



## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ І ДЕФОРМАТИВНОСТІ ГІПСОКАРТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

О. О. Бармотін<sup>1</sup>, О. Б. Косік<sup>2</sup>

Донбаська національна академія будівництва і архітектури,  
2, вул. Державіна, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.

E-mail: <sup>1</sup> barmotin1970@gmail.com, <sup>2</sup> kab.box@ukr.net

Отримана 27 жовтня 2015; прийнята 27 листопада 2015.

**Анотація.** Відсутність підтверджених дослідних даних про параметри деформування гіпсокартонних плит різної товщини не дозволяє з гарантованою точністю моделювати напружено-деформований стан різноманітних і складних гіпсокартонних конструкцій. Проведені випробування на триточковий вигин при змінному прольоті гіпсокартонних зразків товщиною 9,5 і 12,5 мм. Випробування проводилися в лабораторних умовах на сертифікованому устаткуванні фірми Zwick Roell. Аналіз характеру деформування показує, що гіпсокартонні зразки товщиною 9,5 і 12,5 мм мають як загальні, так і відмітні особливості, при цьому зразки  $t = 9,5$  мм мають на 20...30 % вище модуль пружності і відносну міцність в порівнянні із зразками  $t = 12,5$  мм. Для повного аналізу пружних характеристик також проводили випробування на одноосне розтягування подовжніх і поперечних зразків  $t = 12,5$  мм. Для всього діапазону вимірювання деформацій використовувалися тензорезистори, які дублювалися індикаторами годинникового типу. Для виміру і фіксації швидкозмінних лінійних деформацій в режимі реального часу використовували мобільну вимірну тензометричну систему фірми ОВЕН і тензорезистори фірми Веда. Виконано чисельне моделювання напружено-деформованого стану підвісної гіпсокартонної стелі за системою D 112. Гіпсокартонне облицювання розглядалося як ортотропна цілісна плита з рівномірними поперечними і подовжніми стиками. Розрахунок проводився з використанням програмного комплексу «SCAD Office» за I, III, IV теоріями міцності.

**Ключові слова:** гіпсокартонні плити, міцність, деформативність, ортотропний матеріал, тензорезистори.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ ГИПСОКАРТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

А. А. Бармотин<sup>1</sup>, А. Б. Косик<sup>2</sup>

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,  
2, ул. Державина, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.

E-mail: <sup>1</sup> barmotin1970@gmail.com, <sup>2</sup> kab.box@ukr.net

Получена 27 октября 2015; принята 27 ноября 2015.

**Аннотация.** Отсутствие подтвержденных опытных данных о параметрах деформирования гипсокартонных плит различной толщины не позволяет с гарантированной точностью моделировать напряженно-деформированное состояние многообразных и сложных гипсокартонных конструкций. Проведены испытания на трехточечный изгиб при переменном пролете гипсокартонных образцов толщиной 9,5 и 12,5 мм. Испытания проводились в лабораторных условиях на сертифицированном оборудовании фирмы Zwick Roell. Анализ характера деформирования показывает, что гипсокартонные образцы толщиной 9,5 и 12,5 мм имеют как общие, так и отличительные особенности, при этом образцы  $t = 9,5$  мм имеют на 20...30 % выше модуль упругости и относительную прочность по сравнению с образцами  $t = 12,5$  мм. Для полного анализа упругих характеристик также проводили испытания на одноосное растяжение продольных и поперечных образцов  $t = 12,5$  мм. Для всего диапазона измерения деформаций использовались

тензорезисторы, которые дублировались индикаторами часового типа. Для замера и фиксации быстроменяющихся линейных деформаций в режиме реального времени использовали мобильную измерительную тензометрическую систему фирмы ОБЕН и тензорезисторы фирмы Веда. Выполнено численное моделирование напряженно-деформированного состояния подвешенного гипсокартонного потолка по системе D 112. Гипсокартонная облицовка рассматривалась как ортотропная цельная плита с равнопрочными поперечными и продольными стыками. Расчет производился с использованием программного комплекса «SCAD Office» по I, III, IV теориям прочности.

**Ключевые слова:** гипсокартонные плиты, прочность, деформативность, ортотропный материал, тензорезисторы.

## EXPERIMENTAL AND THEORETICAL RESEARCH OF STRENGTH AND DEFORMABILITY OF DRYWALL CONSTRUCTIONS

Aleksandr Barmotin <sup>1</sup>, Aleksei Kosik <sup>2</sup>

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
2, Derzhavina Str., Makiyivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.*

*E-mail: <sup>1</sup> barmotin1970@gmail.com, <sup>2</sup> kab.box@ukr.net*

*Received 27 October 2015; accepted 27 November 2015.*

**Abstract.** Absence of acknowledgment about the experimental data on the deformation parameters of drywall boards of various thickness does not allow to model the stress-strain state of the diverse and complex drywall constructions with guaranteed accuracy. The tests were conducted on three-point bending with a variable span drywall models of thickness 9.5 and 12.5 mm. The tests were executed in the laboratory using the certified equipment of Zwick Roell company. Analysis of the deformation shows that drywall samples of thickness 9.5 and 12.5 mm have both common and distinct characteristics, while samples of  $t = 9.5$  mm have modulus of elasticity higher on 20–30 % and apparent durability compared to samples of  $t = 12.5$  mm. For a complete analysis of the elastic characteristics also the tests on the uniaxial tensile of axial and transverse samples of  $t = 12.5$  mm were carried out. Load-indicating resistors were used for the whole range of deformation measurement, they were also duplicated by dial indicators. For measuring and recording rapidly changing linear deformations in real time, OBEH mobile measuring strain gauge system and Veda load-indicating resistors were used. Numerical modeling of the stress-strain state of lowered drywall ceiling on the D 112 system was executed. Drywall facing has been regarded as integral orthotropic plate with equal transverse and axial joints. The calculation was performed using the «SCAD Office» software complex according to I, III, IV strength theory.

**Keywords:** drywall boards, strength, deformability, orthotropic materials, load-indicating resistors.

### Актуальность

Низкая удельная материалоемкость, широкий диапазон вариации звукоизолирующих и огнезащитных характеристик при гарантированной жесткости всей конструкции, возможность создания объемных криволинейных элементов предопределяют стабильное применение комплектных гипсокартонных систем при ремонте, реконструкции и строительстве гражданских зданий [1–3]. При использовании гипсокартонных систем проектировщики и строители часто сталкиваются с проблемой обоснованности применения определенных комплектных систем, предусмотренных технической документацией

изготовителя [4–7]. Основным критерием выбора является обеспечение гарантированных характеристик конструкции и трещиностойкости при различных режимах эксплуатации. Для сложных гипсокартонных (ГК) конструкций, эксплуатирующихся в неблагоприятных условиях (температурно-влажностные перепады, деформации здания вызванные, реологическими процессами, динамические воздействия и т. п.), необходимо выполнять численное моделирование по обеспечению эксплуатационной пригодности и гарантированной работы ГК конструкции.

Гипсокартон относится к крупноформатным тонкостенным конструкционным отделочным

плитам ( $6,5 \leq t \leq 25$  мм). Как композитный материал ГКП обладают высокой относительной прочностью на изгиб. Для достижения требуемой эксплуатационной жесткости ГК конструкции монтируются с различными системами каркасов из унифицированных элементов.

В отечественной и зарубежной литературе отсутствуют сведения о результатах экспериментальных исследований прочности и деформативности гипсокартонных плит (ГКП). Отсутствие подтвержденных опытных данных о поведении под нагрузкой ГКП не позволяет с гарантированной точностью моделировать напряженно-деформированное состояние как унифицированных плоских конструкций, так и многообразных объемных элементов, имеющих сложную и нестандартную геометрию [8–14].

**Цель работы** получить опытные данные о закономерностях деформирования стандартных ГК образцов при изгибе, одноосном растяжении и обосновать методику оценки напряженно-деформированного состояния ГК конструкций в условиях плоского напряженного состояния.

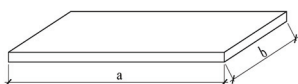
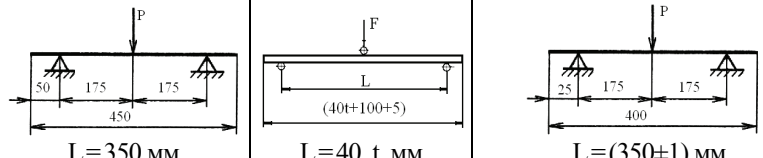
Основные физико-механические характеристики регламентируются Европейским стандартом [15, 16] и Межгосударственным стандартом [17].

Анализ показывает, что требования европейских и отечественных стандартов близки и ос-

новополагающим является прочность ГКП при изгибе. Различие в основном заключается в номенклатуре регламентируемых физико-механических характеристиках ГКП, схемах нагружения и геометрических размерах испытываемых образцов.

Для исследования закономерностей деформирования ГКП проводили испытания на изгиб и одноосное растяжение. Испытания на трехточечный изгиб при переменном пролете ГК образцов толщиной 9,5 и 12,5 мм проводили по методике [2]. Образцы вырезались из ГКП в продольном и поперечном направлениях (тип А, тип Б). Испытания проводились в лабораторных условиях на сертифицированном оборудовании фирмы Zwick Roell. Размеры образцов принимались согласно табл. 1, а пролет ( $L = 40 t$ ) для ГКП 9,5, 12,5 мм соответственно составлял 380 и 500 мм. По стандартной схеме продольные образцы (тип А) испытывали лицевой стороной вниз, а поперечные (тип Б) – тыльной. К образцу прикладывали начальную нагрузку  $\approx 50$  Н, выдерживали его под этой нагрузкой в течение 1 мин. и измеряли прогиб в середине пролета. Затем нагрузку увеличивали со скоростью 15–20 Н/с до величины 100 Н. Под этой нагрузкой образец выдерживали в течение 1 мин. и фиксировали прогиб в середине пролета. Затем нагрузку повышали с той же скоростью до разрушения образца.

Таблица 1. Сравнение методик испытания гипсокартонных листов

	Нормативный документ	Межгосударственный стандарт [17]				Европейский стандарт [15]	
1	Толщина (t) ГКП, мм	9,5	12,5	9,5	12,5	9,5	12,5
2	Размеры образцов, мм 	$a = (450 \pm 5)$ $b = (150 \pm 5)$		$a = (40t + 100 \pm 5)$ $b = (400 \pm 5)$		$a = (400 \pm 5)$ $b = (300 \pm 5)$	
3	Схема нагружения опытных образцов Расстояние между центрами опор (пролет) 	$L = 350$ мм		$L = 40 t$ , мм		$L = (350 \pm 1)$ мм	
Разрушающая нагрузка при изгибе, Н							
4	Продольных образцов	222	322	450	600	400	550/725*
5	Поперечных образцов	81	105	150	180	160	210/300*

\* – разрушающая нагрузка при изгибе гипсовых плит с повышенной прочностью (тип R).

Разность между значением прогиба образца при нагрузке 100 Н и нагрузке 50 Н принималась за прогиб образца. Разрушающую нагрузку и величину прогиба серии образцов сопоставляли с нормируемыми требованиями [17].

Анализ характера деформирования (рис. 1) показывает, что листы 9,5 и 12,5 мм имеют как общие, так и отличительные особенности:

- продольные образцы по сравнению с поперечными имеют модуль упругости выше в 1,25–1,55 раза, а относительную прочность в 2,5–2,8 раза;
- независимо от толщины предел упругой работы выше у поперечных образцов и составляет до 70 %, а у продольных – до 50 % от разрушающего усилия;
- на стадии, близкой к разрушению, в поперечных образцах имеется явно выраженная площадка пластических деформаций;
- ГКП 9,5 мм имеет на 20–30 % выше модуль упругости и относительную прочность по сравнению с ГКП 12,5 мм.

Для определения более полного набора упругих характеристик проводили растяжение ГК образцов  $t = 12,5$  мм (рис. 2) на специально сконструированной установке.

Для всего диапазона измерения деформаций использовались тензорезисторы, которые тестировались совместно с тензометрами Гугенберге-ра (рис. 3), а на этапе испытаний дублировались индикаторами часового типа. Для замера и фиксации быстроменяющихся линейных деформаций в режиме реального времени альтернативным вариантом СИИТ-3 может служить мобильная измерительная тензометрическая система (рис. 3, 4) с использованием оборудования компании ОВЕН СПб, которое успешно зарекомендовало себя в промышленных системах автоматизации. Для замера деформаций использовались тензорезисторы фирмы Веда, которые успешно зарекомендовали себя в странах СНГ.

Образцы для растяжения (рис. 2в) представляли собой восьмерки с торцевыми накладками в зоне захватов. Так как ГКП является ортотропным материалом, то аналогично испытаниям на изгиб, образцы вырезались из ГКП в продольном и поперечном направлениях, т. е.  $0^\circ, 90^\circ$  к осям ортотропии. К образцам прикладывали растягивающую нагрузку равными ступенями до  $0,05P_{\text{раз}}$ . При испытаниях фиксировались нагрузка вплоть до разрушения, продольные  $\varepsilon_1$  и

поперечные  $\varepsilon_2$  деформации. По результатам испытаний определялись модули упругости  $E_1, E_2$  и коэффициенты Пуассона  $\nu_{12}, \nu_{21}$  соответственно для продольных и поперечных образцов (тип А, Б).

Анализ опытных данных (рис. 5) показывает, что модуль упругости и коэффициент Пуассона у продольных образцов на 10–15 % выше, чем в поперечных, при этом соблюдается известное условие симметрии упругих постоянных  $E_1 \cdot \nu_{21} = E_2 \cdot \nu_{12}$ . Предел прочности при растяжении для продольных образцов составляет до 1,8 и до 0,9 МПа у поперечных. Предел упругой работы для всех типов образцов составляет до 55–65 % от разрушающего усилия. Таким образом, исходя из полученных результатов, до проведения более полных исследований рекомендуется ограничивать максимально допустимые напряжения в гипсокартонной обшивке до  $\sigma \leq 0,6$  МПа, а при численном моделировании НДС таких конструкций считать эти растягивающие напряжения предельными.

Исходя из результатов опытных данных, для оценки НДС обосновано принятие общеизвестных предпосылок:

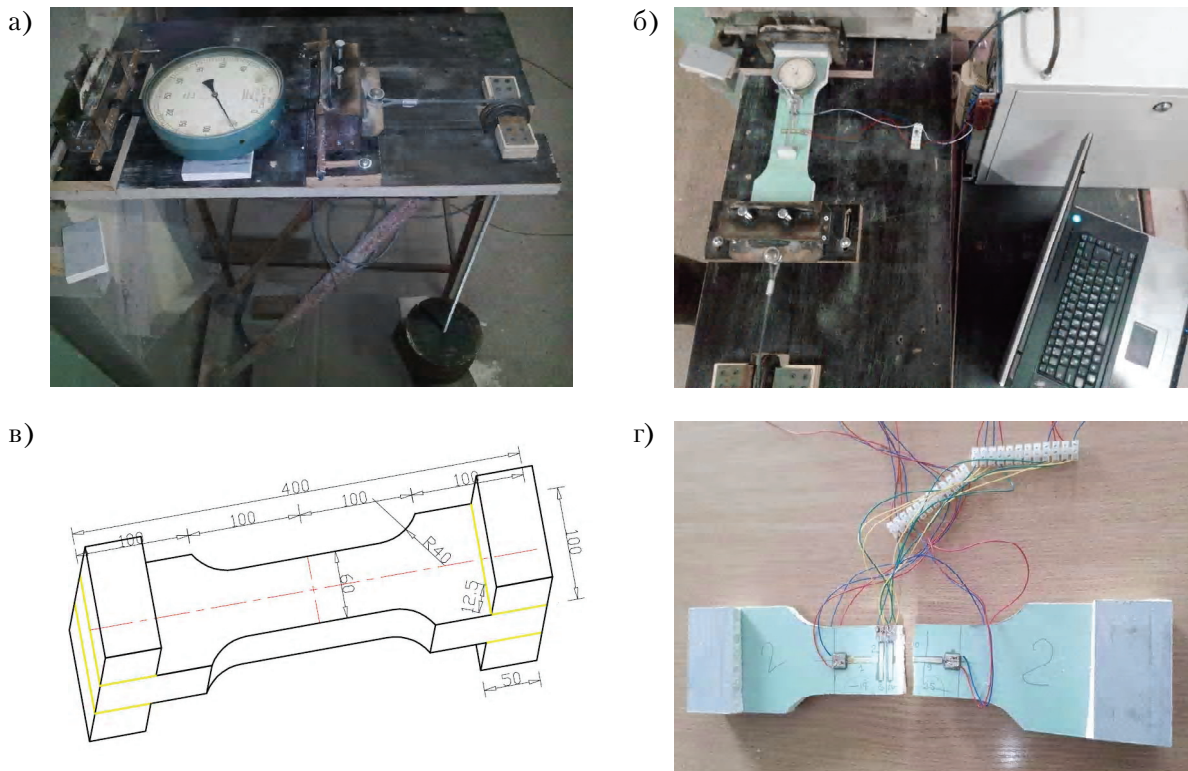
- ГКП как плоско армированный материал представляет собой сплошное макроскопически однородное ортотропное (трансверсально-изотропное) тело;
- гипсовый сердечник и армирующий картон линейно упруги и однородны: связь между деформациями и напряжениями следует закону Гука;
- между сердечником и армирующим картоном идеальное сцепление;
- дополнительные напряжения в ГКП, ввиду различных значений коэффициентов Пуассона для гипсового сердечника и армирующего картона, пренебрежительно малы.

На основании проведенных исследований было выполнено численное моделирование НДС подвесного двухуровневого гипсокартонного потолка (4,8×5,0 м) по системе D 112 Кнауф (рис. 7, 8). Каркас выполнен из основных и второстепенных профилей CD 60/27, которые расположены в разных уровнях и взаимно перпендикулярны. Соединение профилей выполняется двухуровневым соединителем. Шаг второстепенных профилей принимался 500 мм.

При расчете были приняты следующие виды статических нагружений:



Рисунок 1. Результаты испытания по ГОСТ 6266-97 при переменном пролете продольных и поперечных образцов из: а) ГКП 12,5 мм, б), в) ГКП 9,5 мм на сертифицированном оборудовании Zwick Roell.



**Рисунок 2.** Испытания на осевое растяжение: а) тарировка опытной установки; б) замеры деформаций при нагружениях; в) размеры опытных образцов; г) характер разрушения образцов.



**Рисунок 3.** Контроль деформаций с помощью тензорезисторов и тензометров Гугенбергера.

- загрузка (L1) – постоянная нагрузка от собственного веса  $0,15 \text{ кН/м}^2$ ;
- загрузка (L2) – переменная кратковременная вследствие эксплуатационного прогиба железобетонной панели перекрытия ( $0 \leq f \leq 0,05 \text{ м}$ ).

Расчет производился с использованием программного комплекса «SCAD Office» при упру-

гой работе материала. При моделировании были приняты следующие предпосылки:

- подвесы шарнирно соединены с профилем;
- сопряжения основных и второстепенных профилей принято шарнирным;
- ГК облицовка рассматривается как ортотропная цельная плита с равнопрочными поперечными и продольными стыками и шар-

нирным креплением к второстепенному профилю;

– для расчета были приняты следующие упругие характеристики табл. 2:

Таблица 2. Характеристики ГКП

$E_1$ , ГПа	$E_2$ , ГПа	$\nu_{12}$	$\nu_{21}$	$G_{12}^*$ , ГПа
2,56	2,32	0,252	0,229	1,03

\* – определялся по рекомендациям [18, 19];

- подвесной потолок работает совместно с базовой железобетонной панелью перекрытия, опирающейся по контуру на несущие стены;
- расчетная схема подвесного потолка состоит из универсальных стержневых и пластинчатых конечных элементов.

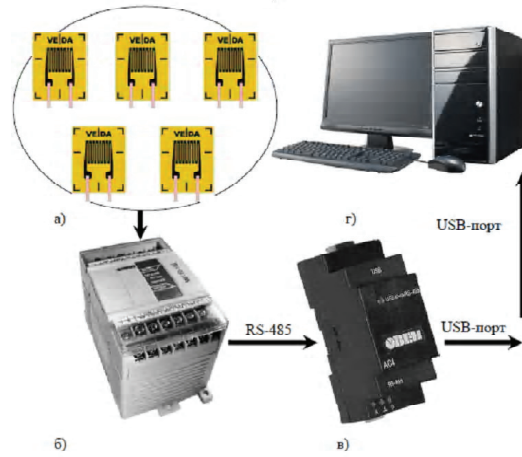


Рисунок 4. Тензометрическая система: а) группа тензорезисторов «Веда»; б) модуль ввода сигналов тензорезисторов; в) преобразователь интерфейсов; г) ПК с операционной системой Windows.

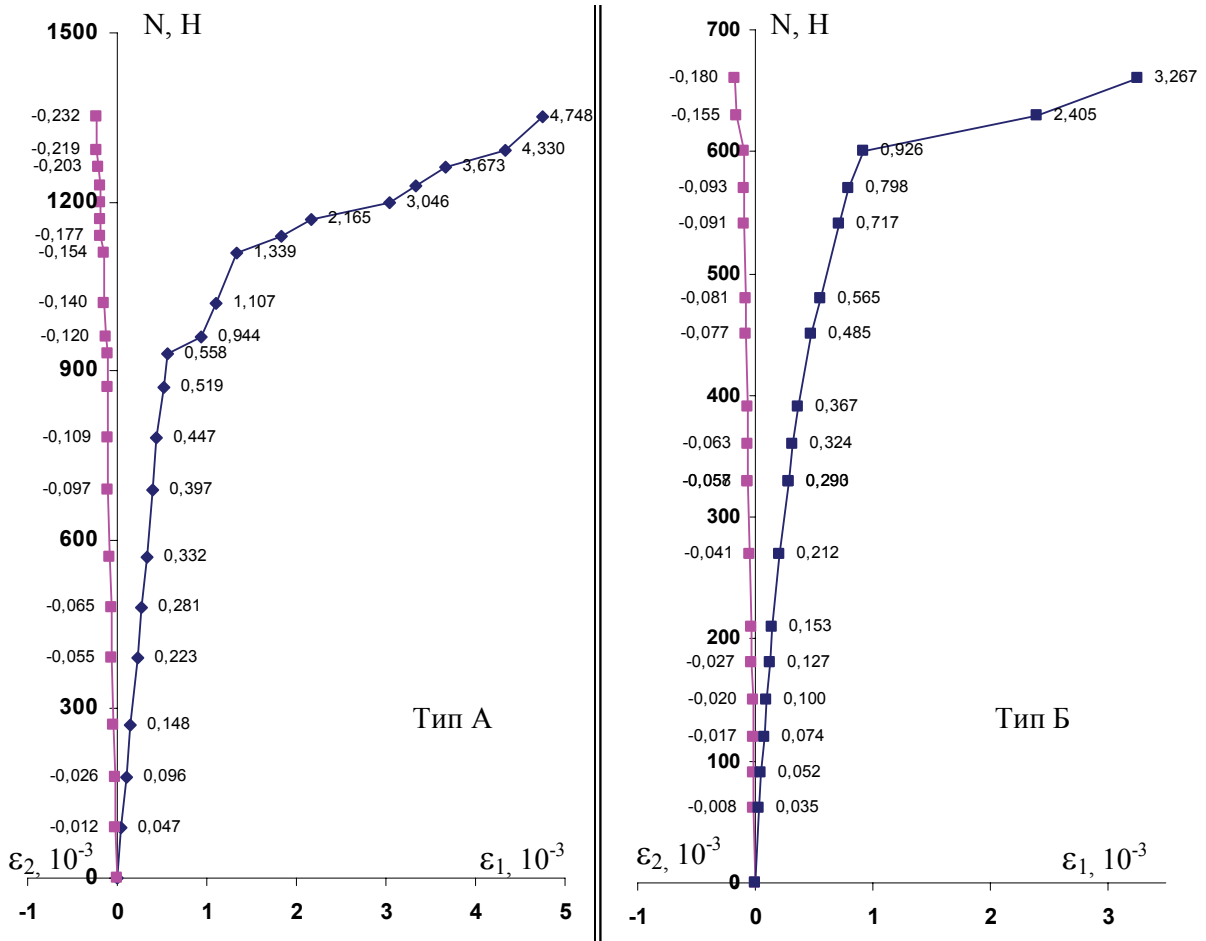


Рисунок 5. Деформирование в продольном ( $\epsilon_1$ ) и поперечном направлениях ( $\epsilon_2$ ) образцов тип А, Б при осевом растяжении.

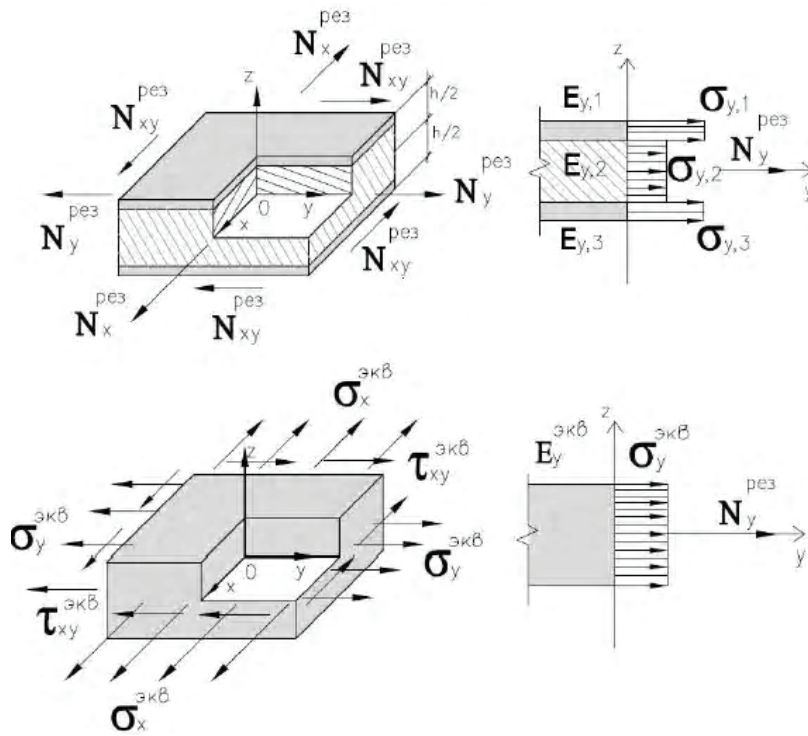


Рисунок 6. Переход от фактической к расчетной модели слоистого полимерного материала (ГКП) в условиях плоского напряженного состояния.

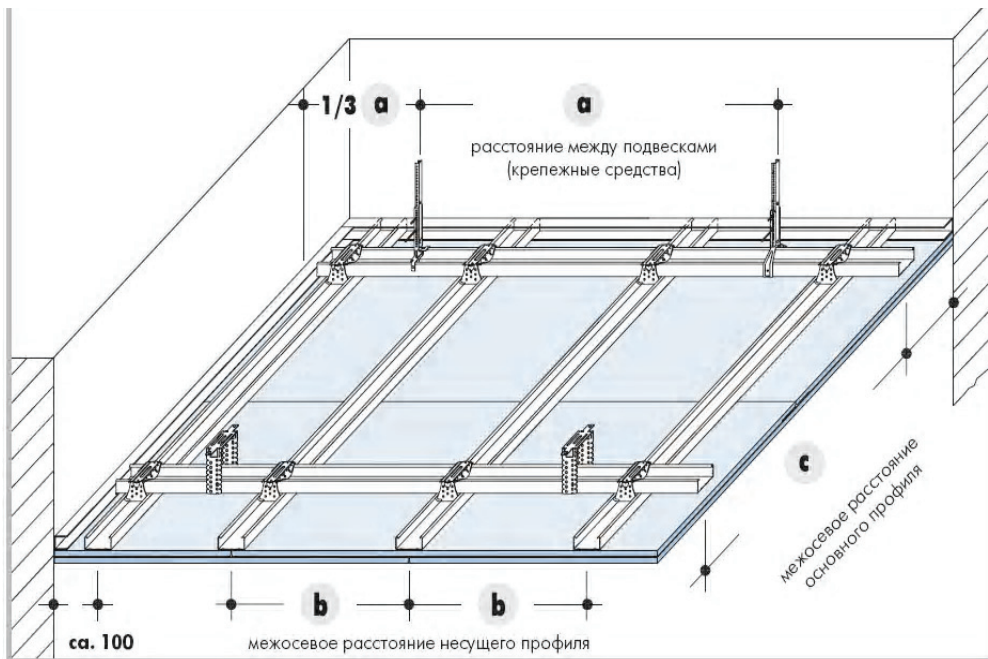


Рисунок 7. Конструктивное решение подвесного потолка по системе D 112 Кнауф.



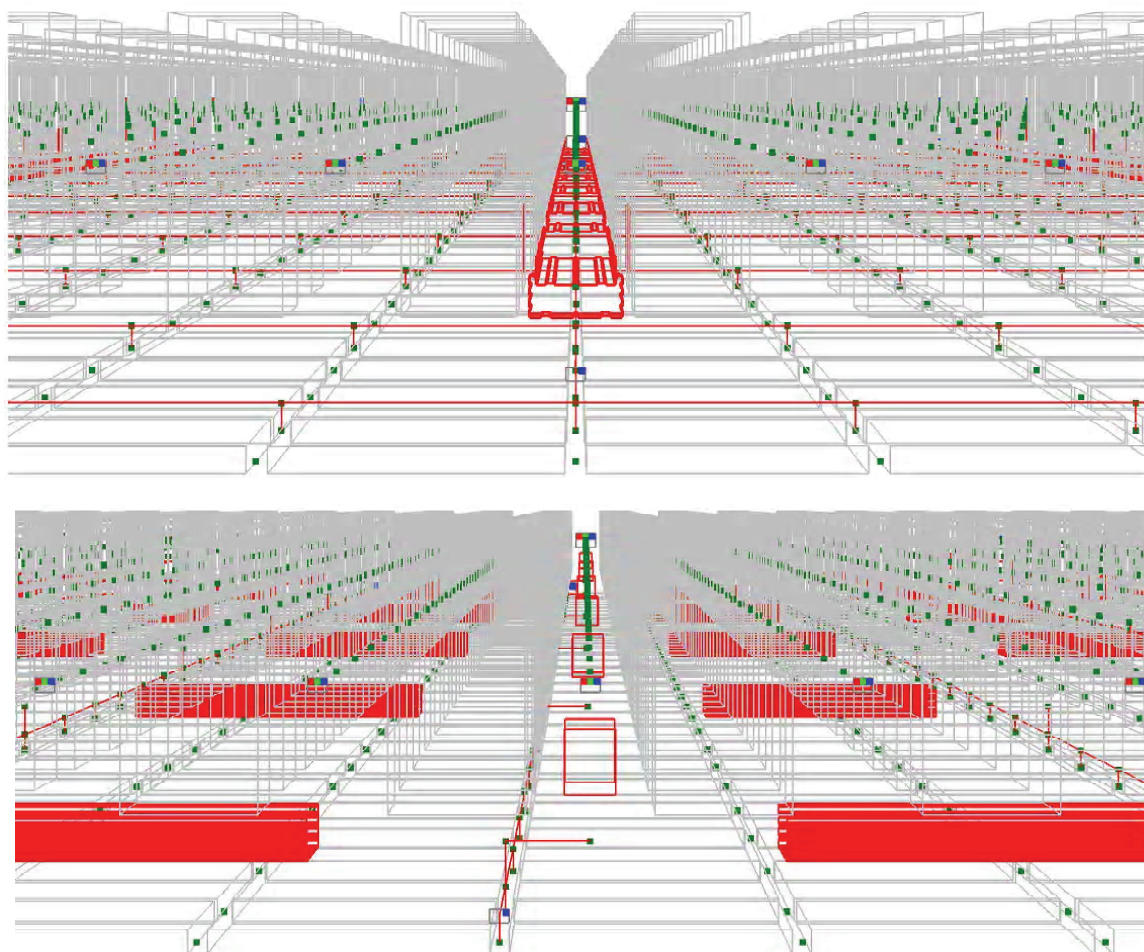
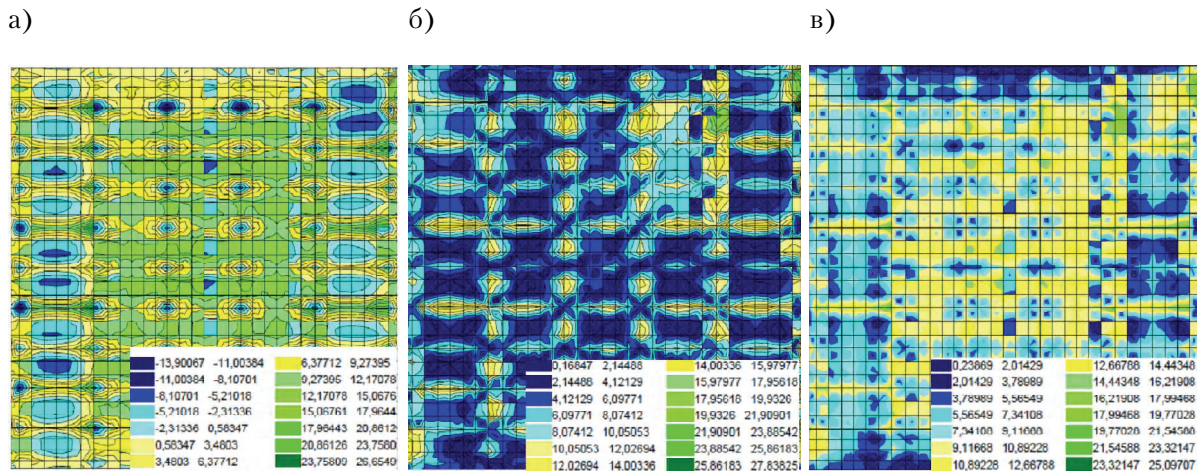


Рисунок 8. Графическая модель подвесного гипсокартонного потолка по системе D 112.

Результаты расчетов показывают (рис. 9), что величины максимальных приведенных напряжений близки по I, III, IV теориям, при этом  $\sigma^{np} < 0,6$  МПа, что обеспечивает гарантированную работу конструкции.

#### Выводы

1. В отечественной и зарубежной литературе отсутствуют сведения о результатах экспериментальных исследований прочности и деформативности ГКП, что не позволяет с гарантированной точностью моделировать НДС многообразных и сложных ГК конструкций.
2. Анализ показывает, что требования европейских и отечественных стандартов близки и основополагающим является прочность ГКП при изгибе. Различие заключается в номенклатуре регламентируемых технических характеристик ГКП, схемах испытания и геометрических размерах опытных образцов.
3. Анализ деформирования при изгибе показывает, что ГКП 9,5 мм имеют на 20–30 % выше модуль упругости и относительную прочность по сравнению с ГКП 12,5 мм.
4. При растяжении предел прочности поперечных образцов в два раза ниже по сравнению с продольными и составляет до 0,9 МПа. В пределах упругой работы рекомендуется ограничивать максимально допустимые напряжения в гипсокартонной обшивке до  $\sigma \leq 0,6$  МПа, а при численном моделировании НДС таких конструкций считать эти растягивающие напряжения предельными.



**Рисунок 9.** Поля приведенных напряжений в  $t/m^2$  по а) I и б) III, в) IV теориям прочности от действия собственного веса и эксплуатационного прогиба плиты перекрытия.

5. Гипсокартон как плоско армированный материал целесообразно представлять в виде

сплошного однородного ортотропного тела, подчиняющегося закону Гука.

## Литература

1. Подвесные потолки общественных зданий [Текст] / Е. В. Горохов, В. Ф. Мушанов, В. И. Веретенников. – Макеевка : ДонГАСА, 2002. – 96 с.
2. Циприанович, И. В. Комплексные системы сухого строительства [Текст] / И. В. Циприанович, А. Ю. Старченко. – Киев : Мастера, 1999. – 192 с.
3. Гамм, Х. Современная отделка помещений с использованием комплектных систем Кнауф [Текст] : Учебное пособие по качественной отделке помещений / Х. Гамм. – Издание второе. – М. : Стройматериалы, 2002. – 89 с.
4. Brandschutz mit Knauf, Gipsbaustoffe Baukonstruktionen [Текст]. – Neu bberarbeitete Auflage. – [S. l. : s. n.], 1997. – 64 s.
5. Schallschutz mit Knauf [Текст] : DIN 4109 (Ausgabe 89), Schallschutzanforderungen, Ausführungsbeispiele, Rechenverfahren. Front Cover. – [S. l. : s. n.], 1992. – 62 s.
6. Рекомендации по конструкторско-технологическим решениям облицовки стен листовыми материалами, устройству подвесных потолков и сборных перегородок [Текст] / ЦНИИОМТП; КиевЗНИИЭП. – М. : Стройиздат, 1987. – 120 с.
7. СП 55-102-2001. Конструкции с применением гипсоволокнистых листов [Текст] / Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу. – М. : Госстрой России, 2003. – 48 с.
8. Алфутов, Н. А. Расчет многослойных пластин и оболочек из композитных материалов [Текст] /

## References

1. Gorokhov, Ye. V.; Mushchanov, V. F.; Veretennikov, V. I., Starchenko, A. Yu., Gavrish, A. M., Gulin, D. V., Pahomov, I. A., Gorokhov, A. Ye. Suspended ceilings of public buildings. Makiyivka: DonNACEA, 2002. 96 p. (in Russian)
2. Tsiptrianovich, I. V.; Starchenko, A. Yu. Complex systems of dry construction. Kiev: Masters, 1999. 192 p. (in Russian)
3. Gamm, X. Modern decoration of buildings with using of Knauf complex systems: Textbook for high-quality interior decoration. Second Edition. Moscow: Building Materials, 2002. 89 p. (in Russian)
4. Brandschutz mit Knauf, Gipsbaustoffe Baukonstruktionen. Neu bberarbeitete Auflage. [S. l. : s. n.], 1997. 64 s.
5. Schallschutz mit Knauf: DIN 4109 (Ausgabe 89), Schallschutzanforderungen, Ausführungsbeispiele, Rechenverfahren. Front Cover. [S. l. : s. n.], 1992. 62 s.
6. TsNIИОМТП; KievZNIИЭП. Recommendations for design and technological solutions of facing walls by sheet materials, suspended ceilings and modular partitions. Moscow: Stroizdat, 1987. 120 p. (in Russian)
7. SP 55-102-2001. Structures with using drywall sheets. Moscow: Russian Federation State Committee for Construction and Housing Utilities, 2003. 48 p. (in Russian)
8. Alfutov, N. A.; Zinovev, P. A.; Popov, B. G. Calculation of multilayer plates and shells made of composite materials. Moscow: Mechanic engineering, 1984. 264 p. (in Russian)

- Н. А. Алфутов, П. А. Зиновьев, Б. Г. Попов. – М. : Машиностроение, 1984. – 264 с.
9. Carrera, E. Plates and Shells for Smart Structures: Classical and Advanced Theories for Modeling and Analysis [Текст] / E. Carrera, S. Brischetto, P. Nali. – First Edition. – Chichester: John Wiley & Sons, Ltd., 2011. – 309 p. – ISBN 978-0-470-97120-8.
  10. Maksimiyuk, V. A. Nonlinear Deformation of Thin Isotropic and Orthotropic Shells of Revolution with Reinforced Holes and Rigid Inclusions [Текст] / V. A. Maksimiyuk, E. A. Storozhuk, I. S. Chernyshtnko // *International Applied Mechanics*. 2013. Volume 49, Issue 6. P. 685–692.
  11. Lindgaard, E. A unified approach to nonlinear buckling optimization of composite structures [Текст] / E. Lindgaard, E. Lund // *Computers & Structures*. 2011. Vol. 89, No. 3–4. P. 357–370.
  12. Tomas, A. Shape and size optimization of concrete shells [Текст] / A. Tomas, P. Marti // *Engineering Structures*. 2010. Vol. 32, No. 6. P. 1650–1658.
  13. Григоренко, Я. М. Анализ напряженного состояния двояковыпуклых слоистых ортотропных оболочек при различной степени пологости [Текст] / Я. М. Григоренко, Н. Н. Крюков, Ю. И. Иванова // *Прикл. механика*. 2003. 39, № 6. С. 74–81.
  14. Карпов, А. Я. Сравнительный анализ подходов к оценке прочности слоистых композиционных материалов [Текст] / А. Я. Карпов, В. Г. Ставиченко // *Пробл. прочности*. 2008. № 4. С. 36–42.
  15. DIN EN 520:2005-03. Gipsplatten – Begriffe, Anforderungen und Prüfverfahren [Текст]. – Deutsche Fassung EN 520:2004 ; Ausgabedatum 2005–03. – Berlin : Deutsches Institut für Normung, 2005. – 53 s.
  16. ISO 1924-3:2005. Paper and board – Determination of tensile properties – Part 3: Constant rate of elongation method (100 mm/min) [Текст]. – First edition 2005–07–01. – Geneva : ISO, 2005. – 10 p.
  17. ГОСТ 6266-97. Листы гипсокартонные. Технические условия [Текст]. – Взамен ГОСТ 6266-89 ; введ. 1999–04–01. – М. : Госстрой России, ГУП ЦПП, 1999. – 25 с. – ISBN 5-88111-161-3.
  18. Кучер, Н. К. Деформирование и прочность слоистых углепластиков при температурах 293 и 77 К [Текст] / Н. К. Кучер, М. П. Земцов // *Пробл. прочности*. 2001. № 3. С. 46–56.
  19. Композиционные материалы [Текст]. Справочник / Под. общ. ред. В. В. Васильева, Ю. М. Тарнопольского. – М. : Машиностроение, 1990. – 512 с.
  9. Carrera, E.; Brischetto, S.; Nali, P. Plates and Shells for Smart Structures: Classical and Advanced Theories for Modeling and Analysis. First Edition. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd., 2011. 309 p. ISBN 978-0-470-97120-8.
  10. Maksimiyuk, V. A.; Storozhuk, E. A.; Chernyshtnko, I. S. Nonlinear Deformation of Thin Isotropic and Orthotropic Shells of Revolution with Reinforced Holes and Rigid Inclusions. In: *International Applied Mechanics*, 2013, Volume 49, Issue 6, pp. 685–692.
  11. Lindgaard, E., Lund, E. A unified approach to nonlinear buckling optimization of composite structures. In: *Computers & Structures*, 2011, Vol. 89, No. 3–4, pp. 357–370.
  12. Tomas, A.; Marti, P. Shape and size optimization of concrete shells. In: *Engineering Structures*, 2010, Vol. 32, No. 6, pp. 1650–1658.
  13. Grigorenko, Ya. M.; Kriukov, N. N.; Ivanova, Yu. I. Analysis of stress state lenticular layered orthotropic shells with varying degrees of flatness. In: *Applied Mechanics*, 2003, 39, No. 6, pp. 74–81. (in Russian)
  14. Karpov, A. Ya.; Stavichenko, V. G. Comparative analysis of approaches to the assessment of the strength of laminated composite materials. In: *Probl. Strength*, 2008, No. 4, pp. 36–42. (in Russian)
  15. DIN EN 520:2005-03. Gipsplatten – Begriffe, Anforderungen und Prüfverfahren. Deutsche Fassung EN 520:2004; Ausgabedatum 2005-03. Berlin: Deutsches Institut für Normung, 2005. 53 s.
  16. ISO 1924-3:2005. Paper and board – Determination of tensile properties – Part 3: Constant rate of elongation method (100 mm/min). Geneva: ISO, 2005. 10 p.
  17. GOST 6266-97. Gypsum plasterboards. Specifications. Moscow: Gosstroj of Russia, GUP TsPP, 1999. 25 p. ISBN 5-88111-161-3. (in Russian)
  18. Kucher, N. K.; Zemtsov, M. P. Deformation and strength of layered CFRP at temperatures 293 and 77 K. In: *Probl. Strength*, 2001, No. 3, pp. 46–56. (in Russian)
  19. Vasilev, V. V. (Ed.); Tarnopolskii, Yu. M. (Ed.). Composite materials. Reference book. Moscow: Mechanic engineering, 1990. 512 p. (in Russian)

**Бармотін Олександр Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології та організації будівництва Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: проектування та організація робіт при реконструкції цивільних будівель.

**Косік Олексій Борисович** – асистент кафедри технології та організації будівництва Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: проектування та організація робіт при реконструкції цивільних будівель.

**Бармотин Александр Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации строительства Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: проектирование и организация работ при реконструкции гражданских зданий.

**Косик Алексей Борисович** – ассистент кафедры технологии и организации строительства Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: проектирование и организация работ при реконструкции гражданских зданий.

**Barmotin Aleksandr** – PhD (Engineering), Associate Professor; Technology and Organizing in Civil Engineering Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: organization and technology work in the reconstruction of civil buildings.

**Kosik Aleksei** – Assistant; Technology and Organizing in Civil Engineering Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: organization and technology work in the reconstruction of civil buildings.