

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК 666.973.2:666.972.1

### ПОВЫШЕНИЕ ВОДОСТОЙКОСТИ ЖИДКОГО СТЕКЛА, ПРИМЕНЯЕМОГО В КАЧЕСТВЕ ВЯЖУЩЕГО ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ КОСТРОСОЛОМЕННЫХ ПЛИТ

**Н.В. ДАВЫДЕНКО; канд. техн. наук, доц. А.А. БАКАТОВИЧ**  
(Полоцкий государственный университет)

*Представлены результаты экспериментальных исследований по повышению нерастворимости жидкого стекла с целью обеспечения требуемых физико-механических характеристик теплоизоляционного материала на его основе. В качестве модифицирующих добавок для жидкого стекла предложено использовать гексафторсиликат натрия, известь, гипс, мел. Приведено описание методики определения водостойкости жидкого стекла. Проанализированы данные по испытаниям жидкого стекла с различным содержанием одно- и двухкомпонентных добавок. Рассмотрены химические реакции, происходящие в жидком стекле, модифицированном добавками. С учетом экологических и технологических аспектов производства теплоизоляционных плит установлено, что наиболее целесообразным для обеспечения высокой водостойкости жидкого стекла является использование двухкомпонентных добавок.*

**Введение.** Для теплоизоляционных материалов на основе растительных отходов сельскохозяйственного производства, таких как копра конопли и льна, солома зерновых культур, стебли хлопчатника, наряду с применением акрила, латекса, ПВА и т.д. [1; 2] наиболее перспективно использование жидкого стекла в качестве вяжущего компонента. Жидкое стекло позволяет обеспечить низкую плотность утеплителя, существенно повысить огнезащитные свойства и стойкость к вредному воздействию мелких грызунов. Отсутствие отрицательного влияния жидкого стекла на организм человека дает возможность производить экологически чистый теплоизоляционный материал, не выделяющий вредных химических соединений в процессе эксплуатации.

В Республике Беларусь выпускают в основном натриевые жидкие стекла, в меньших масштабах – калиевые жидкие стекла, литиевые и жидкие стекла на основе четвертичного аммония производятся отдельными партиями по специальным заказам. Преимущественное производство натриевых жидких стекол по сравнению с другими видами жидких стекол объясняется большей доступностью сырья и низкой стоимостью при приемлемом уровне некоторых технических свойств стекла. К недостаткам жидкого стекла как клеящего вещества относится разрушение клеевого слоя во влажной атмосфере. Для устранения данного недостатка в работах [3; 4] в жидкое стекло предлагается вводить тростниковый сахар. Также согласно исследованиям [5; 6] использование таких органических добавок, как крахмал, технические лигносульфонаты, спиртодрожжевая бражка, позволяет повысить водостойкость и прочность склеивания жидкого стекла. В Белорусском государственном технологическом университете разработана технология получения и применения в качестве модифицирующей добавки гексафторсиликата натрия, синтезированного из фторсодержащих сточных вод абсорберов цеха химического полирования стеклоизделий, отличающегося низким содержанием несвязанного оксида кремния [7].

Водостойкость силикатных композиций, как правило, снижается с увеличением концентрации жидкого стекла. Это объясняется тем, что в процессе реакции взаимодействия щелочи с отвердителем большая часть щелочи остается свободной. В результате неравномерного протекания реакции в отдельных условиях образуются высокопрочные конгломераты, придающие системе в целом высокую механическую прочность. При увлажнении эти конгломераты разъединяются, и материал оказывается неводостойким. При высокой вязкости жидкого стекла затрудняется диффузия отвердителя в силикатные массы. Таким образом, для обеспечения водостойкости силикатных композиций необходимо присутствие отвердителя и применение жидкого стекла невысокой плотности [8].

Для получения силикатных масс наибольшей прочности необходимо, чтобы наполнитель состоял из фракций крупных и мелких зерен. При этом образующийся минеральный остов обладает наибольшей плотностью. Прочность силикатных масс также повышается, если зерна наполнителя имеют острые углы и шероховатую поверхность, так как благодаря этому жидкое стекло лучше сцепляет их друг с другом [9]. Данному требованию вполне отвечают растительные отходы сельскохозяйственного производства – рубленая солома зерновых культур и копра льна.

В Полоцком государственном университете разработан теплоизоляционный материал на основе смеси рубленой ржаной соломы и костры льна с применением жидкого стекла в качестве вяжущего [10]. По результатам комплекса исследований и проведенных натурных испытаний зарегистрированы технические условия ТУ ВУ 300220696.060-2011 [11].

Теплоизоляционные плиты в процессе эксплуатации периодически могут находиться в условиях повышенной влажности воздуха или подвергаться увлажнению в результате нарушения сплошности и протечек покрытия кровли или вентилируемых фасадов. Для обеспечения долговечности костросоломенных плит в таких условиях эксплуатации, в первую очередь, необходимо обеспечить водостойкость жидкого стекла как вяжущего материала. Из опытных данных [12; 13] следует, что повышение водостойкости жидкого стекла достигается не только введением добавок, но и значительное влияние на данный показатель оказывает модуль жидкого стекла, а также температура и условия твердения.

**Методика эксперимента.** Растворимость жидкого стекла определяли методом высушивания с использованием фланелевой ткани. Образцы фланелевой ткани размером 100×100 мм пропитывали вяжущим, высушивали в сушильном шкафу при температуре 80...110 °С. По достижении постоянной массы образцы охлаждали и погружали в емкость с водой с температурой  $20 \pm 5$  °С. Через 2 часа образцы фланели с вяжущим извлекали из емкости. Для удаления излишков воды ткань подвешивали в свободном состоянии на 30 минут. После чего образцы фланели помещали в сушильный шкаф и по достижении постоянной массы ткань взвешивали. Далее образцы вновь погружали в емкость с водой, высушивали и взвешивали. Количество опытов определялось постоянством массы трех последовательно высушенных образцов фланели. Изменение массы образцов выражали в процентах. По величине изменения массы пропитанных образцов фланели до и после вымачивания и высушивания определяли относительный показатель растворимости вяжущего и нерастворимый остаток (водостойкость).

**Экспериментальные результаты и их обсуждение.** В исследованиях применяли натриевое жидкое стекло с модулем 2,9. Образцы сначала выдерживали в закрытой емкости 6 часов, а затем высушивали при температуре 80...110 °С для обеспечения аналогичных условий сушки костросоломенных блоков на жидком стекле. В таблице приведены результаты водостойкости жидкого стекла, содержащего добавки гексафторсиликата натрия, извести, гипса и мела.

Водостойкость жидкого стекла, содержащего добавки

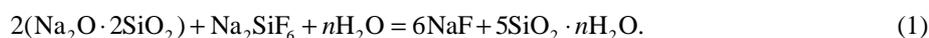
Добавка	Количество добавки, %	Нерастворимый остаток по массе, %, после количества циклов испытаний			
		1	2	3	4
Гексафторсиликат натрия	2	83	76	72	71
	4	87	80	76	76
	6	91	86	83	82
	8	94	90	87	86
	10	96	92	90	89
Известь	2	77	66	61	58
	4	83	73	67	64
	6	86	77	72	69
	8	90	83	78	76
	10	92	86	83	80
Гипс	2	86	76	70	67
	4	89	81	76	74
	6	91	85	81	78
	8	95	90	87	86
	10	96	94	91	90
Мел	2	67	51	43	41
	4	76	60	52	49
	6	81	67	59	56
	8	86	73	65	62
	10	88	77	71	69
Мел + гипс	2	89	83	79	77
	4	91	85	82	80
	6	93	88	86	84
	8	95	92	89	88
	10	97	94	91	90
Известь + гипс	2	91	86	82	81
	4	93	89	86	85
	6	95	92	89	88
	8	97	95	93	92
	10	98	97	96	95

Полученные образцы (см. таблицу) испытывали через 1 сутки после изготовления при полном высыхании. Жидкое стекло без добавок после первого цикла подвергалось значительному растворению, а нерастворимый остаток по массе составлял 24 %. После второго цикла испытаний твердая фаза жидкого стекла незафиксирована.

При введении 2 % гексафторсиликата натрия в жидкое стекло растворимость снижается и после четырех циклов испытаний составляет 29 %. Содержание 6 % гексафторсиликата натрия в жидком стекле приводит к образованию водостойкого остатка, превышающего на 15 % остаток, получаемый при введении 2 % добавки. В этом случае растворимость жидкого стекла уменьшается на 38 %. Введение  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  в количестве 10 % вызывает повышение нерастворимого остатка на 25 % по сравнению с минимальной дозировкой гексафторсиликата натрия в жидком стекле.

Введение гексафторсиликата натрия, особенно при дозировке 8...10 %, вызывает увеличение вязкости через 30...35 минут с последующим достаточно быстрым твердением жидкого стекла. Следует также отметить достаточно низкую растворяемость гексафторсиликата натрия как в воде, так и в жидком стекле. В результате имеет место равномерное распределение частиц  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  в массиве жидкого стекла.

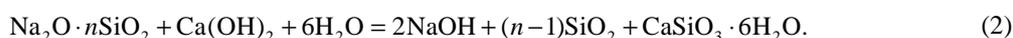
Таким образом, можно предположить, что при взаимодействии жидкого стекла с гексафторсиликатом натрия реакция происходит по уравнению [14]:



Согласно реакции в результате взаимодействия гексафторсиликата натрия и жидкого стекла образуются конечные продукты реакции в виде  $\text{NaF}$  и  $\text{SiO}_2$ .

Добавка извести в количестве 2 % приводит к образованию небольшого водостойкого остатка при растворимости, равной 42 % по массе. Присутствие извести в количестве 6 % приводит к возрастанию водостойкого остатка жидкого стекла на 19 % по сравнению с остатком, содержащим 2 %  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Растворимость жидкого стекла при содержании 10 % извести в 2,1 раза ниже, чем при введении 2 %  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , а нерастворимый остаток увеличивается на 38 %.

При дозировке  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в количестве 6...10 % через 40...60 минут наблюдается начало повышения вязкости жидкого стекла с дальнейшим ускорением твердения, что, вероятно, является результатом химической реакции, происходящей по уравнению [15]:



Как видно из приведенного уравнения, в результате взаимодействия жидкого стекла и гидроксида кальция образуется гидросиликат кальция.

При введении 6 %  $\text{CaSO}_4$  в жидкое стекло нерастворимый остаток возрастает на 16 % относительно остатка с добавкой 2 % гипса. Увеличение водостойкого остатка по массе на 34 % по сравнению с образцами, содержащими минимальное количество добавки, обеспечивается при дозировке гипса в количестве 10 %.

Содержание гипса в количестве 2...4 % практически не влияет на повышение вязкости жидкого стекла в период времени изготовления образцов. При повышении дозировки гипса до 8...10 % уже через 10...15 минут после введения гипса происходит быстрое повышение вязкости с дальнейшим переходом в гелеобразную массу. С гипсом процесс схватывания и твердения жидкого стекла протекает значительно быстрее, что объясняется гидратацией  $\text{CaSO}_4$  и, следовательно, обезвоживанием щелочного силиката [6]. Данные химические процессы протекают по следующим уравнениям:



Максимальная дозировка мела, составляющая 10 %, позволяет уменьшить растворимость жидкого стекла на 47 % по сравнению с минимальным процентом вводимого вещества и увеличить нерастворимый остаток на 68 %. При содержании 6 % мела водостойкий остаток оказывается на 37 % больше остатка, образуемого при введении 2 % добавки.

При дозировке мела от 2 до 10 % от массы жидкого стекла не отмечается быстрых изменений вязкости, как в случаях с вышерассмотренными добавками. При замешивании жидкого стекла с тонко-

измельченным порошком мела образуется пастообразная масса, которая, находясь на воздухе, постепенно превращается в твердый монолитный камень [12] по следующему химическому уравнению:



Таким образом, твердение смеси жидкого стекла с углекислым кальцием объясняется образованием силиката кальция и выделением коллоидного кремнезема.

С введением 2 % двухкомпонентной добавки мела и гипса при соотношении компонентов 1:1 уменьшается растворимость жидкого стекла до 23 %. Присутствие двухкомпонентной добавки мела и гипса в количестве 6 % приводит к незначительному возрастанию нерастворимого остатка по массе на 9 % по сравнению с получаемым остатком при введении 2 % добавки в жидкое стекло. Содержание максимального количества добавки  $\text{CaCO}_3 + \text{CaSO}_4$  в жидком стекле увеличивает водостойкий остаток на 17 % относительно остатка, образуемого при минимальной дозировке мела и гипса, а растворимость жидкого стекла уменьшается в 2,3 раза.

В процессе перемешивания жидкого стекла с двухкомпонентными добавками сначала вводили мел или известь, а затем гипс. Следует отметить, что при использовании двухкомпонентной добавки извести и гипса при соотношении компонентов 1:1 уже в количестве 2 % происходит образование значительного количества водостойкого остатка при снижении растворимости до 19 %. При содержании двухкомпонентной добавки извести и гипса в количестве 6 % растворимость жидкого стекла снижается на 37 % по сравнению с минимальным количеством вводимой добавки. Введение 10 %  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CaSO}_4$  приводит к формированию нерастворимого остатка, на 17 % превышающего по массе остаток жидкого стекла, образующегося в присутствии 2 % извести и гипса.

**Заключение.** Полученные результаты свидетельствуют, что наиболее эффективными добавками для получения водостойкого жидкого стекла с модулем 2,9 являются гексафторсиликат натрия, гипс, двухкомпонентные добавки извести и гипса, а также мела и гипса. Оптимальное количество вводимых добавок составляет 8...10 %. При таких дозировках растворимость жидкого стекла с добавкой  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  составляет не более 14 % с образованием водостойкого остатка в количестве 86...89 %. Введение гипса позволяет получить водостойкий остаток, равный 86...90 % по массе. Двухкомпонентная добавка гипса и мела повышает водостойкость жидкого стекла до 88...90 %, а добавка извести и гипса – до 92...95 %.

Однако при выборе добавки следует учитывать, что количество вводимого гексафторсиликата натрия исходя из санитарных норм и экологической безопасности [7] ограничено и составляет не более 10 % от массы жидкого стекла по сухому веществу. Применение в качестве добавки одного только гипса с учетом быстрого вступления в химическую реакцию и, как результат, перехода жидкого стекла в гелеобразное состояние делает технологически невыполнимым равномерное распределение вяжущего по всему объему костросоломенной смеси на этапе перемешивания. Таким образом, исходя из показателя водостойкости для жидкого стекла с модулем 2,9 наиболее целесообразным является применение двухкомпонентных добавок  $\text{CaCO}_3 + \text{CaSO}_4$  и  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CaSO}_4$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Курдюмова, В.М. Исследование и разработка технологии изготовления плит из стеблей хлопчатника: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.М. Курдюмова. – Л., 1981. – 21 с.
2. Смирнова, О.Е. Теплоизоляционные материалы на основе костры льна: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / О.Е. Смирнова; Новосибирский гос. архит.-строит. ун-т. – Новосибирск, 2007. – 18 с.
3. О влиянии некоторых технологических параметров приготовления жидкостекольных целлюлозосодержащих композиций на водостойкость / В.В. Лисовский [и др.] // Пластические массы. – 1997. – № 4. – С. 23–25.
4. Friedeman, W. // Glasstechn. Ber. – 1985. – Vol. 58, № 11. – P. 315–319.
5. Способ корректирования состава древесно-минеральной смеси: а. с. 1571023 СССР, МКИ C04 B18/24 / А.С. Щербаков, Л.В. Гольцова; опубл. // Открытия. Изобрет. – 1990. – № 22.
6. Арбузов, В.В. Композиционные материалы из лигнинных веществ / В.В. Арбузов. – М.: Экология, 1991. – 208 с.
7. Дубовская, Л.Ю. Разработка композиционного материала целевого назначения на основе мягких отходов деревообработки и модифицированного жидкого стекла: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05 / Л.Ю. Дубовская; Белорус. гос. технолог. ун-т. – Минск, 2008. – 19 с.

8. Власенко, П.И. Минеральное связующее для отделочных материалов по древесине / П.И. Власенко, В.М. Кулик // Деревообработка. – 1989. – № 12. – С. 6–23.
9. Шульце, В. Растворы и бетоны на цементных вяжущих / В. Шульце, В. Тишер, В. Эттель. – М.: Стройиздат, 1990. – 240 с.
10. Сырьевая смесь для получения теплоизоляционного материала: пат. 14140 Респ. Беларусь, МПК(2009) С 04В 28/00, С 08В 18/04 / А.А. Бакатович, Н.В. Давыденко; заявитель Полоц. гос. ун-т. – № а 20091414; заявл. 10.05.2009; опубл. 30.04.2011 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 2. – С. 90.
11. Плиты костросоломенные строительные теплоизоляционные. Технические условия ТУ ВУ 300220696.060-2011. – Введено 12.03.2012. – 2011. – 12 с.
12. Бабушкина, М.И. Жидкое стекло в строительстве / М.И. Бабушкина. – Кишинев: Изд-во «КАРТЯ МОЛДОВЕНЯСКЭ», 1971. – 215 с.
13. Жилин, А.И. Растворимое стекло, его свойства, получение, применение / А.И. Жилин. – М.: Гос. объединенное науч.-техн. изд-во, 1939. – 96 с.
14. Глуховский, В.Д. Грунтосиликаты / В.Д. Глуховский. – Киев: Гос. изд-во лит. по строительству и архитектуре УССР, 1959. – 127 с.
15. Разработать и внедрить ускоритель твердения из кубовых остатков производства малеинового ангидрида для жидкостекольных композиций: отчет о НИР (заключ.) / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т по защите металлов от коррозии; рук. А.А. Козлов; исполн.: Н.И. Пучков, А.И. Балабанов. – ВНИИЦентр., 1985. – 52 с. – № ГР 01850059573. – Инв. № 02870039881.

Поступила 04.06.2015

**IMPROVEMENT OF WATER-RESISTING PROPERTIES OF LIQUID GLASS  
APPLIED AS A BINDING AGENT FOR HEAT-INSULATING  
STRAW-BOOM PLATES MANUFACTURING**

**N. DAVYDENKO, A. BAKATOVICH**

*The article provides the results of experimental studies of improvement of liquid glass insolubility to provide a heat-insulating material with required physical and mechanical properties on its basis. Sodium fluorosilicate, lime, gypsum, chalk are to be used as modifying agents for liquid glass. A method of water-resisting properties of liquid glass testing is described in the article as well. Test results of liquid glass with different rate of single- and two-component additives are analyzed. Chemical reactions in liquid glass with modified agents are studied. It is found out that two-component additives provide liquid glass with high water-resisting properties better. Ecological and technological aspects of heat-insulating slabs manufacturing have been taken into account.*