



(06)-0113-1

## ДИНАМІЧНІ ТА ВІБРАЦІЙНІ ВИПРОБУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ МОСТА СТІЧКОВОГО КОНВЕЙЄРА СК-6 ТЕС ЗУЇВСЬКА

**А.М. Югов, Є.В. Денисов, А.М. Миронов**

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури, вул. Державіна 2,  
86123, м. Макіївка, Україна.  
E-mail: yugov@dgasa.dn.ua*

*Отримана 13 березня 2006; прийнята 24 травня 2006*

**Анотація.** В статті наведені матеріали натурних динамічних випробувань несучих конструкцій моста галереї стрічкового конвейєра. Результати проведених випробувань дозволили створити рекомендації щодо зниження вібрацій конструкції при роботі приводної станції конвейєра.

**Ключові слова:** динамічні випробування, вібраційний метод, транспортні галереї.

## ДИНАМИЧЕСКИЕ И ВИБРАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МОСТА ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА ЛК-6 ЗУЕВСКОЙ ТЭС

**А.М. Югов, Е.В. Денисов, А.Н. Миронов**

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ул. Державина 2,  
86123, г. Макеевка, Украина.  
E-mail: yugov@dgasa.dn.ua*

*Получена 13 марта 2006; принята 24 мая 2006*

**Аннотация.** В статье приведены материалы натурных динамических испытаний несущих конструкций моста галереи ленточного конвейера. Результаты проведенных испытаний позволили разработать рекомендации по снижению вибраций конструкции при работе приводной станции конвейера.

**Ключевые слова:** динамические испытания, вибрационный метод, транспортные галереи.

## DYNAMIC AND VIBRATING TESTS OF ELEMENTS OF THE BRIDGE OF THE TAPE CONVEYOR TC-6 HPS ZUEVSKAYA

**A.M. Yugov, E.V. Denisov, A.N. Mironov**

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Derzavin str. 2,  
86123, Makeyevka, Ukraine.  
E-mail: yugov@dgasa.dn.ua*

*Received March 13, 2006; accepted May 24, 2006*

**Abstract.** There are materials of natural dynamic tests constructions of the bridge of gallery of the tape conveyor are given in article. The results of the provided test have allowed developing the recommendations for reduction construction vibrations during the working of drive-station of the conveyor.

**Keywords:** dynamic tests, vibrating method, transportation gallery.

## Введение

В ноябре - декабре 2005 г. в рамках работ по разработке мероприятий по снижению уровня вибраций приводной станции ленточного конвейера ЛК-6 Зуевской ТЭС [5], были проведены динамические испытания, целью которых являлась оценка действительных динамических характеристик конструкций моста галереи и приводной станции конвейера при собственных и вынужденных колебаниях. Установленный в приводной станции электродвигатель в процессе работы подвергался значительным вибрациям, превышающим паспортные показатели. В связи с этим определенные элементы двигателя и редуктора часто выходили из строя. Ситуация отягощалась также конструктивной схемой моста галереи в месте расположения приводной станции – этот участок моста представлял собой консоль вылетом 11,76 м. Мероприятия по усилению элементов несущих конструкций моста, разработанные конструкторским бюро Зуевской ТЭС, эффекта снижения вибраций не дали. Однако вследствие отсутствия информации об условиях, при которых были проведены усиления (уровень нагрузок, специальные мероприятия по “включению в работу” элементов усиления, температурные условия и пр.), задача создания расчетных схем сооружения для статического и динамического расчета резко усложнилась. Для решения этой задачи был использован вибрационный метод определения усилий в стержневых элементах конструкции моста.



Рис. 1. Общий вид моста галереи.



Рис. 2. Конструкции консольной части крайнего пролета моста галереи.

## Характеристика конструктивных решений моста

Мост транспортной галереи ЛК-6 представляет собой многопролетное сооружение, выполненное по «разрезной» схеме. Внутри моста расположен ленточный конвейер ЛК-6, который перемещает уголь от перегрузочной станции склада к отвалу. Крайний пролет моста, непосредственно перед отвалом, выполнен с консолью. Приводная станция транспортера размещена в консольной части моста (рис. 1). Консольная часть моста транспортной галереи представляет собой горизонтальное сооружение общей длиной 11,76 м и высотой 7,32 м. Несущими элементами крайнего пролета галереи, имеющего консольную часть, являются стальные фермы с параллельными поясами высотой 6,31 м. Элементы ферм имеют тавровое сечение из двух спаренных уголков и соединены по верхним поясам ветровыми связями, а по нижним – системой балок перекрытия.

Расстояние между осями ферм составляет 5,3 м. Несущие конструкции расположены за пределами ограждающих конструкций моста и подвержены воздействию атмосферных осадков. При переходе от пролетной к консольной части верхний пояс несущих ферм выполнен с изломом (рис. 2). Ширина консольной части 10,8 м, что достигнуто путем консольного выпуска балочной клетки в уровне нижних поясов ферм. Такая форма консольной части обуслов-



**Рис. 3.** Электродвигатель приводной станции ленточного конвейера.

лена размещением приводной станции ленточного конвейера.

Приводная станция (рис. 3) состоит из электродвигателя ДОЗО 4-450У-6У1 мощностью  $N = 630$  кВт с частотой 1000 об/мин и редуктора ЦНД-710-45-12. Масса электродвигате-

ля составляет 3350 кг, редуктора 4209 кг (без масла).

Кровля – не утепленная, из стального профилированного листа, уложенного по верхним поясам главных ферм и прогонам из швеллера №.20. Стены – не утепленные, из стального профилированного листа, прикрепленного к стойкам и ригелям стенового фахверка. Перекрытие – стальной лист, уложенный на балочную клетку. Для снижения вибрации приводной станции конструкторским отделом ТЭС «Зуевская» были выполнены усиления консольной части моста галереи.

Так, одно из усилений было направлено на увеличение изгибной жесткости консоли и заключалось в установке подкосов в узлы нижнего пояса несущих ферм (рис. 4.а). Другое усиление было ориентировано на увеличении изгибной жесткости балок, на которые опирается приводная станция. Реализовано усиление в качестве установки подкоса под консольную часть балок (рис. 4.б). По информации эксплуатирующей службы к ощутимым результатам снижения вибрации произведенные усиления не привели.

а)



б)



**Рис. 4.** Выполненное усиление конструкций консольной части моста галереи:

- а) подкос усиления консольной части несущей фермы моста;
- б) подкос усиления консольной части опорных балок приводной станции.

### Натурные испытания конструкций моста

Натурные испытания моста проводились в 2 этапа:

**ЭТАП 1.** Проведение динамических испытаний конструкций моста в режиме собственных и вынужденных колебаний с целью амплитудно-частотного анализа колебаний отдельных точек конструкции.

**ЭТАП 2.** Проведение вибрационных испытаний стержней ферм пролетного строения моста и установленных элементов усиления с целью определения напряженно-деформированного состояния конструкций ферм и проверке адекватности расчетных схем сооружения натурному распределению усилий в конструкции.

#### Этап №1. Проведение динамических испытаний моста

Для проведения испытаний на данном этапе предварительно были выполнены статические и динамические расчеты, на основании результатов которых определялись места установки датчиков для измерения вибраций. При выборе мест расположения датчиков при проведении испытаний были исследованы следующие параметры:

- доступность мест установки датчиков при выполнении работ в зимнее время;
- уровень амплитудных значений нормальных напряжений в стержнях ферм и балках площадок.

Так, датчики были установлены:

- на элементах подкосов усиления консоли балочной клетки (рис. 4.б);
- на нижних поясах балок, поддерживающих приводную станцию;
- на элементах нижнего пояса и опорном раскосе главной фермы;
- на балках непосредственного опирания двигателя (рис. 3);
- на корпусе двигателя.

В качестве первичного преобразователя при измерении вибраций были использованы пьезоэлектрические датчики. Сигнал обрабатывался аналого-цифровым преобразователем, в качестве которого была использована звуковая карта персонального компьютера. Лабораторные исследования и тарировка такого способа измерения вибраций была изучена на кафедре



Рис. 5. Регистрация колебаний в натуральных условиях.

ТиПМ ДНАСА [4]. Частота выборки при записи информации принималась 44100 Гц, что позволяет проводить анализ частотного спектра в диапазоне (2, 22000) Гц. После преобразования информация записывалась на жесткий хранитель информации и камерально обрабатывалась.

В процессе испытаний производилось несколько режимов эксплуатации ленточного конвейера:

- конвейер выключен;
- конвейер включается, набирает обороты и работает без подачи угля;
- конвейер выключается без подачи угля;
- конвейер включается, набирает обороты с подачей угля и выгрузкой его в отвал;
- конвейер выключается с подачей угля и выгрузкой его в отвал.

На каждом из приведенных этапов производилась запись показаний при опросе каждого датчика с сохранением результатов на ПК (рис. 5). В результате камеральной обработки полученных виброграмм были получены амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) процессов колебаний в каждой точке расположения датчиков. Анализ полученных АЧХ, позволил сделать выводы:

1. Основная составляющая динамической нагрузки, передающейся от приводной станции на элементы конструкций консольной части моста галереи, имеет частоту 16,62-16,69 Гц, что соответствует частоте вращения вала двигателя  $n=1000\text{об/мин} = 16,67$  Гц. Также определенные составляющие динамической нагрузки имеют частоты 33,31

Гц, 83,24-83,31Гц, а также 88,22-88,42 Гц. Все приведенные частотные диапазоны вынуждающей нагрузки зафиксированы при непосредственном измерении колебаний корпуса двигателя.

2. Основные колебания корпуса двигателя, имеющие наибольшую амплитуду, происходят с частотами 58,14 Гц и 88,42 Гц. Частота 58,14 Гц не была зафиксирована как “пиковая” ни в одной из проанализированных точек колебаний конструкции. Частота 88,42 Гц зафиксирована как “пиковая” на балках непосредственного опирания двигателя, но не является частотой с наибольшей амплитудой.
3. Основные колебания корпуса двигателя происходят не в вертикальной, а в горизонтальной плоскости. Амплитуда горизонтальных колебаний корпуса двигателя, исходя из спектрального анализа, превышает амплитуду вертикальной составляющей в 11,8 раза, и составляет около 6,0 мм.

#### Этап №2. Вибрационные испытания стержневых элементов конструкции моста

Расчетная схема конструкции моста транспортной галереи имеет идеализированный характер за счет наличия элементов усиления, история “введения в работу” которых неизвестна, идеализации узлов примыкания элементов (использовались 2 типа – жесткий и шарнирный узел), ненормируемых нагрузок, неучтенных или недостаточно точно учтенных нормируемых нагрузок (температурные воздействия, вес элементов технологического оборудования) и пр. Для проверки адекватности принятых расчетных схем при проведении статических и динамических расчетов были проведены дополнительные вибрационные испытания отдельных стержневых элементов ферменного типа в соответствии с вибрационным методом на основе способа вариации масс, разработанным в ДонНАСА Денисовым Е.В [1].

Порядок проведения испытаний включал следующие этапы:

- определение мест установки датчиков и установка их на конструкцию;
- подключение и проверка работоспособности каждого датчика;



Рис. 6. Возбуждение поперечных колебаний стержня в плоскости фермы.

- детальные обмеры стержня и узлов его сопряжения;
- возбуждение поперечных изгибных колебаний стержня в плоскости фермы ударным способом при помощи специального резинового молотка с записью показаний (рис. 6);
- последовательное закрепление на стержне инвентарной сосредоточенной массы в середине стержня и на расстоянии четверти длины от середины стержня в соответствии со способом вариации масс, с возбуждением и записью колебаний стержня с закрепленной массой;
- обработка полученных данных.

Вибрационным испытаниям были подвержены установленные стержневые элементы усиления, доступ к которым был возможен, а также 3 элемента фермы пролетного строения моста, находящейся в непосредственной близости с размещением оборудования приводной станции. Записанные виброграммы разбивались на процессы колебаний, вызванные однократным возмущением, с выделением у каждого такого процесса временного интервала, соответствующего процессу собственных колебаний. Процесс собственных колебаний подвергался гармоническому анализу с определением частоты основного тона собственных поперечных колебаний стержня. Величина частоты собственных поперечных колебаний определялась на основе статистической обработки 20-30 отдельных ударных импульсов с тем, чтобы размах доверительного интервала для полученного среднего значения не превышал 0,5% от его величины.

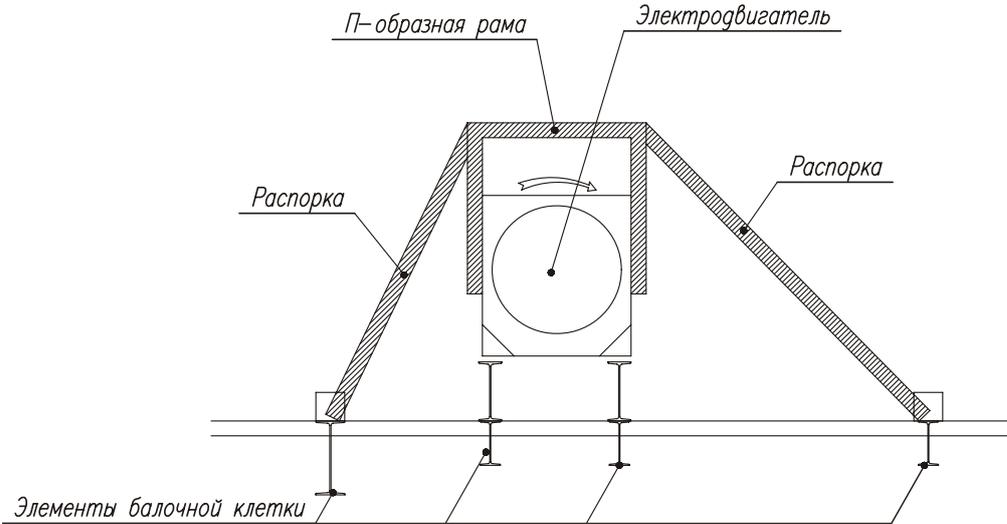


Рис. 7. Принципиальная схема закрепления двигателя в горизонтальной плоскости.

Камеральная обработка полученных данных, позволила определить продольные усилия в испытанных элементах и на основании этих результатов сделать следующие выводы:

1. Подкосы усиления балочной клетки, расположенные в месте размещения приводной станции, частично “включились в работу” балочной клетки. Нормальные напряжения в подкосах от действующих нагрузок получены экспериментальным путем и составляют  $\sigma_x = -37,04 \pm 2,66$  МПа.
2. Для создания расчетной схемы сооружения, распределение усилий в которой будет адекватно распределению усилий в реальной конструкции, необходимо использование для установленных элементов усиления конструктивно нелинейных связей, параметры которых подбираются на основе полученной качественной картины распределения усилий в стержневых элементах.
3. Уровень действующей нагрузки на элементы конструкции моста составляет  $k_{y.n.} = 0,775 \pm 0,269$  от принятых в расчетах величин нагрузок.

#### Общие выводы и рекомендации по снижению вибраций механизмов приводной станции

На основании полученных результатов динамических испытаний, а также статических и

динамических расчетов с учетом скорректированных расчетных схем были разработаны рекомендации по снижению уровня вибраций механизмов приводной станции.

В связи с тем, что основные колебания корпуса двигателя происходят не в вертикальной плоскости, а в горизонтальной, причем амплитуда горизонтальных колебаний составляет порядка 6,0 мм, было рекомендовано:

1. Произвести закрепление корпуса двигателя приводной станции в горизонтальной плоскости путем установки специальных распорок (рис. 7), либо других элементов в соответствии с требованиями технологического процесса и эксплуатации двигателя. Крепление двигателя к распорной конструкции рекомендуется осуществлять через специальные упругие прокладки – демпферы, способствующие гашению энергии колебаний и уменьшению вибраций конструкций моста.
2. Увеличить жесткость имеющейся конструкции усиления балочной клетки (рис. 4.б) путем постановки вертикальных элементов (рис. 8) для образования геометрически неизменяемой системы в вертикальной плоскости, и горизонтальной решетки в межбалочном пространстве в месте примыкания подкосов усиления (рис. 9) для образования геометрически неизменяемой системы в горизонтальной плоскости.

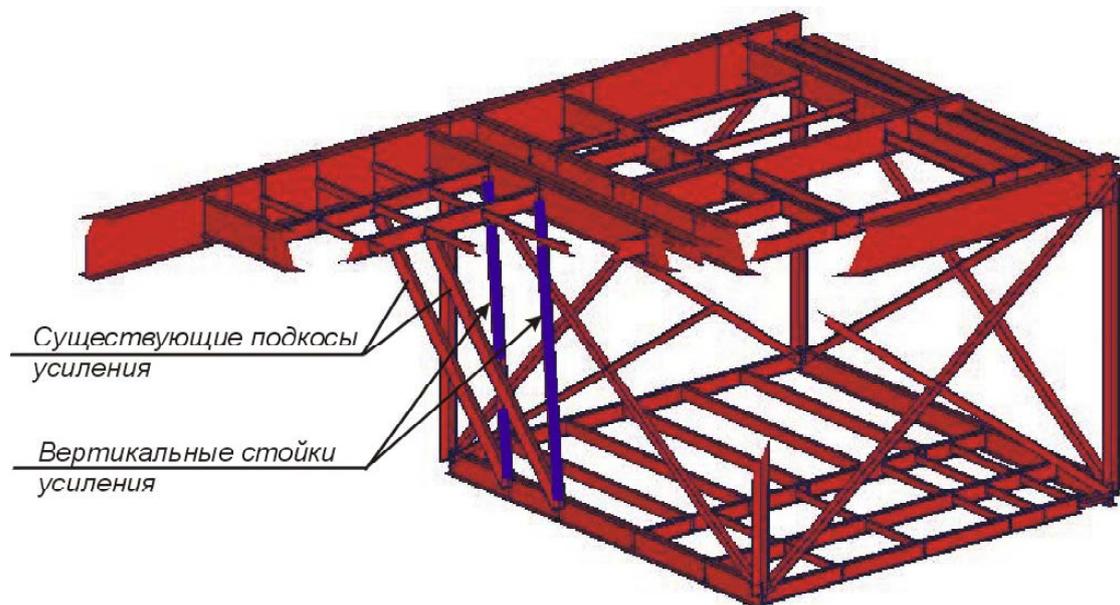


Рис. 8. Схема усиления подкосов введением вертикальных стоек.

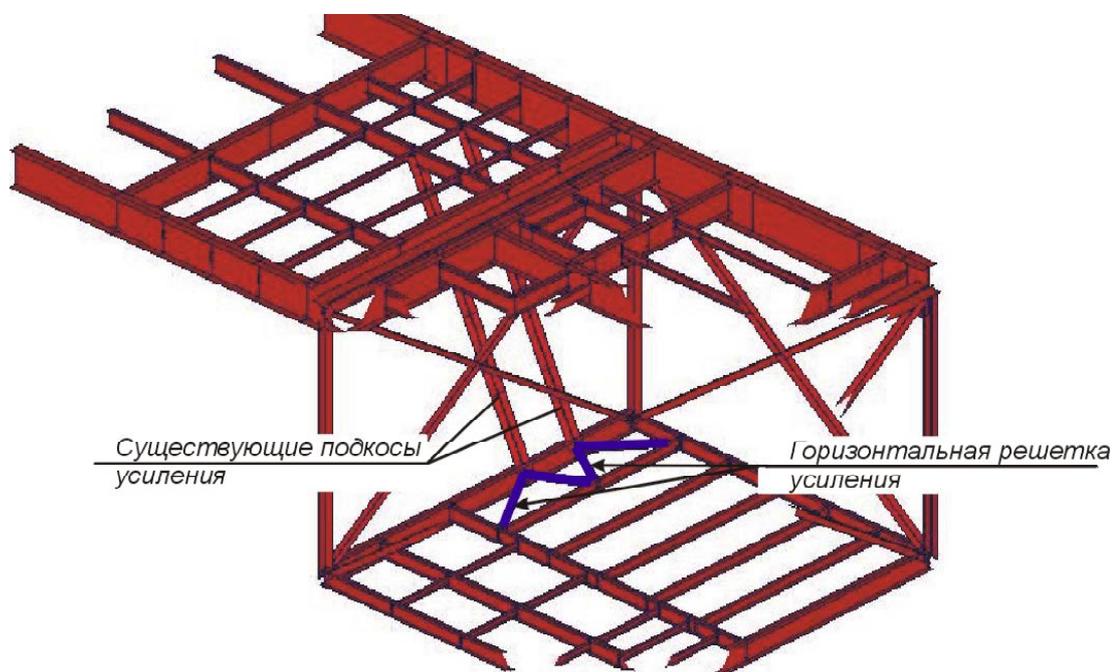


Рис. 9. Схема усиления подкосов введением горизонтальной решетки в межбалочном пространстве.

**Литература**

1. Горохов Е.В., Югов А.М., Денисов Е.В., Некрасов Ю.П. Вибродиагностика металлических конструкций // Металлические конструкции. — 2000. — Том. 3. — Вып. 1. — С.49-54.
2. ДБН 362-92 Оценка технического состояния стальных конструкций эксплуатируемых производственных зданий и сооружений.
3. ДБН В.3.1-1-2002 Ремонт и усиление несущих и ограждающих строительных конструкций и оснований промышленных зданий и сооружений. — Киев: Госстрой Украины. — 2003. — 52 с.
4. Методические указания к выполнению лабораторных работ №1 и №2 по курсу "Строительная механика" раздел "Динамика сооружений" /В.Ф. Муцанов, В.В. Кулябко, В.Т. Горлышкин, Е.В. Денисов – Макеевка, ДонНАСА. — 2005. — 24 с.
5. Отчет о НИР «Зуевская ТЭС. проведение динамических испытаний, выполнение расчетов и выдача рекомендаций по усилению конструкций галереи ЛК-6» ТЭС "Зуевская" / рук. Югов. А.М., ДНАСА. — 2006. — 36 с.
6. Пособие по проектированию усиления строительных конструкций (к СНиП II-23-81\*).
7. Руководство по проектированию транспортных галерей. — М., Стройиздат. — 1979.

**Югов Анатолий Михайлович** працює завідувачем кафедри "Технологія, організація та охорона праці в будівництві", Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член Української асоціації з металевих конструкцій, Член Міжнародної асоціації просторових конструкцій, Член Української спілки з неруйнуючого контролю та технічної діагностики. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність будівельних металевих конструкцій, технічна діагностика будівельних конструкцій.

**Денисов Євген Валерійович** є асистентом кафедри "Теоретична і прикладна механіка" Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: динаміка стержневих конструкцій, технічна діагностика будівельних конструкцій.

**Миронов Андрій Миколайович** є асистентом кафедри "Металеві конструкції" Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: технічна діагностика будівельних конструкцій, фермові конструкції з гнutoзварних профілів.

**Югов Анатолий Михайлович** является заведующим кафедрой "Технология, организация и охрана труда в строительстве", Членом Украинской ассоциации по металлическим конструкциям, Член Международной ассоциации пространственных конструкций, Член Украинского общества по неразрушающему контролю и технической диагностике. Научные интересы: эксплуатационная надежность строительных металлических конструкций, техническая диагностика строительных конструкций.

**Денисов Евгений Валериевич** является ассистентом кафедры "Теоретическая и прикладная механика" Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: динамика стержневых конструкций, техническая диагностика строительных конструкций.

**Миронов Андрей Николаевич** является ассистентом кафедры "Металлические конструкции" Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: техническая диагностика металлических конструкций, ферменные конструкции из гнutoсварных профилей.

**Yugov Anatoly Mikhailovich** is a Principal of Principal of Technology, organization and protection of work in construction department of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. He is a Member of Ukrainian Association of Metal Construction, Member of the International association of spatial construction, Member of the Ukrainian society under the undestroyed control and technical diagnostics. His research interests include: the reliability of existing metal structures, technical diagnostics of building designs.

**Denisov Evgeniy Valer'evich** is by Assistant of department "Theoretical and applied mechanics" of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture His research interests include: dynamics of rod designs, technical diagnostics of building designs.

**Mironov Andrey Nikola'evich** is by Assistant of department "Metal Structures" of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture His research interests include: technical diagnostics of building designs, core construction from bent-welded profiles.