

Жук В.В., Лещук Е.В.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КЛЕЕМЕХАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ЦЕМЕНТНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

Введение. В 2011 году в г. Бресте, в ОАО «Строительный трест №8», введен в эксплуатацию завод по производству несъемной опалубки для жилищного и гражданского строительства, включающий в себя два цеха: по изготовлению стеновых панелей и плит перекрытий (покрытий). На заводе используется технология несъемной опалубки австрийской фирмы VSTGrup.

Сущность этой технологии заключается в том, что в качестве опалубки используются цементно-стружечные плиты (ЦСП), раскроенные и скрепленные специальными замками в заводских условиях и смонтированные на стройке, в промежуточное пространство которых подается самоуплотняющийся бетон, образующий вместе с несъемной опалубкой каркас здания. Такой метод строительства универсален – он подходит и для возведения жилья, и для социальных объектов, и даже для промышленного производства. Новая технология позволяет значительно уменьшить трудозатраты – на том же объеме, что сейчас выполняется традиционными методами строительства, задействуется в 4 раза меньше рабочих. ЗАО «Белзарубежстрой» планирует данную технологию строительства развивать также в Венесуэле – там будут построены 12 заводов по производству несъемной опалубки из ЦСП и завод по выпуску ЦСП мощностью 100 тыс. м² в год. Учитывая, что в нашей республике аналогичные линии по производству элементов несъемной опалубки в ближайшее время будут запущены во всех областях (всего девять заводов), в Могилевской области ведутся работы по организации собственного производства цементно-стружечных плит мощностью 60 тыс. м³.

С целью расширения номенклатуры строительных конструкций из цементно-стружечных плит, с одной стороны, и снижения массы и расхода стали и бетона при замене железобетонных вентиляционных блоков ВБ1-28 (серия Б1.134-7), с другой стороны, ОАО «Строительный трест №8» разработало проектную документацию на вентиляционные блоки из цементно-стружечных плит. Блок представляет собой параллелепипед с размерами в плане $a \times b = 725 \times 305$ мм и высотой $h = 2980$ мм, без оснований и с внутренней перегородкой, делящей длинную сторону конструкции в соотношении 1:3,06. Цементно-стружечные плиты толщиной 24 мм соединяются между собой с помощью клеёмеханических связей – на участки стыков ЦСП наносится клей, а затем с помощью пневмоинструмента устанавливаются металлические скобы.

Для сокращения технологических операций при производстве вентиляционных блоков разработчики предложили вместо двухкомпонентных клеев, рекомендуемых [1] для склеивания ЦСП, использовать однокомпонентный клей, а вместо традиционно применяемых механических связей (шурупов или гвоздей) использовать металлические скобы, которые при малом шаге ($30 \div 50$ мм) забивки обеспечивают хороший контакт склеиваемых поверхностей, и тем самым под давлением прессования происходит процесс отверждения клея. Опыт изготовления и эксплуатации вентиляционных блоков из ЦСП в отечественной строительной индустрии отсутствует. В зарубежной практике, например в Венгрии, имеется опыт проектирования строительных конструкций (стеновых панелей и плит покрытия) из цементно-стружечных плит, соединяемых с помощью металлических скоб [2].

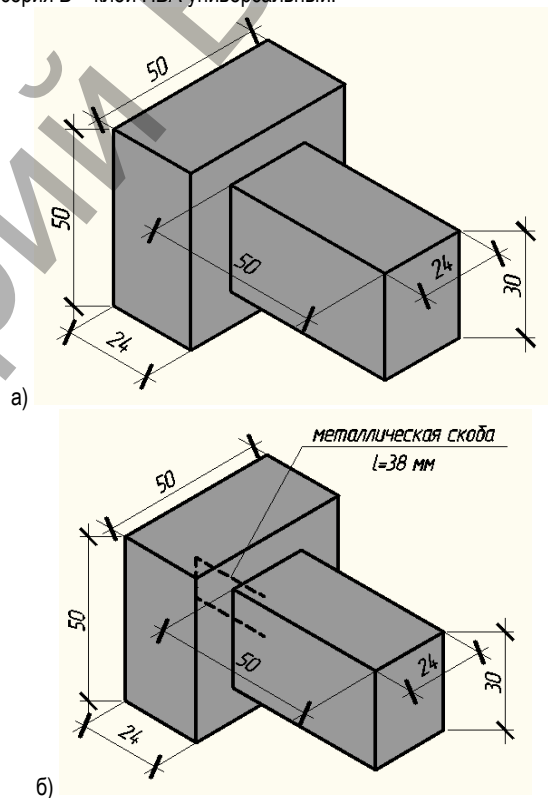
С учетом изложенного в данной работе выполнено исследование клеевых и клеёмеханических соединений ЦСП, являющихся основой вентиляционного блока, на циклическое действие влажности и температуры с целью выбора клея, обеспечивающего ста-

бильность прочности клеевого соединения, а следовательно, долговечность конструкции в целом.

Характеристика объекта исследования

Для испытаний были выбраны образцы в виде тавра (рис. 1) с площадью склеивания $b \times h = 24 \times 30$ мм с учетом рекомендаций [3]. Работа выполнялась в два этапа. На первом этапе в заводских условиях были изготовлены и в лаборатории кафедры строительных конструкций были подвергнуты испытаниям три серии образцов, имеющих одинаковые размеры (рис. 1,а), но на разных клеях, представленных филиалом «Завод ЖБК» ОАО «Строительный трест №8»:

- серия А – влагоотверждаемый однокомпонентный реактивный клей на основе полиуретана КЛЕЙБЕРИТ ПУР – клей 501;
- серия Б – однокомпонентный высокомодульный клей-уплотнитель TECSEALTECFIXMS 441 на базе MS ПОЛИМЕРА (модифицированных силанов);
- серия В – клей ПВА универсальный.



а – клеевых соединений; б – клеёмеханических соединений

Рис. 1. Образцы для испытаний на определение прочности при скалывании

По данным [4] КЛЕЙБЕРИТ ПУР, клей 501 предназначен для склеивания древесины, древесных материалов, бетона и подобных материалов и, помимо высокой прочности, является водо- и температуроустойчивым. Клей TECSEALTECFIXMS 441 [5] применяется для склеивания, монтажа и уплотнения широкого спектра строительных материалов (металл, бетон, древесина, пластмасса), устойчив к

Жук Василий Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Лещук Екатерина Владимировна, магистрант кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

воздействию атмосферных факторов, в том числе и к температуре от -40°C до 100°C , имеет высокую механическую прочность (устойчив при колебаниях и вибрациях). По данным [6], поливинилацетатные клеи с успехом применяются для склеивания древесноплитных материалов и даже пластмасс.

На втором этапе были подвергнуты испытаниям две серии образцов, имеющих такие же размеры (рис. 1,б), как и образцы серий А, Б и В, на клеях, показавших лучшие результаты в процессе ускоренного старения.

Методика экспериментальных исследований. Ускоренные методы лабораторных испытаний, имитирующие эксплуатационное старение, позволяют в короткие сроки определить и сопоставить работоспособность различных клеевых соединений. Под ускоренным старением понимается циклическое действие на клеевые соединения вместе или порознь влажности и температуры в широком интервале, приближающиеся к условиям эксплуатации клеевых изделий. Результаты ускоренного старения используются для прогнозирования долговечности древесностружечных плит [7], клеевых соединений древесины [8], клееной фанеры и соединений других материалов [9].

В России для циклических температурно-влажностных испытаний древесины действует ГОСТ 17580-82 [8], по которому каждый цикл включает следующие последовательные операции: пребывание образцов в воде при 20°C в течение 20 часов, замораживание мокрых образцов на воздухе при -20°C в течение 6 часов, оттаивание при 20°C в течение 16 часов и прогрев на воздухе при 60°C и относительной влажности воздуха 60-75% в течение 6 часов. Продолжительность цикла – 48 часов.

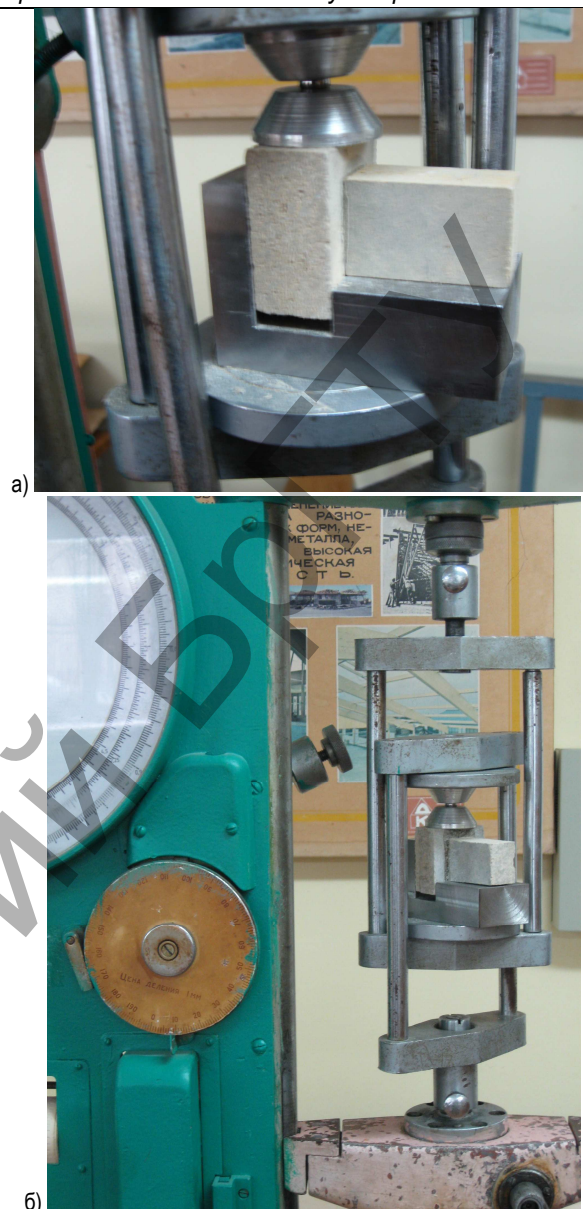
В качестве примеров других циклических испытаний можно назвать применяемый в США [9] метод кипячения-высушивания: 10 минут кипячения в воде, 4 минуты сушки при 20°C и 57 минут сушки при 105°C при принудительной вентиляции. Продолжительность цикла – 71 минута.

Для массивных образцов, с целью гарантированного насыщения водой и сушки до воздушно-сухого состояния, может применяться 7-суточный цикл [6], состоящий из трех последовательных операций: увлажнение в воде при 20°C – 48 часов; увлажнение в камере при 36°C и относительной влажности воздуха 98% – 72 часа; высушивание при 60°C на воздухе в течение 48 часов.

Обоснованной универсальной программы циклических испытаний не существует. В одних случаях увеличивается продолжительность пребывания образца в определенных условиях, в других – расширяют интервал температур, при которых проводят испытания. Используя накопленный опыт по определению прочностных характеристик клеевых соединений древесины, асбестоцемента, пластмассы и других строительных материалов [6, 9], разработчики [1, 3] для определения стойкости клеевых соединений ЦСП к циклическим температурно-влажностным воздействиям допустили использование трех методов ускоренного старения: метод 1 (по методике ГОСТ 17580-82); метод 2 (по измененной методике ГОСТ 17580-82); метод 3 (по методике V-313, соответствующей французскому стандарту СТВ-Н).

Стойкость клеевых и клеемеханических соединений ЦСП к циклическим температурно-влажностным воздействиям определялась по измененной методике ГОСТ 17580-82 (метод 2), как более короткой по длительности цикла, с учетом материально-технической базы и штатов (исполнителей работы) кафедры. Один цикл температурно-влажностных воздействий включал следующие операции: выдерживание в воде при $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ в течение 18 часов, высушивание при $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха 60-75% в течение 6 часов. Продолжительность цикла – 24 часа.

Для проведения испытаний применялись приборы, оборудование и аппаратура с учетом рекомендаций [3, 8]. Образцы, прошедшие циклические температурно-влажностные воздействия, досушивались при температуре не более 60°C до достижения ими первоначальной влажности, определенной по методике [10], равной 10%.



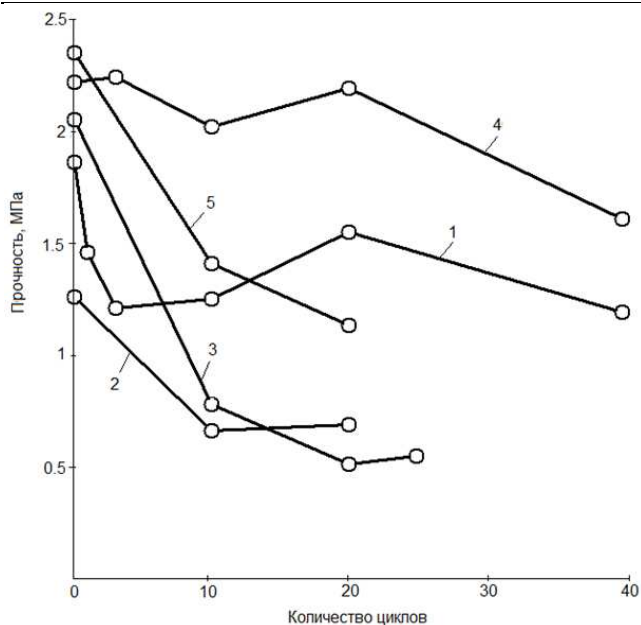
а – приспособление; б – испытательная машина МР-0.5-1

Рис. 2. Испытание прочности клеевых и клеемеханических соединений ЦСП

Прочность клеевых и клеемеханических соединений ЦСП на сдвиг определялась путем испытаний образцов на скалывание (рис. 2) в специальном приспособлении (ГОСТ 15613.1-84 [11, 12]). Результаты механических испытаний образцов всех серий обрабатывались методами математической статистики [3], исходя из нормального закона распределения экспериментальных данных.

Обе части разрушенных образцов подвергались визуальному осмотру для определения характера разрушения (по клею, склеиваемому материалу или смешанному). Характер разрушения оценивался в процентах от площади склеивания.

Основные результаты экспериментальных исследований. Прочность контрольных образцов клеевых соединений ЦСП составила: для серии А – 1,86 МПа; для серии Б – 1,26 МПа и для серии В – 2,05 МПа (рис. 3), что меньше прочности ЦСП толщиной 24 мм при срезе по плоскости параллельной пластилированной 4.5 МПа [13]. Разрушение клеевых соединений ЦСП всех серий произошло адгезионно – по границе раздела клей-склеиваемый материал (рис. 4,а-в).



1 – серия А; 2 – серия Б; 3 – серия В; 4 – серия Г; 5 – серия Д
Рис. 3. Изменение прочности клеевых соединений ЦСП при ускоренном старении

Испытаниями, проведенными в ЦНИИСК [13], установлено, что прочность клеевых соединений аналогичных образцов, выполненных из ЦСП толщиной 16 мм на эпоксидном клее К-115 и фенольно-резорциновом клее ФРФ-50, соответственно составила 13,5 МПа и 11 МПа при 100% разрушении по материалу. Как видно из рис. 4, г, при испытаниях соединений на клее К-115 на скалывание в работу вовлекаются участки материала, прилегающие к клеевому шву, что и обуславливает высокую прочность соединения.

Результаты испытаний клеевых соединений, представленные на рис. 3, показывают, что основное снижение прочности происходит после первых 10 циклов и составляет 33%, 48% и 62% соответственно для серий А, Б и В исходного значения. Практически по такому же закону происходит снижение прочности клеевых соединений ЦСП на клее К-115 (42%) при 55% разрушении по материалу [13]. Прочность клеевых соединений на клее ФРФ-50 снизилась на 90% при 40% разрушении по материалу [13]. При дальнейших испытаниях снижение прочности клеевых соединений ЦСП происходит незначительно для образцов всех серий.

Отметим, что клеевые прослойки образцов серий А и Б после 25–40 циклов ускоренного старения сохраняют эластичность, а отдельные образцы серии В на поливинилацетатном клее саморазрушились в процессе сушки.

Снижение прочности клеевых соединений ЦСП в процессе ускоренного старения происходит по нескольким причинам. Во-первых, при циклических температурно-влажностных воздействиях снижается прочность самих склеиваемых материалов. Исследованиями [14],



а – серия А; б – серия Б; в – серия В; г – на клее К-115 по данным [13]

Рис. 4. Характер разрушения образцов клеевых соединений ЦСП



а – серия Г; б – серия Д
Рис. 5. Характер разрушения образцов клеемеханических соединений ЦСП

проведенными Шамариной Л.М., установлено, что временное сопротивление ЦСП при статическом изгибе перпендикулярно пласти плиты после 20 циклов ускоренного старения уменьшается почти в два раза по сравнению с первоначальной прочностью. Испытаниями, проведенными в МЛТИ [15-17], установлено, что временное сопротивление ЦСП при сжатии параллельно пласти плиты после 4-5 циклов увлажнения-высушивания снижается на 26-29%, а в течение последующих 20 циклов – на 36%. По аналогии можно допустить, что временное сопротивление ЦСП при срезе по плоскости параллельной пласти плиты после ускоренного старения изменяется по такому же закону, как при изгибе и сжатии.

Во-вторых, при изменении влажности ЦСП, в силу ее неравномерного распределения по сечению каждого слоя и образца в целом, возникают влажностные напряжения, а в процессе сушки появляются усадочные напряжения, возникающие вследствие различия в величинах коэффициентов линейного расширения склеиваемых материалов. Таким образом, клеевой шов работает в режиме переменных напряжений, что приводит к усталостному расшатыванию зоны клеевого шва и постепенному разрушению соединения.

Образцы серий Г и Д были изготовлены на клеях, показавших лучшие результаты в процессе ускоренного старения, – соответственно КЛЕЙБЕРИТ ПУР-клей 501 и клей-уплотнитель TECSEAL-TECFIXMS 441 на базе MS ПОЛИМЕРА. Запрессовку образцов производили в заводских условиях с помощью проволоочных скоб диаметром 1,5 мм, шириной 8 мм и длиной 38 мм с глубиной защемленной части 14 мм. Скобы устанавливались с помощью пневмопистолета для забивки скоб F45CG-55B. Для проведения испытаний применялись те же приборы, оборудование и аппаратура, как и для клеевых соединений образцов серий А, Б и В.

Прочность контрольных образцов серий Г и Д соответственно составила 2,22 МПа и 2,35 МПа (рис. 3), что на 15% и 46% выше прочности клеевых соединений контрольных образцов серий А и Б. После 10 циклов ускоренного старения снижение прочности образцов серий Г и Д составило 9% и 40% соответственно.

После 20 циклов образцы серии Г показали прочность соединения, близкую к прочности контрольных образцов, что согласуется с данными испытаний, проведенных в ЦНИИСК [6, 9], для соединений на эластичных клеях.

Разрушение образцов клеемеханических соединений ЦСП, как контрольных, так и прошедших циклы ускоренного старения, произошло по границе раздела клей-склеиваемый материал (рис. 5).

Заключение. Исследование стойкости клеевых и клеемеханических соединений ЦСП на различных марках клеев циклическим температурно-влажностным воздействиям показало:

- при нормальных температурно-влажностных условиях клеи КЛЕЙБЕРИТ ПУР-клей 501, TECSEALTECFIXMS 441 на базе MS ПОЛИМЕРА и ПВА не обеспечивают прочность соединения выше прочности склеиваемых материалов при скалывании;
- влаготверждаемый однокомпонентный реактивный клей на основе полиуретана КЛЕЙБЕРИТ ПУР – клей 501 обеспечивает большую устойчивость клеевых соединений ЦСП к ускоренному старению – после 40 циклов прочность образцов серии А снизилась на 36%;
- использование металлических скоб для запрессовки позволяет увеличить прочность соединений ЦСП на 15% (клей КЛЕЙБЕРИТ ПУР-клей 501) и на 46% (клей-уплотнитель TECSEAL-TECFIXMS 441 на базе MS ПОЛИМЕРА) при нормальных температурно-влажностных условиях;
- клеемеханическое соединение ЦСП на базе клея КЛЕЙБЕРИТ ПУР-клей 501 обеспечивает большую устойчивость к ускоренному старению – после 40 циклов прочность образцов серии Г снизилась на 27%;
- целесообразно продолжение работ по исследованию долговечности клеемеханических соединений ЦСП при испытаниях конструкций вентиляционных блоков при действии эксплуатационных факторов.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рекомендации по проектированию, изготовлению и применению конструкций на основе цементно-стружечных плит. – М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 1986. – 75 с.
2. Alkalmazástechnikai rsmertető A cement – kotésii fvgácslap építőpari felhas-ználá – sához. – Szombathely: Nyugatmagyarorszagí Fogazdasagi kombinát, 1979. – 144 p.
3. Рекомендации по методам испытаний древесных плит для строительства. – М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 1986. – 49 с.
4. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Брест, 2012. – Режим доступа: <http://www.fora-ost.ru>. – Дата доступа: 23.12.2012.
5. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Брест, 2012. – Режим доступа: www.denbraven.ru. – Дата доступа: 23.12.2012.

6. Фрейдин, А.С. Прогнозирование свойств клеевых соединений древесины / А.С. Фрейдин, К.Т. Вуба. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 224 с.
7. Хрулев, В.М. Долговечность древесностружечных плит / В.М. Хрулев, К.Я. Мартынов. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 167 с.
8. Конструкции деревянные клееные. Метод определения стойкости клеевых соединений к циклическим температурно-влажностным воздействиям: ГОСТ 17580-82. Введ. 01.01.83. – М.: Издательство стандартов, 1983. – 8 с.
9. Фрейдин, А.С. Прочность и долговечность клеевых соединений / А.С. Фрейдин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1981. – 270 с.
10. Плиты цементностружечные. Технические условия: ГОСТ 26816-86. – Введ. 01.07.86. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 16 с.
11. Древесина клееная массивная. Методы определения предела прочности клеевого соединения при скалывании вдоль волокон: ГОСТ 15613.1-84. – Введ. 01.07.86. – М.: Издательство стандартов, 1984. – 8 с.
12. Рекомендации по контролю качества клеевых соединений деревянных клееных конструкций. – М.: Стройиздат, 1981. – 63 с.
13. Жук, В.В. Разработка и исследование соединений элементов панельных конструкций из цементностружечных плит: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / В.В. Жук. – М., 1985. – 278 с.
14. Шамарина, Л.М. Цементностружечные панели с комбинированным каркасом: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Л.М. Шамарина; МИСИ им. В.В. Куйбышева. – М., 1988. – 17 с.
15. Ващилко, Т.К. Старение цементно-стружечных плит / Т.К. Ващилко // Технология производства древесных плит и пластиков: сб. науч. тр. / МЛТИ. – 1980. – Вып. 124. – С. 20–24.
16. Ващилко, Т.К. Влияние влажности на прочность ЦСП / Т.К. Ващилко, Е.И. Дмитриев // Технология и материалы деревообрабатывающих производств: сб. науч. тр. / МЛТИ. – 1981. – Вып. 117. – С. 20–24.
17. Ващилко, Т.К. Предельная прочность ЦСП при циклическом увлажнении-сушке / Т.К. Ващилко, Е.И. Дмитриев // Технология и материалы деревообрабатывающих производств: сб. науч. тр. / МЛТИ. Вып. 140. – 1982. – С. 98–100.

Материал поступил в редакцию 18.02.13

ZHUK V.V., LESHCHUK E.V. Experimental research on the durability of cement bonded particleboards mechanical-adhesive-bonded joints

The results of the test for persistence of cyclic temperature and humidity effects of adhesive-bonded and mechanical and adhesive-bonded joints of cement bonded particleboard (CBPB) are shown.

It was found that CBPB adhesive-bonded joints tested in normal temperature and humidity conditions do not provide the durability higher than the CBPB shearing strength. The use of metal staples for CBPB adhesive-bonded joints piercing increases the averaged durability at normal temperature and humidity conditions.

УДК 66:502.171

Сафончик Д.И.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МОДИФИКАТОРА ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ, ПОЛУЧЕННОГО В УСЛОВИЯХ ПТК «ХИМВОЛОКНО»

Введение. Химические добавки позволяют целенаправленно изменять физико-химические и механические свойства железобетонных конструкций и увеличивать срок службы как отдельных конструкций, так зданий и сооружений в целом. Поэтому применению химических добавок в технологии бетона в мировой практике уделяется огромное внимание.

На современном этапе в Республике Беларусь на законодательном уровне принят ряд нормативных правовых актов и государственных программ, основными задачами которых являются сокращение количества образующихся вторичных продуктов основного производства и их максимальное вовлечение в хозяйственный оборот с целью сохранения и экономии первичных природных ресурсов.

В Гродненском регионе сосредоточено большое количество химических предприятий, работа которых приводит к образованию вторичных продуктов. В связи с чем необходимо выполнять утилизацию отходов, образующихся при производстве основной продукции. Так, например, при производстве полиамидного волокна на ПТК «Химволокно» образуется в результате очистки фильер компонент, содержащий отработанный нитрит натрия, свойства которого до настоящего времени не изучены [1].

Процесс формования волокон заключается в продавливании прядильного расплава через отверстия фильеры (диаметр отверстий 0,25 мм). Выходящая из каждого отверстия струйка расплава полимера, охлаждаясь, затвердевает и превращается в элементарную нить. Фильеры (рис. 1), используемые на ПТК «Химволокно», представляют собой короткие капилляры, которые необходимо периодически очищать, так как они в процессе производства забиваются смолой [2], вследствие чего качество волокна резко падает. На ПТК «Химволокно» очистка фильер, формирующих нить от остатков

смолы, выполняется с использованием расплава нитрита натрия (NaNO_2) при температуре 400°C [1].

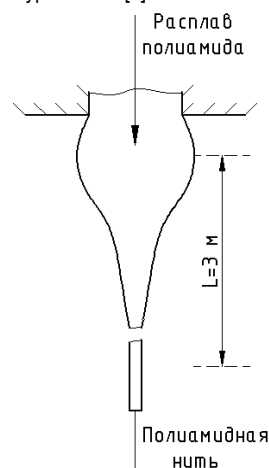
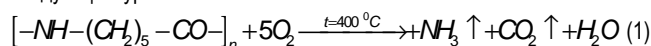


Рис. 1. Схема формования волокна из расплава

Известно, что полиамид при нагревании в присутствии кислорода разлагается до конечных продуктов: воды, двуокси углерода и аммиака [3]. Термическое разложение проходит в соответствии со следующим уравнением:



Нагревание фильер с остатками смолы в нитритной ванне при температуре 400°C в течение 10–12 часов обеспечивает полное сгорание смолы не только на поверхности, но и внутри капиллярных

Сафончик Дмитрий Иосифович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой строительного производства УО «Гродненский государственный университет им. Я. Купалы». Беларусь, ГрГУ, 230023, г. Гродно, ул. Э. Ожешки, 22.