

МОСК

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ**

Материалы международного семинара

Одесса, 22-23 ноября 2018

**MODELLING AND OPTIMIZATION
OF BUILDING COMPOSITES**

Proceedings of International Seminar

Odessa, November 22-23, 2018

**Одесская государственная академия строительства и архитектуры
Технический университет Молдовы**



МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ

Материалы международного семинара

Одесса, 22-23 ноября 2018

MODELLING AND OPTIMIZATION OF BUILDING COMPOSITES

Proceedings of International Seminar

Odessa, November 22-23, 2018

Моделювання та оптимізація будівельних композитів / Мат-ли міжнарод. семінару. – Одеса: ОДАБА, 2018. – 136с.

Международный семинар по моделированию и оптимизации строительных композитов (**МОСК**) продолжает традицию кафедры процессов и аппаратов в технологии строительных материалов. С момента основания кафедрой руководил заслуженный деятель науки и техники, д.т.н., профессор В.А. Вознесенский (1934-2012). Виталий Анатольевич создал и возглавлял Совет по компьютерному материаловедению при Международной инженерной академии. Под его руководством с 1996 по 2008 год в Одесском доме ученых проводились международные семинары по моделированию и оптимизации композитов (МОК'35-47). В 2014 году прошел семинар, посвященный 80-летию В.А. Вознесенского. Материалы **МОСК** 2018 г. охватывают вопросы применения экспериментально-статистических и других моделей в строительном материаловедении, включая элементы компьютерного материаловедения. Оргкомитет (**patsm@ukr.net**) не всегда разделяет мнение авторов.

Міжнародний семінар з моделювання та оптимізації будівельних композитів (**МОБК**) продовжує традицію кафедри процесів та апаратів в технології будівельних матеріалів. З моменту заснування кафедрою керував заслужений діяч науки і техніки, д.т.н., професор В.А. Вознесенський. Віталій Анатолійович створив та очолював Раду з комп'ютерного матеріалознавства при Міжнародній інженерній академії. Під його керівництвом з 1996 по 2008 рік в Одеському домі вчених проводились міжнародні семінари з моделювання та оптимізації композитів (МОК'35-47). У 2014 році пройшов семінар, присвячений 80-річчю В.А. Вознесенського. Матеріали **МОБК** 2018 р. охоплюють питання застосування експериментально-статистичних та інших моделей в будівельному матеріалознавстві, включаючи елементи комп'ютерного матеріалознавства. Оргкомітет (**patsm@ukr.net**) не завжди поділяє думку авторів.

International Seminar *Modelling and Optimization of Building Composites* (MOBC) continues the tradition of the Department of Chemical Engineering at Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. The head of the department (and its founder) Professor V.A. Voznesensky (1934-2012), D.Sc., honoured scientist, had organized and headed the Scientific Council on Computational Materials Science at International Academy of Engineering. Under his leadership the International Seminars on Modelling and Optimization of Composites (MOC'35-47) were conducted in 1996-2008, in Odessa House of Scientists. The seminar of 2014 commemorated the 80th anniversary of the birth of Vitaly Voznesensky. The Proceedings of the present seminar cover the issues of using experimental-statistical and other models in building materials science, including the elements of computational materials science. Opinions of Organizing Committee may differ from those of the authors.

Редакционная коллегия: **Суханов В.Г.**, д.т.н., проф.; **Хлыщев Н.В.**, к.т.н., доц.; **Барабаш И.В.**, д.т.н., проф.; **Выровой В.Н.**, д.т.н., проф.; **Керш В.Я.**, к.т.н., проф.; **Ляшенко Т.В.**, д.т.н., проф.; **Русу И.В.**, д.т.н., проф.

Ответственные за выпуск: **Антонюк Н.Р.**, к.т.н., доц.; **Довгань А.Д.**, к.т.н., доц.

ISBN 978-617-7195-29-9

© Одеська державна академія
будівництва та архітектури, 2018

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГИПСОВОГО КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО

Деревянко В.Н., Кондратьева Н.В. *, Гришко А.Н. **, Мороз В.Ю.

(Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»,

**Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет»*

***Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет)*

Abstract. To obtain G4 Grade gypsum binder having an average density of 1343 – 1406 kg/cbm, optimum compositions of a composite gypsum binder were developed using gypsum, crushed sand and slag.

Keywords: gypsum binders, strength, composites, crushed sand, slag.

Актуальность темы. Основными преимуществами гипсовых вяжущих является значительная прочность изделий, быстрота схватывания и твердения, что позволяет получить высокую оборачиваемость оборудования.

Низкие энергетические затраты на получение гипсовых вяжущих, особенно низкообжиговых, вынуждает исследователей возвращаться к проведению работ по повышению их водостойкости и прочностных характеристик.

Анализ публикаций. Анализ последних исследований и публикаций показывает, что в большинстве работ увеличение прочностных показателей гипса достигается за счет введения суспензии, содержащей частицы измельченных алюмосиликатных пород; минеральных добавок, имеющих наноразмерные признаки [1-2, 6]; комплексной добавки на основе микрокремнезема и многослойных нанотрубок.

В работах [2-4] для улучшения структурно-физических, физико-механических и технико-эксплуатационных характеристик композиционного гипсового вяжущего в качестве добавок использовали керамзитовую пыль, алюмосиликатные микросферы, мультидисперсные модификаторы: металлургическую пыль, метаксаолин и доменный шлак, колошниковую пыль. Разработанные

составы композиционных гипсовых вяжущих имели улучшенные физико-химические показатели по сравнению с имеющимися аналогами.

К тому же гипсовое вяжущее по сравнению с другими является более экологичным. Поэтому устранение недостатков гипсового вяжущего, позволит расширить сферу его применения и улучшить ряд технологических факторов.

Цель исследований. Исследовать основные физико-механические свойства гипсового композиционного вяжущего.

Методы исследования. Определение основных физико-механических свойств гипсового композиционного вяжущего проводили по стандартной методике согласно ДСТУ Б В.2.7-82.

Эксперимент проводился на основании математических методов планирования эксперимента. Проверка однородности дисперсии осуществлялась с помощью критерия Кохрена, адекватности модели – по критериям Фишера.

Результаты исследований. Первоначально были определены основные физико-механические свойства исследуемого гипсового вяжущего: прочности при сжатии ($R_{сж.}$) и изгибе ($R_{изг.}$), средняя плотность (ρ_0). Далее отслеживалось изменение свойств гипсового композиционного вяжущего.

В исследовании использовали обычный гипс строительный Г5 Н-II согласно ДСТУ Б В.2.7-82, производства ПАТ «Гипсовик», г. Каменец-Подольский. Химический состав гипса представлен содержанием: CaO – 32,5 %, SO_2 – 46,51 % и п.п.п -20,93 %. Плотность гипса составляет 2200-2400 кг/м³.

На основе проведенного анализа научной литературы, патентов, авторских свидетельств и исследований было принято решение использовать в качестве кремнеземистого компонента молотый песок [3-5], который измельчали до удельной поверхности 2000 см²/г.

Молотый песок также использовался для связывания в гидросиликаты некоторых примесей.

В исследованиях использовался Днепровский речной песок отвечающий требованиям ДСТУ Б В. 2.7-32-95. Насыпная плотность песка 1520 кг/м³, содержание пылевидных и глинистых частиц – не более 1 %.

Химический состав речного песка приведен в таблице 1

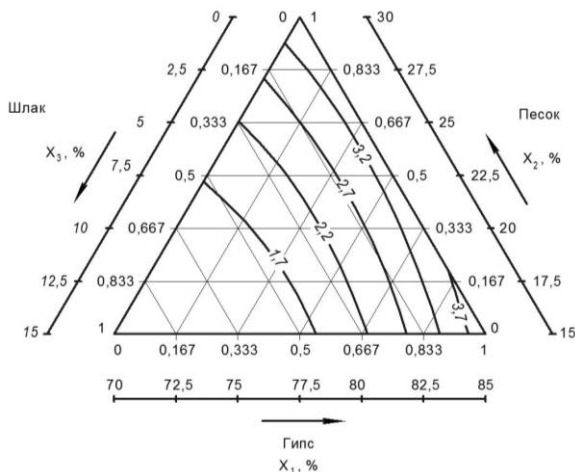
С целью повышения водостойкости гипсового вяжущего был использован гранулированный доменный шлак.

Таблица 1

Химический состав речного песка

Массовое содержание в днепровском речном песке основных оксидов, %							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	п.п.п.
98,0	0,6	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,3

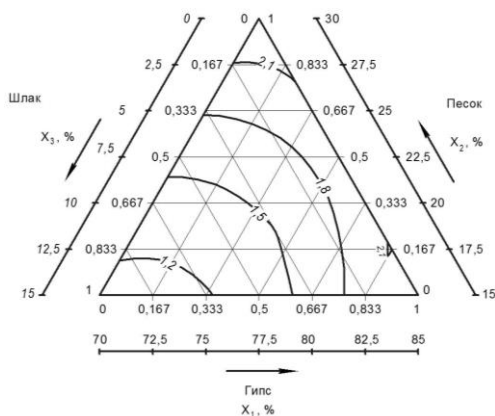
Для изучения влияния соотношения компонентов на основные физико-механические свойства комплексного гипсового вяжущего, был использован симплекс-решетчатый метод планирования эксперимента. За исходные параметры было принято содержание компонентов сырьевой смеси. За X_1 – принято содержание в сырьевой смеси гипса, за X_2 – молотого песка, за X_3 – шлака (рис. 1-3).



$$R_{сжк} = 4,02 X_1 + 3,62 X_2 + 1,47 X_3 - 1,48 X_1 X_2 - 4,66 X_1 X_3 - 3,22 X_2 X_3 + 0,36 X_1 X_2 X_3.$$

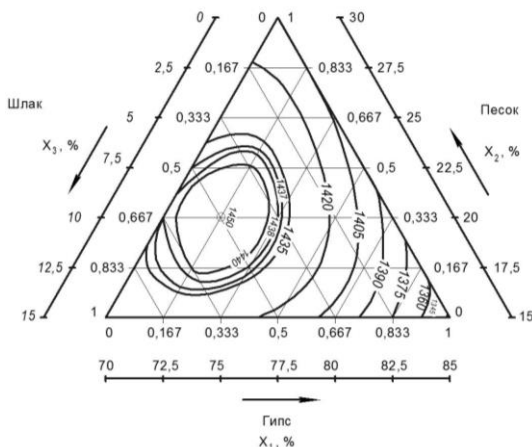
Рис. 1. Диаграмма состояния состав – предел прочности при сжатии для сырьевой смеси на основе гипса, песка и шлака.

С помощью моделей проведено исследование влияние соотношения компонентов сырьевой смеси на основные физико-механические свойства гипсового комплексного вяжущего (рис. 1-3).



$$R_{изг} = 2,37 X_1 + 2,39 X_2 + 1,11 X_3 - 1,76 X_1 X_2 - 1,56 X_1 X_3 - 0,64 X_2 X_3 + 0,36 X_1 X_2 X_3 .$$

Рис. 2. Диаграмма состояния состав – предел прочности на изгиб для сырьевой смеси на основе гипса, песка и шлака.



$$\rho_o = 1343 X_1 + 1406 X_2 + 1422 X_3 + 82 X_1 X_2 + 134 X_1 X_3 + 92 X_2 X_3 + 363 X_1 X_2 X_3 .$$

Рис. 3. Диаграмма состояния состав – средняя плотность для сырьевой смеси на основе гипса, песка и шлака.

Анализ диаграмм состояния (рис.1-3) показывает, что содержание компонентов комплексного вяжущего на основе гипса, а также его

соотношение, не приводящее к снижению прочностных показателей, находится в пределах: 82–85 % гипса, 15–18,5 % молотого песка, 0–2,5 % шлака. Оптимальным составом является: 85 % гипса, 15 % песка и 1,0 % шлака. При этом предел прочности при сжатии находится в пределах 3,45 – 4,02 МПа. Средняя плотность составляет 1343 – 1406 кг/м³. Уменьшение содержания гипса менее 82,5 % и увеличение содержания шлака более 2,5 % приводят к снижению прочности при сжатии на 2,6 %.

Выводы. Изучено влияние соотношения компонентов гипсового композиционного материала с использованием гипса, молотого песка, шлака, которые способствуют повышению водостойкости и формированию прочной структуры изделий.

Разработаны оптимальные составы композиционных материалов на основе гипса, обеспечивающие необходимые физико-механические характеристики гипсовых изделий, содержащие: 85 % гипса, 15 % песка и 1,0 % шлака для получения композиционного гипсового вяжущего марки Г4 со средней плотностью 1343 – 1406 кг/м³.

1. Гайфуллин А.И. Композиционные гипсовые материалы с добавками керамзитовой пыли : автореферат дис. канд. техн. наук: 05.23.05 / Гайфуллин Альберт Ринатович, Казанский государственный архитектурно-строительный университет. – Казань, 2012. – 18 с.

2. Bekmansurov M.R. Gipsverbundwerkstoffe, modifiziert mit Technogenultradisperszusatzmitteln / M.R. Bekmansurov, A.F. Gordina, I.S. Poljanskich, G.I. Jakovlev, H.-B. Fischer // Ibausil 19. Internationale Baustofftagung 16-18. September 2015 Weimar Bundesrepublik Deutschland. - Weimar: F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde, Bauhaus-Universität Weimar, 2015. - Band 2. - P. 645-652.

3. Волженский А.В. Гипсовые вяжущие и изделия / А.В. Волженский, А.В. Ферронская – М.: Стройиздат, 1974. – 328 с.

4. DE1246508, Deutsche Kl. 80b-6/01, C04 B 11/024. Verfahren zur Verbesserung der Güte des bei der nassen Phosphorsäuregewinnung als Nebenprodukt anfallenden Gipses / Yamaguchi Taro; Erfinder: Yamaguchi Taro; Anmelder: Onoda Cement Company, Limited. – Anmeldenummer: DE19610008303 19611012 ; Anmeldetag 12.10.1961; Auslegetag: 03.08.1967.

5. Гордашевский П. Ф. Производство гипсовых вяжущих материалов из гипсосодержащих отходов / П. Ф. Гордашевский, Ф. В. Долгорев. – Москва: Стройиздат, 1987. – 104с.

6. Derevianko V. Study of impact factors and the mechanism of process of gypsum binder hydration in the presence of nanomodifiers / Victor Derevianko, Natalia Kondratieva, Hanna Hryshko // French-Ukrainian Journal of Chemistry. – Kyiv : Taras Shevchenko National University of Kyiv, 2018. – Vol. 6 (1). – No 1. – P. 92 – 100.

СТІЙКІСТЬ БУДІВЕЛЬНИХ КОМПОЗИТИВ ПРИ КОМПЛЕКСНІЙ ДІЇ ДОВКІЛЛЯ

Шевченко В.В., Вировой В.М. (Одеська державна академія
будівництва та архітектури)

Abstract. *Construction objects of various types and destinations are under constant environmental influence. The structure of the material and its individual elements react to each impact of the operation environment, which inevitably leads to their irreversible changes.*

Keywords: *environment, structure of the material, firmness.*

Будівельні об'єкти різних видів та призначення знаходяться під постійним впливом навколишнього середовища. Проведений аналіз кліматичних умов Півдня України показав, що протягом тільки одного року будівельні конструкції в середньому піддаються 80-ти циклам заморожування та відтавання, більше 90 разів звожуються та висушуються, і не менше 365 разів - періодичній зміні температури. Протягом активного функціонування матеріал будівельних конструкцій десятки і сотні разів сприймає кліматичне навантаження. Постійні зміни температури та вологості матеріалу викликають появу нерівномірних місцевих температурних та вологісних деформацій. В свою чергу розвиток деформаційних процесів впливає на зміну структури матеріалу, викликаючи тим самим, зниження нормованих властивостей до критичних значень. Історично так склалося, що із всього комплексу кліматичних впливів поперемінне заморожування та відтавання - найбільш негативний вплив для будівельних матеріалів. Це дозволило розробити методику для кількісної оцінки морозостійкості і нормувати їх значення в залежності від виду та призначення виробів.

Структура матеріалу та її окремі елементи реагують на кожний вплив середовища експлуатації, що неминуче веде до їх незворотних змін. Можна припустити, що при даній структурній організації матеріал буде більш стійкий при одному виді впливу і менш стійкий при іншому впливі. Мова не йде про вибудовування пріоритетного

ряду впливів по їх виду. На матеріал конструкцій з певною циклічністю діють всі зовнішні впливи характерні для даної кліматичної зони. Тому важливою задачею являється оцінка стійкості будівельних матеріалів в умовах періодичного кліматичного впливу навколишнього середовища експлуатації.

Проведений аналіз по впливу умов експлуатації на стійкість будівельних матеріалів дозволив встановити, що в основному дослідники звертали увагу на вплив конкретного виду впливу на зміну структури та властивостей. Особлива увага зверталася на вплив заморожування та відтавання на зміну структури та властивостей матеріалів. Розроблені різні механізми морозного руйнування та запропоновані рецептурно-технологічні способи підвищення морозостійкості. Аналогічні механізми та методи підвищення стійкості розглянуті при циклічному зволоженні та висушуванні, нагріванні та охолодженні. Аналітичний аналіз літературних джерел не дозволяє отримати повну інформацію про поведінку матеріалів при дії на них всіх видів кліматичних впливів. Більшість загальнобудівельних виробів та конструкцій в період свого життєвого циклу сприймають всі види кліматичних впливів. При цьому не виключені ситуації при яких один вид впливу викликає такі структурні зміни в матеріалі, які при інших видах впливів сприяють проходженню подальших структурних змін, які можуть знизити або підвищити загальний рівень опору матеріалу комплексному кліматичному впливу. Це дозволило сформулювати ціль даної роботи – оцінити комплексний кліматичний вплив на зміну властивостей та стійкість цементного каменю.

Методика дослідження.

При проведенні досліджень до початку і через кожні 5 циклів контролювали: зміну маси, швидкість проходження ультразвуку, міцність при стиску, міцність на розтяг при згині, глибину карбонізації, коефіцієнт стійкості.

Режими кліматичних впливів:

- заморожування 2 год. при $T = -18\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow$ відтавання 2 год. при $T = +20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- водонасичення 2 год. до $W=80\%$ $\rightarrow$ висушування 12 год. при $T = +105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $W=20\%$;
- нагрівання 4 год. при $T = +105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow$ охолодження 4 год.;
- комплекс: висушування 12 год. при $T = +105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $W=20\%$ $\rightarrow$ охолодження 4 год. до $T = +30\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow$ водонасичення 2 год. до $W=80\%$ $\rightarrow$ заморожування 2 год. при $T = -18\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow$ розморожування 2 год. при $T = +20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

СОДЕРЖАНИЕ

Многоочаговые механизмы структурообразования сложноорганизованных материалов <i>Выровой В.Н., Казмирчук Н.В., Елькин А.В., Суханова С.В.</i>	3
Трещина известная и неизвестная <i>Выровой В.Н., Суханов В.Г., Панасюк В.А.</i>	6
Интенсификация процессов твердения легких бетонов искусственной карбонизацией в оптимальных условиях <i>Гара А.А., Гара Ан.А.</i>	9
Вплив механоактивації портландцементу з добавкою меленого вапняку на фізико-механічні властивості будівельного розчину <i>Даниленко А.В.</i>	14
Застосування математичного програмування при розрахунку оптимального складу фібробетону <i>Дворкін Л.Й., Бордюженко О.М.</i>	20
Исследование основных физико-механических свойств гипсового композиционного вяжущего <i>Деревянко В.Н., Кондратьева Н.В., Гришко А.Н., Мороз В.Ю.</i>	25
Експериментально-статистическое моделирование при исследовании дисперсно-армированного песчаного бетона <i>Довгань А.Д., Довгань П.М., Ляшенко Т.В., Хлыцов Н.В.</i>	30
Автокорреляционные методы анализа пространственной организации строительных композитов по их изображениям <i>Довгань И.В., Колесников А.В., Семенова С.В.</i>	36
Влияние ПАВ на свойства цементных композиций <i>Заволока М.В., Шинкевич Е.С., Плит А.Д., Москаленко А.А.</i>	40
Влияние параметров размещения включений на угловые характеристики локальных тепловых потоков в двухфазных композитах <i>Загинайло И.В., Писаренко А.Н., Максименюк Я.А., Гайошко Е.В.</i>	45

Теплозвукоизолирующий гипсосодержащий композиционный материал комбинированным заполнителем <i>Керш В.Я., Колесников А.В., Фощ А.В., Хлыцов Н.В.</i>	49
Деформация локальной области конструкции как отражение её внутренней структуры <i>Колохов В.В., Сопильняк А.М.</i>	56
Структура и свойства бетонов на аппретированных заполнителях <i>Коробко О.А., Загорчечный Ю.О., Уразманова Н.Ф., Нагорнюк Н.П.</i>	61
Встановлення аналітичних залежностей багатопараметричних функцій на прикладі визначення норм витрат цементу <i>Кочкар'юв Д.В., Дворкін Л.Й., Житковський В.В.</i>	66
Неавтоклавний газобетон на комплексному активованому в'язучому <i>Крилов Є.О., Мартинов В.І., Ткаченко Г.Г.</i>	71
Набухання і усадка керамзитового гравію в процесі твердіння бетону <i>Кривяков С.О., Мішутін А.В., Панасюк В.О., Сушицький Е.Б.</i>	74
Експериментально-статистичне моделювання в технології отримання самоущільнюючого бетону <i>Ксьонішкевич Л.М., Гаращенко Д.П., Барабаш І.В.</i>	79
Цемент – накопитель энергии и передатчик её <i>Кучеренко А.А., Гнып О.П., Лавренюк Л.И.</i>	84
Из жизни системного подхода в строительном материаловедении <i>Ляшенко Т.В.</i>	88
Моделирование влияния состава на поровую структуру теплоизоляционного гипсового композита <i>Ляшенко Т.В., Керш В.Я., Колесников А.В.</i>	94
Наномодифіковані дисперсно-армовані будівельні композити <i>Марущак У.Д., Саницький М.А., Сидор Н.І.</i>	100

Вплив умов заморожування на морозостійкість бетонів <i>Непомящий А.Н., Макарова С.С., Ткаченко Г.Г.</i>	103
Теплотехнический расчет стен из бетона с интегральным расположением крупного заполнителя <i>Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Денисов А.С., Пименов Е.Г.</i>	107
Прогнозирование старения защитных лакокрасочных покрытий железобетонных бассейнов мелиоративных систем <i>Русу И., Лукашенко В.</i>	113
Моделирование в исследовании процессов структурообразования в композиционных материалах <i>Трофимова Л.Е.</i>	116
Вплив дисперсного армування поліпропіленовими фібрами на тріщиностійкість дорожніх бетонів <i>Турба Ю.В., Марків Т.Є., Солодкий С.Й.</i>	119
Выбор составов для защитных композиций природных и искусственных каменных материалов <i>Шаталов А.А., Никитенко К.А., Кудряшов А.Ю., Пичугин А.П.</i>	122
Стійкість будівельних композитів при комплексній дії довкілля <i>Шевченко В.В., Вировой В.М.</i>	128
Методы повышения качества пенобетона на гипсовом вяжущем <i>Шишкина А.А., Шишкин А.А.</i>	131