

Анализ сопротивления выдергиванию стержневых и винтовых крепежных элементов из древесно-минерального композита и конкурирующих строительных материалов

С.Н. Долматов

Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31, Красноярск, Россия

pipinaskus@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9297-3699>

Статья поступила 23.12.2024, принята 17.02.2025

Гвозди и винты широко используются для создания соединений между различными конструкциями в процессе монтажа и строительства. В работе проведен анализ сопротивления выдергиванию гвоздевых и винтовых крепежных элементов при использовании в качестве материала древесно-минерального композита (арболита), автоклавного газобетона и дерева. Эти строительные материалы находят широкое применение, особенно в сфере индивидуального жилищного строительства. В ходе эксперимента определялось сопротивление выдергиванию стального гладкого гвоздя 100×4 мм и шурупов-саморезов 4×55 и 6×50. Испытываемыми материалами послужили автоклавный газобетон D500, арболит D700, древесина сосны. Экспериментальными исследованиями установлено, что несущая способность гладкого стального гвоздя составляет для древесины 980 Н, для арболита 483 Н, для газобетона 107 Н. Выявлено, что несущая способность шурупа-самореза 4×55 составляет для древесины 5721 Н, для арболита – 1484 Н, для газобетона – 311 Н. Несущая способность шурупа-самореза 6×50 составляет для древесины 3950 Н, для арболита – 1109 Н, для газобетона – 753 Н. В случае применения газобетона автоклавного твердения для обеспечения сопоставимой с арболитом несущей способности требуется применение дюбель-анкеров. В работе сопоставлялись усилия сопротивления выдергиванию, полученные экспериментальным путем и расчетом по действующим нормативным документам. Определенная экспериментальным путем несущая способность гвоздя и саморезов в дереве оказалась существенно (в 2–3 раза) выше расчетной нормативной. Материалы работы могут быть использованы при расчетах и проектировании элементов конструкций зданий и сооружений, выполненных из древесно-минеральных композитов, дерева и газобетона в случае использования стержневых и винтовых крепежных элементов.

Ключевые слова: гвоздь, саморез, несущая способность, древесно-минеральный композит, дерево, газобетон

Analysis of resistance to pulling out of wood-mineral composite rod and screw fasteners and competing building materials

S.N. Dolmatov

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology; 31, Krasnoyarskii Rabochii Prospect, Krasnoyarsk, Russia

pipinaskus@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9297-3699>

Received 23.12.2024, accepted 17.02.2025

Nails and screws are widely used to create connections between various structures during the installation of structures and construction. The paper analyzes the pull-out resistance of nail and screw fasteners using wood-mineral composite (arbolite), autoclaved aerated concrete and wood as materials. These building materials are widely used, especially in individual housing construction. During the experiment, the pull-out resistance of a 100×4 mm smooth steel nail and 4×55 and 6×50 self-tapping screws is determined. The tested materials are autoclaved aerated concrete D500, arbolite D700, pine wood. Experimental studies have established that the load-bearing capacity of a smooth steel nail is 980N for wood, 483N for arbolite, and 107N for aerated concrete. The bearing capacity of a 4×55 self-tapping screw is 5721N for wood, 1484N for arbolite, and 311N for aerated concrete. The bearing capacity of a 6×50 self-tapping screw is 3950N for wood, 1109N for arbolite, and 753N for aerated concrete. In the case of autoclaved aerated concrete, dowel anchors must be used to ensure comparable bearing capacity. The work compares the resistance forces to pulling out obtained experimentally and by calculation according to current regulatory documents. The actual bearing capacity of a nail and self-tapping screws in wood turns out to be significantly (2...3 times) higher than the calculated standard. The materials of the work can be used in the calculations and design of structural elements of buildings and structures made of wood-mineral composites, wood and aerated concrete in the case of using rod and screw fasteners.

Keywords: nail, self-tapping screw, load-bearing capacity, wood-mineral composite, wood, aerated concrete.

Введение. В процессе строительства или монтажа конструкций одним из важнейших структурных компонентов является соединение или крепление между их элементами, поскольку жесткие и прочные крепления

представляют собой ключевую часть условия обеспечения безопасности, надежности и долговечности. Несущая способность и эксплуатационные характеристики конструкций, состоящих из взаимосвязанных компонентов, тесно связаны с поведением крепежных элементов. Исследование строительных материалов в области анализа их способности удерживать крепежные элементы – достаточно актуальная задача. Целевая аудитория, заинтересованная в обосновании показателей несущей способности крепежных элементов – это девелоперы, а также индивидуальные застройщики, сталкивающиеся с необходимостью обоснованного выбора как вида строительного материала, так и крепежных элементов. Настоящим прорывом в области индивидуального высокоэффективного и экономичного строительства стал легкий газобетон автоклавного твердения. Не следует забывать и о древесине – материале, используемом для жилищного строительства на протяжении всей истории человечества. Древесина и композиты, изготовленные на ее основе, являются одними из основных возобновляемых природных и экологически чистых материалов, а деревянные здания могут хранить углерод в своей конструкции в течение всего срока службы здания, что положительно сказывается на уровне эмиссии CO₂. Вопросы углеродной нейтральности достаточно значимы и не уходят с передовых полос. Кроме того, возможность производства древесно-минеральных композитов из низкокачественной древесины и древесных отходов делает этот материал, несомненно, перспективным в плане промышленной переработки отходов на высоколиквидную продукцию [1].

Стержневые металлические крепежные элементы, такие как гвозди с гладким стержнем, использовались в конструкциях еще 3000 лет до н. э. Это были бронзовые и деревянные гвозди – нагели. Помимо классических гладких стальных гвоздей в деревянные конструкции недавно были введены спирально-резьбовые гвозди, однако механические показатели таких креплений изучены недостаточно. Простота обращения, пластичность, ударная вязкость, низкая цена делает гладкий стальной гвоздь незаменимым крепежным элементом индивидуального застройщика.

Отечественными и зарубежными исследователями определены предельные состояния и нагрузки при выдергивании из древесины крепежных элементов в виде гвоздей. Гвозди с гладким стержнем играют роль преобладающего крепежа в деревянных конструкциях, обычно изготавливаемых из низкоуглеродистой стали. Отсутствие резьбы на их гладком стержне значительно повышает легкость и скорость их забивания. Сопротивление выдергивания в значительной степени зависит от различных ключевых характеристик. К ним относятся диаметр гвоздя, длина заделки, угол вставки и тип нанесенного покрытия поверхности. Установлено, что сопротивление выдергиванию гвоздя увеличивается с увеличением его диаметра и длины заделки [2, 3]. Были отмечены различные механические типы поведения в зависимости от направления относительно волокон древесины. Обширные исследования привели к разработке метода расчета, описанного в таких стандартах как NDS и Eurocod [4, 5]. Хотя существует

множество исследований и рекомендаций, касающихся несущей способности гвоздевого крепления деревянных элементов, не существует общепринятого международного, который бы определял несущую способность соединения.

За последние 20 лет настоящим прорывом на рынке крепежных элементов стало появление в РФ и стремительное распространение винтов-саморезов. Во многом это связано с доступностью и удобством применения аккумуляторных шуруповертов. Широкое внедрение винтов-саморезов потребовало изучения механических показателей этих соединений.

В работе [6] были проведены испытания на выдергивание винта-самореза из древесины и панелей CLT, а также сравнение со стандартными данными кода NDS [5]. В работе [7] изучалось прогнозирование нагрузки при выдергивании винта-самореза из сосновой древесины в зависимости от глубины проникновения. Дальнейшие исследования [8] показали, что прочность на выдергивание винтов-саморезов по дереву изменяется линейно с глубиной заделки или, точнее, эффективной длиной заделки резьбы винта-самореза. В работе [9] проводилось исследование прочности выдергивания шурупов по дереву из древесины в зависимости от прочности на сдвиг с различной ориентацией годичных колец. В работе [10] выявлено, что сопротивление выдергивания гвоздей из соединения, представляющего собой плиту OSB и деревянный брус, пропорционально плотности древесины.

Цель исследования – определение усилия, действующего в осевом направлении, необходимого для выдергивания стержневых и винтовых крепежных элементов из различных строительных материалов, применяемых индивидуальным застройщиком.

Задачи исследования – проанализировать нормативные документы в области расчета анализируемых видов крепежных элементов, а также экспериментальным путем определить действующие усилия по выдергиванию стержневых и винтовых крепежных элементов.

Объект и методы исследования. Объектом исследования являются прочностные показатели крепежного элемента, состоящего из стального гвоздя или винта-самореза, испытывающего осевое выдергивающее усилие. Предмет исследования представляет собой влияние вида материала, глубины заделки крепежного элемента на усилие, необходимое для его выдергивания. Методы исследования основаны на натурном эксперименте, анализе работ в предметной области других авторов, анализе нормативных документов. В качестве материалов, подвергаемых испытаниям, приняты строительные материалы, широко применяемые застройщиками. Это древесина сосны (воздушно-сухое состояние); газобетон автоклавного твердения плотностью D500 производства «Сибит» (Новосибирск); древесно-минеральный композит (арболит) производства предприятия «Арболит SibAR». Завод по производству арболита SibAR расположен в Красноярском крае, дер. Лукино. Вышеперечисленные материалы активно применяются в индивидуальном домостроении. Несмотря на наличие (в ряде случаев) специализированных видов крепежа (дюбель, анкер-дюбель), применительно к обозначенным выше

материалам повсеместно используют способы крепления гвоздями и винтами-саморезами.

Для древесины в основном известны результаты исследований показателей прочности гвоздевых и винтовых соединений, поэтому было принято решение экспериментально исследовать поведение соединений, опираясь на малую выборку, состоящую из трех образцов. Что касается древесно-минерального композита, то из проанализированных источников удалось установить лишь отрывочные сведения и общее утверждение о хорошей «гвоздимости» арболита, т. е. о свойстве удерживать стержневые крепежные элементы [11, 12]. Поэтому для образцов арболита была использована более значительная выборка – пять образцов. Для газобетона автоклавного твердения также использовалась выборка из пяти образцов (рис. 1).

Образцы газобетона и арболита имели размеры 100×100×100 мм. Выпиливались сабельной пилой из строительных блоков, соответственно, газобетона D500 автоклавного твердения и арболита D700. Образцы из древесины представляли собой отрезки соснового бруса сечением 150×100×100 мм (см. рис. 1). Влажность образцов соответствовала условиям хранения в неотапливаемом помещении. После проведения опытов для определения показателей влажности образцы арболита и газобетона (фрагменты образцов после испытаний) были взвешены и помещены в сушильный шкаф. После чего весовым способом определена их влажность (арболит $W = 17,6 \%$, автоклавный газобетон $W = 16,7 \%$).



Рис. 1. Экспериментальные образцы

Результаты и их обсуждение. Стержневые и винтовые крепежные элементы, испытывающие нагрузки, действующие в осевом направлении, относятся к классу соединений с растянутыми связями. Такие соединения широко применяются для подшивных потолков, крепления щитов опалубки и т. д. От действующих нагрузок в таких соединениях возникают растягивающие усилия, которые стремятся выдернуть крепежные элементы (гвозди или винты) из древесины, древесно-минерального композита или газобетона.

Согласно п. 7.25 [13] расчетная несущая способность одного гвоздя, МН при действии на него выдергивающего усилия для древесины определяется по формуле:

$$T_{\text{вз}} = R_{\text{вз}} \pi \cdot d \cdot l \quad (1)$$

где $R_{\text{вз}}$ – расчетное сопротивление выдергиванию на единицу поверхности соприкосновения гвоздя с древесиной. Для воздушно-сухой древесины принимается 0,3 МПа, для сырой – 0,1 МПа; d – диаметр гвоздя, м (см); l – расчетная длина заземленной, сопротивляющейся выдергиванию части гвоздя, м (см)

Для гвоздя длиной 100 мм (заземленная часть 90 мм), диаметром 4 мм, расчетная несущая способность составит:

$$T_{\text{вз}} = 0,3 \cdot \pi \cdot 0,004 \cdot 0,09 = 340 \text{ Н}$$

Саморез, исходя из требований нормативных документов [14], является винтом, который ввинчивается в древесину без предварительного сверления отверстия. Несущая способность винта, испытывающего осевую нагрузку, определяется по соотношению:

$$T \leq \min \begin{cases} T_{\text{ва}} \\ T_{\text{сма}} \\ T_{\text{рв}} \end{cases} \quad (2)$$

где $T_{\text{ва}}$ – искомая несущая способность винта при его выдергивании из древесины под углом α к направлению волокон, Н; $T_{\text{сма}}$ – искомая несущая способность винта по условию смятия древесины под головками винтов; $T_{\text{рв}}$ – расчетная несущая способность винта при растяжении, Н.

Исходя из условия абсолютной прочности и неразрушаемости стержня самореза, усилие растяжения передается через витки резьбовой части и, согласно требованиям нормативов [14], условие прочности будет записано:

$$T_{\text{ва}} = R_{\text{ср}\alpha} \cdot \pi \cdot d \cdot l_{\text{рас}} \cdot m_d \cdot m_l, \quad (3)$$

где $R_{\text{ср}\alpha}$ – расчетное сопротивление выдергивания винта под углом α к направлению волокон отнесенное на единицу контактной части винтовой нарезки самореза с древесиной, образованной по внешнему диаметру винта, Н/мм²; d – наружный диаметр самореза, мм; $l_{\text{рас}}$ – длина винта расчетная, определяемая как разница между общей длиной и вершинной части самореза, равной $1,8d$, мм; α – угол наклона продольной оси винтовой нарезки по отношению к направлению волокон древесины, °; m_d – корректирующий коэффициент, который учитывает влияние на расчетное сопротивление диаметра d самореза; m_l – корректирующий коэффициент, который учитывает влияние на расчетное сопротивление длины самореза в расчетном соединении.

$$m_d = 1,42 - 0,084d + 0,002d^2 \quad (4)$$

$$m_l = k(0,99 - 0,0012l_{pac} + 1,6 \cdot 10^{-6} \cdot l_{pac}^2) \quad (5)$$

$$k = \min \begin{cases} d/8 \\ 1 \end{cases} \quad (6)$$

Расчетное сопротивление $R_{cp\alpha}$ а выдергиванию винта под углом $\alpha = 90^\circ$ к направлению волокон на единицу поверхности контакта нарезной части винта с древесиной определится по следующей формуле:

$$R_{cp90} = R_{cp90}^1 \cdot m_\rho \cdot m_\epsilon \cdot m_T \cdot m_d \cdot m_H \cdot m_\alpha, \quad (7)$$

где $R_{cp90}^1 = 2,8 \text{ Н/мм}^2$ – расчетное сопротивление выдергиванию винта из древесины плотностью $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$ под углом $\alpha = 90^\circ$ к направлению волокон на единицу поверхности контакта нарезной части винта с древесиной; m_ρ – коэффициент, учитывающий изменение расчетного сопротивления выдергиванию из древесины поперек волокон от нормативного значения плотности древесины, который следует вычислять по формуле

$$m_\rho = 0,2 + 0,0016\rho, \quad (8)$$

где ρ – плотность древесины, кг/м^3 , $m_\epsilon, m_T, m_d, m_H, m_\alpha$ – корректирующие коэффициенты в соответствии с требованиями раздела 5 СП 64.1330.2011 относительно условия работы [13].

Проведем расчет несущей способности двух саморезов. Первый саморез $4 \times 55 \text{ din 18182}$ (условно назовем его «черный») и второй саморез 6×50 (условно назовем его «желтый»), фактически измеренные штангенциркулем размеры, согласно рис. 2. Материал – сосна.

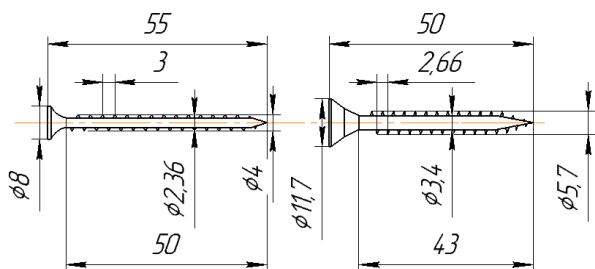


Рис. 2. Саморезы, использованные для испытаний «черный»

$$m_d = 1,42 - 0,084 \cdot 4 + 0,002 \cdot 4^2 = 1,11$$

$$m_l = 1(0,99 - 0,0012(50 - 1,8 \cdot 4) + 1,6 \cdot 10^{-6} \cdot (50 - 1,8 \cdot 4)^2) = 1$$

$$m_\rho = 0,2 + 0,0016 \cdot 670 = 1,272$$

$$T_{ea} = 2,8 \cdot 1,11 \cdot 1 \cdot 1,272 \cdot \pi \cdot 4 \cdot (50 - 1,8 \cdot 4) = 2723 \text{ Н}$$

«желтый»

$$m_d = 1,42 - 0,084 \cdot 5,7 + 0,002 \cdot 5,7^2 = 1,01$$

$$m_l = 1(0,99 - 0,0012(43 - 1,8 \cdot 5,7) + 1,6 \cdot 10^{-6} \cdot (43 - 1,8 \cdot 5,7)^2) = 0,92$$

$$m_\rho = 0,2 + 0,0016 \cdot 670 = 1,272$$

$$T_{ea} = 2,8 \cdot 1,01 \cdot 0,92 \cdot 1,272 \cdot \pi \cdot 5,7 \cdot (45 - 1,8 \cdot 5,7) = 2057 \text{ Н}$$

В соответствии с задачами исследования для экспериментального определения действующих усилий, необходимых для выдергивания стержневых и винтовых крепежных элементов, был изготовлен комплект оснастки (рис. 3). Она предназначена для работы с гидравлическим испытательным прессом FM11/2612 – закрепления испытываемого образца (древесина, древесно-минеральный композит, газобетон) и фиксации гвоздя или самореза.

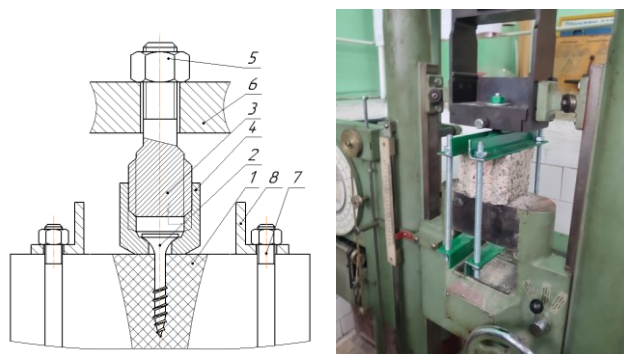


Рис. 3. Оснастка. 1 – испытываемый образец, 2 – саморез или гвоздь, 3 – резьбовая вставка, 4 – колпачковая гайка, 5 – гайка, 6 – подвижная рамка прессы, 7 – шпилька, 8 – уголок

Для определения усилия, необходимого для выдергивания гвоздя или самореза, проводились следующие операции. В отверстие колпачковой гайки 4 (см. рис. 3) вставлялся гвоздь или саморез и соответственно забивался молотком или закручивался шуруповертом в испытываемый образец 1. Затем он устанавливался на плиту испытательной машины. Сверху и снизу образца монтировались уголки 8 с отверстиями, через которые пропусклись шпильки 7 и зажимались гайками. Таким образом, испытываемый образец был жестко закреплен на плите испытательной машины. Далее резьбовая вставка 3 навинчивалась на колпачковую гайку 4. Второй резьбовой конец вставки при помощи гайки 5 крепился к подвижной рамке прессы 6. Таким образом, тянущее усилие испытательной машины прикладывалось к головке самореза или шляпке гвоздя и действовало в осевом направлении. Снятие силовых показателей проводилось визуально по шкале циферблатного типа испытательного гидрокпресса. Испытывалась несущая способность двух видов саморезов и гладкого

цилиндрического стального гвоздя, длиной 100 мм, диаметром 4 мм (рис. 4).



Рис. 4. Испытываемые саморезы и гвоздь

Поскольку было изготовлено три образца из дерева и по пять образцов из автоклавного газобетона и арболита, было принято решение использовать каждую плоскость образца для закручивания самореза или забивания гвоздя. Теоретически число испытаний составило бы для дерева 18, для арболита и газобетона – 30. Однако фактическое поведение материалов в процессе эксперимента не позволило полностью реализовать запланированную программу. Дерево и автоклавный газобетон получили, соответственно, по 18 и 30 циклов испытания. Из пяти образцов арболита при испытании саморезов три раскололись (рис. 5). То есть для арболита число испытаний составило следующее количество: гвозди – 16, саморезы – 13. Для видов саморезов (черные и желтые) соотношение доли испытаний принято как 50/50 %. Затем для образцов из арболита и газобетона определялся предел прочности при сжатии. Для этого образец размещался между подвижными основаниями испытательной машины. Включался привод, проводилось нагружение образца, определялся момент потери прочности (разрушения) образца.

Предел прочности при сжатии газобетона и арболита определялся по формуле [15]:

$$R = \alpha \frac{F}{A} K_W, \quad (9)$$

где F – разрушающая нагрузка, Н; A – площадь поперечного сечения испытываемого образца; α – масштабный коэффициент, учитывающий необходимую поправку при приведении показателей прочности к величинам полученным на образцах стандартных форм и размера; K_W – корректирующий коэффициент для учета влияния влажности образцов в момент испытания.

Фактическая влажность отличается от нормативного показателя равного 10 % (нормативная влажность ячеистого бетона, применяемая для определения показателей прочности) $K_W = 1,05$; для образцов $100 \times 100 \times 100$ мм $\alpha = 1,05$ [15].

После проведения физического эксперимента, вычислялись средние значения несущей способности, определялись основные статистические показатели, корреляционные коэффициенты с уровнем достоверности $R = 0,95$ Результаты испытаний приведены в таблице.

Характер разрушения связей при испытании несущей способности гвоздей и саморезов можно охарактеризовать резким ростом нагрузки для дерева и арболита при движении рамки прессы в диапазоне 5–10 мм, затем нагрузка плавно снижается, причем она сохраняется и является не «нулевой» до полного выхода гвоздя или самореза из образца. В случае автоклавного газобетона происходит резкий рост и падение нагрузки, при этом ход рамки прессы составляет всего 3–5 мм. То есть свойства упругости дерева и арболита выражены гораздо ярче. А автоклавный газобетон представляет собой хрупкий, недостаточно эластичный материал. Удержание самореза образцом арболита и особенно древесины обеспечивается сочетанием как прочности на срез материала, находящегося между выступами нарезки и стержнем, так и наличием боковых сил распора, вероятно обусловленных наличием Гуковских сил. Для случая автоклавного газобетона удержание самореза происходит практически исключительно за счет работы материала в промежутках между выступами нарезки. Как только наступает смятие или срез этого материала, несущая способность самореза стремительно падает практически до нуля.

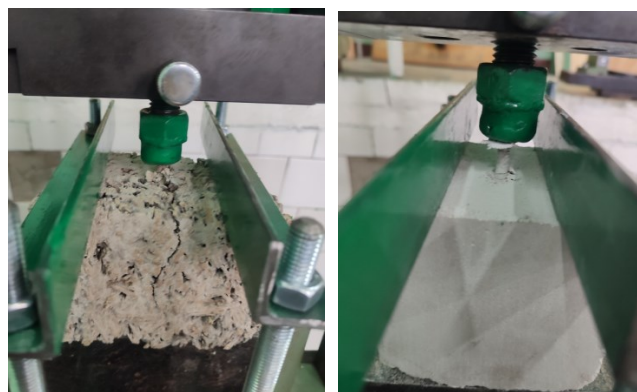


Рис. 5. Характер разрушений при испытании саморезов (слева – арболит (глубокая трещина), справа – автоклавный газобетон)

Таблица. Результаты испытаний и расчетов

Материал образца	Несущая способность фактическая/нормативная, Н			Rсж, МПа
	Саморез по дереву «черный» 4×55 мм (эффективная глубина погружения 50 мм)	Саморез по дереву «желтый» (эффективная глубина погружения 43 мм)	Гвоздь 100 мм (эффективная длина погружения 90 мм)	
Древесина (сосна)	5721/2723	3950/2057	980/340	-
Арболит D700	1484	1109	483	1,77
Газобетон D500	311	753	107	1,51

Примечание. Прочерк – предел прочности сосны на сжатие не определялся, поскольку это хорошо изученная величина.

Определенная экспериментальным путем несущая способность гвоздя и саморезов в древесине оказалась существенно (в 2–3 раза) выше расчетной нормативной. Можно сделать предположение, что СП 64.1330.2011 и СП 299.1325800.2017 позволяют определить не фактическую нагрузку разрушения соединения, а гарантированную несущую способность с необходимым коэффициентом запаса.

Следует отметить, что нормативы использования автоклавного газобетона, как правило, не предусматривают способы крепления каких-либо элементов непосредственным закручиванием самореза или забивания гвоздя в газобетон. Хотя на практике, особенно индивидуальными застройщиками, повсеместно в газоблок забивают гвозди и закручивают саморезы. Поэтому исследовать их несущую способность – актуальная задача. Популярность и широкое распространение автоклавного газобетона привело к появлению на рынке специальных крепежных элементов в виде дюбелей. Наиболее доступные и распространенные – это дюбеля KEW G7 и KBT 6 (рис. 6).

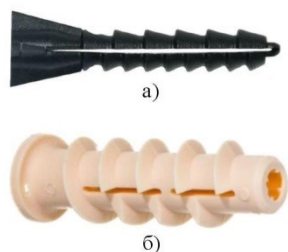


Рис. 6. Дюбеля для автоклавного газобетона. а – KBT 6, б – KEW G7

Ряд научных работ [16, 17] посвящены обоснованию и практическому испытанию анкерных креплений, используемых для газобетона автоклавного твердения. В этих работах проведено теоретическое обоснование явлений, протекающих при нагружении дюбель-анкеров, экспериментально определена несущая способность таких креплений.

В работе [18] наряду с исследованием несущей способности дюбелей определялось усилие выдергивания универсального самореза с неполной резьбой 6×70 мм (для условия закручивания непосредственно в газобетон без предварительного сверления, глубина 55 мм). Для автоклавного газобетона D500 и влажности $W = 10\%$ фактическая несущая способность равна 95,5 кГс, при влажности $W = 25\%$ – 93,7 кГс. Сравнивая полученные автором величины с данными таблицы, можно сделать вывод о хорошей верификации данных двух исследований. Учитывая линейное возрастание несущей способности по мере увеличения глубины погружения самореза, полученное нами усилие выдергивания 753 Н или 75,3 кГс при глубине заделки 43 мм. будет соответствовать (после интерполяции) величине 95,9 кГс.

Авторы [18] получили усилия вырыва для газобетона D500 дюбеля Sormat KBT6 (монтаж в предварительно высверленное отверстие Ø 9 мм, глубина 48 мм, диаметр наружной анкерящей резьбы 16 мм, распорный шуруп – саморез универсальный УК с неполной резьбой и потайной головкой 6×70 мм) – 1380 Н, для

дюбеля ЕКТ KEW G7 (монтаж в предварительно высверленное отверстие Ø 8 мм, глубина 52 мм, распорный шуруп – саморез универсальный УК с неполной резьбой и потайной головкой 5×70 мм) – 100 Н. Полученные нами несущие способности саморезов, закрученных в арболит, фактически соответствуют этим величинам для дюбель-анкеров в атоклавном газобетоне при несоизмеримо меньшей трудоемкости и стоимости крепежных операций, связанных с приобретением дюбель – анкеров и сверлением отверстий под них. Предел прочности при сжатии рассмотренных легких бетонов (газобетон и арболит) отличается на 15 % (1,77 и 1,51 МПа), однако несущая способность материала в плане возможности удержания самореза отличается в 1,5–4,7 раза, для гвоздевого крепления – в 4,5 раза в пользу арболита. Способность дерева удерживать крепежные элементы в исследуемом случае находится вне конкуренции. Несущая способность древесины, обеспечивающая удержание саморезов и гвоздей, превышает таковую у арболита для саморезов в 3,5–3,8 раза, для гвоздей – в 2 раза.

В процессе исследования установлена интересная закономерность, когда увеличение диаметра самореза, при уменьшении его длины в случае газобетона приводит к увеличению несущей способности, а при закручивании в древесину или арболит – к ее снижению. Если определить площадь материала, находящегося в промежутках между впадинами винтовой нарезки саморезов (рис. 7), то окажется, что в случае использования «желтого» самореза – площадь составляет 76,6 мм², а для «черного» – 69,4 мм².

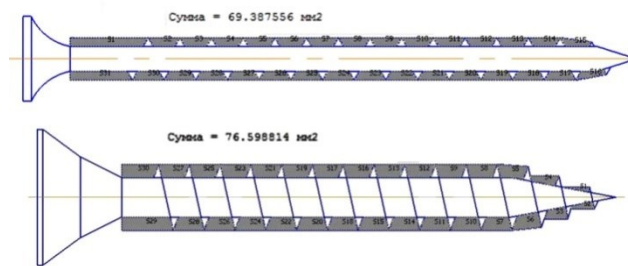


Рис. 7. Расчет площади (площадь определена в приложении КОМПАС 3D)

Логично предположить, что усилие для сжатия или среза площади в 76,6 мм² будет выше усилия для площади 69,4 мм², что и подтверждается картиной разрушения связей при испытании газобетона. В случае древесины или древесно-минерального композита, состоящего также преимущественно из древесины, картина разрушения выглядит сложнее. При испытании арболита разрушение соединения для трех образцов из пяти произошло с разломом самого образца, когда предел прочности древесно-цементного конгломерата был достигнут раньше, чем разрушились связи между винтовой нарезкой самореза и материала. Древесина же, являясь анизотропным материалом и, кроме того, обладающая структурой в виде годичных колец с ранней и более прочной поздней древесиной, имеет еще более сложный механизм разрушения связей при нагружении, по

сравнению с изотропным газобетоном, состоящим из частиц цементно-песчаного камня и пузырьков воздуха. Это явление следует дополнительно изучить, поскольку рецептура древесно-минерального композита может легко корректироваться в интересах повышения прочностных показателей.

Заключение. Проведенные экспериментальные исследования сопротивления выдергиванию стержневых и винтовых крепежных элементов из древесно-минерального композита и конкурирующих строительных материалов позволили установить числовые величины показателей несущей способности крепежных элементов. При использовании гвоздей и саморезов

обеспечиваются высокие показатели несущей способности для арболита и дерева. В случае применения газобетона автоклавного твердения для предоставления сопоставимой несущей способности требуется применение дюбель-анкеров. Несущая способность гладкого стального гвоздя при прочих равных условиях в 2–5 раз уступает несущей способности самореза.

Благодарности. Выражаю искреннюю признательность специалисту испытательной лаборатории Дуку Данилу Владимировичу за оказание помощи при проведении натурных исследований в лаборатории испытательных машин Сибирского университета науки и технологий им. М.Ф. Решетнёва.

Литература

1. Ковалев Р. Н. Анализ сырьевого потенциала поврежденных лесов Красноярского края в целях промышленного производства древесно-цементных композитов // Хвойные бореальной зоны. 2021. Т. 39, № 6. С. 483-491. EDN QWQHGO.
2. Prevatt D.O., Shreyans S., Kerr A., Gurley K.R. In Situ Nail Withdrawal Strengths in Wood Roof Structures // Journ. of Structural Engineering-asce. 2014. Vol. 140. P. 04014008.
3. Zhang E., Chen G., Zhu W., Wang C., Yang W. Experimental investigation on withdrawal resistance performance of nails in southern pine // Engineering Structures. 2024. Vol. 306. P. 117755. ISSN 0141-0296
4. American Wood Council (AWC). ANSI/AWC NDS-2018 National design specification for wood construction with commentary. [Электронный ресурс]. <https://awc.org/publications/2018-nds/> (дата обращения 20.12.2024).
5. Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1–1: General – Common rules and rules for buildings, Brussels European. [Электронный ресурс]. <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1995.1.1.2004.pdf> (дата обращения 20.12.2024).
6. Ahn K.S., Pang S.J., Oh J.K. Prediction of withdrawal resistance of single screw on Korean wood products // Journ. of the Korean Wood Science and Technology. 2021. Vol. 49(1). P. 93-102.
7. Cha J.K. Predicting the withdrawal load of wood screws in domestic wood by screw diameter, depth of penetration and specific gravity of wood // Journ. of the Korean Wood Science and Technology. 2011. Vol. 39(3). P. 252-257.
8. Blaß H.J., Bejtka I., Uibel I. Tragfähigkeit von Verbindungen mit selbstbohrende Holzschrauben mit Vollgewinde // Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau. 2006. Vol. 4. 208 s.
9. Cha J.K. Effect of the withdrawal strength of wood screws in domestic wood by shear strength with different growth ring orientation // Journ. of the Korean Wood Science and Technology. 2012. Vol. 40(6). P. 363-369.
10. Oh S.C. Withdrawal and lateral resistance of nail joints composed of dimension lumber and OSB in light-frame wood construction // Journ. of the Korean Wood Science and Technology/ 2013. Vol. 41(3). P. 211-220.
11. Долматов С.Н., Колесников П.Г. Технологии древесно-минеральных композитов в условиях сырьевой базы Сибирского региона. Красноярск: Изд-во Сибир. гос. ун-та науки и технологий, 2024. 148 с.
12. Наназашвили И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции. М.: Стройиздат, 1990. 415 с.
13. СП 64.1330.2011 Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80. М.: Росстандарт, 2011. 92 с.
14. СП 299.1325800.2017 Конструкции деревянные с узлами на винтах. Правила проектирования. М.: Росстандарт. 2017 27 с.
15. ГОСТ 10180-90 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам М.: Стандартиформ, 2006. 31 с.
16. Вылегжанин В.П., Пинскер В.А., Гринфельд Г.И. Анкерные крепления для газобетона: расчеты и модели. // Строительство: новые технологии – новое оборудование. 2019. № 3. С.16-23
17. Вылегжанин В.П. Теоретические и экспериментальные обоснования расчета усилий при вырыве анкеров из газобетона // Строительные материалы. 2016. № 4. С. 92-96. EDN VZYL SZ.
18. Сравнительные испытания анкерных креплений в автоклавном газобетоне в зависимости от формы дюбеля и плотности, прочности и влажности основания. [Электронный ресурс]. <http://glebgrin.ru/wp-content/uploads/2014/02/130516-Сравнительные-испытания-анкерных-креплений-в-автоклавном-газобетоне-в-зависимости-от-формы-дюбеля-и-плотности.pdf> (дата обращения 20.12.2024).

References

1. Kovalev R. N. Analysis of raw material potential of damaged forests of Krasnoyarsk Krai for industrial production of wood-cement composites // Conifers of the boreal zone. 2021. Vol. 39, № 6. 483-491. EDN QWQH-GO.
2. Prevatt D.O., Shreyans S., Kerr A., Gurley K.R. In Situ Nail Withdrawal Strengths in Wood Roof Structures // Journ. of Structural Engineering-asce. 2014. Vol. 140. P. 04014008.
3. Zhang E., Chen G., Zhu W., Wang C., Yang W. Experimental investigation on withdrawal resistance performance of nails in southern pine // Engineering Structures. 2024. Vol. 306. P. 117755. ISSN 0141-0296
4. American Wood Council (AWC). ANSI/AWC NDS-2018 National design specification for wood construction with commentary. [Electronic resource]. <https://awc.org/publications/2018-nds/> (date of address 20.12.2024).
5. Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1–1: General – Common rules and rules for buildings, Brussels European. [Electronic resource]. <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1995.1.1.2004.pdf> (date of address 20.12.2024).
6. Ahn K.S., Pang S.J., Oh J.K. Prediction of withdrawal resistance of single screw on Korean wood products // Journ. of the Korean Wood Science and Technology. 2021. Vol. 49(1). P. 93-102.
7. Cha J.K. Predicting the withdrawal load of wood screws in domestic wood by screw diameter, depth of penetration and

- specific gravity of wood // Journ. of the Korean Wood Science and Technology. 2011. Vol. 39(3). P. 252-257.
8. Blaß H.J., Bejtka I., Uibel I. Tragfähigkeit von Verbindungen mit selbstbohrende Holzschrauben mit Vollgewinde // Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau. 2006. Vol. 4. 208 s.
 9. Cha J.K. Effect of the withdrawal strength of wood screws in domestic wood by shear strength with different growth ring orientation // Journ. of the Korean Wood Science and Technology. 2012. Vol. 40(6). P. 363-369.
 10. Oh S.C. Withdrawal and lateral resistance of nail joints composed of dimension lumber and OSB in light-frame wood construction // Journ. of the Korean Wood Science and Technology/ 2013. Vol. 41(3). P. 211-220.
 11. Dolmatov S.N., Kolesnikov P.G. Technologies of wood-mineral composites in conditions of raw material base of Siberian region. Krasnoyarsk: Siberian State University of Science and Technology, 2024. 148 p.
 12. Nanazashvili I.H. Building materials from wood-cement composition. Moscow: Stroyizdat, 1990. 415 p.
 13. Code of Regulations 64.1330.2011 Wooden structures. Actualized edition of Construction norms and rules II-25-80. Moscow: Rosstandart, 2011. 92 p.
 14. Code of Practice 299.1325800.2017 Wooden structures with screw assemblies. Design rules. Moscow: Rosstandart. 2017 27 p.
 15. State Standard 10180-90 Concretes. Methods of determination of strength by control samples M.: Standartinform, 2006. 31 p.
 16. Vylegzhanin V.P., Pinsker V.A., Greenfeld G.I. Anchor fasteners for aerated concrete: calculations and models. // Construction: new technologies – new equipment. 2019. № 3. P. 16-23
 17. Vylegzhanin V.P. Theoretical and experimental substantiation of the calculation of forces at anchor pullout from aerated concrete // Building materials. 2016. № 4. P. 92-96. EDN VZYLSZ.
 18. Comparative tests of anchor fasteners in av-toclave aerated concrete depending on the dowel shape and the density, strength and humidity of the base. [Electronic resource]. <http://glebgrin.ru/wp-content/uploads/2014/02/130516-Sravnitel'nye-ispytaniya-ankernyh-kreplenij-v-avtoklavnom-gazobetone-v-zavisimosti-ot-formy-dyubelya-i-plotnosti.pdf> (date of address 20.12.2024).