

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2023, Том 15, № 3 / 2023, Vol. 15, Iss. 3 <https://esj.today/issue-3-2023.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/73SAVN323.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Кошелев, В. А. К вопросу о деформационных характеристиках хлормagneзиальных композитов строительного назначения различных типов структуры / В. А. Кошелев, В. И. Вакилов, Г. Ф. Аверина // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 3. — URL: <https://esj.today/PDF/73SAVN323.pdf>

**For citation:**

Koshelev V.A., Vakilov V.I., Averina G.F. On the issue of deformation characteristics of chlor-magnesian composites for building purposes of various types of structure. *The Eurasian Scientific Journal*. 2023; 15(3): 73SAVN323. Available at: <https://esj.today/PDF/73SAVN323.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 691.3

**Кошелев Василий Александрович**

ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)», Челябинск, Россия

Аспирант

E-mail: [vasilikosh@gmail.com](mailto:vasilikosh@gmail.com)

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1086329](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1086329)

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57205661865>

**Вакилов Василь Ирькович**

ООО «Бетотек», Челябинск, Россия

Главный технолог

E-mail: [vakilovv@mail.ru](mailto:vakilovv@mail.ru)

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1203955](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1203955)

**Аверина Галина Федоровна**

ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)», Челябинск, Россия

Доцент кафедры «Строительные материалы и изделия»

Кандидат технических наук

E-mail: [avergf@gmail.com](mailto:avergf@gmail.com)

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=837698](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=837698)

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57193125770>

## К вопросу о деформационных характеристиках хлормagneзиальных композитов строительного назначения различных типов структуры

**Аннотация.** В статье рассматривается комплексный подход к стратегически важному процессу перехода различных сфер экономики Российской Федерации к новым типам материалов и способам конструирования. Аргументирована необходимость проведения комплексных исследований как по разработке, так и по всестороннему исследованию новых материалов для обеспечения их эффективного применения и безопасной эксплуатации. На примере хлормagneзиальных композитов различных типов структур для строительной отрасли показано, что при наличии уникальных свойств и совпадении многих основных эксплуатационных характеристик с показателями известных материалов-аналогов могут существовать существенные различия в других принципиально важных свойствах, в частности, характеризующих деформационные изменения материала под воздействием нагрузок. В данной статье описано исследование одной из базовых деформационных характеристик —

модуля упругости для хлормagneзиальных бетонов с различными типами структур и проведено их сравнение с аналогичными характеристиками бетонов на основе портландцемента. Образцы хлормagneзиальных композитов изготавливали с использованием сырьевых материалов Челябинской области, исследования проводили в соответствии с регламентированными государственными стандартами методами испытаний. В ходе исследования было установлено, что хлормagneзиальные композиты всех типов структур имеют меньшие показатели модуля упругости, характеризующего продольные деформации при кратковременном нагружении, чем аналогичные по структуре композиты на основе портландцементов. Таким образом, конструкции на основе хлормagneзиальных бетонов будут работать менее упруго, чем конструкции на основе портландцементных бетонов. Этот аспект необходимо учитывать в процессе проведения проектно-конструкторских расчетов при работе с данным типом материалов.

**Ключевые слова:** новые материалы; деформационные свойства; модуль упругости; призмочная прочность; продольные деформации; хлормagneзиальная матрица; портландцементные бетоны

### Введение

Переход к новым материалам и способам конструирования является одним из приоритетных направлений Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации [1]. Популярные типы новых материалов обладают различными уникальными свойствами, особенно значительное внимание уделяется так называемым «умным» материалам, способным изменять свои свойства, в ответ на различные внешние условия, такие как, например, температура, давление, параметры электромагнитного поля. К таким свойствам материалов можно отнести термохромность, фотохромизм, фотоупругость, способность к самодиагностике и самовосстановлению и многие другие [2–5]. Расширение области распространения и повышение частоты применения таких материалов будет способствовать рациональному решению ряда задач экономического, экологического и социального характера. Однако, помимо привлекательных уникальных свойств, новые материалы могут также иметь и характеристики, способные привести к ряду проблем, если они не будут учтены в процессе проектирования и конструирования.

Таким образом, под определением «переход» в контексте рассматриваемого стратегического направления, должны подразумеваться не только процессы разработки новых видов материалов, обладающих перечисленными и другими уникальными свойствами, но и полный цикл систематизированных исследований, позволяющих определить область их эффективной и безопасной эксплуатации. Исследование свойств новых материалов может включать множество различных тестов и анализов, таких как испытания на прочность, термические испытания, испытания на коррозию, испытания на устойчивость к воздействию солнечного света, испытания на устойчивость к химическим веществам и т. д. Эти тесты могут помочь определить, как новый материал будет вести себя в различных условиях, поэтому их проведение необходимо для разработки рекомендаций по его использованию. Исследование свойств новых материалов также может помочь определить, какие ограничения должны быть установлены в области его эксплуатации. Некоторые материалы могут иметь ограничения на использование в определенных условиях, таких как высокие температуры или экстремальные условия окружающей среды. Наконец, исследование свойств новых материалов может помочь определить, какие меры безопасности должны быть приняты при их использовании. Некоторые материалы могут быть токсичными или опасными при обработке, и требовать специальных мер безопасности при их использовании. Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что разработка новых типов материалов должна сопровождаться комплексом мероприятий,

позволяющих подтвердить или опровергнуть их соответствие общепринятым требованиям к материалам, применяемым в соответствующей области промышленности.

В частности, в строительной отрасли, исследование свойств новых материалов перед их введением в эксплуатацию является критически важным процессом для обеспечения безопасности и долговечности конструкций на их основе. Для достоверной оценки долговечности строительных конструкций должны быть известны, как минимум, следующие важные свойства применяемых для их возведения материалов: прочностные характеристики, коррозионная стойкость и деформационные свойства [6]. Знание деформационных свойств материала необходимо для корректного проектирования и расчета строительных конструкций. При воздействии на материал некоторой силы он может не только оказывать ей сопротивление или разрушаться, но и значительно или незначительно деформироваться. Понимание процессов деформирования материалов под различными видами нагрузок, позволяет определить характер его поведения в условиях эксплуатации [7; 8]. Если деформационные свойства материала не будут учтены в проекте, это может привести к тому, что конструкция не будет работать должным образом, что в свою очередь, может привести к снижению срока эксплуатации конструкции или возникновению аварийных ситуаций. Поэтому знание деформационных свойств впервые разработанных и применяемых строительных материалов является принципиально важным не только для полного раскрытия их потенциала, но и для обеспечения безопасности и долговечности проектируемых на их основе конструкций.

Целью данного исследования является определение основных деформационных свойств строительных композиционных материалов на основе хлормagneзиальной матрицы. Данный тип материалов имеет ряд уникальных эксплуатационных характеристик, в том числе, отличается эффектом самовосстановления при длительном воздействии морской воды в условиях морозной агрессии [9]. Ранее, в рамках работы по определению возможности получения конструкционных материалов на основе хлормagneзиальных связующих были разработаны составы тяжелых бетонов с различными показателями удобоукладываемости, исследованы составы мелкозернистых бетонов с различным содержанием мелкого заполнителя и ячеистые бетоны на основе пено- и газообразователей [10]. Для разработанных составов определяли показатель модуля упругости, характеризующий соответственно продольные деформации разработанных композитов при кратковременном нагружении.

### Материалы и методы исследования

Для проведения исследований изготавливали образцы-призмы размером 10x10x40 см и образцы-кубы 10x10x10 см из тяжелых, мелкозернистых и ячеистых бетонов по ранее разработанным составам. В качестве основы для хлормagneзиальной матрицы использовали доломитовое магнезиальное вяжущее, характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1

#### Состав и свойства магнезиального вяжущего

Характеристика	Показатель
Содержание MgO, %	21,5
Содержание CaCO <sub>3</sub> , %	78,1
Остаток на сите 008, %	14,0
Прочность при сжатии в 1 сутки, МПа	12,6
Прочность при сжатии в 28 сутки, МПа	65,3

*Данные получены авторами статьи в ходе экспериментов*

Для затворения вяжущего использовали раствор технического шестиводного хлористого магния с плотностью 1,2 г/см<sup>3</sup>.

В качестве крупного заполнителя для тяжелого бетона использовали гранитный щебень фракции 5...10 мм кубовидной формы, в качестве мелкого заполнителя для тяжелого и мелкозернистого бетона использовали отсев от дробления гранита фракции менее 5 мм с модулем крупности  $M_k$  2,5.

Для обеспечения стойкости композитов к длительному водонасыщению использовали добавки триполифосфата натрия и комплекс жирных кислот в количестве 0,4 и 0,25 % от массы вяжущего соответственно.

В качестве пенообразователя для магнезиального пенобетона использовали концентрат белкового пенообразователя марки «Эталон-М», в качестве газообразователя — бикарбонат натрия (пищевую соду).

Для смесей тяжелых и мелкозернистых бетонов с целью контроля повторяемости базовых характеристик разработанных составов определяли показатели удобоукладываемости по стандартным методикам, изложенным в стандартах ГОСТ 10181-2014 и ГОСТ Р 59715-2022. Определение кубиковой и призмочной прочности при сжатии и модуля упругости проводили по методикам, изложенным действующих государственных стандартах ГОСТ 10180-2012 и ГОСТ 24452-80.

### Исследовательская часть

Образцы всех типов исследуемых композитов выдерживали в воздушно-сухих условиях и испытывали в возрасте 28 суток. Результаты исследований приведены в сводной таблице 2.

Таблица 2

#### Характеристики исследуемых хлормagneзиальных композитов

Номер состава	Тип композита	Удобоукладываемость смеси	Кубиковая прочность при сжатии, МПа	Призмочная прочность при сжатии, МПа	Начальный модуль упругости, ГПа
1.1	Тяжелый бетон	Ж1	44,1	34,4	26,4
1.2	Тяжелый бетон	П1	35,6	31,2	23,6
1.3	Тяжелый бетон	РК1	33,8	32,1	23,6
2.1	Мелкозернистый бетон (1:1)	П5	29,33	28,2	23,9
2.2	Мелкозернистый бетон (1:2)	П5	21,2	20,4	17,7
2.3	Мелкозернистый бетон (1:3)	П5	14,5	13,1	14,6
3.1	Пенобетон (D900)	–	4	3,3	3,0
3.2	Газобетон (D900)	–	6,2	5,4	3,5

*Данные получены авторами статьи в ходе экспериментов*

Полученные в ходе исследования результаты сравнивали с регламентированными показателями для бетонов на основе портландцемента с аналогичными характеристиками (табл. 3).

Таким образом, можно сделать вывод, что все разработанные составы бетонов на основе хлормagneзиальной матрицы имеют схожий характер деформационных свойств, так как показатели модуля упругости почти для всех составов оказались меньше, чем у аналогов на основе портландцемента. В общем смысле, этот факт указывает на то, что композиты получаемые на основе хлормagneзиальной матрицы являются менее упругими и, вероятно, более подвержены необратимым деформационным изменениям вследствие воздействия на них статических и динамических нагрузок.

Таблица 3

**Регламентированные показатели модуля упругости  
портландцементных бетонов с аналогичными характеристиками**

Вид бетона	Тяжелый нормального твердения			Мелкозернистый нормального твердения			Ячеистый неавтоклавного твердения	
	B30	B25	B25	B20	B15	B10	B3,5	B5
Номер состава для сравнения	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2
Начальный модуль упругости цементных бетонов, ГПа	32,5	30,0	30,0	22	19,5	15,5	3,1	3,6
Начальный модуль упругости хлормагнезиальных бетонов, ГПа	26,4	23,6	23,6	23,9	17,7	14,6	3,0	3,5

Данные получены авторами статьи в ходе экспериментов и частично воспроизведены из текста СП 63.13330

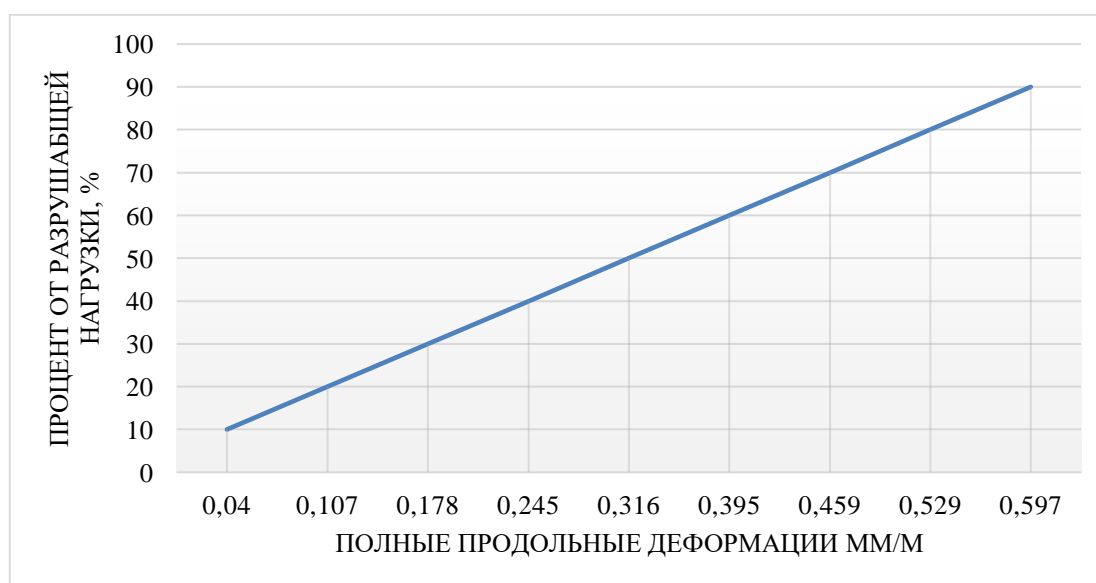
С другой стороны, стоит учитывать, что методики определения деформационных характеристик цементных бетонов разработаны на основе накопленных в течение многих лет эмпирических знаний о механике разрушения цементных композитов, обладающих отличным от хлормагнезиальной матрицы типом структуры. Таким образом, вероятно требуется проведение дополнительных исследований с целью внесения в методики уточняющих корректировок. Предполагаемый спектр исследований должен включать определение характера деформирования бетонов с различными типами структуры на основе хлормагнезиальной матрицы при длительном и мгновенном нагружении, построение диаграмм полных деформаций, определение областей упругих и пластических деформаций.

Таблица 4

**Полные продольные деформации  
образца-призмы композита на основе хлормагнезиальной матрицы**

Процент от разрушающей нагрузки, %	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Продольные деформации, мм/м	0,04	0,107	0,178	0,245	0,316	0,395	0,459	0,529	0,597
Продольные деформации, %	0,013	0,036	0,059	0,085	0,105	0,132	0,153	0,176	0,199

Данные получены авторами статьи в ходе экспериментов



**Рисунок 1. График полных продольных деформаций при ступенчатом нагружении образца-призмы, составлено авторами**



Для первичного расширения области знаний о механике разрушения хлормagneзиальных композитов определяли также процент приращения деформационный изменений в продольном направлении при ступенчатом нагружении образца до показателя нагрузки, равного 90 % от разрушающей. Данное исследование проводили на примере образца тяжелого бетона, полученного из смеси с показателем удобоукладываемости Ж1. Образец нагружали ступенями по 10 % от разрушающей нагрузки, на каждой ступени нагрузку выдерживали в течение трех минут, показатели снимали по истечению указанного времени. Результаты испытания приведены в таблице 4, графическая интерпретация результатов отражена на рисунке 1.

Кривая нарастания продольных линейных деформаций при испытании образца хлормagneзиального бетона имеет линейный равномерно нарастающий характер, без выраженных перегибов, характеризующих область упругих и мгновенно неупругих деформаций, а также быстроснабегающей ползучести.

### Выводы

Переход к новым видам материалов, в том числе для нужд строительной отрасли, является приоритетным направлением развития экономической и социальной сфер Российской Федерации. Сам процесс перехода должен состоять не только из работ, посвященных разработке новых типов материалов, но и включать в себя крупномасштабные исследования их свойств и определения допустимой области и условий эксплуатации.

Строительные композиты на основе хлормagneзиальной матрицы могут служить новым доступным аналогом композитам на основе портландцемента, при условии досконального исследования их свойств, необходимых для проектирования конструкций и прогнозирования их долговечности в различных средах эксплуатации.

Установлено, что базовые деформационные свойства типичных хлормagneзиальных композитов отличаются от регламентированных показателей аналогичных типов композитов на основе портландцемента — данные материалы работают менее упруго, что должно учитываться при проектировании конструкций наравне с прочностными характеристиками. Учитывая также малоизученный характер механики разрушения хлормagneзиальных композитов, требуется проведение дополнительных исследований с целью уточнения известных методик и разработки или дополнения существующей теории разрушения искусственных каменных композиционных материалов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Добрецов Н.Л. Достоинства и недостатки новой "Стратегии научно-технологического развития российской Федерации" / Н.Л. Добрецов // Всероссийский экономический журнал ЭКО. — 2017. — № 1(511). — С. 94–101.
2. Кокцинская Е.М. «Умные» материалы и их применение (обзор) / Е.М. Кокцинская // Видеонаука. — 2016. — № 1(1). — С. 3–19.
3. Шилько С., Плескачевский Ю. «Умные материалы»: время убирать кавычки / С. Шилько, Ю. Плескачевский // Наука и инновации. — 2013. — Т. 9. — № 127. — С. 26–29.

4. Qader İ.N., Mediha K.Ö.K., Dagdelen F., Aydoğdu Y. A review of smart materials: researches and applications / İ.N. Qader, K.Ö.K. Mediha, F. Dagdelen, Y.A. Aydoğdu // El-Cezeri. — 2019. — V. 6. — № 3. — P. 755–788.
5. Drossel W.G. Smart3 — Smart materials for smart applications / W.G. Drossel // Procedia Cirp. — 2015. — V. 36. — P. 211–216.
6. Кошелев В.А., Аверина Г.Ф. О возможности использования магнизиальных вяжущих в конструкционных строительных материалах / В.А. Кошелев, Г.Ф. Аверина // Инновации в строительстве. Технологии Кнауф. — 2021. — С. 49–53.
7. Несветаев Г.В. К вопросу о развитии норм по проектированию и производству железобетонных конструкций / Г.В. Несветаев // Бетон и железобетон. — 2020. — № 1. — С. 4–9.
8. Суханов В.Г., Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Чернега А.С. Условия безопасного функционирования конструкций как сложных открытых систем. — 2010.
9. Аверина Г.Ф., Кошелев В.А., Орлов А.А., Созыкина Е.С., Сараева А.Е. Исследование возможности определения морозостойкости хлормagneзиальных бетонов по третьему ускоренному методу / Г.Ф. Аверина, В.А. Кошелев, А.А. Орлов, Е.С. Созыкина, А.Е. Сараева // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. — 2022. — Т. 22. — № 3. — С. 46–52.
10. Аверина Г.Ф., Кошелев В.А., Орлов А.А. Экологически эффективные материалы для аддитивных технологий в строительстве / Г.Ф. Аверина, В.А. Кошелев, А.А. Орлов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. — 2023. — № 1(49). — С. 5–15.

**Koshelev Vasily Alexandrovich**

South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia  
E-mail: vasilikosh@gmail.com  
RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1086329](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1086329)  
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57205661865>

**Vakilov Vasil Irykovich**

Betotek LLC, Chelyabinsk, Russia  
E-mail: vakilovv@mail.ru  
RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1203955](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1203955)

**Averina Galina Fedorovna**

South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia  
E-mail: avergf@gmail.com  
RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=837698](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=837698)  
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57193125770>

## **On the issue of deformation characteristics of chlor-magnesian composites for building purposes of various types of structure**

**Abstract.** The article discusses an integrated approach to the strategically important process of transition of various sectors of the economy of the Russian Federation to new types of materials and design methods. The necessity of carrying out comprehensive research both on the development and on a comprehensive study of new materials to ensure their effective application and safe operation is argued. On the example of chlorine magnesia composites of various types of structures for the construction industry, it is shown that in the presence of unique properties and the coincidence of many basic performance characteristics with those of known analogous materials, there may be significant differences in other fundamentally important properties, in particular, characterizing the deformation changes in the material under the influence of loads. This article describes the study of one of the basic deformation characteristics — the modulus of elasticity for chlor-magnesian concretes with various types of structures and compares them with similar characteristics of concretes based on Portland cement. Samples of chlorine magnesia composites were made using raw materials from the Chelyabinsk region, the studies were carried out in accordance with the test methods regulated by state standards. In the course of the study, it was found that magnesium chloride composites of all types of structures have lower elastic modulus, which characterizes longitudinal deformations under short-term loading, than composites based on Portland cements similar in structure. Thus, structures based on chlor-magnesia concretes will work less resiliently than structures based on Portland cement concretes. This aspect must be taken into account in the process of carrying out design calculations when working with this type of material.

**Keywords:** new materials; deformation properties; modulus of elasticity; prismatic strength; longitudinal deformations; chlorine-magnesian matrix; portland-cement concretes