

**II. ВАЖНЕЙШИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ЕСТЕСТВЕННЫХ, ОБЩЕСТВЕННЫХ  
И ГУМАНИТАРНЫХ НАУК**

Фундаментальная работа №1

**Молодежная лаборатория: «Материалы для Арктики»**

**Название приоритетного направления развития науки и техники:**

1. **Тема НИР:** Разработка составов и технологий высокофункциональных бетонов, твердеющих при отрицательных температурах, с комплексом органоминеральных модификаторов, в том числе с использованием отходов промышленности, с заданным комплексом эксплуатационных свойств для условий Арктики с учетом необходимости обеспечения безопасности эксплуатации сооружений
2. **Руководитель НИР:** ст. н. с. доцент, к.т.н. С. В. Лахтарина
3. **Номер государственной регистрации НИР:** 123111000034-0-2.1.3
4. **Номер учетной карточки заключительного отчета:** -
5. **Название высшего учебного заведения, научного учреждения:** ФГБОУВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры».
6. **Срок выполнения:** начало – 17.01.2024, окончание – 31.12.2026.
7. **Объект исследования** - – бетоны с повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами, изготовленные с применением промышленных (техногенных) отходов, органо-минеральных модификаторов и химических добавок.
8. **Работали над диссертациями:** С.В. Лахтарина - над докторской диссертацией, М.Э Вороненко и Н.Н. Лахтарина - над кандидатскими.
9. **В работе принимали участие:** 6 исполнителей, в том числе 5 молодых ученых в возрасте до 39 лет, из которых 2 аспиранта.
10. **Цель исследования** - – теоретико-экспериментальное обоснование принципов проектирования составов и технологий высокофункциональных бетонов, твердеющих при отрицательных температурах, с комплексом органоминеральных модификаторов, в том числе с использованием отходов промышленности, с заданным комплексом эксплуатационных свойств для условий Арктики с учетом необходимости обеспечения безопасности эксплуатации сооружений.

**11. Перечень основных заданий.** Задачи исследований первого этапа Государственного задания №075-03-2024-245 от 17.01.2024 г.:

- обоснование принципов проектирования составов, формирования структуры с заданными характеристиками, а также анализ практического применения высокофункциональных бетонов (High Performance Concrete - HPC) с комплексом химических и минеральных модификаторов, в том числе на основе техногенных отходов;
- анализ литературы по исследованию модифицирования активными минеральными добавками – микрокремнезем, зол-уноса тепловых электростанций на формирование структуры и показателей эксплуатационных свойств цементных систем;
- анализ литературы по влиянию воздухововлекающих добавок на показатели морозостойкости бетонов;
- анализ литературных исследований отечественных и зарубежных авторов по применению комплекса химических и минеральных добавок совместно с дисперсным армированием на показатели свойств фибробетонов в условиях воздействия отрицательных температур.

**12. Реализация заданий работы.** Для достижения цели исследования реализованы следующие задачи:

- обоснованы принципы проектирования составов, формирования структуры с заданными характеристиками, а также анализ практического применения высокофункциональных бетонов (High Performance Concrete - HPC) с комплексом химических и минеральных модификаторов, в том числе на основе техногенных отходов;

- на основании теоретических предпосылок, обоснован выбор и активных минеральных добавок, в том числе из промышленных (техногенных) отходов Донбасса (золшлаковые отходы ТЭС, отходы камнедробления, отходы металлургической промышленности), а также химических модификаторов (пластифицирующих, воздухововлекающих) для производства высокофункциональных бетонов с комплексом заданных свойств твердеющих при отрицательных температурах (I-й этап);

- выполнен анализ литературных исследований отечественных и зарубежных авторов по применению комплекса химических и минеральных добавок совместно с дисперсным армированием на показатели свойств фибробетонов в условиях воздействия отрицательных температур; установлено, что дисперсное армирование способствует равномерному распределению напряжений внутри бетона, что снижает риск образования трещин при циклах замораживания и оттаивания и повышает эксплуатационные характеристики бетона.

### 13. Основные выводы:

1. Обоснованы принципы проектирования составов и формирования структуры с заданными характеристиками, а также выполнен анализ практического применения высокофункциональных цементных бетонов (High Performance Concrete - HPC) с комплексом химических и минеральных модификаторов, в том числе на основе техногенных отходов. На основе литературного анализа установлена актуальность исследования, которая заключается в разработке составов и технологий высокофункциональных цементных бетонов, в том числе твердеющих при отрицательных температурах, с заданным комплексом эксплуатационных характеристик с учетом необходимости обеспечения безопасности эксплуатации сооружений, при эксплуатации в условиях отрицательных температур.

2. На основании теоретических предпосылок, обоснован выбор и активных минеральных добавок, в том числе из промышленных (техногенных) отходов Донбасса (золшлаковые отходы ТЭС, отходы камнедробления, отходы метал-лургической промышленности), а также химических модификаторов (пластифицирующих, воздухововлекающих) для производства высокофункциональных бетонов с комплексом заданных свойств, в том числе с возможностью твердения при отрицательных температурах (I- этап). С учетом законтрактованного оборудования в виде климатической камеры тепла-холода и влаги на 2025 год запланировано исследовать исходные свойства минеральных компонентов для производства высокофункциональных бетонов высокой морозостойкости; разработать эффективные органоминеральные модификаторы, в том числе на основе отходов промышленности Донбасса, исследовать свойства полученных цементных систем по параметрам кинетики набора ранней прочности при твердении в отрицательных температурах; разработать и оптимизировать составы конструкционных тяжелых и легких бетонов с повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами, в том числе на основе самоуплотняющихся бетонных смесей, исследовать свойства бетонов, при воздействии отрицательных температур.

3. Выполнен анализ литературных исследований отечественных и зарубежных авторов по применению комплекса химических и минеральных добавок совместно с дисперсным армированием на показатели свойств фибробетонов в условиях воздействия отрицательных температур; установлено, что дисперсное армирование способствует равномерному распределению напряжений внутри бетона, что снижает риск образования трещин при циклах замораживания и оттаивания, и повышает

**ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»**

эксплуатационные характеристики бетона. На 2025 год запланирована разработка и оптимизация составов модифицированных дисперсно-армированных бетонов, а также исследование напряженно-деформируемого состояния и поведение бетонов при воздействии отрицательных температур.

**Перспективы и рекомендации дальнейших направлений исследования** заключаются в исследовании влияния новых видов химических модификаторов на твердение и свойства бетона при воздействии отрицательных температур; исследовании напряженно-деформируемого состояния и поведение бетонов при воздействии отрицательных температур, с целью обеспечения надежности при эксплуатации конструкций из бетона и железобетона.

**ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»**

**Фундаментальная работа №2**

**Кафедра: Физика и прикладная химия.**

**Название приоритетного направления развития науки и техники:**

фундаментальные научные исследования по наиболее важным проблемам развития научно-технического, социально-экономического, общественно-политического, человеческого потенциала для обеспечения конкурентоспособности в мире и устойчивого развития общества и государства.

**Тема НИР:** «Развитие физико-химических основ кинетики кристаллизации переохлажденных расплавов и растворов».

**Руководители НИР:** Фролова Светлана Александровна, кандидат химических наук, доцент, заведующий кафедрой физики и прикладной химии.

**Номер государственной регистрации НИР:** 0121D000091.

**Номер учетной карточки заключительного отчета:** -

**Название высшего учебного заведения, научного учреждения:** ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры».

**Срок выполнения:** начало –09.01.2024 г., окончание – 28.12.2024 г.

**Предмет исследования.** Закономерности влияния кинетики зародышеобразования и кристаллизации переохлажденных расплавов на структуру и свойства материалов.

**Объект исследования.** Цветные металлы и сплавы, кристаллогидраты и их смеси, низкомолекулярные органические вещества.

**Суть процесса исследования.** Суть процесса исследования в том, что в литературе отсутствуют систематические исследования относительно влияния зародышеобразования и кинетики кристаллизации переохлажденных расплавов разных веществ на структуру и свойства материалов, которые зависят от условий кристаллизации и влияния разных факторов. Поэтому эта работа направлена на исследования в этом

ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»  
направлении.

**Основные научные результаты.** Выполнен план работы по 4 этапу (2024 г.).

Выполнены теоретические и практические исследования по развитию физико-химических основ кинетики зародышеобразования.

Построены диаграммы метастабильного фазового равновесия, которые указывают на наличие термодинамической возможности образования метастабильных фаз в той или иной температурно-концентрационной области. Кроме того, знание положения линий метастабильного равновесия позволяет иметь точку отсчёта для определения движущей силы образования и роста метастабильных фаз, поэтому, желательно знать схему расположения этих линий, т.е. иметь диаграмму метастабильного равновесия, и только потом находить причины их смещения или несоответствия реальных процессов структурообразования.

Установлено, что метастабильное фазовое равновесие подчиняется тем же термодинамическим правилам, которые действуют в случае стабильного равновесия. В частности, температуры и химические потенциалы всех фаз системы при равновесии должны быть равны. Метастабильные диаграммы состояния не содержат каких-либо необычных деталей, за исключением областей вблизи границ метастабильности, где перестаёт существовать барьер зародышеобразования. Если некоторая фаза стабильна на одном участке диаграммы состояния и становится метастабильной на другом участке, то между двумя такими участками нет никакого разрыва. Пример непрерывного метастабильного продолжения кривых ликвидуса и солидуса ниже температуры эвтектики показан на рис. 1.



Рис. 1. Часть диаграммы состояния при эвтектической температуре с участками, соответствующими метастабильным жидкой и твёрдой фазам

Установлено, что при неравновесной кристаллизации происходит смещение границ, разделяющих различные фазовые состояния, по сравнению с их положением на равновесных диаграммах. В основном, это линии солидуса, эвтектические и другие точки. Вместе с тем в определении понятий «неравновесная» кристаллизация и «метастабильная диаграмма» ничего не говорится о наличии предкристаллизационных переохлаждений в сплавах (наподобие таковых у чистых веществ) относительно температур ликвидуса, вызывающих спонтанную кристаллизацию. По определению квазиравновесная кристаллизация (КРК) начинается при температуре ликвидуса  $T_L$  и заканчивается при температуре солидуса  $T_S$ . Смещение точек солидуса зависит от скорости охлаждения расплава, температурных и концентрационных градиентов. Если последние малы, то система успевает прийти к истинному равновесию. Спонтанная же кристаллизация (СК) не начинается при температуре ликвидуса  $T_L$  – она начинается при температурах  $T_{\min}$  значительно ниже  $T_L$ . Т.е. для такого вида кристаллизации необходимо переохлаждение  $\Delta T = T_L - T_{\min}$ . Согласно кластерно-коагуляционной модели, пока расплав охлаждается от  $T_L$  до  $T_{\min}$  в нем возникают зародыши твёрдой фазы за инкубационный период  $\tau_1$ . Затем эти зародыши частично коагулируют, создавая начальный объём твёрдой фазы, начиная от которого происходит затвердевание оставшейся части расплава. На начальной стадии СК диффузионные процессы явно не успевают за коагуляционными, причём независимо от скорости охлаждения. В результате коагуляции кластеро-зародышей выделяется достаточное количество теплоты, которое приводит к саморазогреву переохлаждённого объекта. Поскольку время «упущено» на коагуляцию, температура поднимается от  $T_{\min}$  до  $T_X$  ( $T_X < T_L$ ), и только после этого начинается докристаллизация расплава. Нанесение точек  $T_{\min}$  на диаграмму для всех сплавов не означает построение «неравновесной диаграммы состояния». Эти точки образуют границу метастабильного состояния только на момент начала кристаллизации. Знание положения линий, образуемых температурами  $T_{\min}$  в одинаковых условиях эксперимента позволяет иметь точки отсчёта для определения движущей силы начальной стадии кристаллизации того или иного сплава.

На рис. 2 приведены диаграммы состояния с границами метастабильности, построенные по экспериментальным данным.

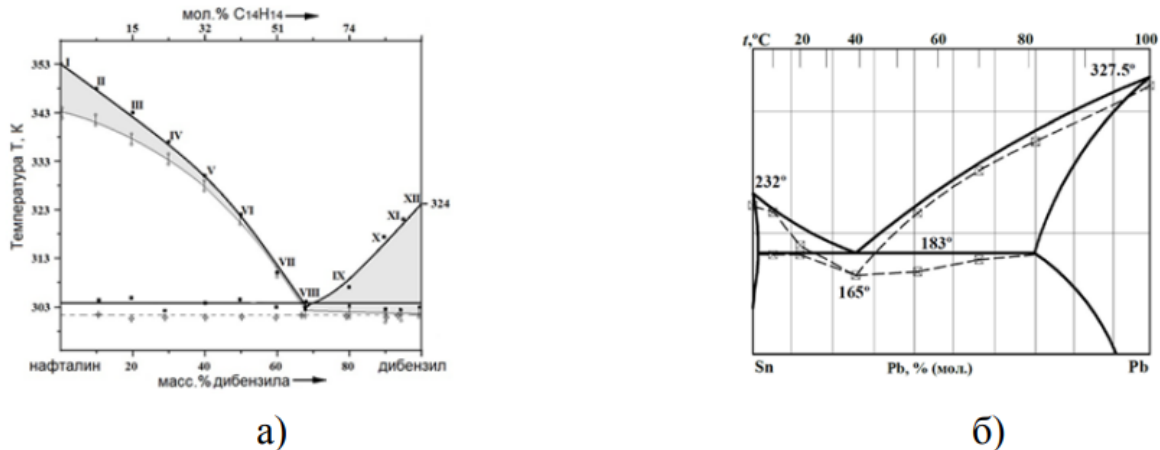


Рис. 2. Диаграммы состояния нафталин-дибензил (а), Sn-Pb (б)

При определении энергетического КПД теплового аккумулятора создана предварительная методика.

Энергоэффективность тепловых аккумуляторов (ТА) с фазопереходным теплоаккумулирующим материалом (ТАМ) определяется т.н. энергетическим КПД:

$$\eta_A = \frac{Q^R - Q_0^R}{Q^Z + Q_0^Z}, \quad (1)$$

где  $Q^Z$  – теплота зарядки ТАМ;  $Q_0^Z$  – потери теплоты на оболочке капсулы при зарядке;  $Q^R$  – теплота разрядки ТАМ;  $Q_0^R$  – потери теплоты на оболочке капсулы при разрядке.

На рис. 3 показана схематическая термограмма условного ТАМ, характеризующая равновесное плавление и равновесную кристаллизацию (РК) при одинаковых скоростях нагрева и охлаждения.

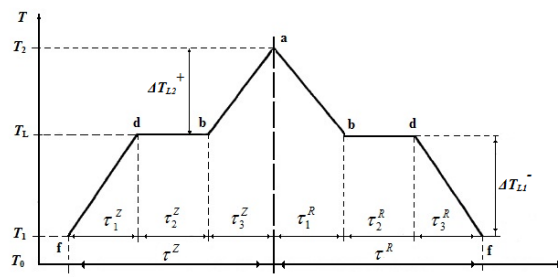


Рис. 3. Схематические термограммы, отражающие процессы зарядки и разрядки ТА при равновесной кристаллизации ТАМ

На данном рисунке  $\tau_1^Z$ ,  $\tau_2^Z$ ,  $\tau_3^Z$  – времена нагрева твердой фазы, плавления и нагрева жидкой фазы;  $\tau_1^R$ ,  $\tau_2^R$ ,  $\tau_3^R$  – времена охлаждения жидкой фазы, равновесной кристаллизации и охлаждения твердой фазы;  $\tau^Z$ ,  $\tau^R$  – общие



времена зарядки и разрядки:  $\tau^Z = \tau_1^Z + \tau_2^Z + \tau_3^Z$ ,  $\tau^R = \tau_1^R + \tau_2^R + \tau_3^R$  при одинаковых скоростях нагревания и охлаждения  $\tau^Z = \tau^R$ .

Согласно данному рисунка, количество теплоты, аккумулируемое при нагревании ТАМ, равно  $Q_A^Z = Q_1^Z + Q_2^Z + Q_3^Z$ ,

$$\text{или } Q_A^Z = m_A \left[ \int_{T_1}^{T_L} c_S(T) dT + \Delta H_{LS} + \int_{T_L}^{T_2} c_L(T) dT \right], \quad (2)$$

где  $m_A$  – масса ТАМ;  $c_S$ ,  $c_L$  – удельные теплоемкости ТАМ в областях твердой и жидкой фаз соответственно в интервалах температур от  $T_1$  до  $T_L$  и от  $T_L$  до  $T_2$ ;  $T_1$  и  $T_2$  – температуры до и после зарядки,  $\Delta H_{LS}$  и  $T_L$  – энтальпия и температура плавления ТАМ.

Количество теплоты, отдаваемое ТАМ в период разрядки (без учета теплотерь), определяется выражением

$$Q_A^R = m_A \left[ \int_{T_L}^{T_2} c_L(T) dT + \Delta H_{SL} + \int_{T_1}^{T_L} c_S(T) dT \right], \quad (3)$$

где  $\Delta H_{SL}$  – энтальпия кристаллизации.

При отсутствии термического гистерезиса, т.е. при равновесном характере как плавления, так и кристаллизации  $\Delta H_{LS} = \Delta H_{SL}$ .

Потери теплоты ТАМ в капсуле связаны с потерей некоторого количества теплоты  $Q_0$  через оболочку капсулы. Обозначим ее при зарядке через  $Q_0^Z$ , а при разрядке через  $Q_0^R$ . Если передача теплоты будет осуществляться путем теплопроводности, то можно воспользоваться уравнением Фурье

$$Q_0 = -\chi \frac{dT}{dr} S \tau \quad (4)$$

где  $\tau$  – время,  $S$  – площадь поверхности, через которую осуществляется теплопередача,  $\chi$  – коэффициент теплопроводности,  $\frac{dT}{dr}$  – градиент температуры по толщине слоя оболочки капсулы

Теплота, расходуемая на нагрев и охлаждение сферической оболочки капсулы, будет равна

$$Q_0 = \int_{r_1}^{r_2} (-\chi S \frac{dT}{dr}) \tau \quad (5)$$

Примем, что на участке  $\Delta r$  перепад температуры равен  $\Delta T = T_1 - T_2$ , где  $T_1$  и  $T_2$  температуры, соответственно, внешней и внутренней поверхностей, а площадь поверхности сферы  $S = 4\pi r^2$ .

Тогда

$$Q_0 = -4\pi\chi\Delta T \int_{r_1}^{r_2} \frac{r^2}{dr} \quad (6)$$

Следовательно,

$$Q_0 = 4\pi\chi\left(\frac{\Delta T}{\Delta r}\right)r_1r_2\tau \quad (7)$$

Допустим, что как при зарядке ( $Z$ ), так и при разрядке ( $R$ ) капсулы теплотери одинаковые, тогда  $Q_0 = Q_0^R = Q_0^Z$ .

КПД «работы» одной капсулы будет равен

$$\eta = \frac{Q^R - 4\pi\chi\left(\frac{\Delta T}{\Delta r}\right)r_1r_2\tau}{Q^Z + 4\pi\chi\left(\frac{\Delta T}{\Delta r}\right)r_1r_2\tau} \quad (8)$$

Из выражения (8) с учетом (2) и (3) следует, что выражение (6) можем записать:

в случае зарядки  $N^Z = k_A S_A (T_L - T_1), \quad (9)$

в случае разрядки  $N^R = k_A S_A (T_2 - T_L). \quad (10)$

На основании вышеизложенного энергетический КПД ТА с ТАМ запишется в виде

$$\eta_A = \frac{Q^R - k_A S_A (\Delta T^+) \tau^R}{Q^Z + k_A S_A (\Delta T^-) \tau^Z}, \quad (11)$$

где  $\Delta T^+ = T_2 - T_L$  – «перегревы»,  $\Delta T^- = T_L - T_1$  – «переохлаждения».

Методами циклического термического анализа (ЦТА) и дифференциального термического анализа (ДТА) исследован процесс равновесной и неравновесной кристаллизаций химических соединений (интерметаллидов)  $\text{InBi}$  и  $\text{In}_2\text{Bi}$ , а также их компонентов висмута и индия. Эксперименты проводили в одинаковых условиях.

Исследования соединения  $\text{In}_2\text{Bi}$  показали, что независимо от величины предварительного перегрева до 150 К без изотермической выдержки расплава

и с изотермической выдержкой в течение от 5 минут до 4 часов и последующем охлаждении, кристаллизация происходила равновесно при температуре 362 К, что соответствует справочной температуре плавления  $T_L=362\text{K}$ , а на начальной стадии фиксировалось переохлаждение  $\Delta T_L^-$  относительно  $T_L$  порядка 1,5-2,0 К. Это переохлаждение не изменялось независимо от величины перегрева и увеличения скорости охлаждения расплава на несколько порядков (от 0,002 до 8К/с), Подобная кристаллизация наблюдалась нами и на чистом индии в тех же условиях эксперимента.

Химическое соединение InBi в этих же условиях кристаллизуется иначе. При относительно малых перегревах расплава до  $\Delta T_L^+ \sim 45\text{ K}$  и последующем охлаждении кристаллизация InBi, так же, как и In<sub>2</sub>Bi, происходила равновесно (РК) без заметного переохлаждения. Достаточно было прогреть расплав до температуры 387-388 К (при  $T_L = 383\text{ K}$ ), как кристаллизация сразу меняла свой характер (рис. 1, кривая 3) от равновесной к неравновесно-взрывной (НВК) с предварительным переохлаждением, среднее значение которого составило  $\Delta T_L^- \approx 16\text{ K}$  с разбросом  $\pm 1\text{ K}$  по результатам многочисленных циклов. Таким образом, переход РК  $\longleftrightarrow$  НВК носил как бы скачкообразный характер зависимости  $\Delta T_L^-$  от  $\Delta T_L^+$  (рис. 4). Величина переохлаждения для InBi не зависела от времени изотермической выдержки расплава до нескольких часов и при изменении скорости охлаждения от 0,002 до 8 К/с. Зависимость  $\Delta T_L^-$  от  $\Delta T_L^+$  для InBi похожа на такую же зависимость для элементарного висмута.

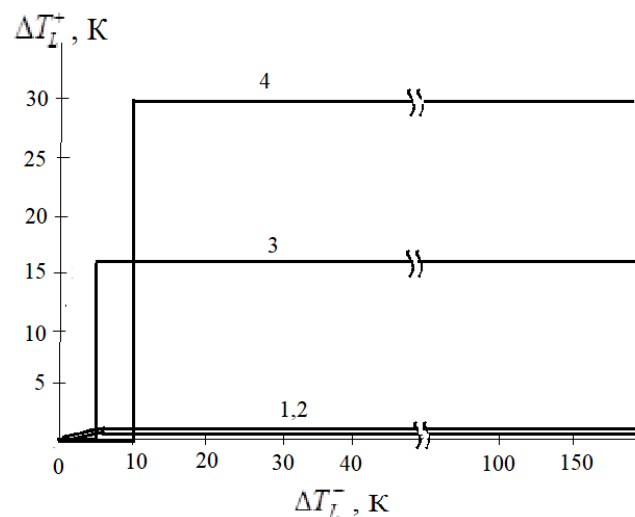


Рис. 4. График зависимости  $\Delta T_L^-$  от  $\Delta T_L^+$  для: 1,2 – In, In<sub>2</sub>Bi; 3 – InBi; 4 – Bi

Исследование полимерных материалов дало следующие результаты.

Результаты проведенного термоаналитического исследования межфазных явлений в полимерном покрытии труб для магистральных трубопроводов свидетельствуют о хорошей совместимости фаз на границе их раздела в материале трехслойного покрытия, что даёт основание говорить о его монолитности и долговечности.

При исследовании влияния нанопорошков оксида циркония на свойства эпоксидных композитов предположено, что более высокие значения прочностных характеристик, модуля упругости, работы разрушения и стойкости к истиранию при использовании нанопорошков, полученных при температуре прокаливания 500°C могут быть связаны как с меньшим размером частиц, так и (что более вероятно) с их большей удельной поверхностью, по сравнению с порошками, полученными при 700°C.

Проведено системное исследование зависимости динамических механических свойств полимерных материалов на основе смесей эпоксидной смолы с полисульфидным каучуком в зависимости от условий совмещения компонентов (проведение предварительной реакции тиоэтерификации или механическое смешение), содержания каучука и режимов отверждения композиции. Показано, что величина максимума тангенса угла механических потерь, связанного с расстеклованием эпоксидной матрицы, уменьшается по мере увеличения в ней содержания каучука. Термообработка способствует улучшению совместимости компонентов в исследованных композитах.

При исследовании свойств клеевых композиций на основе тиирана изменением содержания отвердителя и введением порошковых наполнителей определена возможность регулирования адгезионных, деформационно-прочностных и динамических механических свойств клеевых композиций на основе тиоглицидилового эфира дифенилолпропана (тиирана) с помощью изменения содержания отвердителя и введения порошковых наполнителей. Показано, что зависимости адгезионной прочности при сдвиге, прочности при растяжении и сжатии, а также температуры стеклования от содержания отвердителя имеют экстремальный характер. Максимальные значения свойств лежат в области концентраций отвердителя ниже стехиометрического соотношения и существенно смещаются в область более низких концентраций в результате термообработки композитов. Причина такого смещения связана с особенностями химического взаимодействия тииранов с аминными отвердителями. Предположено, что в системах на основе тиирана при малых содержаниях отвердителя существенный вклад в формирование комплекса свойств вносит реакция полимеризации дитиоглицидилового эфира. Показано, что введение порошкообразных наполнителей позволяет повысить прочность

## **ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»**

композитов на основе тиранов без снижения скорости отверждения. Это даёт возможность получать на их основе более дешёвые и технологичные композиции для ремонта и восстановления повреждённых деталей машин и механизмов без использования взрыво- и пожароопасных процессов сварки и пайки.

Проведено системное исследование возможности регулирования адгезионных, деформационно-прочностных и динамических механических свойств клеевых композиций на основе тiogлицидилового эфира дифенилолпропана с помощью порошковых наполнителей. Установлено, что введение порошкообразных наполнителей позволяет повысить когезионную и адгезионную прочность тиранов без снижения скорости отверждения. Это даёт возможность получать на их основе более дешёвые и технологичные композиции для ремонта и восстановления повреждённых деталей машин и механизмов без использования взрыво- и пожароопасных процессов сварки и пайки.

При исследовании возможность регулирования комплекса когезионных и адгезионных свойств эпоксидно-тиоколовых композиций комбинированием продуктов предварительной реакции тиюэтерификации на основе смол разной молекулярной массы и совместным использованием в их составе пластификаторов и разбавителей. Установлено существенное возрастание параметров прочности при растяжении, деформации при разрыве, работы разрушения и адгезионной прочности при смещении продукта реакции тиюэтерификации на основе смолы ЭД-20 со смолой с большей молекулярной массой ЭД-8. Показано, что при замене небольшой части пластификатора ЭДОС моноэпоксидным разбавителем винилокс удастся дополнительно повысить величину адгезионной прочности при сдвиге и прочность при сжатии. Введение в композицию большого количества пылевидного кварца практически не сказывается на величине адгезионной прочности.

Подготовлен промежуточный отчет.

### **Работа над кандидатскими диссертациями.**

В работе принимали участие 3 студента 1 и 2 курса обучения.

### **Цель работы.**

Основная цель работы – экспериментальные и теоретические исследования кинетики зародышеобразования и массовой кристаллизации расплавов и растворов разных веществ, влияния термической предыстории

**ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»**  
на параметры равновесной и неравновесной кристаллизации, структуру и свойства материалов.

### **Перечень основных заданий.**

Этап 4. 09.01.2024 г.-28.12.2024 г.

Применение кластерно-коагуляционной модели к механизму затвердевания сплавов и к анализу путей их кристаллизации.

Экспериментальные исследования предкристаллизационных переохлаждений кристаллизации смесей кристаллогидратов ( $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$  -  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ,  $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ -  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) и системы  $H_2O$ -  $NaCl$  .

Исследование динамики изменения кластерной структуры расплава при образовании твердого раствора и механических смесей. Анализ кластерной структуры бинарного сплава выше и ниже температуры плавления.

Подготовка промежуточного отчета.

### **Реализация заданий работы**

#### Актуальность работы

В последнее время кристаллогидраты и их смеси, стали широко использоваться в качестве теплоаккумулирующих материалов на основе фазовых превращений (ФПТАМ), для разработки которых необходимы систематические исследования их основных характеристик (состав смесей, температурные интервалы для работы теплоаккумуляторов (ТА), надежные сведения по условиям образования равновесных и неравновесных диаграмм состояния, минимальные значения переохлаждений, устойчивость энтальпий плавления при многочисленном термоциклировании и др.)

Важной проблемой в теории кристаллизации вещества в настоящее время является выяснение механизма взаимозависимости этапа зародышеобразования с последующим процессом массовой кристаллизации. Существующая флуктуационная теория не способна объяснить явления взрывной кристаллизации, эффекты поэтапного плавления и кристаллизации, наличия стойких и значительных переохлаждений и пр. Ввиду определенных трудностей прямого наблюдения за начальной стадией формирования кристалла, экспериментальных опытов по кинетике зародышеобразования, динамики развития зародышей, ее морфологии и текстуры, влияния разных дисперсных частиц и др. в настоящее время недостаточно для развития новых теорий кристаллизации.

Для дальнейшего развития теории зародышеобразования, роста кристаллов и массовой кристаллизации необходимо расширить класс

исследуемых веществ, усовершенствовать традиционные и разрабатывать новые методики исследований, устанавливать новые закономерности и эффекты при фазовых превращениях, разрабатывать и анализировать неравновесные диаграммы состояния.

Результаты предыдущих наших исследований позволили установить ряд новых уникальных эффектов (скачкообразного перехода от равновесной кристаллизации без переохлаждения к неравновесной кристаллизации с физическим переохлаждением, отсутствие спонтанной кристаллизации в области метастабильного состояния расплава, построение диаграмм состояния сплавов с указанием областей физического переохлаждения, выявление таммановских зависимостей скорости зародышеобразования от переохлаждения при кристаллизации некоторых простых веществ, сплавов и химических соединений, факт уменьшения предкристаллизационного переохлаждения под действием инородных частиц и т.д.), которые содействует управлению структурой и свойствами получаемых материалов после кристаллизации. Вместе с тем имеющихся данных явно недостаточно для построения кластерно-коагуляционной теории кристаллизации.

Основными задачами этапа являлись экспериментальные термографические исследования влияния перегрева расплавов и растворов, времени выдержки выше и ниже температуры фазового превращения, скорости охлаждения, массы образцов и др. на параметры кристаллизации расплавов разных материалов; математическая обработка экспериментальных данных; исследование структуры и свойств материалов.

### **Основные научные результаты:**

- Теоретически исследован процесс кинетики кристаллизации с помощью кластерно-коагуляционной модели. Предположено, что при неравновесной кристаллизации происходит смещение границ, разделяющих различные фазовые состояния, по сравнению с их положением на равновесных диаграммах. В основном это линии солидуса, эвтектические и другие точки. Вместе с тем в определении понятий «неравновесная» кристаллизация и «метастабильная диаграмма» ничего не говорится о наличии предкристаллизационных переохлаждений в сплавах (наподобие таковых у чистых веществ) относительно температур ликвидуса, вызывающих спонтанную кристаллизацию. По определению КРК начинается при температуре

ликвидуса  $T_L$  и заканчивается при температуре солидуса  $T_S$ . Смещение точек солидуса зависит от скорости охлаждения расплава, температурных и концентрационных градиентов. Если последние малы, то система успевает прийти к истинному равновесию. Спонтанная же кристаллизация не начинается при температуре ликвидуса  $T_L$  – она начинается при температурах  $T_{\min}$  значительно ниже  $T_L$ . Т.е. для такого вида кристаллизации необходимо переохлаждение  $\Delta T = T_L - T_{\min}$ . Согласно кластерно-коагуляционной модели, пока расплав охлаждается от  $T_L$  до  $T_{\min}$  в нем возникают зародыши твёрдой фазы за инкубационный период  $\tau_1$ . Затем эти зародыши частично коагулируют, создавая начальный объём твёрдой фазы, начиная от которого происходит затвердевание оставшейся части расплава. На начальной стадии СК диффузионные процессы явно не успевают за коагуляционными, причём независимо от скорости охлаждения. В результате коагуляции кластеров-зародышей выделяется достаточное количество теплоты, которое приводит к саморазогреву переохлаждённого объекта. Поскольку время «упущено» на коагуляцию, температура поднимается от  $T_{\min}$  до  $T_X (T_X < T_L)$ , и только после этого начинается докристаллизация расплава. Нанесение точек  $T_{\min}$  на диаграмму для всех сплавов не означает построение «неравновесной диаграммы состояния». Эти точки образуют границу метастабильного состояния только на момент начала кристаллизации. Знание положения линий, образуемых температурами  $T_{\min}$  в одинаковых условиях эксперимента позволяет иметь точки отсчёта для определения движущей силы начальной стадии кристаллизации того или иного сплава.

- Изложена методика расчета энергетического КПД теплоаккумулятора. Установлено, что потери теплоты ТАМ в капсуле связаны с потерей некоторого количества теплоты  $Q_0$  через оболочку капсулы. Обозначим ее при зарядке через  $Q_0^Z$ , а при разрядке через  $Q_0^R$ . На основании вышеизложенного энергетический КПД ТА с ТАМ запишется в виде

$$\eta_A = \frac{Q^R - k_A S_A (\Delta T^+) \tau^R}{Q^Z + k_A S_A (\Delta T^-) \tau^Z}, \quad (11)$$

где  $\Delta T^+ = T_2 - T_L$  – «перегревы»,  $\Delta T^- = T_L - T_1$  – «переохлаждения».



- Методами циклического и дифференциального термического анализа изучены особенности кристаллизации химических соединений  $\text{In}_2\text{Bi}$  и  $\text{InBi}$ . Установлено, что химическое соединение  $\text{In}_2\text{Bi}$  при кристаллизации ведет себя как индий, т.е. независимо от предварительного перегрева и времени изотермической выдержки расплава до четырех часов кристаллизуется равновесно с незначительным предкристаллизационным переохлаждением  $\approx 1,5\text{-}2$  К. А химическое соединение при кристаллизации ведет себя как висмут. Обнаружена температура критического перегрева  $\Delta T_x^+$  расплава, при охлаждении от которой кристаллизация носит равновесный характер (РК), а при охлаждении от температур выше  $\Delta T_x^+$  кристаллизация носит взрывной характер (НВК) из области переохлажденного состояния. Т.е. зависимость перегрева расплава  $\Delta T_x^+$  от переохлаждения  $\Delta T_L^-$  является скачкообразной. Результаты экспериментов трактуются с точки зрения кластерно-коагуляционной модели кристаллизации расплава.
- Предположено, что влияние нанопорошков оксида циркония на свойства эпоксидных композитов дает более высокие значения прочностных характеристик, модуля упругости, работы разрушения и стойкости к истиранию при использовании нанопорошков, полученных при температуре прокаливания  $500^\circ\text{C}$  могут быть связаны как с меньшим размером частиц, так и (что более вероятно) с их большей удельной поверхностью, по сравнению с порошками, полученными при  $700^\circ\text{C}$ .
- Системное исследование зависимости динамических механических свойств полимерных материалов на основе смесей эпоксидной смолы с полисульфидным каучуком от условий совмещения компонентов (проведение предварительной реакции тиоэтерификации или механическое смешение), содержания каучука и режимов отверждения композиции показало, что величина максимума тангенса угла механических потерь, связанного с расстеклованием эпоксидной матрицы, уменьшается по мере увеличения в ней содержания каучука.
- Показано, что зависимости адгезионной прочности при сдвиге, прочности при растяжении и сжатии, а также температуры стеклования от содержания отвердителя имеют экстремальный характер. Максимальные значения свойств лежат в области концентраций отвердителя ниже стехиометрического соотношения и

существенно смещаются в область более низких концентраций в результате термообработки композитов. Причина такого смещения связана с особенностями химического взаимодействия тиранов с аминными отвердителями.

- Установлено, что введение порошкообразных наполнителей позволяет повысить когезионную и адгезионную прочность тиранов без снижения скорости отверждения. Это даёт возможность получать на их основе более дешёвые и технологичные композиции для ремонта и восстановления повреждённых деталей машин и механизмов без использования взрыво- и пожароопасных процессов сварки и пайки.
- Показано, что при замене небольшой части пластификатора ЭДОС моноэпоксидным разбавителем винилокс удастся дополнительно повысить величину адгезионной прочности при сдвиге и прочность при сжатии. Введение в композицию большого количества пылевидного кварца практически не сказывается на величине адгезионной прочности.
- Подготовлен промежуточный отчет.
- Результаты работы опубликованы в 13 научных работах, из них: 1 монография, 10 статей, 2 тезисов докладов, апробированы на 5 международных конференциях.
- В рамках научно-исследовательской работы принимали участие 3 студента.

**Преимущество этой работы над другими** имеющимися аналогами заключается в том, что в литературе отсутствуют: систематические экспериментальные исследования кинетики кристаллизации переохлажденных расплавов и влияния внешних действий на параметры кристаллизации элементарных веществ, сплавов, химических соединений, кристаллогидратов, низкомолекулярных веществ и т.п. Из-за отсутствия системных исследований влияния разных факторов на кинетику кристаллизации, литературные данные по этой проблеме содержат много разногласий, которые не дают дальнейшего развития теории кристаллизации из переохлажденного состояния и получении надежных экспериментальных средств влияния на структуру и свойства изделий. Современная теория не способна объяснить явления взрывной кристаллизации, эффекты поэтапного плавления и кристаллизации, наличия устойчивых и значительных переохлаждений, влияния внешних воздействий на зародышеобразование при кристаллизации переохлажденных расплавов и др. Центральный вопрос в теории кристаллизации вещества (механизм формирования зародышей в расплаве) порой остается не выясненным, а

## **ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»**

существующие представление о зародышеобразовании достаточно дискуссионно. Ввиду определенных трудностей прямого наблюдения за начальной стадией формирования кристалла, экспериментальных опытов по кинетике зародышеобразования, динамики развития зародышей, ее морфологии и текстуры в настоящее время явным образом недостаточно для развития новых теорий кристаллизации.

### **Практическая ценность**

Практическое значение полученных результатов работы заключается в том, что проведенные исследования и выявленные эффекты позволят существенным образом управлять структурой и свойствами разных веществ.

Получен большой теоретический материал по измерению параметров кристаллизации, который интересен для дальнейшего развития теории и практики кристаллизации вещества, о физико-химической природе расплавов, углубление понимания взаимосвязи параметров кристаллизации со структурой и свойствами полученных кристаллов. Результаты работы планируется использовать в научно-исследовательских институтах и производстве.

### **Ценность результатов для учебно-научной работы**

Некоторые результаты работы введены в учебный процесс таких курсов, как «Технология конструкционных материалов», «Материаловедение», «Физико-химическое материаловедение», «Физика» (используются в лекционном курсе, лекционных демонстрациях, лабораторных работах). Например, разработаны лабораторные работы «Измерение электропроводности в кристаллогидратах при плавлении и кристаллизации», «Определение параметров кристаллизации растворов методом оптической микроскопии» и т.д.

Результаты работы докладывались на научных семинарах кафедры, на 7 международных конференциях различного уровня и были опубликованы в научных журналах. Результаты работы за 2023 г. были рассмотрены и утверждены на заседании кафедры ФФМ 15.12.2023 г, протокол № 4.

В выполнении этой работы принимают участие студенты. Вместе со студентами опубликовано 5 научных работ и доложены на 4 международных конференциях.

### **Перечень разработанной документации и образцов**

1. Аннотированный отчет за второй этап работы.

2. Методические указания к лабораторным работам.

Перечень научных публикаций, докладов на конференциях, семинарах

№ п/п	Название	Вид работы	Выходные данные	Авторы
1	Термодинамика и кинетика кристаллизации водных растворов неорганических солей и кристаллогидратов	Монография	Макеевка: ФГБОУ ВО «ДОННАСА». – 2024. – 305 с.	О.В. Соболев, А.Ю. Соболев
2	Влияние критического перегрева расплавов на вид кристаллизации	статья	Металлы. – Москва. – 2024 г. – № 3. – С. 1-4. ISSN (PRINT) : 0869-5733	Фролова С.А., Соболев О.В., Покинтелица Е.А., Савенков Н.В.
3	Регулирование свойств клеевых композиций на основе тиирана изменением содержания отвердителя и введением порошковых наполнителей	статья	Клеи. Герметики. Технологии. – Москва – 2024. №6. – С. 2-10. DOI: 10.31044/1813-7008-2024-0-6-2-10.	Кочергин Ю.С., Самойлова Е.Э.
4	Процесс кристаллизации соединений InBi И In <sub>2</sub> Bi	статья	Первый шаг в науку: Материалы студенческой открытой интернет-конференции. – Горловка: АДИ . – Ч. 2. – 2024.– С. 16-19.	Балычев И.Н., Фролова С.А.
5	Метастабильное фазовое равновесие	тезисы	Химическая термодинамика и кинетика: Сборник материалов Четырнадцатой Всероссийской научной конференции с международным участием. – Тверь: Тверской государственный университет. –13.05 – 17.05.2024. – С.294-295. ISBN 978-5-7609-1127-8.	Соболев О.В., Фролова С.А., Покинтелица Е.А., Тарасевич В.А.
6	ANALYSIS OF THE NONEQUILIBRIUM STATE DIAGRAM IN THE DIPHENYL –	тезисы	XXIV International Conference on Chemical Thermodynamics in Russia (RCCT-2024). –	S.A. Frolova, E.A. Pokintelitsa, O.V.Sobol.

**ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»**

	DIBENZYL SYSTEM		Иваново. Россия. – 2024. – С. 135.	
7	Термоаналитическое исследование межфазных явлений в полимерном покрытии труб для магистральных трубопроводов		Химическая термодинамика и кинетика: Сборник материалов Четырнадцатой Всероссийской научной конференции с международным участием. – Тверь: Тверской государственный университет. –13.05 – 17.05.2024. – С.189-190. ISBN 978-5-7609-1127-8.	Е.Э.Самойлова, Ю.С. Кочергин
8	Влияние нанопорошков оксида циркония на свойства эпоксидных композитов		Химическая термодинамика и кинетика: Сборник материалов Четырнадцатой Всероссийской научной конференции с международным участием. – Тверь: Тверской государственный университет. –13.05 – 17.05.2024. – С.191-192. ISBN 978-5-7609-1127-8.	Е.Э.Самойлова, Ю.С. Кочергин
9	Методика определения энергетического ПКД теплового аккумулятора с ФПТАМ	статья	СОВРЕМЕННОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ: Материалы XV Международной научно-практической конференции, Бендеры. –2024. – С. 108-111.	Соболь О. В., Миськевич А. С., Свириденко С. А.
10	Динамические механические свойства эпоксидно-тиоколовых композиций	статья	Инновационные перспективы развития Приазовья: Сборник тезисов докладов II Региональной научно-практической конференции. –	Е.Э.Самойлова, Ю.С. Кочергин

			Мариуполь: ФГБОУ ВО «Приазовский Государственный Технический Университет», 2024. – Т.1. С. 462-465.	
11	Исследование процессов плавления и кристаллизации в системе Se-S	статья	Макеевка: Вестник ДОННАСА. Современные строительные материалы. – Вып. 2024-1 (165). – С. 123-133. ISSN 25192817 online	Фролова С.А., Соболь О.В., Покинтелица Е.А., Лошакова В.М., Жарикова О.В.
12	Разработка мероприятий по увеличению запаса хода электробусов установкой системы терморегуляции на основе фазопереходных теплоаккумулирующих материалов	статья	Научный рецензируемый журнал "Вестник СибАДИ". – Омск. – № 21(1). – С. 62-73. <a href="https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-62-73">https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-62-73</a> . EDN: <a href="#">ETMKHH</a>	Горожанкин С.А., Савенков Н.В., Соболь О.В., Моржухин А.М.
13	Влияние генеративных нейросетей на образовательные результаты будущих инженеров-строителей	статья	Информатизация образования и методика электронного обучения: цифровые технологии в образовании: Материалы VIII Международной научной конференции. В 4-х частях. – Красноярск. – 2024. – С. 294-296. РИНЦ.	Ташкинов Ю.А., Жарикова О.В., Лошакова В.М., Соболь О.В.

### **Основные выводы.**

1. Согласно кластерно-коагуляционной модели, пока расплав охлаждается от  $T_L$  до  $T_{min}$  в нем возникают зародыши твёрдой фазы за инкубационный период  $\tau_1$ . Затем эти зародыши частично коагулируют, создавая начальный объём твёрдой фазы, начиная от которого происходит затвердевание оставшейся части расплава. На начальной стадии СК диффузионные процессы явно не успевают за коагуляционными, причём независимо от скорости охлаждения. В результате коагуляции кластеро-зародышей выделяется достаточное количество теплоты, которое

- приводит к саморазогреву переохлаждённого объекта. Поскольку время «упущено» на коагуляцию, температура поднимается от  $T_{\min}$  до  $T_X (T_X < T_L)$ , и только после этого начинается докристаллизация расплава.
2. Описана методика определения энергоэффективности тепловых аккумуляторов (ТА) с фазопереходным теплоаккумулирующим материалом (ТАМ) определяется т.н. энергетическим КПД.
  3. Установлено, что химическое соединение  $\text{In}_2\text{Bi}$  при кристаллизации ведет себя как индий, т.е. независимо от предварительного перегрева и времени изотермической выдержки расплава до четырех часов кристаллизуется равновесно с незначительным предкристаллизационным переохлаждением  $\approx 1,5\text{-}2$  К. А химическое соединение при кристаллизации ведет себя как висмут. Обнаружена температура критического перегрева  $\Delta T_X^+$  расплава, при охлаждении от которой кристаллизация носит равновесный характер (РК), а при охлаждении от температур выше  $\Delta T_X^+$  кристаллизация носит взрывной характер (НВК) из области переохлажденного состояния. Т.е. зависимость перегрева расплава  $\Delta T_L^+$  от переохлаждения  $\Delta T_L^-$  является скачкообразной.
  4. Установлено, что влияние нанопорошков оксида циркония на свойства эпоксидных композитов дает более высокие значения прочностных характеристик, модуля упругости, работы разрушения и стойкости к истиранию при использовании нанопорошков, полученных при температуре прокаливания  $500^\circ\text{C}$  могут быть связаны как с меньшим размером частиц, так и (что более вероятно) с их большей удельной поверхностью, по сравнению с порошками, полученными при  $700^\circ\text{C}$ .
  5. Установлено, что введение порошкообразных наполнителей позволяет повысить когезионную и адгезионную прочность тиранов без снижения скорости отверждения.

**Название приоритетного направления развития науки и техники:** фундаментальные научные исследования по наиболее важным проблемам развития научно-технического, социально-экономического, общественно-политического, человеческого потенциала для обеспечения конкурентоспособности Республики в мире и устойчивого развития общества и государства.

1) **Тема НИР:** «Усовершенствование теории и методики обучения и воспитания студентов вузов с применением современных технологий; построение и анализ математических моделей явлений и процессов в механике, физике, строительстве, финансах и страховании».

2) **Руководитель НИР:** Г.А. Котов, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой ВМ;

ответственный исполнитель работы: Н.А. Галибина, доцент кафедры ВМ.

3) **Номер государственной регистрации НИР:** К-2-03-21.

4) **Название высшего учебного заведения, научного учреждения:** ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры».

5) **Срок выполнения:** начало – 11.01.2021 г., окончание – 31.12.2025 г.

6) **Предмет исследования:** методическая система обучения и воспитания студентов ДонНАСА; детерминированные и стохастические дифференциальные уравнения и их системы.

7) **Объект исследования:** процесс обучения и воспитания студентов; абсолютно твёрдые тела и их системы, деформируемые твёрдые тела, экономические процессы.

8) **Суть процесса исследования:** уточнение целей и содержания обучения и воспитания, в том числе и дистанционного, отбор наиболее эффективных методов, средств и организационных форм обучения и воспитания студентов; разработка, теоретический и численный анализ математических моделей абсолютно твёрдых тел и их систем, деформируемых твёрдых тел, экономических процессов.

9) **Основные научные результаты (научно-методические).**

Обновлено методическое обеспечение по всем дисциплинам, читаемым кафедрой высшей математики, в том числе и на подготовительных курсах Центра довузовской подготовки (рабочие программы дисциплины, учебно-методические пособия).

Обновлены и внесены в ЭИОС рабочие программы всех дисциплин кафедры для очной и заочной форм обучения.



Разработаны следующие *учебные и учебно-методические пособия*:

1. Чудина Е.Ю. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие для студентов инженерных специальностей. - Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2024. – 140 с. – ISBN 978-5-4497-2870-8. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/138385>. – Режим доступа: Электронно-библиотечная система IPR SMART. – Текст: электронный.

2. Ковалев, И. Н. Линейная алгебра и аналитическая геометрия: курс лекций для студентов направления подготовки 09.03.02 «Информационные системы и технологии» / И. Н. Ковалев, Г. А. Кононыхин, О. В. Котова. – Макеевка: ФГБОУ ВО «ДОННАСА», 2024. – 226 с.

3. Котова, О. В. Основы комплексного анализа: учебное пособие для обучающихся направления подготовки 09.03.02 Информационные системы и технологии / О.В. Котова. - Макеевка: ФГБОУ ВО «ДОННАСА», 2024. - 127 с.

4. Котова, О. В. Математический анализ: учебное пособие для обучающихся направления подготовки 09.03.02 Информационные системы и технологии / О. В. Котова, Г. А. Котов. - Макеевка: ФГБОУ ВО «ДОННАСА», 2024. - 584 с.

5. Чудина, Е. Ю. Теория вероятностей и математическая статистика: практикум для студентов направлений подготовки 38.03.01 «Экономика» и 38.03.02 «Менеджмент» / Е. Ю. Чудина. – Макеевка: ФГБОУ ВО «ДОННАСА», 2024. – 103 с.

6. Чудина, Е. Ю. Теория вероятностей и математическая статистика: учебно-методическое пособие для студентов инженерных специальностей / Е. Ю. Чудина. – Макеевка: ФГБОУ ВО «ДОННАСА», 2024. – 139 с.

7. Чудина Е.Ю. Теория вероятностей и математическая статистика : практикум для студентов направлений подготовки 38.03.01 «Экономика» и 38.03.02 «Менеджмент». - Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2024. – 104 с. – ISBN 978-5-4497-2873-9. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/138384>. – Режим доступа: Электронно-библиотечная система IPR SMART. – Текст: электронный.

8. Глухов В.А. Практикум «Теория игр» для студентов по направлению 38.03.01 «Экономика», профиль «Экономика предприятий» (образовательный уровень «Бакалавр») / В.А. Глухов. – Макеевка, 2024. – 59 с

Научные и научно-методические исследования велись в следующих направлениях:

- разработка рекомендаций по усовершенствованию методики обучения и воспитания студентов, в том числе и дистанционного;

- разработка и внедрение в учебный процесс информационно-коммуникационных технологий обучения математике;

- отбор и внедрение в учебный процесс активных и интерактивных технологий обучения;
- разработка и внедрение новых технологий профориентационной работы со старшеклассниками и студентами СПО;
- получены новые результаты, связанные с влиянием сезонности на факторы, ограничивающие производственную деятельность строительных организаций посредством применения методов многомерного анализа;
- получены новые результаты, связанные с зависимостью от времени опережающих факторов в строительстве.

*Научная новизна* исследования состоит в следующем:

- посредством двумерного частотного анализа изучена зависимость от времени некоторых опережающих факторов в строительстве;
- проведено сравнение влияния сезонности на факторы, ограничивающие производственную деятельность строительных организаций посредством применения методов многомерного анализа;
- усовершенствованы и разработаны новые средства дистанционного обучения студентов математическим дисциплинам;
- отобраны методы и организационные формы дистанционного обучения, позволяющие повысить качество математической подготовки студентов специальностей, связанных со строительством, экономикой и менеджментом;
- предложены активные и интерактивные технологии для повышения уровня подготовки студентов в технических вузах;
- усовершенствованы средства контроля эффективности обучения и воспитания студентов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры;
- усовершенствованы технологии профориентационной работы в рамках вуза с обучающимися старших классов и СПО;
- предложены технологии по уменьшению негативного влияния кадрового дефицита в школах на примере дисциплины «Физика».

Исследования в указанном выше научно-методическом направлении целесообразно продолжить для построения методической системы обучения и воспитания студентов ДонНАСА, в том числе и дистанционного, а также для усовершенствования педагогического сопровождения самостоятельной работы студентов.

10) **Работали над кандидатскими диссертациями:** асс. Д.А. Сапронов.

11) **В работе принимали участие: аспиранты – нет, студенты – нет.**

12) **Цель и предмет работы:** уточнить цели и содержание обучения и воспитания, в том числе и дистанционного, отобрать наиболее эффективные методы, средства и организационные формы обучения и воспитания студентов ДонНАСА; провести теоретический и численный анализ математических моделей абсолютно и деформируемых твёрдых тел и их систем, экономических процессов.

13) **Перечень основных заданий:**

- нахождение точного порядка приближения функций классическими методами суммирования рядов и интегралов Фурье;
- поиск условий существования прецессионных движений уравнения класса Кирхгофа-Пуассона движения гиростата с одной неподвижной точкой с одним или двумя носимыми телами в полях сложной структуры;
- изучение основных характеристик деятельности страховых компаний для различных видов страхования;
- построение и исследование стохастических моделей различных экономических процессов и явлений;
- теоретико-методологического обоснование и разработка методической системы обучения, воспитания и всестороннего развития студентов ДонНАСА.

14) **Реализация заданий работы. Основные этапы:**

- Анализ методик обучения и воспитания студентов вузов; математических моделей, явлений и процессов в механике, строительстве, финансах и страховании.
- Анализ экспериментальных данных, связанных с обучением и воспитанием студентов вузов; исследование условий существования прецессионных движений систем твердых тел в различных силовых полях; исследование динамики капитала компаний и потребительских фондов.
- Проверка гипотез об эффективности использования современных технологий в обучении и воспитании студентов вузов; построение математических моделей в механике, физике, строительстве, финансах и страховании.
- Корректировка использования современных технологий в обучении и воспитании студентов вузов; оценка математических моделей явлений и процессов в механике, физике, строительстве, финансах и страховании.
- Разработка методики обучения и воспитания студентов вузов с применением современных технологий; анализ применения математических моделей в механике, физике, строительстве, финансах и страховании.

15) **Практическая ценность:** полученные научные и научно-методические результаты могут быть полезны: проектным и научно-исследовательским организациям, высшим и средним профессиональным учебным заведениям, финансовым и страховым компаниям, а также могут быть использованы преподавателями математических дисциплин кафедры ВМ для разработки спецкурсов для студентов ДонНАСА.

16. **Наличие специального оборудования, предназначенного для научных исследований, которое может заинтересовать сторонних специалистов:** нет.

17. **Публикации.**

### СПИСОК НАУЧНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ И ПРИНЯТЫХ РЕДАКЦИЯМИ В ПЕЧАТЬ ЗА 2024 ГОД, В ЗАРУБЕЖНЫХ ИЗДАНИЯХ, КОТОРЫЕ ИМЕЮТ ИМПАКТ-ФАКТОР

	Авторы	Название работы	Название издания, где опубликована работа (название журнала, название науко-метрической базы)	Том, номер (выпуск, первая-последняя страницы работы)
<b>1 Публикации в Scopus, Web of Science</b>				
<b>2. В международной науко-метрической базе данных РИНЦ, ICONDA, Index Copernicus и др.</b>				
1	Галибина Н.А.	О роли вузов в профорientации школьников	Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы IX Международной научной конференции. - <b>РИНЦ</b>	Том 6: Педагогические науки. Часть 2 – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2024. – С. 278-281.
2	Галибина Н.А.	Опыт привлечения педагогов-волонтеров для повышения уровня подготовки школьников по физике	Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы IX Международной научной конференции. - <b>РИНЦ</b>	Том 6: Педагогические науки. Часть 3 – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2024. – С. 106-110.
3	Чудина Е.Ю., Мигас А.И.	Особенности обучения и воспитания детей младшего школьного возраста с точки зрения их социального развития	Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы IX Международной научной конференции (Донецк, 15–17 октября 2024 г.). – <b>РИНЦ</b>	Том 6: Педагогические науки. Часть 2 / под общей редакцией проф. С.В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонГУ, 2024. – 430 с. – С. 146-148.
4	Чудина Е.Ю., Костина А.М.	Особенности использования подвижных игр в системе образования	Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности:	Том 6: Педагогические науки. Часть 2 / под общей редакцией

		детей дошкольного возраста	Материалы IX Международной научной конференции (Донецк, 15–17 октября 2024 г.). – <b>РИНЦ</b>	проф. С.В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонГУ, 2024. – 430 с. – С. 35-37.
5	Чудина Е.Ю., Диденко Е.В.	Применение информационных технологий на уроках окружающего мира	Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы IX Международной научной конференции (Донецк, 15–17 октября 2024 г.). – <b>РИНЦ</b>	Том 6: Педагогические науки. Часть 2 / под общей редакцией проф. С.В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонГУ, 2024. – 430 с. – С. 112-114.
6	Чудина Е.Ю., Приходько А.В.	Педагогический потенциал информационно-коммуникационных технологий в реализации активных методик обучения младших школьников	Современный учитель: профессиональная компетентность и социальная значимость: Материалы III Международной научно-практической конференции (Донецк, 27 июня 2024 г.). – <b>РИНЦ</b>	Том 2 / под общей редакцией И. А. Кудрейко. – Донецк: Изд-во ДонГУ, 2024. – 236 с. – С. 201-202.
7	Чудина Е.Ю., Мигас А.И.	Роль учителя в современной образовательной среде	Современный учитель: профессиональная компетентность и социальная значимость: Материалы III Международной научно-практической конференции (Донецк, 27 июня 2024 г.). – <b>РИНЦ</b>	Том 1 / под общей редакцией И. А. Кудрейко. – Донецк: Изд-во ДонГУ, 2024. – 244 с. – С. 58-60.
8	Чудина Е.Ю., Батеха А.А.	Развитие творческого воображения у детей старшего дошкольного возраста средствами нетрадиционных техник рисования	Современный учитель: профессиональная компетентность и социальная значимость: Материалы III Международной научно-практической конференции (Донецк, 27 июня 2024 г.). – <b>РИНЦ</b>	Том 2 / под общей редакцией И. А. Кудрейко. – Донецк: Изд-во ДонГУ, 2024. – 236 с. – С. 19-21.
9	Е.Ю. Чудина, А.И.Дзундза, Т.В.Жмыхова, И.И.Моисеенко	Межпредметные связи математики и художественной литературы в контексте формирования положительного эмоционального настроения как средства активизации гностических эмоций обучающегося	Современные проблемы и перспективы развития науки, техники и образования [Электронный ресурс]: материалы IV Национальной научно-практической конференции, 15 декабря 2023 г. / под ред. И.А. Долматовой; ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – <b>РИНЦ</b>	Электрон. текстовые дан. (8,25 Мб). – Магнитогорск: ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2023. - С.25-28.

10	Чудина Е.Ю., Каштанова Н.С.	Формирование у детей старшего дошкольного возраста навыков логических суждений и умозаключений.	Качество продукции, технологий и образования: Материалы XIX международной научно-практической конференции. – <b>РИНЦ</b>	Магнитогорск: Изд-во гос.тех.ун-та им. Г.И. Носова, 2024. – 157 с. – С. 102-104.
11	Чудина Е.Ю., Тихомирова Н.В.	Методические приемы работы с макетами в дошкольной образовательной организации.	Качество продукции, технологий и образования: Материалы XIX международной научно-практической конференции. – <b>РИНЦ</b>	Магнитогорск: Изд-во гос.тех.ун-та им. Г.И. Носова, 2024. – 157 с. – С. 123-125.
12	Жмыхова Т.В., Котова О.В.	Применение двумерного частотного анализа для оценки некоторых опережающих индикаторов в строительстве	Проблемы искусственного интеллекта - <b>РИНЦ</b>	№ 1 (32), 2024.-С.22-33.
13	Чудина Е.Ю., Чепурко А.Д.	Идентификация положения точки на плане.	Сборник научных трудов X Респ. конф. молодых ученых, аспирантов, студентов «Научно-технические достижения студентов, аспирантов, молодых ученых строит.-арх. отрасли» (19 апреля 2024 г.)- <b>РИНЦ</b>	В 3-х т. Т. 1: Фундаментальные науки. – Макеевка: ФГБОУ ВО «ДонНАСА», 2024. – С. 70-74.
14	Чудина Е.Ю., Костина А.М.	Об опыте использования подвижных игр, направленных на воспитание коммуникативных навыков у детей старшего дошкольного возраста	Сборник научных трудов X Респ. конф. молодых ученых, аспирантов, студентов «Научно-технические достижения студентов, аспирантов, молодых ученых строит.-арх. отрасли» (19 апреля 2024 г.)- <b>РИНЦ</b>	В 3-х т. Т. 3. Гуманитарные науки.– Макеевка: ФГБОУ ВО «ДонНАСА», 2024. – С. 211-217.
15	Чудина Е.Ю., Лось С.И.	Роль развивающей предметно-пространственной среды и ее природного компонента в сенсорном развитии детей старшей группы в дошкольном образовательном учреждении	Сборник научных трудов X Респ. конф. молодых ученых, аспирантов, студентов «Научно-технические достижения студентов, аспирантов, молодых ученых строит.-арх. отрасли» (19 апреля 2024 г.)- <b>РИНЦ</b>	В 3-х т. Т. 3. Гуманитарные науки. – Макеевка: ФГБОУ ВО «ДонНАСА», 2024. – С. 217-222.
16	Чудина Е.Ю., Каштанова Н.С.	Познавательные-игровые задания логической направленности как средство развития мыслительных операций у старших	Сборник научных трудов X Респ. конф. молодых ученых, аспирантов, студентов «Научно-технические достижения студентов, аспирантов, молодых ученых	В 3-х т. Т. 3. Гуманитарные науки. – Макеевка: ФГБОУ ВО «ДонНАСА», 2024. – С. 206-210.

		дошкольников	строит.-арх. отрасли» (19 апреля 2024 г.)- <b>РИНЦ</b>	
17	Меркуленко В.А., Глухов В.А.	Упрощенный алгоритм Делоне для построения триангуляции	Сборник научных трудов X Респ. конф. молодых ученых, аспирантов, студентов «Научно-технические достижения студентов, аспирантов, молодых ученых строит.-арх. отрасли» (19 апреля 2024 г.)- <b>РИНЦ</b>	В 3-х т. Т. 1: Фундаментальные науки. – Макеевка: ФГБОУ ВО «ДонНАСА», 2024. – С. 43-49.
18	Луценко В.Р., Ковалёв И.Н.	Применение дифференциальных уравнений в экономике	Сборник научных трудов X Респ. конф. молодых ученых, аспирантов, студентов «Научно-технические достижения студентов, аспирантов, молодых ученых строит.-арх. отрасли» (19 апреля 2024 г.)- <b>РИНЦ</b>	В 3-х т. Т. 1: Фундаментальные науки. – Макеевка: ФГБОУ ВО «ДонНАСА», 2024. – С. 63-70.
19	Галибина Н.А. Янков Г.П.,	Треугольник Рело и его применение	Сборник научных трудов X Респ. конф. молодых ученых, аспирантов, студентов «Научно-технические достижения студентов, аспирантов, молодых ученых строит.-арх. отрасли» (19 апреля 2024 г.)- <b>РИНЦ</b>	В 4-х т. Т. 1: Фундаментальные науки. – Макеевка: ФГБОУ ВО «ДонНАСА», 2024. – С. 88-95.
20	Галибина Н.А. Слабухин И.Д	Математика и 3D-моделирование	Сборник научных трудов X Респ. конф. молодых ученых, аспирантов, студентов «Научно-технические достижения студентов, аспирантов, молодых ученых строит.-арх. отрасли» (19 апреля 2024 г.)- <b>РИНЦ</b>	В 4-х т. Т. 1: Фундаментальные науки. – Макеевка: ФГБОУ ВО «ДонНАСА», 2024. – С. 125-131.
21	Магеррамова К.Д., Жмыхова Т.В.	Применение математических методов при оценке стоимости объектов недвижимости	Сборник научных трудов X Респ. конф. молодых ученых, аспирантов, студентов «Научно-технические достижения студентов, аспирантов, молодых ученых строит.-арх. отрасли» (19 апреля 2024 г.)- <b>РИНЦ</b>	В 4-х т. Т. 1: Фундаментальные науки. – Макеевка: ФГБОУ ВО «ДонНАСА», 2024. – С. 131-140.
22	Бобрик А.В., Сапронов Д.А.	Построение дифференциальных моделей эпидемий и их решения	Сборник научных трудов X Респ. конф. молодых ученых, аспирантов, студентов «Научно-технические достижения студентов, аспирантов, молодых ученых строит.-арх. отрасли» (19 апреля 2024 г.)- <b>РИНЦ</b>	В 4-х т. Т. 1: Фундаментальные науки. – Макеевка: ФГБОУ ВО «ДонНАСА», 2024. – С. 147-151.
23	Галибина Н.А. Белополец А.П.	Людмила Всеволодовна Келдыш – великая	Сборник научных трудов X Респ. конф. молодых ученых,	В 4-х т. Т. 1: Фундаментальные

		женщина-математик	аспирантов, студентов «Научно-технические достижения студентов, аспирантов, молодых ученых строит.-арх. отрасли» (19 апреля 2024 г.)- <b>РИНЦ</b>	науки. – Макеевка: ФГБОУ ВО «ДонНАСА», 2024. – С. 151-156.
24	Галибина Н.А.	Возможности вузов в профориентации школьников	Наука и мир в языковом пространстве: сб. науч. трудов X Международной научной конференции (20 ноября 2024 ( <b>РИНЦ</b> ))	Макеевка: Изд-во ДонНАСА, 2024-С. 77-83.



**Кафедра: Специализированные информационные технологии и системы**

**Название приоритетного направления развития науки и техники:** фундаментальные научные исследования по наиболее важным проблемам развития научно-технического, социально-экономического, общественно-политического, человеческого потенциала для обеспечения конкурентоспособности Донецкой Народной Республики в мире и устойчивого развития общества и государства.

1. **Тема НИР:** Математическое и компьютерное моделирование многофакторных процессов и явлений.
2. **Руководитель НИР:** Назим Я.В., канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Специализированные информационные технологии и системы».
3. **Номер государственной регистрации НИР:** 0121D000084.
4. **Номер учетной карточки заключительного отчета:** – нет.
5. **Название высшего учебного заведения, научного учреждения:** ФГБОУВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры».
6. **Срок выполнения:** начало – 11.01.2021, окончание – 31.12.2025.
7. **Предмет исследования.** Математические и компьютерные модели многофакторных процессов и явлений.
8. **Объект исследования.** Математические основы и вычислительные методы моделирования многофакторных процессов и явлений.
9. **Суть процесса исследования.** Кафедральная научно-исследовательская тема посвящена разработке инструментов математического и компьютерного моделирования многофакторных процессов и явлений в различных отраслях науки и техники. Первая часть исследований посвящена развитию геометрической теории многомерной интерполяции в части систематизации геометрических интерполянтов и разработки рекомендаций по их использованию на регулярных и нерегулярных многомерных сетях точек, координаты которых соответствуют исходной экспериментально-статистической или другой информации, с последующей алгоритмизацией результатов исследований для разработки интеллектуальных технологий геометрического моделирования многофакторных процессов с помощью многомерной интерполяции и аппроксимации. Вторая часть исследований посвящена развитию нечетко-множественных методов разработки и исследования математических и компьютерных моделей многофакторных процессов и явлений.

**10. Основные научные результаты.** Разработаны математические основы и вычислительные методы моделирования многофакторных процессов и явлений с помощью современной компьютерной техники, основанные на создании новых методов многомерной интерполяции и аппроксимации, а также нечетко-множественных методов.

**11. Работали над кандидатскими диссертациями:**

–Полянский Д.Д. – аспирант 3-го года обучения. Тема диссертации: «Нечетко-множественный учёт параметрической неопределенности при математическом моделировании термомеханического деформирования конструкций». Шифр и наименование научной специальности: 1.2.2. «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

–Заричанская Т.С. – аспирант 3-го года обучения (заочная форма). Тема диссертации: «Математическое и компьютерное моделирование и оптимизация многокомпонентных систем в строительстве». Шифр и наименование научной специальности: 2.5.1. «Инженерная геометрия и компьютерная графика. Цифровая поддержка жизненного цикла изделий».

**12. В работе принимали участие:**

–аспиранты: Полянский Д.Д., Заричанская Т.С.

–студенты: Коротыч Е.Е.

**13. Цель и предмет работы.** Разработка математических методов и вычислительных алгоритмов моделирования многофакторных процессов и явлений.

**14. Перечень основных заданий.**

- Разработать критерии сравнения геометрических объектов многомерного аффинного пространства для выбора наилучших результатов геометрического моделирования многофакторных процессов и явлений.
- Разработать интеллектуальных технологий геометрического моделирования многофакторных процессов с помощью многомерной интерполяции и аппроксимации.
- Разработать вычислительные алгоритмы геометрического моделирования многофакторных процессов и явлений на основе больших и гипербольших объёмов исходных данных.
- Разработать нечетко-множественные математические методы исследования моделей термических процессов.
- Разработать и алгоритмизировать нечетко-множественные методы анализа расчетных моделей электрических и радиоэлектронных устройств.

**15. Реализация заданий работы.**

Актуальность исследований связана с крайне высокой стоимостью натурных и модельных экспериментов многофакторных процессов и явлений. Разработка новых методов многомерной интерполяции и аппроксимации, а также нечетко-множественных математических методов, позволяет получить математические и компьютерные модели для исследования многофакторных процессов и явлений живой не живой природы, техники, технологии, экономики, строительства и архитектуры, что позволяет избежать дорогостоящих экспериментов и перейти от натурального эксперимента к вычислительному с сохранением высокой степени достоверности полученных результатов.

Разработка и апробация алгоритмизированных нечетко-множественных методов учета параметрической неопределенности в прикладных исследованиях характеристик термомеханического деформирования материалов и конструкций представляет собой актуальное научно-практическое задание ввиду того, что реальным свойством применяемых для этого математических моделей и вырабатываемых на их основе расчетных соотношений являются весьма высокие уровни разбросов значений исходных геометрических и физико-механических параметров – погрешностей экспериментальных данных о физико-механических свойствах используемых материалов, предусматриваемых при изготовлении конструктивных технологических допусков, вариативных субъективных экспертных оценок для отдельных базовых характеристик конструкций. Решение задачи учета неконтрастности исходных параметров в указанных моделях на базе применения методов вероятностно-стохастического анализа во многих случаях на практике осложнено отсутствием статистически корректной информации о подлежащих учету разбросах, а также большим числом подлежащих одновременному учету неконтрастных параметров и необходимостью априорного задания типа вероятностных распределений для экзогенных и эндогенных характеристик расчетных моделей. В той связи для решения задачи учета параметрической неопределенности в данных моделях целесообразно использование методов теории нечетких множеств с более мягким уровнем требований к характеру неопределенной исходной информации. Данный подход может базироваться на переходе к неконтрастным исходным параметрам в расчетных соотношениях для результирующих характеристик детерминистических вариантов рассматриваемых моделей, расширяемых на аргументы нечетко-множественного типа посредством применения альфа-уровневой модификации эвристического принципа обобщения.

Основные задания этапа работы включают:

- разработку специализированных нечетко-множественных методов учета факторов неопределенности в математических моделях концентрации температурных напряжений в тонких протяженных цилиндрических оболочках и температурной устойчивости деформирования тонкостенных цилиндрических оболочечных панелей, а также программных приложений для их расчетной реализации;
- разработку специализированных нечетко-множественных методов учета факторов неопределенности в математических моделях изгиба биметаллических пластин со свободным краем и анализа термоупругих потерь при изгибных колебаниях тонкостенных пластинчатых элементов, а также программных приложений для их расчетной реализации;
- разработку специализированных нечетко-множественных методов учета факторов неопределенности в математических моделях термонапряженного состояния тонких пластин при индукционном нагреве, а также программных приложений для их расчетной реализации;
- разработку специализированных нечетко-множественных методов учета факторов неопределенности в математических моделях термомеханического деформирования толстостенных полых функционально-градиентных цилиндров из функционально-градиентных материалов и материалов с температурозависимыми свойствами, а также программных приложений для их расчетной реализации;
- разработку численно-аналитических методик решения систем амплитудных уравнений волнового деформирования для анизотропных упругих и электроупругих материалов с многофакторной экспоненциальной неоднородностью физико-механических свойств.

## 16. Основные научные результаты.

В результате выполнения исследований по текущему этапу были получены следующие результаты, имеющие научную и практическую ценность:

- разработан алгоритмизированный нечетко-множественный метод учета параметрической неопределенности в модели термонапряженного состояния тонких пластин при индукционном нагреве.
- разработаны алгоритмизированные нечетко-множественные методы учета параметрической неопределенности в моделях изгиба биметаллических пластин со свободным краем и анализа термоупругих

потерь при изгибных колебаниях тонкостенных пластинчатых элементов.

- разработаны алгоритмизированные нечетко-множественные методы учета параметрической неопределенности в моделях термомеханического деформирования толстостенных полых функционально-градиентных цилиндров из функционально-градиентных материалов и материалов с температурозависимыми свойствами.
- разработаны алгоритмизированные нечетко-множественные методы учета параметрической неопределенности в моделях концентрации температурных напряжений в тонких протяженных цилиндрических оболочках и температурной устойчивости деформирования тонкостенных цилиндрических оболочечных панелей.
- получены решения систем амплитудных уравнений волнового деформирования для анизотропных упругих и электроупругих материалов с многофакторной экспоненциальной неоднородностью физико-механических свойств.
- **17. Преимущество этой работы над другими имеющимися аналогами** в возможностях получения оценок эндогенных характеристик в исследуемых моделях термомеханического деформирования материалов и конструкций с применением нечетко-множественных методов на основе исходной информации о разбросах входных параметров, не имеющей строгой корректной статистической природы, в том числе базирующейся на вариативных субъективных экспертных оценках для отдельных базовых характеристик материалов и конструкций;
- в возможностях введения в анализируемых моделях большого числом подлежащих одновременному учету неконтрастных параметров;
- в отсутствии необходимости априорного задания вида функций принадлежности (аналогов вероятностных распределений) для экзогенных и эндогенных неконтрастных характеристик расчетных моделей.

Реализованные в рамках выполнения работы разработки в области методов решения систем амплитудных уравнений волнового деформирования для анизотропных упругих и электроупругих материалов с многофакторной экспоненциальной неоднородностью физико-механических свойств не имеют аналогов, носят приоритетный характер в исследованиях по динамическому волновому деформированию инновационных функционально-градиентных

материалов и являются основой для прикладных инженерных расчетных методик расчетов деформативности, прочности и надежности конструкций из новых классов материалов указанного типа.

**18. Практическая ценность** заключается в возможностях прямого использования разработанных методов и программных приложений для их компьютерной реализации в практике проектных конструкторских расчетов для объектов и конструкций строительной индустрии.

**19. Ценность результатов для учебно-научной работы.** Результаты исследований внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»: при проведении лабораторных занятий по дисциплинам «Информационные технологии в строительстве» для подготовки магистров по направлению 08.04.01 «Строительство»; «Информационные технологии в строительстве» для подготовки магистров по направлениям 07.04.01 «Архитектура», 07.04.03 «Дизайн архитектурной среды», 07.04.04 «Градостроительство», 21.04.02 «Землеустройство и кадастры», для подготовки аспирантов по направлению 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника».

**20. Перечень разработанной документации и образцов.** Не предусмотрены программой исследований.

**21. Перечень научных публикаций, докладов на конференциях, семинарах**

№	Название	Вид работы	Выходные данные	Авторы
1	Нечетко-множественный алгоритм учета разброса параметров в модели термомеханического деформирования полых функционально-градиентных цилиндров	Доклад, тезисы	Искусственный интеллект: теоретические аспекты и практическое применение» (ДМКС-ИИ-2024). Тезисы докладов Донецкого Международного круглого стола (Донецк, 29 мая 2024 г.). – Донецк: Институт проблем искусственного интеллекта, 2024 – С. 209-214.	Полянский Д.Д., Сторожев С.В., Филиппаки И.Ю.
2	Численно-аналитическое исследование модели распространения локализованных электроупругих волн сдвига вдоль плоскости контакта функционально-градиентных пьезокерамических полупространств	Доклад, тезисы	Искусственный интеллект: теоретические аспекты и практическое применение» (ДМКС-ИИ-2024). Тезисы докладов Донецкого Международного круглого стола (Донецк, 29 мая 2024 г.). – Донецк: Институт проблем искусственного интеллекта, 2024 – С. 78-83.	Карасев Д.С., Номбре С.Б., Сторожев С.В.

3	Алгоритм нечетко-множественного учета параметрической неопределенности в модели термомеханического деформирования функционально-градиентной балки	Доклад, тезисы	Современные информационные технологии в условиях новых вызовов. Тезисы докладов VII Международной научной интернет-конференции (Донецк, 17 мая 2024 г.) – Донецк: ФГБОУ ВО ДонНУЭТ, 2024 - С.295-298.	Малютина Т.П., Полянский Д.Д., Сторожев С.В.
4	Алгоритм анализа свойств окружных волн деформаций в кольцевой мембране на упругом основании	Доклад, тезисы	Современные информационные технологии в условиях новых вызовов. Тезисы докладов VII Международной научной интернет-конференции (Донецк, 17 мая 2024 г.) – Донецк: ФГБОУ ВО ДонНУЭТ, 2024 - С. 273-275.	Глущенко А.В., Сторожев С.В., Фоменко М.В.
5	Численно-аналитическое исследование модели распространения сдвиговых упругих волн в трансверсально-изотропной среде с трехфакторной экспоненциальной неоднородностью	Доклад, тезисы	Сборник материалов международной конференции «XXXV Крымская Осенняя Математическая Школа-симпозиум Н.Д. Копачевского по спектральным и эволюционным задачам» – Симферополь: ИТ «АРЕАЛ», 2024 - С .79–80	Глухов А.А., Сторожев С.В.
6	Стратегические ценовые решения в условиях маркетинговой ориентации предприятия	Доклад, тезисы	Материалы Всероссийской научно-практической интернет-конференции преподавателей и студентов (с международным участием) «Современные концепции и технологии управления в условиях социально-ответственной экономики» — Донецк: ДонНУЭТ. – 2024 - С. 109-110.	Назим Я.В.
7	Учет параметрической неопределенности в модели термомеханического деформирования полупространства при действии сосредоточенного стационарного теплового источника	Доклад, тезисы	Математическое моделирование и биомеханика в современном университете: тезисы докладов XVIII Всероссийской школы, (пос. Дивноморское, 27 – 30 мая 2024 г.) – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2024 - С. 104.	Малютина Т.П., Полянский Д.Д., Сторожев В.И.
8	Исследование спектров окружных изгибных волн в кольцевых пластинах с использованием модели С.П. Тимошенко	Доклад, тезисы	Математическое моделирование и биомеханика в современном университете: тезисы докладов XVIII Всероссийской школы, (пос. Дивноморское, 27 – 30 мая 2024 г.) – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2024 - С. 105.	Глущенко А.В., Сторожев С.В., Фоменко М.В.

9	Нечетко-множественный алгоритм учета параметрической неопределенности в модели термонапряженного состояния тонких пластин при индукционном нагреве	Доклад, тезисы	Математическое моделирование и биомеханика в современном университете: тезисы докладов XVIII Всероссийской школы, (пос. Дивноморское, 27 – 30 мая 2024 г.) – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2024 - С. 106.	Номбре С.Б., Полянский Д.Д., Сторожев С.В.
10	Методика нечетко-множественного учета параметрической неопределенности при исследовании температурных напряжений в тонких протяженных цилиндрических оболочках	Доклад, тезисы	Материалы докладов Всероссийской конференции «Математическое моделирование в механике», посвящённой 50-летию ИВМ СО РАН. – Красноярск: ИВМ СО РАН, 2024 – С. 147–149.	Номбре С.Б., Полянский Д.Д., Сторожев С.В.
11	ТИМ и интеллектуальная собственность в строительстве	Доклад, тезисы	Неделя науки ИСИ. Сборник материалов Всероссийской конференции. – Санкт-Петербург: СПб. Политех-пресс. – 2024 – С. 56-58.	Малютина Т.П., Яρμοш Я. А.
12	Нечетко-множественные оценки влияния разброса параметров в расчетных моделях температурозависимых пределов текучести и прочности	Доклад, тезисы	Вычислительные технологии и прикладная математика: материалы III научной конференции с международным участием г. Комсомольск-на-Амуре 7–11 октября 2024 – С. 287-291.	Полянский Д.Д.
13	Геометрическое моделирование и вертикальная планировка участка топографической поверхности с учетом показателей разрыхления грунта	Статья	Приволжский научный журнал. - Нижний Новгород, ННГАСУ: 2024. - № 3(71). – С.222-230.	Конопацкий Е.В., Чернышева О.А.
14	Анализ гололёдных аварий в электрических сетях 35-110 кВ энергосистемы Донбасса	Статья	Металлические конструкции, 2024. Том 30, вып. 3. (в печати)	Горохов Е.В., Назим Я.В., Чиркин А.В.
15	Анализ современных автоматизированных систем раннего обнаружения гололеда на воздушных линиях электропередачи	Статья	Металлические конструкции, 2024. Том 30, вып. 3. (в печати)	Назим Я.В., Чиркин А.В.
16	Методика анализа спектра сдвиговых электроупругих волн в пьезоактивном слое с симметричной поперечной неоднородностью	Статья	Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки 2024. № 1. С. 42-49	Карасев Д.С., Сторожев С.В., Фоменко М.В.



17	Методика анализа проблемы распространения волн сдвига в анизотропном функциональноградиентном слое с различными законами экспоненциальной неоднородности для каждой физико-механической характеристики	Статья	Журнал теоретической и прикладной механики. – 2024. № 1 (86). С. 51–60.	Глухов А.А., Сторожев В.И., Сторожев С.В.
18	Нечетко-множественный учет параметрической неопределенности в модели расчета критической температуры потери устойчивости пологой цилиндрической оболочки	Статья	Журнал теоретической и прикладной механики. – 2024. № 1 (86) С. 73–82.	Номбре С.Б., Полянский Д.Д., Сторожев С.В., Чан Ба Ле Хоанг
19	Задание поверхности вращения круговой синусоиды методом подвижного симплекса	Статья	Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий: сб. науч. тр. – Макеевка: ФГБОУ ВО «ДОННАСА», 2024. Вып. 2024-3(167). С. 10-15.	Малютина Т.П., Коротыч Е.Е.
20	Базисные решения в задаче о распространении нормальных волн в протяженных радиально неоднородных трансверсально-изотропных цилиндрах секторного сечения	Доклад, тезисы	Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы IX Международной научной конференции (Донецк, 15–17 октября 2024 г.). Том 1: Механико-математические, компьютерные науки, управление С.62-65.	Мельничук Н.Ю., Дзундза А.И., Моисеенко И.А., Моисеенко В.А
21	Функции активных методов мировоззренческого обучения математическим дисциплинам будущих учителей математики	Доклад, тезисы	Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы IX Международной научной конференции (Донецк, 15–17 октября 2024 г.). Том 6: Педагогические науки. Часть 3. С.26-28.	Дзундза А.И., Моисеенко И.А., Моисеенко В.А., Цапов В.А.

22	Нечетко-множественная методика учета неопределенности исходных параметров в модели анализа термоупругих потерь при изгибных колебаниях тонкостенных пластинчатых элементов	Доклад, тезисы	Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы IX Международной научной конференции (Донецк, 15–17 октября 2024 г.). Том 1: Механико-математические, компьютерные и химические науки, управление С. 71–74.	Павлыш В.Н., Полянский Д.Д., Сторожев С.В.
23	Электроупругие волны сдвига в слое функционально-градиентной пьезокерамики с двухфакторной неоднородностью физико-механических свойств	Доклад, тезисы	Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы IX Международной научной конференции (Донецк, 15–17 октября 2024 г.). Том 1: Механико-математические, компьютерные и химические науки, управление С. 51–54.	Карасев Д.С., Сторожев С.В., Фоменко М.В.
24	Анализ модели распространения продольно-сдвиговых нормальных волн в функционально-градиентном ортотропном слое с двухфакторной экспоненциальной неоднородностью	Доклад, тезисы	Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы IX Международной научной конференции (Донецк, 15–17 октября 2024 г.). Том 1: Механико-математические, компьютерные и химические науки, управление С. 26–29.	Глухов А.А., Сторожев В.И., Сторожев С.В.
25	Свойства нормальных волн в радиально-неоднородных изотропных цилиндрах секторного сечения	Статья	Журнал теоретической и прикладной механики. – 2024. – № 1(86). – С. 37-50.	Дзундза А.И., Мельничук Н.Ю., Моисеенко И.А., Моисеенко В.А.
26	Taking Into Account Parametric Uncertainty in Strength Calculations of Spherical Structures under Thermomechanical Loading	Статья	Journal of Physics: Conference Series. – 2024. (в печати)	Storozhev S., Ustinova N., Polyanskiy D., Nombre S.
27	Seismic waves in geomasifts with localized surface heterogeneity	Статья	Journal of Physics: Conference Series. – 2024. (в печати)	Storozhev S., Storozhev V., Glukhov A., Ustinova N.
28	Нечетко-множественный учет фактора параметрической неопределенности в прикладной модели оценки характеристик изгиба биметаллических пластин со свободным краем	Статья	Журнал теоретической и прикладной механики. – 2024. – № 3 (88). (в печати)	Номбре С.Б., Полянский Д.Д., Сторожев С.В.

29	Сдвиговые электроупругие волны в функционально-градиентном пьезокерамическом слое с индивидуальным законом экспоненциальной неоднородности для каждой физико-механической характеристики материала	Статья	Журнал теоретической и прикладной механики. – 2024. – № 3 (88). (в печати)	Карасев Д.С., Сторожев В.И., Сторожев С.В.
30	Нечетко-множественный анализ эффектов параметрической неопределенности в модели деформирования толстостенного цилиндра из материала с температурозависимыми свойствами	Статья	Журнал теоретической и прикладной механики. – 2024. – № 4 (89). (в печати)	Малютина Т.П., Полянский Д.Д., Сторожев С.В., Чан Ба Ле Хоанг
31	Дисперсия окружных электроупругих волн в биморфной пьезоактивной кольцевой пластине	Статья	Журнал теоретической и прикладной механики. – 2024. – № 4 (89). (в печати)	Глущенко А.В., Пачева М.Н., Сторожев С.В., Фоменко М.В

**22. Основные выводы.** В результате выполнения исследований по текущему этапу были получены следующие результаты, которые имеют научную и практическую ценность:

- разработан алгоритмизированный нечетко-множественный метод учета параметрической неопределенности в модели термонапряженного состояния тонких пластин при индукционном нагреве.
- разработаны алгоритмизированные нечетко-множественные методы учета параметрической неопределенности в моделях изгиба биметаллических пластин со свободным краем и анализа термоупругих потерь при изгибных колебаниях тонкостенных пластинчатых элементов.
- разработаны алгоритмизированные нечетко-множественные методы учета параметрической неопределенности в моделях термомеханического деформирования толстостенных полых функционально-градиентных цилиндров из функционально-градиентных материалов и материалов с температурозависимыми свойствами.
- разработаны алгоритмизированные нечетко-множественные методы учета параметрической неопределенности в моделях концентрации

температурных напряжений в тонких протяженных цилиндрических оболочках и температурной устойчивости деформирования тонкостенных цилиндрических оболочечных панелей.

- получены решения систем амплитудных уравнений волнового деформирования для анизотропных упругих и электроупругих материалов с многофакторной экспоненциальной неоднородностью физико-механических свойств.

Полученные результаты перспективны как для прямого использования разработанных методов и программных приложений для их компьютерной реализации в практике проектных конструкторских расчетов для объектов и конструкций строительной индустрии, так и для дальнейшего развития исследований в области методов учета неопределенности в расчетных моделях естественных и технических наук.