FarEastCon–2019 : Materials Science and Engineering : International Science and Technology Conference (1–4 October 2019, Russky Island, Russian Federation). – Far Eastern Federal University; Vladivostok Branch of Russian Customs Academy, 2020. – Chapter 2, vol. 753. – 7 p. – Режим доступа: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/753/3/032089/meta>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
12. Рекунов С. С. Исследование вопросов надежности сооружений разных типов при экстремальных воздействиях. часть первая / С. С. Рекунов, А. А. Чураков // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2023. – № 2 (44). – С. 57–61.
13. Макаров А. В. Безопасность транспортных сооружений в чрезвычайных ситуациях / А. В. Макаров // Безопасность в образовательных и социоприродных системах : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 16–17 мая 2014 г. – Элиста : Калм. ун-т, 2014. – С. 240–242.
14. Кулаев Е. А. Реконструкция моста через реку Олень Волгоградской области / Е. А. Кулаев, Г. В. Воронкова // Инженерный Вестник Дона, – 2017. – № 2. – Режим доступа: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4168, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
15. Воронкова Г. В. Применение модели линейно деформируемого стохастического полупространства для расчета системы «балка – неоднородное основание» / Г. В. Воронкова, В. А. Пшеничкина // Наукоедение. – 2014. – № 5 (24). – С. 27.
16. Николенко М. А. Анализ причин появления дефектов, влияющих на несущую способность искусственных сооружений, на примере моста км 1009+279 (правый) автомобильной дороги М-4 «Дон» / М. А. Николенко, Ю. В. Головань // Инженерный вестник Дона. – 2016. – № 4. – Режим доступа: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3800/, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

© А. В. Макаров, А. А. Васильченко, Х. И. Магомедов

Ссылка для цитирования:

Макаров А. В., Васильченко А. А., Магомедов Х. И. Роль опорных частей в долговременной работе мостов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2023. № 4 (46). С. 5–8.

УДК 624.042.7

DOI 10.52684/2312-3702-2023-46-4-8-13

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО НАГРУЖЕНИЯ НА ИЗМЕНЕНИЯ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ И ФОРМ КОЛЕБАНИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ. ЧАСТЬ 1

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

Приведены результаты сравнительного анализа частот и форм колебаний протяженного в плане промышленного здания с учетом влияния дополнительного нагружения здания поднимаемым кранами рабочим грузом. Сделан вывод о существенном влиянии дополнительного внешнего нагружения на величину и распределение собственных частот колебаний здания.

Ключевые слова: собственные частоты и формы колебаний, промышленное здание, внешнее нагружение.

INFLUENCE OF EXTERNAL LOAD ON CHANGES IN NATURAL FREQUENCIES AND FORMS OF VIBRATIONS OF INDUSTRIAL BUILDINGS. PART 1

A. V. Sinelshchikov, R. A. Zavyalov

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

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

The results of a comparative analysis of the frequencies and vibration modes of an extended industrial building are presented, taking into account the influence of additional loading of the building by the working load lifted by cranes. A conclusion is drawn about the significant influence of additional external loading on the magnitude and distribution of the natural vibration frequencies of the building.

Keywords: natural frequencies and mode shapes, industrial building, external loading.

Согласно требованиям СП 413.1325800.2018 [1] и СП 296.1325800.2017 [2], здания и сооружения, подвергающиеся динамическим нагрузкам, должны быть запроектированы с учетом возможного появления резонансных явлений при совпадении собственных частот здания и внешнего динамического воздействия (п. 7.1 [1]). Для промышленных зданий источником динамического воздействия могут выступать работающие машины и оборудование (мостовые краны), удары мостовых кранов о тупиковые упоры и между собой, раскачивание груза на гибком подвесе, падение и удары груза о препятствия, а также для высоких протяженных в плане зданий – динамическая составляющая ветровой нагрузки (п. 6.6 [2]).

Промышленное здание, оснащенное мостовыми кранами, является сложным техническим объектом с перемещающимися внутри здания массами. Изменение местоположения масс приводит к трансформации собственных форм и частот промышленного здания. Установление закономерностей изменения собственных форм и частот промышленного здания в зависимости от положения грузоподъемных кранов (внешнего нагружения) и наиболее невыгодных случаев действия нагрузок является актуальным.

Обзор литературных источников показал, что проблема изменения собственных частот и форм колебаний сооружений в зависимости от меняющейся нагрузки и конфигурации сооружения не является новой, однако решение задачи осуществляется в упрощенной постановке. Условно, научные работы, посвященные данной тематике, можно разделить на две группы. Первая группа работ посвящена изучению влияния конфигурации сооружения и действующей нагрузки на собственные формы и частоты на стадии проектирования. Однако авторы рассматривают простые рамные схемы, а работы носят скорее теоретический характер, например [3]. Вторая группа научных работ посвящена изучению изменения динамических характеристик уже эксплуатирующихся зданий под действием разнообразных внешних факторов – температуры, наличия повреждений в здании и так далее, например [4].

В настоящей работе решение задачи анализа влияния подвижной нагрузки на собственные частоты и формы колебания промышленного здания выполнено с использованием:

1) метода математического моделирования дискретно-континуальных систем зданий и сооружений (промышленного здания) в виде метода конечных элементов с использованием стержневых и пластинчатых конечных элементов и линейных конечных элементов, моделирующих жесткие связи между конструктивными элементами здания;

2) методов строительной механики в части формирования матриц жесткости и масс расчетно-динамической модели, учета сосредоточенных распределенных нагрузок от собственного веса, массы кранов и поднимаемого груза;

3) метода сравнительного анализа, который использовался для установления влияния нагрузки от мостовых кранов на изменение собственных частот и форм колебаний промышленного здания.

В качестве исследуемого объекта выбрано промышленное здание судокорпусного цеха судостроительного завода длиной 228 м (предельной для зданий без температурных швов) с двумя пролетами по 30 м. Внешнее нагружение создают четыре крана грузоподъемностью 100 т и два крана грузоподъемностью 50 т.

Расчетно-динамическая модель (РДМ) промышленного здания судокорпусного цеха судостроительного завода (рис. 1) состоит из 12332 стержней, 1160 пластин, 2760 жестких тел (жестких вставок) и 8094 узлов. Общее число степеней свободы – $n = 48564$.

Проектирование и расчет подобных зданий и сооружений, согласно требованиям пункта 10 СП 20.13330.2016 [5], ведется с учетом нагрузок, обусловленных нахождением в здании мостовых кранов и грузов, возникающих при выполнении ими грузоподъемных операций и передвижении внутри промышленного здания. Указанные факторы учитываются при расчете промышленных зданий как дополнительная статическая нагрузка в виде собственного веса кранов и создаваемых эксплуатационных нагрузок. При расчете промышленного здания рекомендуется выбирать наиболее невыгодное для здания положение мостовых кранов [5]. Более конкретные рекомендации отсутствуют.

При динамических расчетах зданий и сооружений, 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). Мостовые краны не связаны жестко со зданием и в месте контакта ходовых колес имеют шарнирное соединение с крановым рельсом.

При использовании динамических методов расчетного анализа зданий на основе собственных частот и форм колебаний, мостовые краны добавляют зданию шарнирно присоединенную распределенную по мосту крана массу. Мостовой кран обладает собственными частотами и формами колебаний, что отражается на собственных частотах и формах колебания здания.

Рассматривая задачу влияния нагрузки на собственные частоты и формы колебания промышленного здания судокорпусного цеха судостроительного завода, следует отметить, что в данном случае имеет место многовариантная задача. Это связано со следующими обстоятельствами:

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

2) у мостовых кранов при каждом их положении внутри здания 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, соответствующий грузоподъемности. В этом случае к зданию добавляется масса поднимаемого груза, что оказывает влияние на собственные частоты и формы колебаний здания.

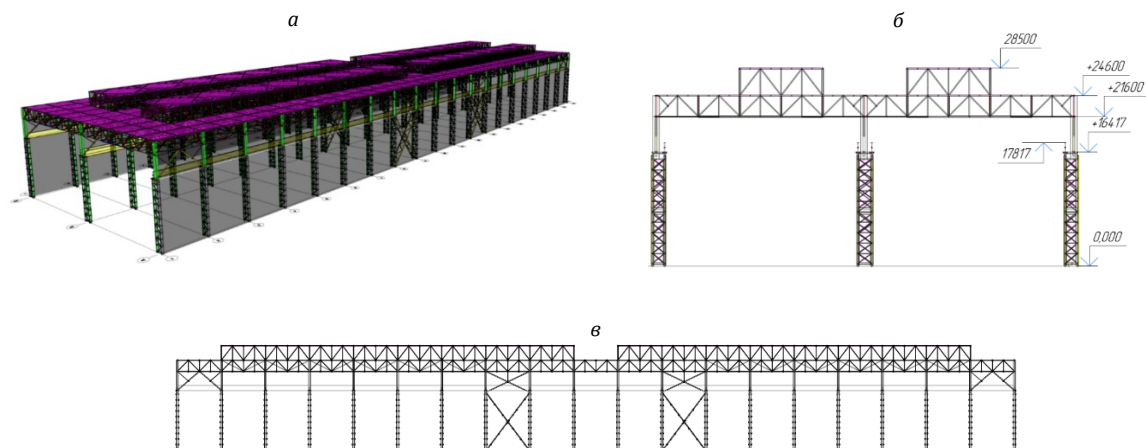


Рис. 1. Расчетно-динамическая модель промышленного здания судокорпусного цеха судостроительного завода: а – изометрия; б – вид сбоку; в – вид спереди

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, таким образом 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 плоскости симметрии. Это означает, что

можно исследовать только половину расчетных случаев расположения подвижной нагрузки от мостовых кранов (до середины здания).

С целью оценки влияния поднимаемого груза на собственные частоты и формы колебания промышленного здания в настоящей работе приведен случай расположения всех мостовых кранов в начале здания с грузовыми тележками, расположенными в центре пролета кранов без рабочего груза (рис. 2 а, расчетный случай – 1) и с рабочим грузом для двух кранов, соответствующим их грузоподъемности $Q = 100$ т (рис. 2 б, расчетный случай – 2).

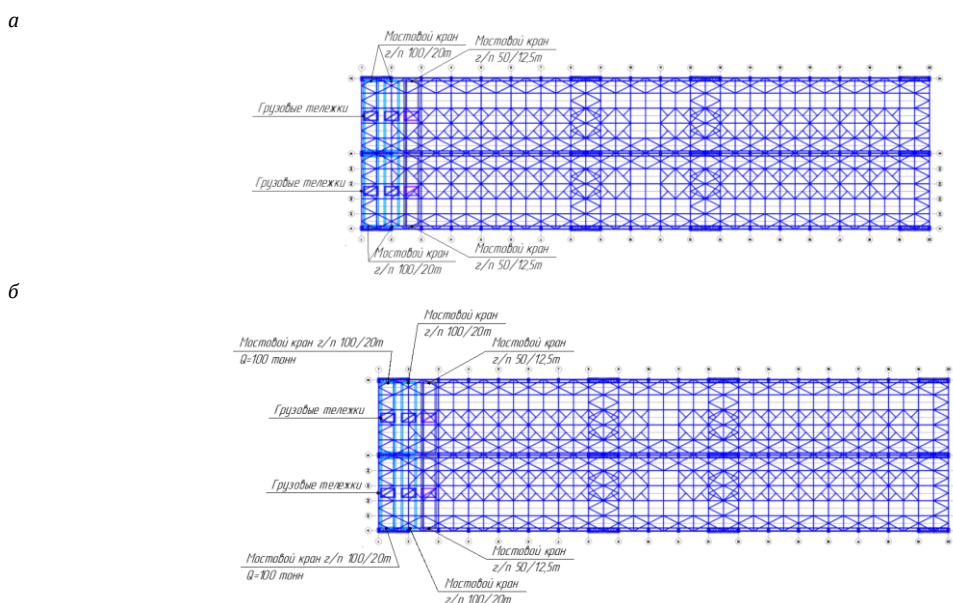


Рис. 2. Расположение мостовых кранов внутри промышленного здания: а – без рабочего груза; б – с рабочим грузом $Q = 100$ т

В таблице 1 приведено сравнение собственных частот колебаний промышленного здания, полученных без рабочего груза и с рабочим грузом $Q = 100$ т для двух крайних кранов, а на рисунке 3 – сравнение спектра частот для рассматриваемых расчетных случаев. Как видно из таблицы 1, наибольшие изменения произошли в собственных частотах колебаний № 3 и 4, в меньшей степени для частот № 7, 9 и 11.

Форма колебаний № 1 ($T = 0,98$ с – в обоих расчетных случаях, рис. 4), как в первом, так и во втором случаях – имеет изгибно-поступательный и крутильный характер. Это связано с наличием в начале здания больших масс грузоподъемных кранов (наличие большого эксцентриситета масс) и делает эту форму опасной согласно требованиям [1].

Форма колебаний № 2 ($T = 0,8308$ с – первый расчетный случай; и $T = 0,8254$ с – второй расчетный случай, рис. 5) промышленного здания в обоих случаях является крутильной и также является опасной.

Собственные формы № 3 ($T = 0,2830$ с, рис. 6 а), № 4 ($T = 0,2336$ с, рис. 6 б) и № 6 ($T = 0,2044$ с, рис. 6 в) промышленного здания с мостовыми кранами и рабочим грузом $Q = 100$ т соответствует собственной форме № 6 ($T = 0,1896$ с) промышленного здания с мостовыми кранами и без рабочего груза (рис. 7). Рост периода собственной частоты колебаний составил +33, +18,8 и +7,2 % соответственно.

Таблица 1

Собственные частоты промышленного здания с мостовыми кранами, расположенными в начале здания с грузовыми тележками в середине пролета и рабочим грузом $Q = 100$ т

Собственная частота	Тележки по центру пролета		Тележки по центру пролета с грузом $Q = 100$ онн		Изменение периода, %
	Период, с	Частота, Гц	Период, с	Частота, Гц	
1	0,9817	1,0186	0,9815	1,0188	0,0
2	0,8308	1,2036	0,8254	1,2115	-0,7
3	0,5018	1,9927	0,2830	3,5340	-77,3
4	0,4358	2,2944	0,2336	4,2804	-86,6
5	0,2357	4,2419	0,2263	4,4186	-4,2
6	0,1896	5,2738	0,2044	4,8930	+7,2
7	0,1674	5,9723	0,1241	8,0599	-34,9
8	0,1294	7,7255	0,1223	8,1755	-5,8
9	0,1130	8,8526	0,1021	9,7908	-10,7
10	0,0970	10,3126	0,0990	10,1055	+2,0
11	0,0921	10,8588	0,0841	11,8922	-9,5
12	0,0435	23,0072	0,0467	21,4139	+6,9

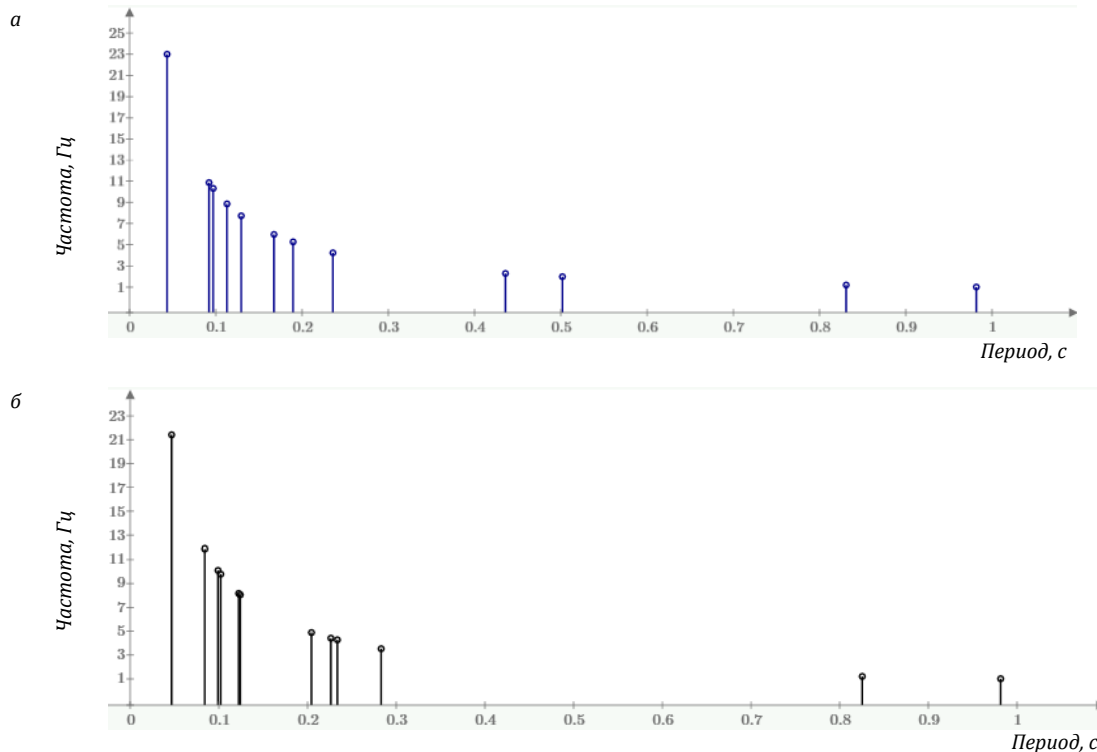


Рис. 3. Спектр частот первых двенадцати собственных колебаний промышленного здания судокорпусного цеха судостроительного завода:

а – тележки в центре мостов мостовых кранов; б – тележки с грузом в центре мостов мостовых кранов

Собственная форма № 5 ($T = 0,2263$ с, рис. 8 б) промышленного здания с мостовыми кранами и рабочим грузом $Q = 100$ т по характеру совпадает с собственной формой колебаний № 5 ($T = 0,2357$ с,

рис. 8 а) промышленного здания с мостовыми кранами без рабочего груза при незначительном изменении собственной частоты колебаний.

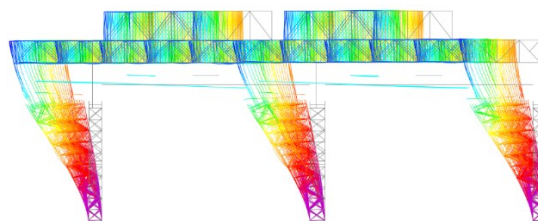
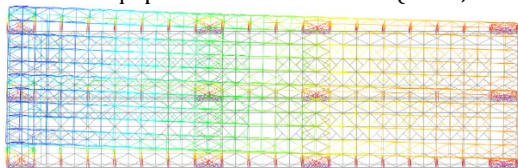


Рис. 4. Собственная форма колебаний № 1 ($T = 0,98$ с) промышленного здания судокорпусного цеха судостроительного завода (одинаковая для первого и второго расчетных случаев)

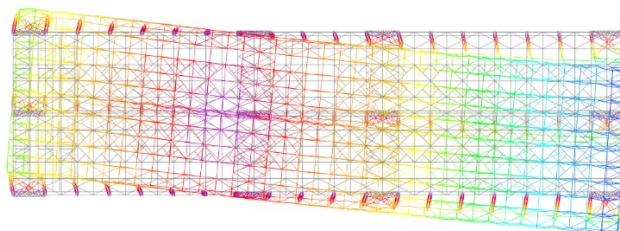
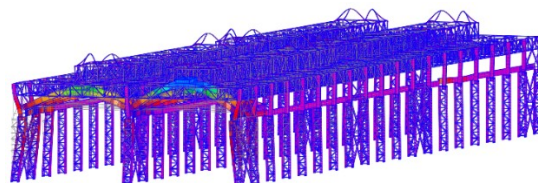
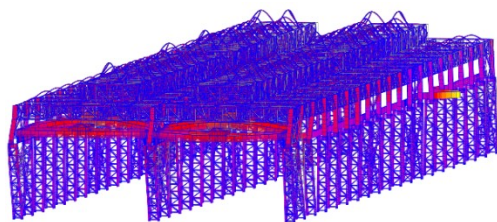


Рис. 5. Собственная форма колебаний № 2 ($T=0.8308$ с и $T=0.8254$ с) промышленного здания судокорпусного цеха судостроительного завода (одинаковая для первого и второго расчетных случаев)

а

б



в

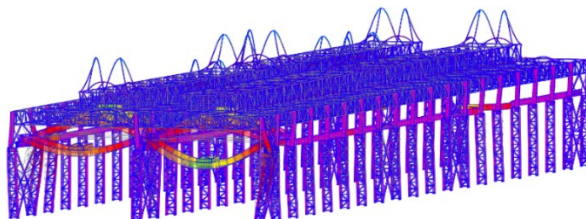


Рис. 6. Собственные формы колебаний промышленного здания судокорпусного цеха судостроительного завода с кранами без рабочего груза: а – № 3 ($T=0.2830$ с); б – № 4 ($T=0.2336$ с); в – № 6 ($T=0.2044$ с)

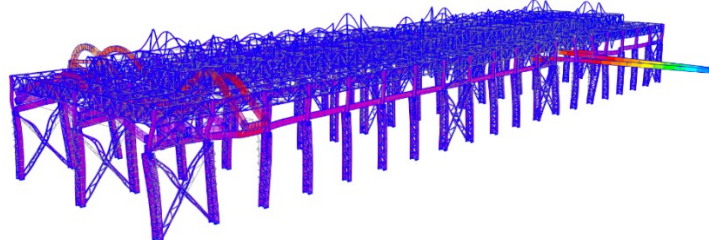


Рис. 7. Собственная форма колебаний № 6 ($T=0.190794$ с) промышленного здания судокорпусного цеха судостроительного завода с мостовыми кранами без рабочего груза

а

б

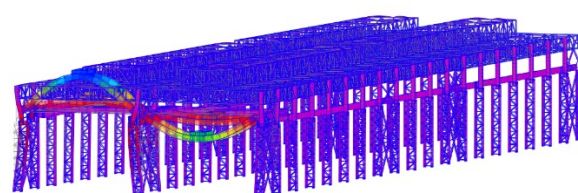
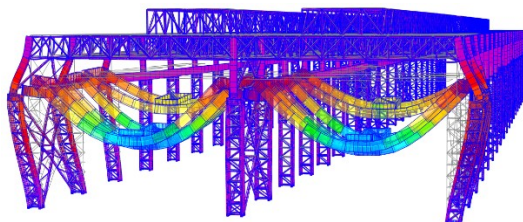


Рис. 8. Собственная форма колебаний № 5 ($T=0.2263$ с) промышленного здания судокорпусного цеха судостроительного завода: а – без рабочего груза; б – с рабочим грузом $Q = 100$ т

Динамический портрет промышленного здания с мостовыми кранами и рабочим грузом $Q = 100$ т с точки зрения наличия резонансных частот колебаний имеет более благоприятный характер, так как собственные формы колебаний непосредственно самого здания сместились в сторону уменьшения периода (увеличения частоты). С другой стороны, в низкочастотной области появился ряд собственных форм колебаний, относящихся к мостовым кранам и заменивших собой в частотной области колебания промышленного здания. Данное обстоятельство влечет за собой необходимость учета в динамических расчетах большего количества собственных частот и форм колебаний для учета колебаний самого здания.

В заключение следует отметить:

1. Наличие в промышленном здании мостовых кранов, даже в том случае, когда краны не

нагружены рабочим грузом, существенно меняет частоты и формы колебаний промышленного здания существенно ухудшая его динамические характеристики.

2. 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.

3. Для получения достоверных расчетных реакций промышленного здания при его проектировании, в качестве варьируемых параметров необходимо использовать положение каждого мостового крана в здании и для каждого положения нагружение попарно двух кранов рабочим грузом.

Список литературы

1. СП 413.1325800.2018. Здания и сооружения, подверженные динамическим воздействиям. Правила проектирования. – Москва : Стандартинформ, 2019.
2. СП 296.1325800.2017. Здания и сооружения. Особые воздействия (с Изменениями № 1, 2). – Москва : Стандартинформ, 2017.
3. Кирсанов М. Н. Деформации и собственная частота колебаний фермы пространственной модели многоэтажного здания / М. Н. Кирсанов // Вестник МГСУ. – 2022. – Т. 17, вып. 5. – С. 580–588.
4. Корепанов В. В. Сезонные изменения собственных частот колебаний здания на свайном фундаменте / В. В. Корепанов, Р. В. Цветков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2014. – № 2. – С. 153–167.
5. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями № 1, 2, 3, 4).

© 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 1 // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2023. № 4 (46). С. 8–13.

УДК 699.8

DOI 10.52684/2312-3702-2023-46-4-13-19

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКОГО РАЙОНА СТРОИТЕЛЬСТВА НА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Э. Е. Семенова, А. А. Рыбалко, Ю. А. Черникова

Семенова Эльвира Евгеньевна, кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования зданий и сооружений, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация, тел.: + 7 (910) 732-21-15; e-mail: semenova@vgasu.vrn.ru;

Рыбалко Артем Александрович, магистрант, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация, тел.: + 7(951) 567-94-23; e-mail: rybalko.artjom@yandex.ru;

Черникова Юлия Александровна, магистрант, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация, тел.: + 7 (951) 854-33-99; e-mail: yulya.chernikova.00@yandex.ru

Рассмотрен актуальный вопрос, связанный с повышением энергоэффективности наружных ограждающих конструкций. Объектом исследования выбрано здание общественно-делового центра в г. Воронеже и г. Екатеринбурге. Целью исследования является определение влияния климатических условий регионов России на теплотехнические характеристики наружных ограждающих конструкций здания с учетом энергосбережения и стоимостных показателей для повышения энергоэффективности. Основная задача исследования – сравнение вариантов конструктивных решений наружных ограждающих конструкций для разных климатических районов. Исследование проводилось с применением методов теплотехнических расчетов и экономических затрат. С помощью программного комплекса Smartcalc определены зоны конденсации и плоскости увлажнения ограждающих конструкций с учетом температурно-влажностного режима. Результаты исследования могут практически применяться при проектировании энергоэффективных зданий.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, экономия энергии наружные ограждающие конструкции, здание, теплозащита, климатические факторы, климатический район, утеплитель.