

УДК 691.3

ВЛИЯНИЕ ТИПА АРМИРОВАНИЯ ГИПСОБЕТОНА НА ЕГО СВОЙСТВА

*П.А. Каляскин, В.Б. Петропавловская, Т.Р. Баркая,
К.С. Петропавловский, Т.Б. Новиченкова
Тверской государственный технический университет (г. Тверь)*

© Каляскин П.А., Петропавловская В.Б., Баркая Т.Р.,
Петропавловский К.С., Новиченкова Т.Б., 2023

Аннотация. Статья является обзором способов армирования гипсобетонов. Современное строительство требует постоянного поиска новых эффективных, экологичных и низких по стоимости компонентов. Этим требованиям могут удовлетворять гипсовые материалы. В настоящее время они широко используются для внутренних отделочных работ, для производства ограждающих конструкций и декоративных элементов. Композитные гипсовые материалы являются одними из самых прогрессивных строительных компонентов, благодаря экономичности ввиду широкой распространенности гипса, экологичности, огнестойкости, простоте монтажа и низкой энергоемкости производства, но имеют ряд недостатков, таких как хрупкость и низкие показатели механических характеристик, что ограничивает их дальнейшее применение. Армирование гипсовых материалов значительно повышает прочностные характеристики, однако создание композитных материалов на основе гипса – одна из развивающихся и малоизученных областей в сфере производства материалов. Этот обзор служит основой для дальнейших исследований способов улучшения характеристик материалов на основе гипса с применением различного армирования для расширения сферы использования гипсовых изделий и строительных смесей на основе гипса.

Ключевые слова: гипсобетон, армирование, регулирование свойств.

DOI: 10.46573/2658-7459-2023-1-27-41

ВВЕДЕНИЕ

Бетон – это искусственный каменный материал, получаемый в результате формирования и твердения смеси вяжущего, крупного и мелкого заполнителя и воды. Бетон является одним из универсальных строительных и отделочных материалов, объем его потребления составляет на сегодняшний день порядка 10 млрд т в год [1], что требует использования 3 % всей вырабатываемой человечеством энергии и приводит к выбросу 8 % от всех парниковых газов [2]. Согласно [3] 90–95 % выбросов происходит при производстве цемента. В настоящий момент строительная индустрия нацелена на поиск энергоэффективных материалов, оказывающих минимальное отрицательное воздействие на окружающую среду [4]. При этом значительное влияние на стоимость бетона как наиболее популярного современного строительного материала оказывает рациональный выбор вяжущего вещества. Классическим и наиболее распространенным решением является использование альтернативного вяжущего, производство которого не наносит вред здоровью рабочих при производстве (сухим и мокрым методами [5]), а также не загрязняет окружающую среду выбросами хлор-, фторуглеродов, углекислого и

сернистого газов, а воду и почву – твердыми бытовыми отходами [6]. Примером такого вяжущего может служить гипсовое вяжущее – один из самых древних строительных материалов [7, 8]. Его получают путем обработки двуводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, а также отходов промышленности. Гипсовые и ангидритовые вяжущие широко используются при производстве сухих строительных и закладочных смесей, гипсовых штукатурок и шпаклевок [8–10], в качестве затирочных смесей [10–12], а также для изготовления наливных полов и в качестве вяжущего вещества в различных композитах [13–16].

Сульфаты кальция в природе чаще всего представлены гипсом $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и ангидритом CaSO_4 , которые образуются в основном осадочным способом в эвапоритовых бассейнах аридного климата. На большой глубине погружения осадков сульфатов кальция в земной коре происходит преобразование гипса в ангидрит [17]. В общем виде получение полуводного гипса из двуводного с помощью термической обработки можно представить в виде выражения



В ходе твердения происходит обратная реакция гидратации.

Возможно также получение гипса из отходов производства гипсовых изделий повторной термической обработкой. Такое использование вторичного сырья снижает нагрузку на окружающую среду [18], однако этот способ практически не применяется в промышленности из-за получаемых высоких показателей по водопотребности, а следовательно, низких по прочности.

При термической обработке в открытых печах при температуре 150–180 °С свободная вода в качестве продукта реакции образует огромное количество мельчайших пор, которые уменьшают качество и ухудшают характеристики получаемого гипса. Этот гипс, впоследствии измельченный, называется строительным, или гипсом β -модификации. Изготовление высокопрочного гипса α -модификации технологически более сложно, но получаемый продукт обладает лучшими свойствами: благодаря нагреванию под высоким давлением в автоклавах до температуры 90–130 °С у α -гипса формируется геометрическая кристаллическая структура, в то время как структура β -модификации больше похожа на хлопьевидные скопления небольших кристаллов. Строение химически одинаковых модификаций отражается на свойствах: α -гипс более прочный и лучше подходит для конструкций, в которых требуется высокая прочность композитов. В то же время гипс β -модификации прост в изготовлении, поэтому также имеет широкое применение во многих отраслях человеческой деятельности. Гипс и изделия из него обладают множеством свойств (таких как легкость, низкая теплопроводность и высокие теплостойкость, огнеупорность, звукопоглощение, гладкая и тонкая поверхность, простота применения в строительстве и т.д.) [19]. Его основные характеристики:

1. Быстрое схватывание и затвердевание, невысокая плотность. После смешивания строительного гипса с водой раствор начинает терять пластичность в течение 5 мин [20, 21] и полностью затвердевает до состояния камня в течение 6–30 мин. Теоретически, поскольку полуводный гипс гидратирует до двуводного, ему требуется всего лишь 18,6 % воды от собственного веса. Однако для того чтобы сохранить необходимую пластичность и удобоукладываемость, ему нужна вода в количестве от 60 до 80 % от собственного веса. После затвердевания излишняя влага испаряется, оставляя в затвердевшем гипсе множество пор, что снижает его прочность. Для контролирования диапазона времени схватывания гипса в него могут добавлять ингибиторы твердения, такие как различные кислоты (лимонная, яблочная, винная, поликарбонные); этилацетат, сульфат калия, бура,

клеевые растворы, например столярного или латексного клея [22, 23]. Выбор замедлителя твердения происходит исходя из условия применения конечного гипсодержащего продукта, требований к его свойствам. Использование замедлителей твердения увеличивает время схватывания до 20–30 мин [20, 21]. Авторы [21] отмечают, что при повышении концентрации замедлителей наблюдается увеличение времени схватывания растворов, однако после достижения определенной концентрации ингибиторов конечный продукт уменьшает прочностные характеристики. При одинаковом замедляющем действии костный клей оказывает наименьшее негативное влияние на механические свойства.

2. Высокие пористость, звуко- и теплоизоляционные свойства. Гипс при твердении образует большое количество пор, которое может достигать 50 % [19]. Таким образом, гипс обладает низким коэффициентом теплопроводности по сравнению с классическими материалами. При этом за счет регулируемого быстрого схватывания гипс возможно использовать в 3D-печати [24, 25], получая благодаря высокой пористости эффективные звукоизоляционные изделия. Однако при такой высокой пористости из-за способности гипса к впитыванию излишков атмосферной влаги испытания на морозостойкость реализуются худшим образом, так как ускоряется разрушение образца.

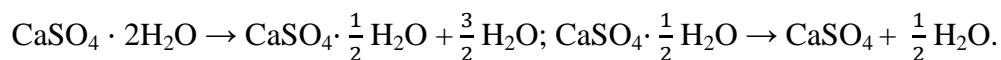
Теплотехнические свойства гипса возможно улучшить введением материалов, способных изменять фазовый состав [26]. Эти материалы аккумулируют излишки тепла днем и излучают их ночью, повышая тепловую инертность конечного композита. В то же время к одним из наиболее энерго- и акустически эффективных гипсовых композитов можно отнести пеногипс. Результаты [27] показали, что гипсовая пена имеет потенциал для тепловой и акустической изоляции гражданских зданий и является более эффективной, чем материалы, используемые в настоящее время.

3. Изменение в объеме. Гипс при твердении увеличивается в объеме на 0,6 %. Это очень важное свойство гипса, которое позволяет применять его во многих областях деятельности человека. Расширение оказывается полезным при использовании гипса в качестве формовочного материала [23], так как позволяет компенсировать усадку металлических форм. При формовании крупных изделий со сложной геометрической формой применяют добавки, нивелирующие изменения гипса в объеме.

4. Высокая паропроницаемость. Благодаря большой теплоемкости строительный гипс обладает способностью в некоторой степени регулировать микроклимат помещения. Высокая паропроницаемость позволяет ограждающим конструкциям из гипса пропускать излишки влаги, что в совокупности с тенденцией пор внутри материала абсорбировать пар из воздуха позволяет материалу регулировать уровень влажности воздуха в помещении [28].

5. Низкая водостойкость. Затвердевший гипс гигроскопичен, в воде медленно диссоциирует, поэтому при постоянном увлажнении теряет прочность и разрушается. Из-за этих особенностей его не используют для внешних отделочных работ и в помещениях с влажностью выше 60 %.

6. Высокая огнеупорность. Строительный гипс имеет малый коэффициент теплопередачи и поэтому медленно отводит излишки тепла от конструкции. Водяной пар, образующийся при нагревании двуводного гипса, испаряется, что может предотвратить распространение огня. При этом происходит эндотермическая реакция дегидратации [29]:



Однако после того как гипс обезвоживается, интенсивность сопротивления его огню снижается, поэтому строительный гипс обладает невысокой огнестойкостью [19]. Исследования [29] указывают на видимые изменения сопротивления гипсобетона огневому воздействию при армировании его стекловолокном или вермикулитом: изменяется не только его механические свойства во время термического воздействия, но и характер растрескивания внутри изделий.

Численные и экспериментальные исследования [30–33] говорят о возможности с достаточной точностью предсказать движение тепловой энергии в толще строительных конструкций с защитными слоями, выполненными из гипса (вплоть до частичного разрушения конструкций). Полученные значения говорят об эффективности применения гипсовых композитов для защиты конструкций и их частей от огневого воздействия.

Ползучесть. При постоянных высоких нагрузках гипсобетон необратимо деформируется. В работе [34] отмечается, что не существует экспериментальных данных, подтверждающих наличие отдельного механизма ползучести для гипса. Авторы [34–36] рассматривают ползучесть гипса как ползучесть раствора под давлением (pressure solution creep), что предполагает растворение и рекристаллизацию гипса в поверхностных слоях воды на локальном уровне, в местах контакта между сцепленными кристаллами. Повышение влажности приводит к увеличению толщины слоя воды между кристаллами гипса. Когда внешняя механическая нагрузка вызывает напряжение на границах раздела двух кристаллов, местная растворимость гипса возрастает. В работе [34] на базе этой концепции был проведен ряд опытов, основанных на формировании кристаллов различного размера из-за разной температуры при твердении, доказывающих значительное влияние поверхности игольчатых кристаллов двуводного гипса на ползучесть материала. Был сделан вывод о влиянии отношения массы воды затворения и гипса. Так, при этом соотношении, которое равно или меньше 0,25, ползучесть образцов полностью отсутствовала. В исследованиях [35, 36] были рассмотрены борная и винная кислоты, натриевая соль полиаминокарбоновой кислоты ($C_{10}H_{16}O_8$), нитрилотриметилфосфоная кислота ($C_3H_{12}NO_9P_3$) в двух различных заводских исполнениях, гекса-калиевая соль ($C_{10}H_{22}K_6N_2O_{12}P_4$) и триметафосфат натрия ($Na_3P_3O_9$) в качестве добавок к гипсовому вяжущему, потенциально способных уменьшить ползучесть материала. Полученное снижение ползучести было объяснено комплексной механической стабилизацией раствора путем склеивания игольчатых кристаллов гипса с образованием поликристаллической структуры.

7. Коррозионная активность. Поскольку в составе гипса есть негидратированные молекулы воды, этот материал обладает слабокислой средой.

Армирование

Согласно многим исследованиям [13, 19, 22, 37], гипсобетоны без армирования разрушаются с малыми пластическими деформациями, т.е. как хрупкие материалы. Чтобы этого избежать, гипсобетон армируют различными типами армирования.

Армирование с помощью арматурных стержней

Исследования [7, 38] говорят о возможном рН затвердевающего гипсобетона в диапазоне $1,2 < \text{pH} < 8$, что делает классическую стальную арматуру без дополнительного покрытия невозможным. При этом очевидно, что использование такого метода изменит сцепление арматуры и бетона, а также приведет к существенному подорожанию производства изделия из-за увеличенной трудоемкости при создании и возникновения дополнительных расходов на защитные покрытия. Современная арматура, используемая в

гипсобетонах, представляет собой неметаллическую (т.е. композитную) арматуру, получаемую путем скрепления неметаллических волокон различными композитными составами. В статье [39] автор выделяет основные виды композитной арматуры: стеклокомпозитную, базальтокомпозитную, углекомпозитную, арамидокомпозитную и комбинированную композитную.

Композитная арматура обладает рядом преимуществ: равным температурным коэффициентом расширения арматуры и бетона, предотвращающим растрескивание изделий под действием изменений температуры; коррозионной стойкостью; низкой тепло- и электропроводностью [39, 40]. В работах [39, 41, 42] отмечается, что данный тип арматуры обладает несколькими недостатками: малым модулем упругости, вызывающим сложности при проектировании; низкой теплостойкостью, из-за которой композитная арматура теряет свои свойства при нагреве более чем в 200 °С.

Проблема низкой теплостойкости была проанализирована в [42]. Авторы исследования рассмотрели вопрос теоретического расчета прочности балки, армированной композитной арматурой. Ученые, опираясь на проведенные ранее опыты, разработали математическую модель, в которой изучаемая балка разделяется на конечные элементы по всей ее длине и площади поперечного сечения. Затем производился расчет по нелинейно-деформационной модели с учетом дополнительного параметра – расчетной температуры в точке сечения в каждый момент времени. Работоспособность элемента ограничивается граничными условиями:

1. Изгибающий момент не превышает несущую способность.

2. Прогиб элемента не превышает 1/20 от его длины.

3. Скорость прогиба не превышает $L^2 / 9\ 000d$, где L – длина балки, d – высота сжатой зоны.

Данная модель была успешно применена в расчете двух экспериментальных балок. Была получена хорошая сходимость результатов расчетов и экспериментальных значений. Основываясь на этой модели, авторы проанализировали группы балок с различными вариациями их характеристик по каждому из исследуемых параметров и пришли к выводам об армировании балок:

1. Балки, армированные стеклокомпозитной арматурой, имеют более низкую огнестойкость, чем у обычных стальных железобетонных балок. Кроме того, бетонные балки, армированные арматурой из стеклокомпозита, имеют меньшую огнестойкость, чем балки с углекомпозитной арматурой.

2. Защитный слой бетона оказывает значительное влияние на скорость распространения температуры в теле балки, на огнестойкость конструкции в целом. Таким образом, утолщение защитного слоя может повысить теплостойкость композитного армирования.

3. Значительное влияние оказывают внешние воздействия и тип закрепления балки: обыкновенная балка с закреплением в продольном перемещении показывает лучшие результаты, чем балка без ограничения в продольном перемещении.

Таким образом, недостаток теплостойкости композитной арматуры нивелируется грамотным расчетом и проектированием конструкций.

Армирование фиброй

Гипс, армированный волокнами, является распространенным строительным материалом. В нем короткие волокна с высокой прочностью на растяжение внедряются в гипсовую матрицу для получения дополнительных прочных и легких строительных материалов [37]. Армирование гипсовых композитов фиброй было рассмотрено в работах

[13, 15, 16, 22, 37]. В работе [13] было проанализировано армирование древесной фиброй 0–7,5 % по весу, которое ухудшило прочность на сжатие и изгиб. Аналогичная ситуация наблюдалась при армировании тонких гипсовых композитов джутовыми волокнами [22]. При этом авторы [22] пришли к выводу, что подобное снижение прочности обусловлено низким качеством обработки фибры или ее полным отсутствием, которое в итоге сказывается на адгезии бетона и фибры. Обработка поверхности различными методами уменьшило снижение прочности образцов. В то же время образцы, армированные фиброй на основе стекломата, несколько увеличили прочность на изгиб. Прочность образцов с таким типом армирования растет по мере увеличения длины фибры до достижения плато графика прочности, после чего прочность образцов начинает в большей степени зависеть от качества предварительной обработки и адгезии между фиброй и бетоном [16]. При этом прочность гипсофибробетонов на натуральных волокнах, а именно на обработанных NaOH волокнах джута Конго, обладает рядом преимуществ перед стекломатовым армированием: имеет высокие прочностные и термические свойства, а также предотвращает образование и раскрытие трещин при аутогенной усадке.

В работе [37] были исследованы и испытаны гипсовые композиты на основе полипропиленовых волокон и волокон из поливинилового спирта. Авторы отмечают, что добавление этой фибры может значительно сократить время схватывания у раствора, а их дозирование и увеличение в размере снижают пластичность получаемой смеси. При этом граница раздела фаз между волокнами из поливинилового спирта и кристаллами дигидрата была плотной и небольшой (по сравнению с образцом, армированным полипропиленовыми волокнами), что в итоге отразилось на прочности: оба материала значительно повысили прочность на сжатие и изгиб, при этом волокна из поливинилового спирта имели больший эффект. В работе [15] также проводились исследования, направленные на получение гипсового композита, армированного полипропиленовой фиброй, однако автор отмечает, что обрабатываемость смеси при добавлении фибры количеством менее 3,5 % снижает обрабатываемость незначительно, а прочность на сжатие и изгиб – уменьшается.

При применении в бетонах армирования фиброй различных размеров и химического состава может быть достигнут синергетический эффект [43]. Таким образом, использование фибры в гипсовых композитах (независимо от ее происхождения) позволяет преобразовать хрупкое разрушение материала в пластичное через восприятие части нагрузки даже после формирования крупных трещин. Тем временем прочность образцов увеличивается или уменьшается в зависимости от качества адгезии фибры и бетона, что делает применение искусственных волокон при армировании более предпочтительным.

Комплексное армирование

В исследовании [44] проводились испытания различных вариаций армирования образцов на портландцементе с добавками микрокремнезема (10 % по весу) и отходов порошка стекла (25 % по весу). Был испытан ряд образцов-кубиков и образцов-балочек на сжатие и изгиб соответственно. Исследователи пришли к выводу о том, что добавление 1,5 % волокон в неармированный образец привело к увеличению прочности бетона на 4,6 %. В то же время образцы-балочки, армированные композитной арматурой, показали прочность при изгибе на 18 % меньше, чем у образцов со стальной арматурой. Этот недостаток был устранен в образце с комплексным армированием, в котором при добавлении 1,5 % полипропиленовых волокон в балку, армированную стеклопластиковой арматурой, получилось достигнуть прочности, сравнимой с балкой, армированной

стальной арматурой. При этом во всех образцах добавление полипропиленовой фибры обеспечило пластичное разрушение.

Наноармирование

Современные исследования показывают, что структура бетонов может оказывать большое влияние на конечные свойства композита. Модификацию структуры для гипсобетонов возможно произвести путем внедрения в нее нитевидных кристаллов этtringита, которые армируют гипсовую матрицу [45]. В работе [46] указывается, что применение этtringита в составе цементной композиции позволяет повысить прочностные характеристики вяжущего как в ранние, так и в более поздние сроки твердения. Увеличение отношения количества этtringита с малыми диаметрами (≤ 10 мкм) к количеству этtringита с большими диаметрами позволяет повысить эффективность «нанозатравки». Согласно исследованию [47], это может происходить из-за увеличения дзета-потенциала поверхности фибры при уменьшении ее диаметра, что способствует повышению адгезии частиц твердой фазы вокруг фибры.

Возможно, помимо использования кристаллов, добавление в смесь фибры с размерами, близкими к размерам кристаллов. Такие добавки следует отнести к нанозаполнителям. Поскольку наночастицы имеют огромную удельную поверхность, они могут при малых концентрациях в объеме усиливать матрицу межфазными граничными слоями, одновременно с этим заполняя молекулярный свободный объем из-за своего малого размера, повышая тем самым плотность упаковки [48].

Для армирования могут быть использованы нанодисперсные модификаторы, способствующие формированию в процессе твердения дополнительных структурных связей [49]. Так, упрочнение структуры гипсобетонов и повышение их механических характеристик возможны за счет дополнительного армирования структуры кристаллами этtringита [49]. При этом необходимо учитывать, что армирующие элементы на всех масштабных уровнях армирования бетонов, в том числе и наноуровне, могут иметь различия, например, в агрегатном, фазовом составе, размерах, форме, их ориентации, что безусловно будет отражаться на сопротивлении разрушению материала (композита) [50]. Тогда структура проектируемой строительной конструкции может рассматриваться как пространственно-геометрическая система, обладающая многоуровневой «масштабной иерархичностью», представленная совокупностью ее элементов [50].

Проведенное исследование показало, что гипсобетон является перспективным материалом в современной строительной отрасли. Он обладает многими преимуществами перед прочими традиционными материалами, однако сегодня в РФ используется редко при строительстве зданий. Основные причины такого положения дел: недостаточная освещенность в нормативной документации ряда вопросов, касающихся расчета и производства конструкций; отсутствие автономных или интегрированных программных комплексов, позволяющих решать подобные задачи.

ВЫВОДЫ

Для проектирования смесей для конструкционных гипсовых композитов следует использовать α -модификацию гипса, поскольку она обладает более плотной структурой и имеет значительный прочностной потенциал.

Использование стального армирования в гипсовых композитах невозможно без дополнительной защиты арматуры из-за коррозионной активности материала. Следует отдавать предпочтение армирующим материалам, устойчивым к слабокислым средам.

Нужно точно определять модуль упругости арматурных стержней и бетона, поскольку неправильно подобранный материал стержня приведет к его неэффективной работе, что потребует использования больших диаметров этих арматурных стержней.

Армирование фиброй, различной по размеру, форме, ориентации, составу и происхождению, может обеспечить синергетический эффект (равно как и одновременное использование армирующих элементов и арматуры).

В дальнейшем наиболее перспективными исследованиями, по нашему мнению, будут те, которые направлены на получение уточненных данных о расчетных характеристиках гипсобетона, модуля упругости и ползучести гипсового камня. Эти значения необходимы для расчета элементов из гипсобетона по нелинейно-деформационной модели, а также компьютеризированного расчета конструкций по огнестойкости. При этом наиболее важным представляется изучение гипсобетонов на основе комплексного армирования с использованием композитной арматуры и дополнительного микро- и наноармирования.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 21-79-30004).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев Б.В., Фаликман В.Р. Бетон и железобетон в эпоху устойчивого развития // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. № 2. С. 30–38.
2. Sabbie A. Miller, Frances C. Moore climate and health damages from global concrete production // *Nature climate change*. 2020. № 10. Pp. 439–443.
3. Miller S.A., Horvath A., Monteiro P.J.M. Readily implementable techniques can cut annual CO₂ emissions from the production of concrete by over 20 % // *IOP Publishing*. 2016. № 11 (7). P. 074029.
4. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л., Житковский В.В. Расчет составов мелкозернистого гипсобетона на плотных заполнителях // *Строительные материалы*. 2012. № 10. С. 48–49.
5. Чомаева М.Н. Цементное производство – вред для здоровья человека // *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2018. Vol. 1–1. С. 6–8.
6. Мусина Э.Б. Оценка влияния цементной промышленности на загрязнение окружающей среды на примере АО «Карцемент» // *Гидрометеорология и экология*. 2020. № 2. С. 73–80.
7. Singh M., Garg M. Retarding action of various chemicals on setting and hardening characteristics of gypsum plaster at different pH // *Cement and Concrete Research*. 1997. Pp. 947–950.
8. Freire M.T., Silva A.S., Veiga M.R., Brito J. Studies in ancient gypsum based plasters towards their repair: Mineralogy and microstructure // *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 196. Pp. 512–529.
9. Freire M.T., Veiga M.R., Silva A.S., Brito J. Restoration of ancient gypsum-based plasters: Design of compatible materials // *Cement and Concrete Composites*. 2021. Vol. 202. Pp. 319–331.
10. Potskhishvili G., Pasian C., Piqué F. Development of a gypsum-based grout for the stabilisation of gypsum-based plasters // *6th Historic Mortars Conference*. Slovenia: Ljubljana, 2022.

11. Caillaha M., Moura F. Technical feasibility for use of FGD gypsum as an additive setting time retarder for portland cement // *Journal of Materials and Research and Technology*. 2017. Vol. 7. Iss. 2. Pp. 190–197.
12. Chernyshova N., Lesovik V., Fediuk R., Timokhin R. Enhancement of fresh properties and performances of the eco-friendly gypsum-cement composite (EGCC) // *Construction and Building Materials*. 2020. № 11. Pp. 1–10.
13. Hošťálková M., Vavřínová N., Longauerová V. Mechanical properties of the gypsum composite reinforcement with wooden fibers // *Int. Rev. Appl. Sci. Eng.* 2019. № 10 (1). Pp. 15–21.
14. Ouakarrouch M., Azhary K.E., Laaroussi N., Garoum M., Kifani-Sahban F. Thermal performances and environmental analysis of a new composite building material based on gypsum plaster and chicken feathers waste // *Thermal Science and Engineering Progress*. 2020. № 19. Pp. 100642.
15. Romero-Gomez M.I., Pedreño-Rojas M.A., Perez-Galvez F., Rubio-de-Hita P. Characterization of gypsum composites with polypropylene fibers from non-degradable wet wipes // *Journal of Building Engineering*. 2020. № 34 (8). Pp. 101874.
16. Kengoh J.B., Etape E.P., Namondo B.V., Foba-Tendo J., Nafu Y.R., Fabien B.E. Influence of urena lobata fibre treatment on mechanical performance development in hybrid urena lobata: fibre / Gypsum Plaster Composites // *Advances in Materials Science and Engineering*. 2021. № 12. Pp. 1–10.
17. Бахтин А.И., Кольчугин А.Н., Ескин А.А. Геохимические особенности осаждения // *Ученые записки Казанского университета*. 2012. Т. 154. С. 55–60.
18. Pedreno-Rojas M.A., Fort J., Cerný R., Rubio-de-Hita P. Life cycle assessment of natural and recycled gypsum production in the Spanish context // *Journal of Cleaner Production*. 2020. № 253 (4). Pp. 120056.
19. Li Y., Ren S. Building decorative materials. Elsevier, 2011. 420 p.
20. Торпищев Ш.К., Тлеуленова Г.Т., Кабдышева Б.Н. Эффективный замедлитель схватывания гипсовых вяжущих // *Наука и техника Казахстана*. 2004. № 1. С. 168–171.
21. Zhang Y., Yang J., Cao X. Effects of several retarders on setting time and strength of building gypsum // *Construction and Building Materials*. 2020. № 240 (07). Pp. 117927.
22. Ngah S.A., Dams B., Ansell M.P., Stewart J., Hempstead R., Ball R.J. Structural Performance of Fibrous Plaster. Part 1: Physical and mechanical properties of hessian and glass fibre reinforced gypsum composites // *Construction and Building Materials*. 2020. № 259 (1). Pp. 120396.
23. Нурт ван Р. Основы стоматологического материаловедения. М.: КМК-Инвест, 2002. 304 с.
24. Dantasa A.C.S., Scalabrinb D.H., Fariasb R.D., Barbosaa A.A., Ferraza A.V., Wirthc C. Design of highly porous hydroxyapatite scaffolds by conversion of 3D-printed gypsum structures – a comparison study // *Procedia CIRP*. 2016. № 49. Pp. 55–60.
25. Shakora P., Nejadia S., Paulb G., Sanjayanc J. Dimensional accuracy, flowability, wettability, and porosity in inkjet 3DP for gypsum and cement mortar materials // *Automation in Construction*. 2020. Vol. 110. Pp. 102964.
26. Zhang Y., Tao W., Wang K., Li D. Analysis of thermal properties of gypsum materials incorporated with microencapsulated phase change materials based on silica // *Renewable Energy*. 2020. № 149 (3).

27. Arroyo F.N., Christoforo A.L., Salvini V.R., Pelissari P.I.B.G.B., Pandolfelli V.C. Development of plaster foam for thermal and acoustic applications // *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 262. Pp. 120800.
28. Santos T., Idália Gomes M., Santos Silva A., Ferraz E., Faria P. Comparison of mineralogical, mechanical and hygroscopic characteristic of earthen, gypsum and cement-based plasters // *Construction and Building Materials*. 2020. № 254. Pp. 1–11.
29. Du Z., She W., Zuo W., Hong J., Zhang Y., Miao C. Foamed gypsum composite with heat-resistant admixture under high temperature: Mechanical, thermal and deformation performances // *Cement and Concrete Composites*. 2020. № 108. Pp. 103549.
30. Nassif A.Y., Yoshitake I., Allam A. Full-scale fire testing and numerical modelling of the transient thermo-mechanical behaviour of steel-stud gypsum board partition walls // *Construction and Building Materials*. 2014. № 59. Pp. 51–61.
31. Thi V.D., Khelifa M., Oudjene M., El Ganaoui M., Rogaume Y. Numerical simulation of fire integrity resistance of full-scale gypsum-faced cross-laminated timber wall // *International Journal of Thermal Sciences*. 2018. № 132. Pp. 96–103.
32. Chen W., Ye J., Zhao Q., Jiang J., Liu K., Zhang M., Xu C. Mid-scale and full-scale experiments of cavity-insulated gypsum and calcium-silicate sheathed CFS walls under different fire exposures // *Thin-Walled Structures*. 2020. № 155 (1). Pp. 1–21.
33. Chen W., Ye J., Zhao Q., Jiang J. Full-scale experiments of gypsum-sheathed cavity-insulated cold-formed steel walls under different fire conditions // *Journal of Constructional Steel Research*. 2020. № 164. Pp. 1–21.
34. Schug B., Mandel K., Schottner G., Shmeliov A., Nicolosi V., Baese R., Pietschmann B., Biebl M., SEXTL G. A mechanism to explain the creep behavior of gypsum plaster // *Cement and Concrete Research*. 2017. № 98. Pp. 122–129.
35. Schug B., Mandel K., Schottner G., Shmeliov A., Nicolosi V., Baese R., Förthner S., Pietschmann B., Biebl M., SEXTL G. Revealing the working principle of sodium trimetaphosphate as state of the art anti-creep agent in gypsum plaster // *Cement and Concrete Research*. 2018. № 107. Pp. 182–187.
36. Pachon-Rodriguez E.A., Guillon E., Houvenaghel G., Colombani J. Wet creep of hardened hydraulic cements – Example of gypsum plaster and implication for hydrated Portland cement // *Cement and Concrete Research*. 2014. № 63. Pp. 67–74.
37. Zhu C., Zhang J., Peng J., Cao W., Liu J. Physical and mechanical properties of gypsum-based composites reinforced with PVA and PP fibers // *Construction and Building Materials*. 2018. № 163. Pp. 695–705.
38. Guan B., Shen Z., Wu Z., Yang L., Ma X. Effect of pH on the preparation of α -calcium sulfate hemihydrate from FGD gypsum with the hydrothermal Method // *Journal of the American Ceramic Society*. 2008. № 91 (12). Pp. 3835–3840.
39. Полищук А.С. Композитная арматура: история и особенности // *Вестник магистратуры*. 2018. № 7 (82). С. 31–32.
40. ACI 440.1R-15 Full-scale experiments of gypsum-sheathed cavity-insulated cold-formed steel walls under different fire conditions, American Concrete Institute, 2015.
41. Долгих М.В., Федосова О.Г., Дергач И.А., Ондар А.А., Преимущества и недостатки применения композитной арматуры // *Инновации и инвестиции*. 2019. № 10. С. 298–300.
42. Yu B., Kodur V.K.R. Factors governing the fire response of concrete beams reinforced with FRP rebars // *Composite Structures*. 2013. № 100. Pp. 257–269.
43. Abbass W., Khan M.I. Mechanical properties of Hybrid steel/PVA fiber reinforced high strength concrete // *MATEC Web of Conferences*. 2018. № 199 (9). Pp. 11005.

44. Orouji M., Najaf E. Effect of GFRP rebars and polypropylene fibers on flexural strength in high-performance concrete beams with glass powder and microsilica // *Case Studies in Construction Materials*. 2022. № 8.150.
45. Петропавловский К.С. Самоармированные гипсовые материалы с комплексным модификатором. Дисс... канд. техн. наук. Москва. 2020. 208 с.
46. Еленова А.А. Разработка комплексной добавки для ускоренного твердения цементного камня. Дисс... канд. техн. наук. Москва. 2017. 164 с.
47. Моргун Л.В., Вотрин Д.А., Моргун В.Н. Влияние диаметра дисперсной арматуры на скорость фазового перехода в фибропенобетонных смесях // *Строительные материалы*. 2018. № 11. С. 27–31.
48. Хозин В.Г., Старовойтова И.А., Майсурадзе Н.В., Зыкова Е.С., Халикова Р.А., Корженко А.А., Тринеева В.В., Яковлев Г.И. Наномодифицирование полимерных связующих для конструкционных композитов // *Строительные материалы*. 2013. № 2. С. 4–10.
49. Петропавловский К.С., Петропавловская В.Б., Бурьянов А.Ф., Новиченкова Т.Б., Фишер Х.-Б. Самоармированные гипсовые композиты // *Строительные материалы*. 2014. № 7. С. 19–22.
50. Чернышов Е.М., Дьяченко Е.И., Макеев А.И. Неоднородность структуры и сопротивление разрушению конгломератных строительных композитов: вопросы материаловедческого обобщения и развития теории. Воронеж: ВГАСУ, 2012. 98 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

КАЛЯСКИН Петр Александрович – аспирант, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: dr.d1708@yandex.ru

ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ Виктория Борисовна – доктор технических наук, профессор кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: victoriapetrop@gmail.com

БАРКАЯ Темур Рауфович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: btrs@list.ru

ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ Кирилл Сергеевич – кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: kspetropavlovsky@gmail.com

НОВИЧЕНКОВА Татьяна Борисовна – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: tanovi.69@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Каляскин П.А., Петропавловская В.Б., Баркая Т.Р., Петропавловский К.С., Новиченкова Т.Б. Влияние типа армирования гипсобетона на его свойства // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2023. № 1 (17). С. 27–41.

**INFLUENCE OF GYPSUM CONCRETE REINFORCEMENT TYPE
ON ITS PROPERTIES**

*P.A. Kalyaskin, V.B. Petropavlovskaya, T.R. Barkaya, K.S. Petropavlovskii,
T.B. Novichenkova*
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. The article is an overview of the methods of reinforcement of gypsum concrete. Modern construction requires a constant search for new efficient, environmentally friendly and low-cost components. Gypsum materials can meet these requirements. Currently, they are widely used for interior finishing works, for the production of enclosing structures and decorative elements. Composite gypsum materials are among the most advanced building components, due to their cost-effectiveness due to the widespread use of gypsum, environmental friendliness, fire resistance, ease of installation and low energy consumption of production, but they have a number of disadvantages, such as fragility and low mechanical characteristics, which limits their further use. The reinforcement of gypsum materials significantly increases the strength characteristics, but the creation of composite materials based on gypsum is one of the developing and little-studied areas in the field of materials production. This review serves as a basis for further research on ways to improve the characteristics of gypsum-based materials using various reinforcements to expand the scope of use of gypsum products and gypsum-based building mixes.

Keywords: gypsum concrete, reinforcement, regulation of properties.

REFERENCES

1. Gusev B.V., Falikman V.R. Concrete and reinforced concrete in the era of sustainable development. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2016. No. 2, pp. 30–38.
2. Sabbie A. Miller, Frances C. Moore climate and health damages from global concrete production. *Nature climate change*. 2020. No. 10, pp. 439–443.
3. Miller S.A., Horvath A., Monteiro P.J.M. Readily implementable techniques can cut annual CO₂ emissions from the production of concrete by over 20 %. *IOP Publishing*. 2016. No. 11 (7), pp. 074029.
4. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L., Zhitkovsky V.V. Calculation of compositions of fine-grained gypsum concrete on dense aggregates. *Stroitel'nye materialy*. 2012. No. 10, pp. 48–49.
5. Chomaev M.N. Cement production is the harm to human health. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2018. Vol. 1–1, pp. 6–8.
6. Musina E.B. Assessment of the impact of the cement industry on environmental pollution on the example of JSC «Kartsement». *Gidrometeorologiya i ekologiya*. 2020. No. 2, pp. 73–80.
7. Manjit Singh, Mridul Garg. Retarding action of various chemicals on setting and hardening characteristics of gypsum plaster at different pH. *Cement and Concrete Research*. 1997, pp. 947–950.
8. Freire M.T., Silva A.S., Veiga M.R., Brito J. Studies in ancient gypsum based plasters towards their repair: Mineralogy and microstructure. *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 196, pp. 512–529.
9. Freire M.T., Veiga M R., Silva A.S., Brito J. Restoration of ancient gypsum-based plasters: Design of compatible materials. *Cement and Concrete Composites*. 2021. Vol. 202, pp. 319–331.

10. Potskhishvili G., Pasian C., Piqué F. Development of a gypsum-based grout for the stabilisation of gypsum-based plasters. *6th Historic Mortars Conference*. Slovenia: Ljubljana, 2022.
11. Caillahua M., Moura F. Technical feasibility for use of FGD gypsum as an additive setting time retarder for portland cement. *Journal of Materials and Research and Technology*. 2017. Vol. 7. Iss. 2, pp. 190–197.
12. Chernyshova N., Lesovik V., Fediuk R., Timokhin R. Enhancement of fresh properties and performances of the eco-friendly gypsum-cement composite (EGCC). *Construction and Building Materials*. 2020. No. 11, pp. 1–10.
13. Hošťálková M., Vavřínová N., Longauerová V. Mechanical properties of the gypsum composite reinforcement with wooden fibers. *Int. Rev. Appl. Sci. Eng.* 2019. No. 10 (1), pp. 15–21.
14. Ouakarrouch M., Azhary K.E., Laaroussi N., Garoum M., Kifani-Sahban F. Thermal performances and environmental analysis of a new composite building material based on gypsum plaster and chicken feathers waste. *Thermal Science and Engineering Progress*. 2020. No. 19, pp. 100642.
15. Romero-Gomez M.I., Pedreño-Rojas M.A., Perez-Galvez F., Rubio-de-Hita P. Characterization of gypsum composites with polypropylene fibers from non-degradable wetwipes. *Journal of Building Engineering*. 2020. No. 34 (8), pp. 101874.
16. Kengoh J.B., Etape E.P., Namondo B.V., Foba-Tendo J., Nafu Y.R., Fabien B.E. Influence of urena lobata fibre treatment on mechanical performance development in hybrid urena lobata: fibre / Gypsum Plaster Composites. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2021. No. 12, pp. 1–10.
17. Bakhtin A.I., Kolchugin A.N., Eskin A.A. Geochemical features of deposition. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta*. 2012. Vol. 154, pp. 55–60.
18. Pedreno-Rojas M.A., Fort J., Cerný R., Rubio-de-Hita P. Life cycle assessment of natural and recycled gypsum production in the Spanish context. *Journal of Cleaner Production*. 2020. No. 253 (4), pp. 120056.
19. Li Y., Ren S. *Building decorative materials*. Elsevier, 2011. 420 p.
20. Torpishchev Sh.K., Tleulenova G.T., Kabdysheva B.N. Effective retarder of setting gypsum binders. *Nauka i tekhnika Kazahstana*. 2004. No. 1, pp. 168–171.
21. Zhang Y., Yang J., Cao X. Effects of several retarders on setting time and strength of building gypsum. *Construction and Building Materials*. 2020. No. 240 (07), pp. 117927.
22. Ngah S.A., Dams B., Ansell M.P., Stewart J., Hempstead R., Ball R.J. Structural Performance of Fibrous Plaster. Part 1: Physical and mechanical properties of hessian and glass fibre reinforced gypsum composites. *Construction and Building Materials*. 2020. No. 259 (1), pp. 120396.
23. Nurt van R. *Osnovy stomatologicheskogo materialovedeniya [Fundamentals of dental materials science]*. M.: KMK-Invest, 2002. 304 p.
24. Dantasa A.C.S., Scalabrin D.H., Farias R.D., Barbosaa A.A., Ferraza A.V., Wirth C. Design of highly porous hydroxyapatite scaffolds by conversion of 3D-printed gypsum structures – a comparison study. *Procedia CIRP*. 2016. No. 49, pp. 55–60.
25. Shakora P., Nejadia S., Paulb G., Sanjayanc J. Dimensional accuracy, flowability, wettability, and porosity in inkjet 3DP for gypsum and cement mortar materials. *Automation in Construction*. 2020. Vol. 110, pp. 102964.

26. Zhang Y., Tao W., Wang K., Li D. Analysis of thermal properties of gypsum materials incorporated with microencapsulated phase change materials based on silica. *Renewable Energy*. 2020. No. 149 (3).
27. Arroyo F.N., Christoforo A.L., Salvini V.R., Pelissari P.I.B.G.B., Pandolfelli V.C. Development of plaster foam for thermal and acoustic applications. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 262, pp. 120800.
28. Santos T., Idália Gomes M., Santos Silva A., Ferraz E., Faria P. Comparison of mineralogical, mechanical and hygroscopic characteristic of earthen, gypsum and cement-based plasters. *Construction and Building Materials*. 2020. No. 254, pp. 1–11.
29. Du Z., She W., Zuo W., Hong J., Zhang Y., Miao C. Foamed gypsum composite with heat-resistant admixture under high temperature: Mechanical, thermal and deformation performances. *Cement and Concrete Composites*. 2020. No. 108, pp. 103549.
30. Nassif A.Y., Yoshitake I., Allam A. Full-scale fire testing and numerical modelling of the transient thermo-mechanical behaviour of steel-stud gypsum board partition walls. *Construction and Building Materials*. 2014. No. 59, pp. 51–61.
31. Thi V.D., Khelifa M., Oudjene M., El Ganaoui M., Rogaume Y. Numerical simulation of fire integrity resistance of full-scale gypsum-faced cross-laminated timber wall. *International Journal of Thermal Sciences*. 2018. No. 132, pp. 96–103.
32. Chen W., Ye J., Zhao Q., Jiang J., Liu K., Zhang M., Xu C. Mid-scale and full-scale experiments of cavity-insulated gypsum and calcium-silicate sheathed CFS walls under different fire exposures. *Thin-Walled Structures*. 2020. No. 155 (1), pp. 1–21.
33. Chen W., Ye J., Zhao Q., Jiang J. Full-scale experiments of gypsum-sheathed cavity-insulated cold-formed steel walls under different fire conditions. *Journal of Constructional Steel Research*. 2020. No. 164, pp. 1–21.
34. Schug B., Mandel K., Schottner G., Shmeliov A., Nicolosi V., Baese R., Pietschmann B., Biebl M., SEXTL G. A mechanism to explain the creep behavior of gypsum plaster. *Cement and Concrete Research*. 2017. No. 98, pp. 122–129.
35. Schug B., Mandel K., Schottner G., Shmeliov A., Nicolosi V., Baese R., Förthner S., Pietschmann B., Biebl M., SEXTL G. Revealing the working principle of sodium trimetaphosphate as state of the art anti-creep agent in gypsum plaster. *Cement and Concrete Research*. 2018. No. 107, pp. 182–187.
36. Pachon-Rodriguez E.A., Guillon E., Houvenaghel G., Colombani J. Wet creep of hardened hydraulic cements – Example of gypsum plaster and implication for hydrated Portland cement. *Cement and Concrete Research*. 2014. No. 63, pp. 67–74.
37. Zhu C., Zhang J., Peng J., Cao W., Liu J. Physical and mechanical properties of gypsum-based composites reinforced with PVA and PP fibers. *Construction and Building Materials*. 2018. No. 163, pp. 695–705.
38. Guan B., Shen Z., Wu Z., Yang L., Ma X. Effect of pH on the preparation of a-calcium sulfate hemihydrate from FGD gypsum with the hydrothermal Method. *Journal of the American Ceramic Society*. 2008. No. 91 (12), pp. 3835–3840.
39. Polishchuk A.S. Composite reinforcement: history and features. *Vestnik magistratury*. 2018. No. 7 (82), pp. 31–32.
40. ACI 440.1R-15 Full-scale experiments of gypsum-sheathed cavity-insulated cold-formed steel walls under different fire conditions, American Concrete Institute, 2015.
41. Dolgikh M.V., Fedosova O.G., Dergach I.A., Ondar A.A., Advantages and disadvantages of using composite reinforcement. *Innovacii i investicii*. 2019. No. 10, pp. 298–300.

42. Yu B., Kodur V.K.R. Factors governing the fire response of concrete beams reinforced with FRP rebars. *Composite Structures*. 2013. No. 100, pp. 257–269.
43. Abbass W., Khan M.I. Mechanical properties of Hybrid steel/PVA fiber reinforced high strength concrete. *MATEC Web of Conferences*. 2018. No. 199 (9), pp. 11005.
44. Orouji M., Najaf E. Effect of GFRP rebars and polypropylene fibers on flexural strength in high-performance concrete beams with glass powder and microsilica. *Case Studies in Construction Materials*. 2022. No. 8.150.
45. Petropavlovskii K.S. Self-reinforced gypsum materials with a complex modifier. Cand. Diss. (Engineering). Moscow. 2020. 208 p.
46. Elenova A.A. Development of a complex additive for accelerated hardening of cement stone. Cand. Diss. (Engineering). Moscow. 2017. 164 p.
47. Morgun L.V., Votrin D.A., Morgun V.N. Influence of the diameter of dispersed reinforcement on the rate of phase transition in fibropen concrete mixtures. *Stroitel'nye materialy*. 2018. No. 11, pp. 27–31.
48. Khozin V.G., Starovoitova I.A., Maisuradze N.V., Zykova E.S., Khalikova R.A., Korzhenko A.A., Trineeva V.V., Yakovlev G.I. Nanomodification of polymer binders for constructional composites // *Stroitel'nye materialy*. 2013. No. 2, pp. 4–10.
49. Petropavlovskii K.S., Petropavlovskaya V.B., Buryanov A.F., Novichenkova T.B., Fisher H.-B. Self-reinforced gypsum composites. *Stroitel'nye materialy*. 2014. No. 7, pp. 19–22.
50. Chernyshov E.M., Dyachenko E.I., Makeev A.I. Neodnorodnost' struktury i soprotivlenie razrusheniyu konglomeratnykh stroitel'nykh kompozitov: voprosy materialovedcheskogo obobshcheniya i razvitiya teorii [Heterogeneity of structure and resistance to destruction of conglomerate building composites: issues of materials science generalization and theory development]. Voronezh: VGASU, 2012. 98 p.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

KALYASKIN Petr Alexandrovich – graduate student, FSBEI HE «Tver State Technical University», 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: dr.d1708@yandex.ru

PETROPAVLOVSKAYA Viktoriya Borisovna – doctor of technical sciences, professor of the department of building materials and structures, FSBEI HE «Tver State Technical University», 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: victoriapetrop@gmail.com

BARKAYA Temur Raufovich – candidate of technical sciences, head of the department of constructions and structures, FSBEI HE «Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: btrs@list.ru

PETROPAVLOVSKII Kirill Sergeevich – candidate of technical sciences, FSBEI HE «Tver State Technical University», 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: kspetropavlovsky@gmail.com

NOVICHENKOVA Tatiana Borisovna – candidate of technical sciences, associate professor of the department of building materials and structures, FSBEI HE «Tver State Technical University», 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: tanovi.69@mail.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Kalyaskin P.A., Petropavlovskaya V.B., Barkaya T.R., Petropavlovskii K.S., Novichenkova T.B. Influence of gypsum concrete reinforcement type on its properties // *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2023. No. 1 (17), pp. 27–41.