



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ**  
**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ**  
**METAL CONSTRUCTIONS**

N3, ТОМ 14 (2008) 143-161

УДК 616-07

(08)-0162-1

## **ДИНАМІКА КОНСТРУКЦІЙ ТА ОБЛАДНАННЯ ЦЕХІВ ЗІ СПІЛЬНОЮ СТІНОЮ ТА З РІЗНИМ РІВНЕМ ДОПУСТИМОЇ ВІБРАЦІЇ**

**Є.М. Єрмак<sup>1</sup>, В.В. Кулябко<sup>2</sup>, А.В. Масловський<sup>2</sup>, А.О. Ісмагілов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Українська державна академія залізничного транспорту,  
майдан Фейєрбаха 7, 61050, м. Харків, Україна;*

<sup>2</sup> *Придніпровська державна академія будівництва та архітектури,  
вул. Чернишевського 24-а, 49005, м. Дніпропетровськ, Україна.*

*E-mail: kulyabko@resonans.dp.ua*

*Отримана 20 червня 2008; прийнята 30 червня 2008*

**Анотація.** Обговорюються проблеми близько розташованих різнорідних виробництв, які пов'язані із взаємним впливом на будівельні конструкції і прецизійне устаткування ("приймачі" вібрації) динамічних (вібраційних та ударних) впливів при роботі мостових кранів, копрових установок, брикетувальників сталевих стружки, при навантажувальних операціях та ін. ("джерела"). Розглянуто приклад трьохпрогонної одноповерхової промислової будівлі, у суміжних прогонах якої розміщені виробництва різних за рівнем допустимої вібрації цехів, розділених загальною цегельною стіною. В одному із цехів виконуються грубі механічні операції, кран, що працює в ньому, має потребу в ремонті, а також часто на підлогу цеху та у залізничні вагони скидається велика маса металу. В іншому цеху розташована коштовна термічна піч, прецизійні ваги, численні шафи з приборами. Були проведені теоретичні і натурні експериментальні дослідження, видані рекомендації зі зниження вібрації і динамічні паспорти.

**Ключові слова:** динаміка, вібрація, промислові будівлі.

## **ДИНАМИКА КОНСТРУКЦИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ЦЕХОВ С ОБЩЕЙ СТЕНОЙ И С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ ДОПУСТИМОЙ ВИБРАЦИИ**

**Е.М. Ермак<sup>1</sup>, В.В. Кулябко<sup>2</sup>, А.В. Масловский<sup>2</sup>, А.О. Исмагилов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Украинская государственная академия железнодорожного транспорта,  
площадь Фейербаха 7, 61050, г. Харьков, Украина;*

<sup>2</sup> *Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры,  
ул. Чернышевского 24-а, 49005, г. Днепропетровск, Украина.*

*E-mail: kulyabko@resonans.dp.ua*

*Получена 20 июня 2008; принята 30 июня 2008*

**Аннотация.** Обсуждаются проблемы близко расположенных разнородных производств, связанные со взаимным влиянием на строительные конструкции и прецизионное оборудование ("приемники" вибрации) динамических (вибрационных и ударных) воздействий при работе мостовых кранов, копровых установок, брикетировщиков стальной стружки, при погрузочных операциях и др. ("источники"). Рассмотрен пример трехпролетного одноэтажного промышленного здания, в смежных пролетах которого размещены производства совершенно различных по уровню допустимой вибрации цехов, разделенных общей кирпичной стеной. В одном из цехов производятся грубые механические операции, работающий в нем кран

нуждается в ремонте, часто на пол цеха и в железнодорожные вагоны сбрасывается большая масса металла. В другом цеху расположена дорогостоящая термическая печь, прецизионные весы, многочисленные шкафы с приборами. Были проведены теоретические и натурные экспериментальные исследования, выданы рекомендации по снижению вибрации и динамические паспорта.

**Ключевые слова:** динамика, вибрация, промышленные здания.

## DYNAMICS OF CONSTRUCTIONS AND THE EQUIPMENT OF WORKSHOPS WITH THE GENERAL WALL AND WITH A VARIOUS LEVEL OF ADMISSIBLE VIBRATION

**E.M. Ermak<sup>1</sup>, V.V. Kulyabko<sup>2</sup>, A.V. Maslovskiy<sup>2</sup>, A.O. Ismagilov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Ukrainian State Academy of Railway Transport, 7, Fejerbah Area, 61050, Kharkov, Ukraine;*

<sup>2</sup> *Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernishevskogo str., 49005, Dniepropetrovsk, Ukraine.*

*E-mail: kulyabko@resonans.dp.ua*

*Received 20 June 2008; accepted 30 June 2008*

**Abstract.** The problems of close had heterogeneous manufactures linked with mutual effect on building constructions and the precision equipment ("receivers" of vibration) dynamic (vi-bration and shock) impacts at operation of bridge cranes, falling tups, cubers of steel swaft, at loading operations, etc. ("sources") are discussed. The instance of a three-drift one-storied industrial building in which contiguous spans manufactures absolutely different on a level of admissible vibration of the departments disjointed by the general brick wall are placed is considered. In one of departments the coarse mechanical operations are made, the crane working in it requires in repair, is frequent on a floor of department and in railway vehicles the big mass of metals is dumped. In other to department it is had cost intensive furnace, the precision balance, numerous cabinets with devices. Theoretical and natural experimental researches have been lead, recommendations on lower-ing vibration and dynamic certificates are given.

**Keywords:** dynamic, vibration, industrial buildings.

Введение и постановка задачи. В XXI веке роль динамики сооружений в создании и техническом содержании объектов строительства становится более значительной. Увеличиваются размеры зданий и сооружений, применяются новые технологии и материалы, изменяются условия эксплуатации. В связи с этим происходит изменение характера и уровня динамических воздействий. Усложняются, например, задачи статико-динамического взаимодействия большепролетных мостов с новым скоростным транспортом. Требуется тщательного изучения вопросы взаимодействия высотных зданий с ветровым потоком, а также зданий различного назначения с новым технологическим оборудованием, создающим динамические нагрузки на строительные конструкции. Все чаще многим странам приходится пересматривать принципы проектирования сейсмостойких зданий и сооружений (с учетом взаимодействия конструкций и оснований

сооружений с волновыми процессами в грунтовой среде, с цунами). Наконец, очень важными и необходимыми стали задачи разработки различных вариантов защиты строительных объектов от актов терроризма и лавинообразного ("прогрессирующего") обрушения конструкций. В этом плане важно сравнить проблемы проектировщиков 70-80 х годов [1-4, 8, 15, 20, 21] и последнего десятилетия [5-7, 9-14, 16-19].

С другой стороны, использование современных программных комплексов для компьютерных расчетов позволяет не только проводить сложный математический анализ на прочность и комфорт (для нормального функционирования человека [16], приборов и аппаратуры, элементов зданий), но и на основе современных динамических испытаний проводить диагностику технического состояния конструкций, создавать контрольные динамические паспорта ответственных сооружений [14].

В последние годы в Украине появляется много зданий, в основном промышленных, условия содержания которых изменяются в связи с перепрофилированием помещений на другое назначение. Яркий пример - описанное в статье [14] одноэтажное промздание, реконструированное в... аквапарк. (Здесь же подчеркнем, что проведенная авторами динамическая паспортизация после натурного обследования здания несколько лет назад позволит в ближайшее время путем повторной паспортизации оценить ущерб, нанесенный конструкциям в период пожара в июне 2008 г). Бывают и такие случаи, когда приватизируются помещения одного и того же здания различными собственниками "по частям". "По частям" проводится реконструкция и перепланировка зданий, а расположение производств и оборудования по цехам планируется и реализуется стихийно, без учета характера смежного производства. На этой стадии возникает много практических конфликтов и нестыковок, если эти вопросы не

согласовываются своевременно между заказчиками и проектировщиками.

В данной работе рассматривается один из таких характерных случаев. В сложном комплексе трехпролетного одноэтажного промышленного здания (см. поперечный разрез и расчетную динамическую модель на рис. 1, условно ряд "А" расположен справа) в смежных пролетах, разделенных общей кирпичной стеной по ряду "К" оказались разные производства. Пролет "К-П" занят грубым производством складирования, брикетировки и погрузки металлической стружки и отходов, в нем отсутствует высокоточная электронная техника и приборы. А пролет "Д-К", наоборот, не имел оборудования, создающего значительные динамические нагрузки, но в нем был установлен чрезвычайно дорогостоящий приборно-технологический комплекс с импортной термической печью и т.п.

Технологов среднего пролета интересует, в первую очередь, влияние динамических воздействий

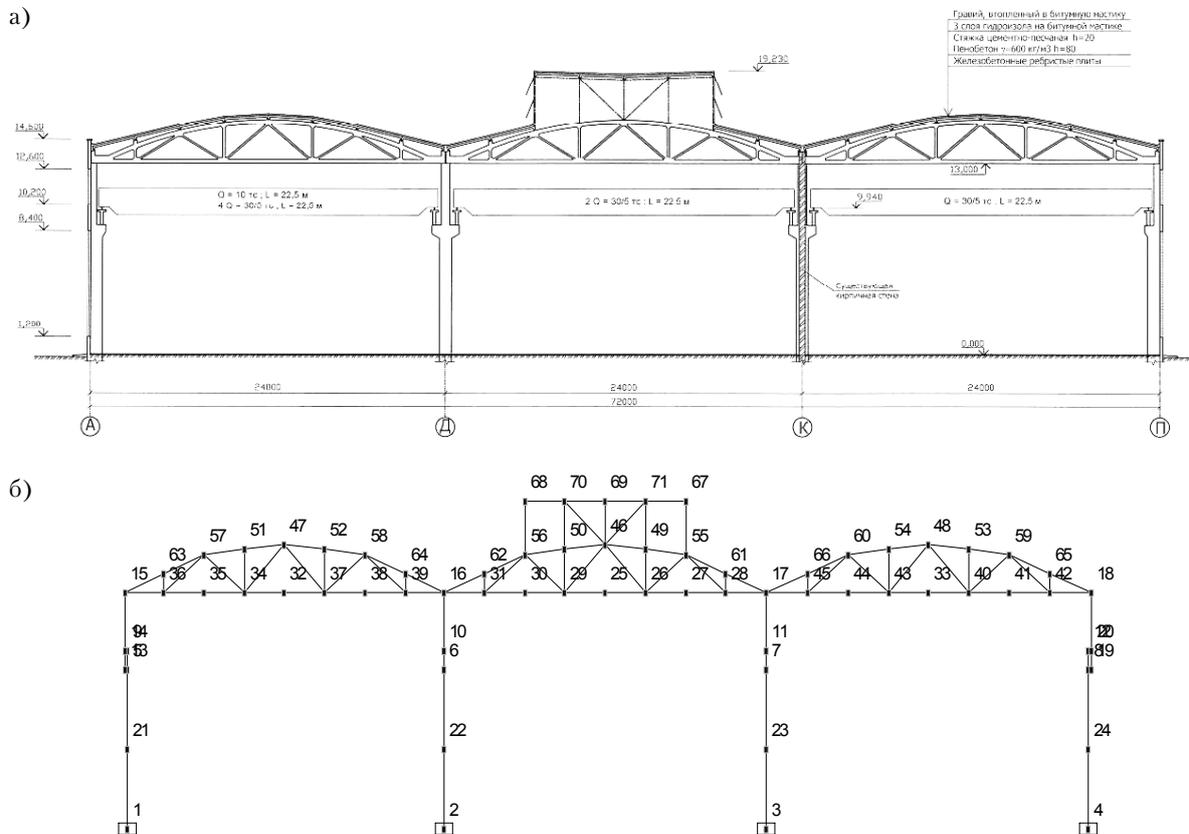


Рис. 1. Поперечная рама промышленного здания с мостовыми кранами (а) и ее расчетная схема (б).

всех близлежащих производств на дорогостоящую термическую печь, которая смонтирована в пролете "Д-К". Причем, видимое влияние "грубого пролета" на "прецизионный пролет" уже наблюдалось в виде местных падений штукатурки и даже кусков кирпичей с общей стены ряда "К", что могло нарушить ритмичную работу термопечи со сложным и чувствительным к вибрациям и ударам технологическим оборудованием.

Выделим некоторые "источники" вибрации, наиболее существенные по реакциям ее "приемников":

1. Работа двух брикетировщиков на складе металлолома в пролете "К-П";
2. Падение чугунной "бабы" массой 2,4 т с высоты 8÷10 м (расстояние от копровой установки до ближайшей оси "П" здания – около 70 м);
3. Движение (с перекосами, рывками и торможением) мостового крана грузоподъемностью 30 тс вдоль пролета "К-П";
4. Движение тележки крана с грузом и ее торможение в поперечном направлении;
5. Падение груза массой 0,4 т с высоты 23 м в пролете "К-П" (при разгрузке электрозахвата крана в транспортное средство или на пол цеха);
6. Движение (с торможением) мостового крана грузоподъемностью 30 тс вдоль пролета "Д-К";
7. То же – поперек пролета (движение тележки крана).

Таким образом, основные причины проведения вибродинамического обследования, методика и результаты которого представлены в данной работе, следующие:

- 1) В связи с перепрофилированием технологических процессов в пролете "Д-К" и установки в этом пролете нового дорогостоящего оборудования (термической печи) возникла необходимость сопоставить динамические реакции опорных точек наиболее чувствительного весового оборудования печи на различные, часто повторяющиеся динамические воздействия от транспортных нагрузок при работе мостовых кранов, работе брикетировщиков, работе копровой установки на эстакаде в 70 м от здания.
- 2) Практически полное отсутствие какой-либо информации и документации как о возмущающих воздействиях от всех вышеуказан-

ных источников, так и о допускаемых уровнях вибрации на приемниках, прежде всего на таком нестандартном оборудовании как термопечь. В паспорте на печь нет конкретных данных на предельно допустимые значения динамических воздействий. Вибрации могут повлиять на показания ее электронных тензометрических весов, а также на работу КИП, электро-, пневмо- и газового оборудования. Отсутствие указанных данных, по-видимому, не позволило на стадии проектирования реконструкции здания проверить соответствие динамических параметров нормативным материалам и рекомендациям [2, 3, 5, 9]. Заметим, что в последнее время повышенное внимание уделяется вопросам экологической оценки вибрационных режимов, поэтому следует анализировать не только работу конструкций на выносливость (при этом учитывается уровень динамических напряжений, количество циклов, снижение усталостной прочности материалов), но и выяснять параметры перемещений, скоростей и ускорений. Последние нормируются из условия безопасности и комфорта при работе и отдыхе людей, а также - из условия обеспечения виброустойчивой работы оборудования и приборов.

- 3) Необходимость оценки частот и форм собственных колебаний основных несущих конструкций покрытия (стропильных ферм), а также - определения амплитуд их вынужденных колебаний при рабочих режимах оборудования.
- 4) Необходимость выяснения причин повышенной вибрации и разрушения кирпичной стены ряда "К" и связанных с ней, через колонны, подкрановых балок.

В связи с этим, а также с целью уточнения технического состояния несущих конструкций цеха, находящихся в эксплуатации длительное время, понадобилось провести комплекс экспериментальных и теоретических исследований, а именно:

- измерение уровней вибрации конструкций в натуральных условиях при работе основных источников динамических воздействий;
- теоретические расчеты частот и форм собственных и вынужденных колебаний элементов здания.

На основе результатов этих исследований сделаны:

- **выводы** о фактических характеристиках динамического поведения строительных конструкций и оборудования и о несоответствии их нормативным ограничениям;
- **рекомендации** по улучшению эксплуатационных качеств конструкций цеха: в частности, предложен вариант усиления кирпичной стены по ряду "К";
- **первичный динамический паспорт** каркаса здания (эти данные в дальнейшем могут быть использованы для сравнения с **текущими динамическими паспортами** объекта и для ускоренного поиска повреждений конструкций или перегрузки массами снега, станков и др. - при обнаружении факта понижения собственных частот).

#### **Краткое описание объекта вибродинамического обследования**

Объект обследования – два основных пролета цеха в рядах "Д-П" выполнены, как и весь 3-х пролетный корпус 3х24 м, из сборных железобетонных конструкций. Высота до низа стропильных ферм 13,0 м, до верха фонарной надстройки в центральном пролете, которая выполнена в стальных конструкциях – 19,2 м, отметка головки подкранового рельса – 9,94 м. Корпус имеет общую длину 210 м. Шаг поперечных рам каркаса – 6,0 м. Класс бетона колонн, как показало обследование, – В15. Класс бетона подкрановых балок и стропильных ферм в динамических расчетах находился в диапазоне от В20 до В40.

Кирпичная самонесущая стена (перегородка) по ряду "К" расположена вблизи большинства "источников" динамических воздействий и основного "приемника" – газовой термической печи. Она выполнена из силикатного кирпича марки не более М100 на цементном растворе марки не более М50. Толщина стены 380 мм. Анкерные связи этой стены с колоннами каркаса обнаружены лишь на некоторых колоннах – в виде полосовых хомутов на отметках около 7,0 м и 9,0 м. В этой стене ранее были, между колоннами каркаса, большие оконные проемы размером 4,0х7,0 (h) м между отметками 0,9 м и 7,9 м. На каком-то этапе эксплуата-

ции эти проемы были заложены примерно такой же, как в простенках, каменной кладкой. Однако анкерных связей между кладкой в проемах и простенках обнаружено не было.

Источники динамических воздействий со стороны пролета "К-П" связаны, в основном, с работой мостового крана:

- периодическое сбрасывание груза массой 400 кг с высоты 2-3 м;
- инерционные воздействия при старте и торможении крана и тележки с грузом (тяжелая бадья с металлическими брикетами);
- "боковые" силы при движении крана с перекосами моста, причинами которых являются: работа только одного привода; дефекты подкрановых путей, весьма тяжелый режим работы крана и др.

Последнее воздействие, как показали испытания, дает наибольший динамический эффект. Кроме того, на стену ряда "К" периодически оказывалось давление от навала металлолома. Еще одним источником динамического воздействия является падение тяжелого груза (металлическая "баба" массой 2,4 т) при работе металлической копровой эстакады, расположенной на расстоянии около 70 м от рассматриваемого здания.

На стене ряда "К" имеются различные дефекты. Например, на стыке кладки проема и бывшего простенка имеются сквозные щели; штукатурка и защитный слой некоторых перемычек "готовы к обрушению". Имеются также разрушения и трещины кладки "по перевязанному сечению".

#### **Тарировка аппаратуры и методика испытаний**

Для оценки уровней амплитуд колебаний была выполнена специальная тарировка измерительных трактов на электродинамическом вибратронном стенде ЭДВС-10а (см. фото установки на рис. 2). Для контроля амплитуд перемещений и последующего их перевода в амплитуды скоростей колебательного процесса применялись индикаторы часового типа (цена деления 0,01 мм) в допустимых для них режимах – ниже предельной кривой "амплитуда перемещений – частота", рекомендуемой в [1].

В частности, оказалось, что с некоторой погрешностью можно принять для частот ниже



**Рис. 2.** Установка для тарировки сейсмографов ВЭГИК на вибростенде ВЭДС-10а.

10 Гц (стенд воспроизводит частоты, начиная с 4 Гц и до сотен кГц) и при показателе ослабления "0,04", масштабный коэффициент порядка 0,34 (мм/с)/1 мм виброграммы скорости колебаний. Следует также заметить, что в опытах задавался одинаковый на всех частотах уровень перемещений датчиков, поэтому амплитуды скоростей, как и должно быть, были пропорциональны соответствующим частотам вынужденных колебаний.

Для получения амплитуд колебаний по скоростям надо измерить амплитуду на виброграмме процесса и умножить ее на масштабный коэффициент, если в этом процессе применялся тот же показатель ослабления (в данном случае – "0,04"). Если в конкретном процессе применялся другой показатель ослабления, то масштабный коэффициент соответствующим образом корректируется. Например, при показателе ослабления "0,02", который часто применялся в данных испытаниях, этот коэффициент должен быть уменьшен в два раза.

Для перехода от амплитуд скоростей к амплитудам перемещений следует сначала выявить линейную частоту колебаний на данном участке процесса, перевести ее в круговую (циклическую) и разделить измеренную амплитуду скорости процесса на эту круговую частоту. Для перехода от амплитуд скоростей к амплитудам ускорений следует выявить линейную частоту этого участка процесса, перевести ее в круговую (циклическую) и умножить измеренную амплитуду скорости процесса на эту круговую

частоту. Отметим тот факт, что большинство современных вычислительных программных комплексов (ПК) не дает пользователю величину ускорений в результатах динамических расчетов, ограничиваясь только амплитудами перемещений. Поэтому пользователю придется самостоятельно вычислять ускорения, умножая (по аналогии с изложенным) перемещения на квадрат круговой частоты вынужденных (если расчет делается на конкретную возмущающую нагрузку) или собственных (если расчет делается, например, на ветровой резонанс) колебаний.

Для контроля чувствительности и работоспособности всех пяти виброизмерительных трактов все датчики ДЗ, Д4, Д5, Д6, Д9 были вначале установлены на коньковом участке покрытия в рядах "К-П" для записи вертикальных колебаний. Чувствительность всех трактов была зафиксирована наибольшая (коэффициент ослабления равен "0,02").

Общие вопросы и методики вибродинамических обследований и испытаний известны давно [2]. В зависимости от задач таких обследований и испытаний, а также от возможного уровня сервиса, подбираются различные виды измерительной и регистрирующей аппаратуры (см. блок-схему динамических испытаний в работе [9]). В данном обследовании применялись записи виброграмм скоростей колебаний различных точек и сечений конструкций. Для этого использовались сейсмографы ВЭГИК и самопишущие приборы Н-338-8, хорошо описанные в работе [15].

Вибродинамическое обследование и измерение колебаний некоторых несущих конструкций и технологического оборудования объекта проводились в **четыре этапа**.

**На первом этапе** измерялись частоты и амплитуды вертикальных колебаний конструкций покрытия здания (станция №1).

**На втором этапе** измерялись частоты и амплитуды вертикальных и горизонтальных колебаний конструкций покрытия здания (станция №2).

**На третьем этапе** измерялись частоты и амплитуды вертикальных и горизонтальных колебаний пола возле виброчувствительных весов термопечи (ст. №3) и горизонтальные колебания верха подкрановой балки (станция №4).

На четвертом этапе измерялись частоты и амплитуды вертикальных и горизонтальных колебаний пола возле электрощитов (ст. №6) и шкафов (ст. №5) и горизонтальные колебания верха подкрановой балки (ст. №4).

### Результаты измерения вибрации конструкций здания и технологического оборудования

В данном разделе приведены основные виброграммы натуральных испытаний строительных конструкций и технологических объектов. Произведен качественный анализ частот свободных (затухающих) и вынужденных колебаний. Даны расшифровки для амплитуд скоростей (мм/с) и амплитуд перемещений (мм). Произведено сравнение влияния различных источников динамических воздействий на амплитуды колебаний "приемников" и сравнение измеренных характеристик с нормативными ограничениями.

Работа брикетировщика (по три импульса с интервалом в 3-4 с) вызывает заметные горизонтальные колебания поперечной рамы каркаса в ее плоскости. Частота свободных затухающих колебаний около 15-17 Гц (хотя возможно влияние сложного процесса поперечных срывов при обжати материала). Амплитуды скоростей равнялись 0,7 мм/с, а перемещений – 0,01 мм. Логарифмический декремент этих колебаний был порядка 0,1. Заметим, что амплитуды вертикальных колебаний и горизонтальных продольных (вдоль продольной оси цеха) колебаний имеют величины в 2-3 раза меньшие, чем в плоскости рамы по оси "26". Это может быть связано с тем, что продольная жесткость диска покрытия увеличивается за счет крестовых связей и двух рядов ("Д" и "К") кирпичных стен-диафрагм.

На рис. 3 показаны характерные виброграммы колебаний конструкций покрытия при падении с высоты 2-3 м груза массой 400 кг. Амплитуды вертикальных и горизонтальных колебаний коньковой точки пролета "К-П" при таком воздействии оказались на 1-2 порядка больше, чем амплитуды от работы брикетировщиков. Частоты наибольших горизонтальных колебаний снизились до 3-4 Гц, а вертикальных – до 6 Гц. Однако при этом появляется и "высокочастотный дребезг", примерно 30-40 Гц, связанный с ударным характером нагрузки.

Из виброграмм (см. рис. 3) можно определить периоды собственных колебаний среднего сечения фермы покрытия, а также логарифмические декременты колебаний. Например, период (с наибольшими амплитудами) поперечных колебаний рамы составляет примерно 0,25 с, при этом низкочастотная составляющая с меньшими амплитудами близка к 0,65 с. Заметим, что характер колебаний покрытия при таком воздействии стал однотипным как в продольном, так и в поперечном направлениях (возможно, что подобные силовые воздействия способствуют излишне "активной работе фермы" из плоскости рамы и разрушениям кирпичной кладки вблизи опорной зоны ферм). В горизонтальном направлении амплитуды скоростей достигают 1 мм/с, а перемещений – 0,05 мм.

Сравнение всех виброграмм, записанных на испытаниях 28.09.2007 г, показало, что для ферм покрытия, для всей поперечной рамы каркаса корпуса (а, следовательно, и для кирпичной стены ряда "К") наиболее опасные колебания возникают при движении загруженного мостового крана.

Например, при получении записей рис. 4 кран с ящиком брикетов двигался вдоль пролета "К-П". Этот кран ещё не полностью отремонтирован и работает только с одним приводом, поэтому двигается рывками, оказывая значительные горизонтальные воздействия на подкрановые конструкции и на все здание.

При вертикальных колебаниях усилились низкочастотные процессы: на 6 Гц – амплитуды скоростей достигали 25 мм/с, а перемещений – 0,7 мм. Датчики Д3 и Д5 записали практически одинаковые процессы (на самописце они были установлены в противофазе). Высокочастотная составляющая почти исчезла.

В горизонтальном направлении преобладали поперечные колебания рамы (в ее плоскости). Четко прослеживается низкочастотная составляющая в поперечном направлении – около 2 Гц с амплитудами до 5 мм/с и 0,04 мм, а также в продольном направлении – около 3-4 Гц. Движения только тележки мостового крана практически не вызвали продольных колебаний стропильной фермы, а поперечные колебания верхнего пояса фермы были чуть меньше, чем в предыдущем случае.

В конце измерений второго этапа на станции №2 были записаны колебания здания при



**Рис. 3.** Виброграммы колебаний покрытия в пролете "К-П" (к.о. "0,02", станция №2) при падении с высоты 2-3 м груза массой 400 кг, примерно в 50 м от датчиков.



**Рис. 4.** Виброграммы колебаний покрытия в пролете "К-II" (к.о. "0,02", станция №2) при продольном движении крана с ящиком брикетов.

падении ударной "бабы" массой 2,4 т с высоты 8÷10 м на копровой установке, расположенной (по горизонтали местности) – в 80 м от датчиков. При таком воздействии амплитуды колебаний в вертикальном направлении оказались больше, чем в обоих горизонтальных

направлениях и несколько больше, чем при работе брикетировщиков.

На третьем этапе динамических испытаний сейсмографы были установлены на отметке 0,0 м возле весов термопечи (ст. №3) и на отметке 9,94 м – ст. №4, верх подкрановой балки.



**Рис. 5.** Виброграммы колебаний узла опирания подкрановой балки на колонну (верхняя) шкафа КИП и электроцита термопечи (нижние) при падении плиты массой 400 кг с высоты 3 м - в 50 м от датчиков (станции № 4, 5, 6).

Сравним реакции, записанные при работе брикетировщика, при падении ударной бабы на копровой установке и при торможении движущегося вдоль цеха в пролете "Д-К" (над термопечью) незагруженного мостового крана. Брикетировщики и копровая установка вызывают вертикальные колебания пола под весами термопечи одного порядка: 0,7 мм/с и 0,01 мм при частоте около 15 Гц (интересно, что ускорения при этом достигают величины 0,1 м/с<sup>2</sup>, кстати, - недопустимой для верхних этажей высотных зданий). В горизонтальном направлении конструкция пола практически жесткая и неподвижная. Следует отметить, что амплитуды колебаний подкрановой балки в некоторых вариантах торможения крана при наличии груза увеличивались в 2-3 раза.

На третьем этапе наиболее заметными оказались горизонтальные колебания верха подкрановой балки. Торможение тележки крана поперек пролета вблизи датчика вызвало наибольшие амплитуды высокочастотных колебаний подкрановой балки – до 7 мм/с и 0,05 мм. Более низкая частота, около 5-6 Гц, наблюдается при свободных затухающих колебаниях с амплитудами

порядка 4 мм/с и 0,2 мм. Логарифмический декремент горизонтальных колебаний рамы, кирпичных стен и подкрановых балок "в сумме" оказался примерно равен 0,1-0,2.

На четвертом этапе виброизмерения проводились на подкрановой балке (ст. №4) и двух приборных шкафах (станции №5 и №6), см. рис. 5.

Вертикальные колебания пола возникали, как и ранее, от падения плиты массой 400 кг с высоты 2-3 м в соседнем пролете. Но особенно большими оказались амплитуды колебаний шкафов с контрольно-измерительной и электроаппаратурой (см. нижние две виброграммы на рис. 5). Один из шкафов по ряду "К" был закреплен жестко к кирпичной стене. Поэтому амплитуды колебаний и стены, и шкафа на высоте около 2-3 м от уровня пола были одинаковы и достигали 4 мм/с и 0,1 мм от падения плиты примерно в 20 м от шкафа (при частоте конкретной формы собственных колебаний стены 10-11 Гц).

Другой шкаф (по ряду "М") был закреплен лишь к корпусу печи по типу консоли, поэтому амплитуды горизонтальных колебаний его верхней части оказались еще большими: при частоте около 14-15 Гц они достигают 15 мм/с и 0,2 мм.

### **Сравнение уровней колебаний конструкций каркаса, пола возле термопечи и оборудования с допускаемыми по нормам**

Подводя итоги измерения вибрации, отметим, что при движении плохо отремонтированного грузевого мостового крана на фермах покрытия проявлялись низкочастотные процессы повышенных уровней: на 6 Гц – амплитуды скоростей достигали 25 мм/с, перемещений – 0,7 мм, ускорений –  $1 \text{ м/с}^2$ . Последнюю величину  $1 \text{ м/с}^2$ , например, можно сравнить (далеко не в пользу данного цеха) с принятой в международной практике многоэтажного домостроения величиной предельно допустимых ускорений  $0,08 \text{ м/с}^2$ . В данном цехе этот норматив превышает на порядок.

При этом величина скоростей колебаний конструкций 25 мм/с превышает допустимую (для работающих на строительных конструкциях машинистов и операторов мостовых кранов, монтажников, электриков и др.) гигиеническую норму предельных скоростей – примерно от 0,5 мм/с до 4 мм/с (на разных режимах). При систематическом непрерывном воздействии таких вибраций персонал не должен работать более 2-3 часов ("получая" при этом допустимую дозу вибрации).

Наконец, амплитуда перемещений стропильной фермы 0,7 мм оказалась выше предельно допустимых амплитуд колебаний конструкций покрытия – на частоте 6 Гц около 0,28 мм (все указанные выше предельно допустимые характеристики колебаний приведены в справочнике [3]). Таким образом, вибрация ферм покрытия может быть опасной для здоровья персонала, работающего временно или постоянно на конструкциях покрытия (она вызовет снижение производительности труда, утомление, потерю координации и другие последствия).

Эта вибрация может оказаться опасной и для конструкций (циклические нагрузки, особенно в сложных климатических условиях эксплуатации, могут вызвать усталостные разрушения). Известно, что расчет на выносливость стальных конструкций необходимо выполнять при циклических нагрузках с количеством циклов  $10^5$  и более (к сожалению, нормы четко не указывают, при каких уровнях динамических и полных напряжений необходимо выполнять эти расчеты). В рассматриваемом случае, на-

пример, при колебаниях фермы с частотой 2-6 Гц эта сумма циклов ( $10^5$ ) будет "набрана" через рабочую неделю. Если соблюдать эти условия, то требуется существенно (в два и более раз, – в зависимости от типа конструкции и соединений) уменьшить расчетное сопротивление материалов конструкций и соединений в поверочных расчетах.

Обратимся к цеху в пролете "Д-К" с прецизионным оборудованием. Известно [2], что различные весы (лабораторные, рычажные, торсионные) относятся ко "второму классу машин по чувствительности к гармоническим колебаниям основания". Для них предельно допустимая амплитуда скорости колебаний равна 0,1 мм/с. Следовательно, амплитуды вертикальных колебаний весов и от брикетировщика, и от копровой установки на полу под весами термопечи (порядка: 0,7 мм/с и 0,01 мм, частота около 15 Гц) превышают допустимый уровень в несколько раз. Поэтому возможны либо повреждения весов, либо увеличение ошибки их показаний.

Аппаратура электроавтоматики относится к шестому классу с допустимыми скоростями 10 мм/с. Шкаф, установленный по оси "К" (и стена), имел 4 мм/с, что допустимо. Но для шкафа по ряду "М" получено – 15 мм/с, что недопустимо. Его (и другие подобные аппараты с КИП и автоматикой) желательно закрепить жестче.

### **Теоретические исследования колебаний строительных конструкций поперечной рамы каркаса здания при помощи компьютерных моделей**

Теоретические исследования в данной работе заключались в расчетах собственных и вынужденных колебаний строительных конструкций. Частоты и формы собственных колебаний, во-первых, позволяют определить резонансные зоны и, во-вторых, являются важными динамическими характеристиками для диагностики технического состояния конструкций в процессе длительного мониторинга. Ниже эти характеристики вынесены в динамические паспорта конструкций поперечной рамы корпуса и кирпичной стены.

Заметим, что алгоритмы динамических расчетов плоских стержневых систем описаны в справочной и учебной литературе [2-4]. Особенности расчетов пространственных и нелинейных

систем даны в работах [11-14, 18]. Так как в данной статье рассматриваются системы со многими динамическими степенями свободы, то применяется ЭВМ. В частности, используется отечественный вычислительный программный комплекс ПК Structure CAD (SCAD) [10, 19].

В данном разделе рассматриваются последовательно частоты и формы собственных колебаний отдельных подсистем конструктивной схемы данного одноэтажного здания: поперечная рама каркаса и кирпичная стена ряда "К". Результаты анализа собственных колебаний получены для двух граничных случаев: низкочастотного (НЧ) варианта (максимальная масса и минимальная жесткость) и высокочастотного (ВЧ) варианта (минимальная масса и максимальная жесткость). Это позволило определить соответствующие частотные диапазоны и зафиксировать их в динамических паспортах.

В ВЧ-варианте учитывались только нагрузки от собственного веса конструкций (стропильные фермы, подкрановые балки), веса покрытия (плиты и кровля) и вес стен (наружных и внутренних). В расчетах по НЧ-варианту учитывались также дополнительные нагрузки от веса мостовых кранов (по два в каждом пролете "Д-К" и "К-П") и веса снега на покрытии. Марка бетона для ферм в обоих вариантах принималась – 400, для колонн: для НЧ – 200, для ВЧ – 300.

На рис. 6 показаны низшие частоты и формы собственных колебаний для НЧ варианта схемы. Относительно большая высота колонн, нагруженных весом покрытия и подкрановых конструкций, приводит к тому, что на всех четырех формах с низшими частотами наибольшие относительные амплитуды перемещений наблюдаются на колоннах (а фермы покрытия проявляют себя как относительно более жесткие подсистемы - по погонным изгибным жесткостям).

Первая форма колебаний подтверждает эту мысль: покрытие раскачивается на весьма гибких колоннах, не совершая вертикальных перемещений. Интересно, что дополнительные расчеты по учету совместной работы поперечной рамы каркаса и стен (добавление в схему изгибной жесткости двух кирпичных стен по рядам "К", "П" весьма большой толщины 0,38 м) показали относительно малые изменения величин собственных частот. В этих рас-

четах предполагалось наличие соответствующих для совместной работы анкеров, хомутов, закладных деталей, арматурных сеток между рядами кирпичной кладки и т. д. Тот факт, что учет совместной работы стен и колонн не сильно влияет на собственные частоты, не означает, что кирпичные стены по рядам "К", "П" не подвержены колебаниям, вибрации и дефектам (в швах и соединениях с колоннами, связями, покрытием) от этих динамических процессов.

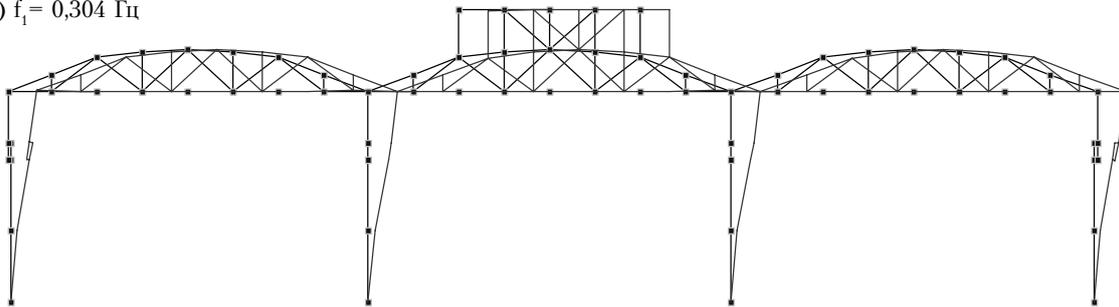
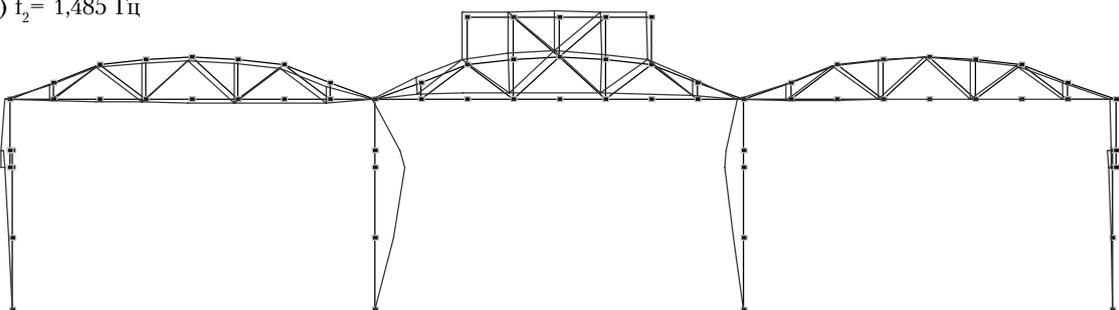
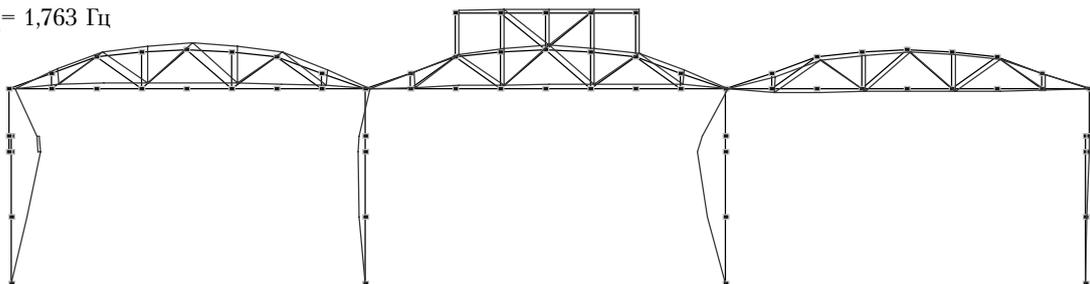
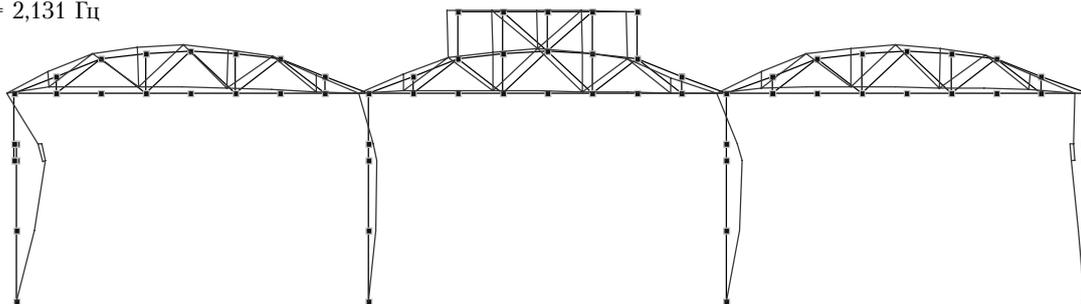
Спектр собственных частот колебаний поперечной рамы каркаса по ВЧ-варианту расположен выше, чем для НЧ-варианта, примерно в 1.5 раза соответственно: 0,444; 2,356; 2,614; 3,444 Гц.

Сравнение результатов расчетов ВЧ и НЧ-вариантов показывает явную несимметрию форм собственных колебаний из-за того, что несимметрично устанавливались краны (только в пролетах "Д-К" и "К-П"). Так как массы добавленных четырех мостовых кранов и снега в сумме практически оказались того же порядка, что и массы строительных конструкций, то частота, например, 1-й формы примерно должна понизиться в  $\sqrt{2} = 1,41$  раза (поэтому в расчетах получилось примерно такое соотношение частот 1-й формы:  $0,444/0,304 = 1,45$ ).

### Расчет поперечной рамы каркаса на вынужденные колебания

В связи с тем, что фактические данные о возмущающих силах от всех «источников» динамических воздействий на здание в рядах «К-П» отсутствовали и измерить их за короткое время было невозможно, то в теоретических исследованиях были проведены два условно-косвенных динамических расчета: на статическую и динамическую (пульсационную) составляющие ветровой нагрузки, а также на некоторое сейсмическое воздействие.

Расчет поперечной рамы на квазистатическую ветровую нагрузку по ВЧ-варианту показал, что смещение покрытия поперек продольной оси здания может достигать 2,5 мм, а амплитуда пульсационных перемещений – величины 1,6 мм (здесь преобладает первая форма с частотой 0,44 Гц). Следовательно, суммарное отклонение в этом варианте равно 4,1 мм (для НЧ-варианта соответствующие результаты: 2,9 мм; 1,9 мм на 0,3 Гц,

а)  $f_1 = 0,304$  Гцб)  $f_2 = 1,485$  Гцв)  $f_3 = 1,763$  Гцг)  $f_4 = 2,131$  Гц

**Рис. 6.** Частоты и формы собственных колебаний поперечной рамы здания для низкочастотного варианта масс и жесткостей.

4,8 мм). При этом в варианте ВЧ ускорения при пульсации оказались порядка  $0,02$  м/с<sup>2</sup> (для НЧ-варианта они в два раза меньше).

Обратим внимание, что подобные величины ускорений от ветровой нагрузки ( $0,02$  м/с<sup>2</sup>) существенно меньше, чем были измерены на по-

крытии при работе плохо отремонтированного крана ( $1$  м/с<sup>2</sup>).

Поиск какой-либо традиционной динамической нагрузки эквивалентной фактической крановой (вызывающей горизонтальные ускорения покрытия порядка  $1$  м/с<sup>2</sup>) привел к сейсмической

нагрузке. Оказалось, что таким ускорениям соответствуют **землетрясения в 7 баллов!** Расчет показал, что при таком землетрясении амплитуда колебаний покрытия в поперечном направлении здания достигла бы 115 мм (основной вклад дает первая форма на частоте 0,44 Гц). Для НЧ-варианта такие же ускорения соответствуют перемещениям 196 мм на частоте 0,3 Гц.

### Влияние параметров и условий закрепления высокой кирпичной стены ряда "К" на частоты и формы ее собственных колебаний

Расчет частот и форм собственных колебаний стены длиной 6 м, высотой 13 м и толщиной 0,38 м выполнен в двух вариантах – низкочастотном и высокочастотном. Отличие между вариантами – в условиях закрепления (не совсем ясно, как именно кирпичная стена крепится к колон-

не) и величине модуля упругости кирпичной кладки (наличие дефектов говорит о возможности применения слабого раствора, следовательно, диапазон модуля упругости весьма широкий). Возможны изменения влажности стены (на стенах наблюдаются многочисленные следы протечек кровли) и различия в объемном весе. В НЧ-варианте стена имеет шарнирное закрепление по трем сторонам, а верхняя сторона на расчетной схеме остается свободной. Модуль упругости кирпичной кладки принимался  $8 \times 10^8$  Н/м, объемный вес 22000 Н/м<sup>3</sup>. В ВЧ-варианте стена имеет жесткое закрепление по трем сторонам, верхняя сторона остается свободной. Модуль упругости кирпичной кладки принимался  $8 \times 10^9$  Н/м, средняя плотность принята 18000 Н/м<sup>3</sup>.

Первые 4 формы собственных колебаний обоих вариантов существенного различия не имеют. Наблюдается разница только в частотах.

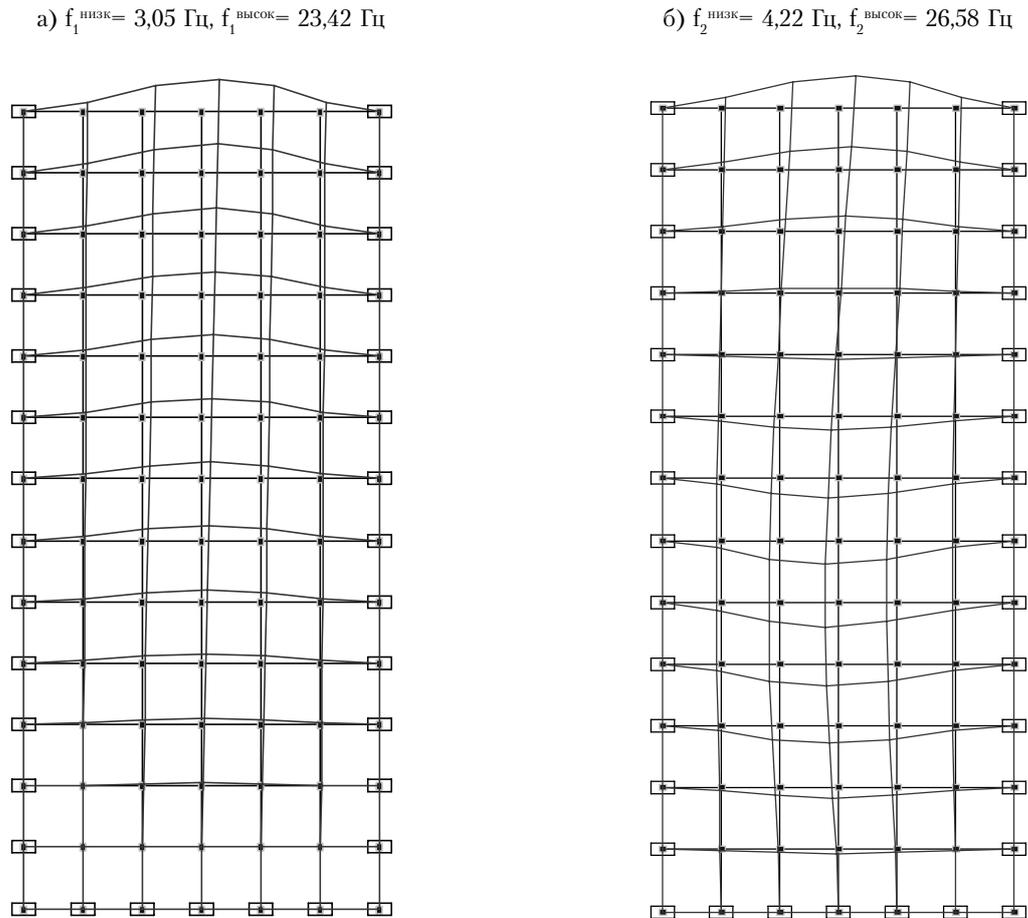


Рис. 7. Частоты и формы собственных колебаний фрагмента стены ряда "К".

Поэтому на рис. 7 показаны общие для обоих вариантов виды первых двух форм колебаний.

Заложенный проем имеет размеры:  $4 \times 7 \times 0,38$  м (b×h×δ). Параметры ВЧ и НЧ вариантов этого участка стены (заложенный кирпичом проем) были заданы существенно разными, поэтому в частоте, например, основного тона изгибных колебаний участка наблюдается большое расхождение: для НЧ-варианта частота получилась примерно 7 Гц, а для ВЧ — около 50 Гц.

### Выводы и рекомендации

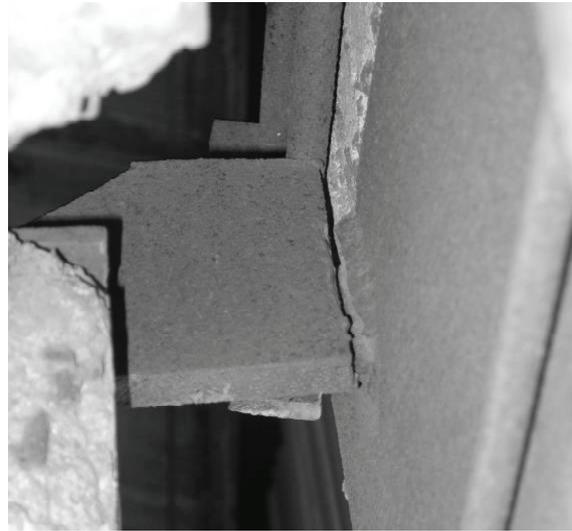
Результаты данной экспериментально-теоретической работы дают возможность сделать следующие выводы:

1. При перепрофилировании и реконструкции объектов необходимо производить вибродинамическое обследование строительных конструкций и некоторых видов технологического оборудования. В перечень работ по обследованию должны входить теоретические и экспериментальные исследования с составлением динамических паспортов для последующей оценки технического состояния конструкций. Не рекомендуется располагать в соседних пролетах и, тем более, в одном пролете производства с разными динамическими воздействиями, с различной вибро-чувствительностью, т.е. с различными допустимыми уровнями вибрации.
2. Показано, что характерные для промышленных зданий источники динамического воздействия могут существенно ухудшать эксплуатационные качества таких объектов строительства.  
При движении мостовых кранов с перекосами и передачей на конструкции зданий динамических горизонтальных воздействий ("боковых сил") [6, 7] проявляются колебания конструкций с большими амплитудами. При этом вероятны низкочастотные процессы повышенных уровней и превышения амплитудами скоростей колебаний и амплитудами перемещений конструкций предельно допустимых, по условиям гигиенических норм, величин. Такая повышенная вибрация несущих элементов здания является опасной, во-первых, для здоровья персонала, работающего на мостовых кранах и кровле, а во-вторых, — для конструкций, так как циклические нагрузки, особенно при тяжелом режиме работы мостовых кранов, могут привести к усталостным повреждениям и разрушениям. Когда эта статья уже была подготовлена к публикации, эксплуатация мостового крана в пролете "К-П" на объекте обследования была остановлена из-за выявленных многочисленных повреждений стальных элементов подкраново-тормозных конструкций и путей (рис. 8).
3. Вертикальные вибрации (в данном случае — от работы брикетировщиков и копровой установки для прессования металлолома) также могут превышать допустимый уровень (в несколько раз) и приводить к повреждениям или неравномерным показаниям электронных устройств оборудования и приборов электроавтоматики соседнего технологического процесса.
4. Опасны указанные выше (п.2, п.3) динамические воздействия для стен и перегородок, разделяющих пролеты здания с разной технологией и разными уровнями вибраций. В данном конкретном случае разрушение стены по оси "К" может привести к аварийному повреждению дорогостоящего оборудования в пролете "Д-К". Работа этой стены после заполнения кладкой бывших проемов стала более сложной. Отношение высоты стены к ее толщине (0,38 м) завышено в 1,5-2,0 раза по сравнению с предельно допустимым для ненесущих стен. Напряжения сжатия в нижних рядах кирпичной кладки только от собственного веса стены уже близки к расчетному сопротивлению кладки, которая дополнительно должна выдерживать также динамические добавки к напряжениям от "источников вибрации". Кроме того, на эти участки кладки передается и ветровая нагрузка (статическая и пульсационная составляющие) — через работу рамы на всех грузовых площадях здания.
5. Теоретические исследования и расчеты собственных и вынужденных колебаний, бесспорно, также необходимы. Они позволяют определить частотные диапазоны конструкций каркаса и разделительных стен и оформить соответствующие динамические паспорта. Фрагмент динамического паспорта

а)



б)



в)



**Рис. 8.** Повреждения подкрановых конструкций пролета "К-П", выявленные в июне 2008 г:

- а) усталостное разрушение элемента крепления подкрановой балки к колонне каркаса (стальная тормозная планка);  
 б) разрушение сварного шва крепления тормозной планки к закладной детали колонны каркаса;  
 в) повреждения подкрановых путей – расстройство и разрушение креплений подкранового рельса; несоосность подкранового пути на стыке рельсов.

поперечной рамы каркаса данного промышленного здания показан на рис. 9. Здесь обозначены границы НЧ и ВЧ теоретических спектров частот собственных колебаний рамы (на верхней части оси), а так же экспериментальные значения частот (нижняя часть).

Далее приведем рекомендуемые меры для обеспечения безопасной эксплуатации объекта вибродинамического обследования с учетом обстоятельств, описанных в этой статье. Можно также считать, что эти **рекомендации** распространяются и на другие подобные случаи.

- 1) На момент обследования динамические характеристики и техническое состояние конструкций здания, в частности, кирпичной стены по ряду "К", вызывают серьезные опасения. В связи с этим эксплуатация дорогостоящего прецизионного оборудования в таких условиях крайне нежелательна!

- 2) Основным источником опасных динамических воздействий являются "боковые силы" мостовых кранов. Необходимо рассмотреть варианты уменьшения этих крановых нагрузок. Например, эффективной мерой виброзащиты является постановка на краны противопоперекосных устройств [6].
- 3) Целесообразно пересмотреть технологию работ по обработке металлолома, чтобы снизить влияние значительных динамических нагрузок при сбросе плит и других грузов на пол цеха, в транспортные средства и т.д.
- 4) Целесообразно реализовать проект усиления разделительной кирпичной стены по ряду "К". Вариант усиления этой стены, например, тремя поясами из спаренных швеллеров №12, повышает, что особенно важно, низшую частоту собственных колебаний более чем в 1,5 раза; это означает

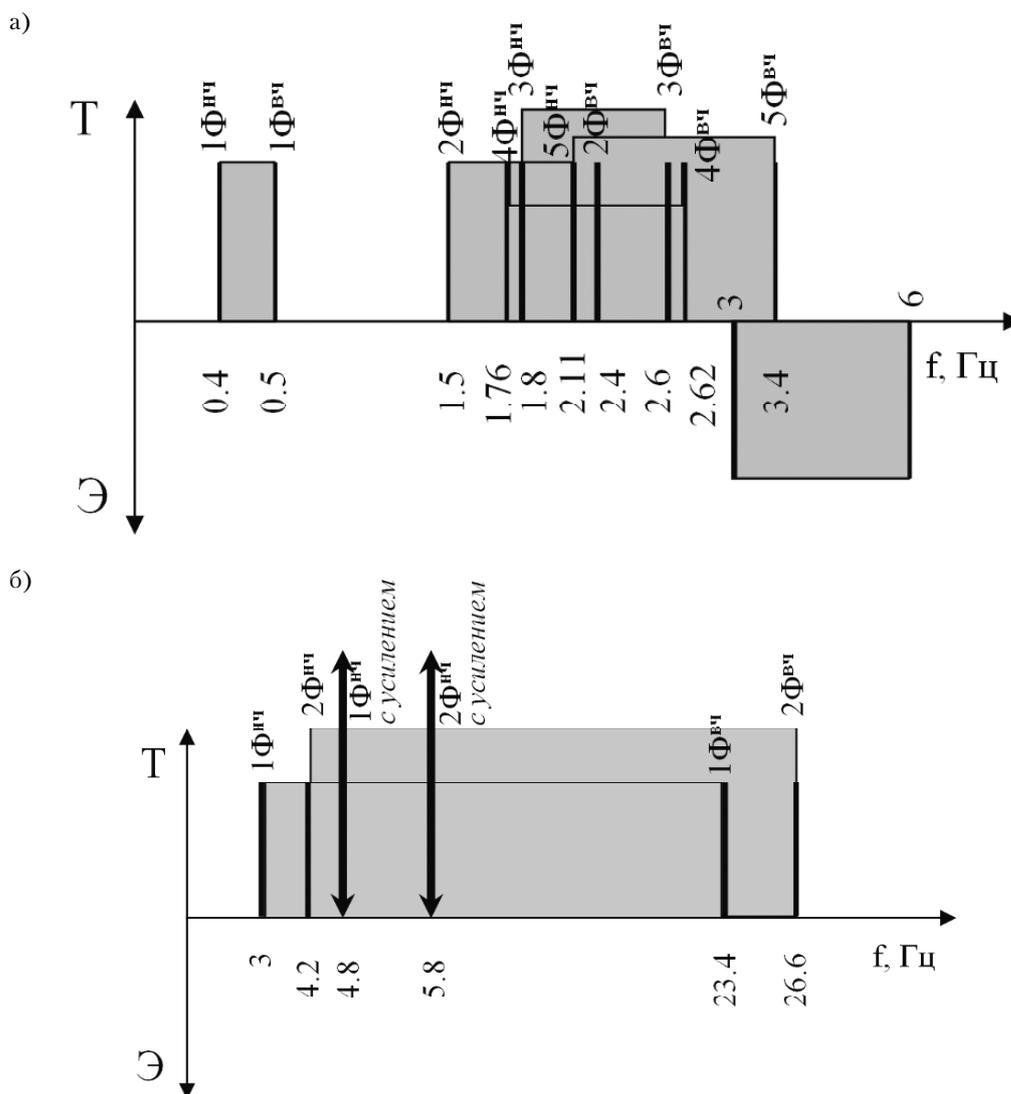


Рис. 9. Фрагменты динамических паспортов на 28.09.2007г. поперечной рамы здания цеха (а) и стены здания по ряду "К" (б).

**рост изгибной жесткости** стены, как "пластины с подкреплениями", в 2,5 раза. На рис. 9 линиями со стрелками обозначены теоретические частоты 1-й и 2-й форм низкочастотных колебаний после усиления.

- 5) Не реже, чем один раз в квартал, необходимо производить профилактический осмотр всех несущих конструкций здания. Не реже, чем один раз в год, а также при появлении существенных повреждений элементов здания нужно проводить вибродинамическое обследование конструкций и оформление текущих динамических паспортов, а также выполнять проверку вызывающих

опасение конструкций и узлов неразрушающими методами контроля.

### Литература

1. Аронов Р.И. Испытание сооружений. – М.: 1974. – 187 с.
2. Динамический расчет зданий и сооружений. – М.: 1984. – 303 с.
3. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия. – М.: 1981. – 215 с.
4. Динамический расчет специальных инженерных сооружений и конструкций. – М.: 1986. – 461 с.
5. Допустимые уровни шума, вибрации... в зданиях. МГСН2.04–97, ГУП-НИИЦ, 1997. – 26 с.

6. Ермак Е.М. Підвищення надійності кранових і підкранових конструкцій обмеженням перекосів мостових кранів / *Металеві конструкції*. т.3. УАМК. – 2000. – С. 21-26.
7. Ермак Е.М. Про задачу уточнення величин кранових навантажень на конструкції промислових будівель // *Зб. наукових праць “Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті”*. Вип. 37. – Харків: ХарДАЗТ, 2000. – С. 100-107.
8. Инструкция по определению динамических нагрузок от машин, устанавливаемых на перекрытиях промышленных зданий / ЦНИИСК. – М.: Стройиздат, 1966. – 132 с.
9. Казакевич М.И., Кулябко В.В. Введение в виброэкологию зданий и сооружений. Дн-вск, ПГА-СА, 1996. 200 с.
10. Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А. Интегрированная система анализа конструкций Structure CAD (SCAD) for Windows 95/98/NT// САПР и графика. – 1998. – №10. – С. 15-18.
11. Кулябко В.В. Динамика пространственных объектов – расчеты, принципы конструирования и стабилизации // *Пространственные конструкции зданий и сооружений – М.: “Девятка принт”, 2004 – Вып.9 – С. 74-82.*
12. Кулябко В.В. Задачи современной «динамики конструкций» по защите строительных объектов и людей от природных и техногенных воздействий // *Proc. Polish-Ukrainian Seminar “Theoretical Foundations in Civil Engineering”, 12. – Warsaw. – 2004. – P.751-758.*
13. Кулябко В.В. Оценка сейсмостойкости объектов в натурных условиях и разработка новых методов расчета и рационального конструирования / *Материали 5-й Всеукраїнської конф. «Будівництво в сейсмічних районах України»*. Ялта, НДІБК, вып. 60.–2004. – С. 231-237.
14. Кулябко В.В., Ермак Е.М., Исмагилов А.О., Масловский А.В. Динамическая паспортизация и диагностика технического состояния зданий с новым виброактивным технологическим оборудованием // *Промислове будівництво та інженерні споруди*. К., 2008. – № 1. – С. 10-18.
15. Максимов Л. С., Шейнин И. С. Измерение вибрации сооружений. Л., Стройиздат, 1974. – 255 с.
16. Melbourne W.H. Comfort criteria for wind-induced motion in structures // *Structural Engineering International*. – 1998. - №1. – P.40-44.
17. Многофункциональные здания и комплексы/ МГСН4.04–94, Москомарх-ра, 1994. – 19 с.
18. Муцанов ВФ, Кулябко В.В, Левин В.М. и др., Избранные методы строительной механики в расчетах пространственных конструкций // *Учебное пособие по дисц. «Строительная механика (спецкурс)» для студ. вузов стр-х спец-стей / под общ. ред. Муцанова В.Ф. / 2006. – Дон-НАСА, 292 с.*
19. Perelmuter A.V., Slivker V.I. The analysis of constructions – models and interpretations – Kyiv: Compass Publishing House, 2001. – 448 p.
20. Рекомендации по виброзащите несущих конструкций производственных зданий / ЦНИИСК. – М.: Стройиздат, 1988. – 217 с.
21. Руководство по сбору, обработке и использованию инженерно-сейсмометрической информации / ЦНИИСК. – М.: Стройиздат, 1980. – 48 с.

**Ермак Євген Михайлович**, працює професором кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту (м. Харків), дійсний член Академії будівництва України. Наукові інтереси: вдосконалення носійних металевих конструкцій промислових будівель; розробка пропозицій щодо уточнення і зменшення бокових сил на каркас будівлі від роботи мостових кранів з перекосами.

**Кулябко Володимир Васильович** працює професором кафедри металевих, дерев'яних та пластмасових конструкцій Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. Є почесним професором та науковим керівником Лабораторії динаміки будівельних конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член міжрегіональної організації "Просторові конструкції"; Польської групи міжнародної асоціації "Просторові конструкції"; робочої групи по створенню ДСТУ щодо динамічних паспортів будівель та споруд. Дійсний член Академії будівництва України. Наукові інтереси: динаміка конструкцій (будівель, машин, споруд) та процесів, моделювання, нелінійні розрахунки, формоутворення, конструювання, випробування та динамічна діагностика.

**Масловський Антон Вікторович**, аспірант кафедри металевих, дерев'яних і пластмасових конструкцій Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. Наукові інтереси: динамічний розрахунок споруд з гнучкими нитками, моделювання фізичних, геометричних, конструкційних нелінійностей.

**Исмагилов Андрій Олегович**, працює доцентом кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту (м. Харків). Наукові інтереси: експлуатаційна надійність будівельних конструкцій промислових будівель в складних інженерно-геологічних умовах; експериментальне вивчення дійсної роботи будівельних конструкцій; вдосконалення металевих конструкцій виробничих та громадських будівель.

**Ермак Евгений Михайлович**, работает профессором кафедры строительных материалов, конструкций и сооружений Украинской государственной академии железнодорожного транспорта (г. Харьков), действительный член Академии строительства Украины. Научные интересы: совершенствование несущих металлических конструкций промышленных зданий; разработка предложений по уточнению и уменьшению боковых сил на каркас здания от работы мостовых кранов с перекосами.

**Кулябко Владимир Васильевич** работает профессором кафедры металлических, деревянных и пластмассовых конструкций Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. Является почетным профессором и научным руководителем Лаборатории динамики строительных конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Член межрегиональной организации «Пространственные конструкции»; Польской группы международной ассоциации «Пространственные конструкции»; рабочей группы по созданию ДСТУ по динамическим паспортам зданий и сооружений. Действительный член Академии строительства Украины. Научные интересы: динамика конструкций (зданий, сооружений, машин) и процессов, моделирование, нелинейные расчеты, формообразование, конструирование, испытания и динамическая диагностика.

**Масловский Антон Викторович**, аспирант кафедры металлических, деревянных и пластмассовых конструкций Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: динамический расчет сооружений с гибкими нитями, моделирование физических, геометрических, конструктивных нелинейностей.

**Исмагилов Андрей Олегович**, работает доцентом кафедры строительных материалов, конструкций и сооружений Украинской государственной академии железнодорожного транспорта (г. Харьков). Научные интересы: эксплуатационная надежность строительных конструкций промышленных зданий в сложных инженерно-геологических условиях; экспериментальное изучение действительной работы строительных конструкций; совершенствование металлических конструкций производственных и гражданских зданий.

**Ermak Evgeniy Mihaylovich**, is a professor of the department of Building Materials, Structures and Buildings of the Ukrainian State Academy of the Railway Transport (Kharkov), the full member of Academy of Construction of Ukraine. Scientific interests: perfection of bearing metal constructions of industrial buildings; development of offers on specification and reduction of lateral forces on a building frame from work of bridge cranes with skews.

**Kulyabko Volodymyr Vasylovych** is a professor of the department “Metal, Wooden, and Plastic Structures” of the Pridneprovskaya State Academy of Civil Engineering and Architecture. He is an Honorary professor and Scientific Head of the Laboratory of Building Structure Dynamics of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture; a member of the Interregional Organization “Space Frames”; a member of the Polish group of the International Association “Space Frames”; a member of the Working group on the creation of the DSTU on the dynamic passports of buildings and structures. He is a Full member of the Academy of Civil Engineering of Ukraine. His scientific interests include dynamics of structures (buildings, structures, machines) and processes, simulation, nonlinear calculations, forming, design engineering, testing and dynamic diagnostics.

**Maslovskiy Anton Viktorovich**, is the post-graduate student of department of Metal, Wooden, and Plastic Structures of the Pridneprovskaya State Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: dynamic account of buildings with flexible threads, modeling physical, geometrical, structural nonlinearities.

**Ismagilov Andrey Olegovich**, Docent of department of Building Materials, Structures and Buildings of the Ukrainian State Academy of the Railway transport (Kharkov). Scientific interests: operational reliability of building constructions of industrial buildings in complex engineering-geological conditions; experimental studying of the valid work of building structures; perfection of metal designs of industrial and civil buildings.

