

УДК 691.58.688.3

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.167.2017.97112>

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРАТКОВРЕМЕННОЙ ПРОЧНОСТИ СТАЛЕКЛЕЕВОГО БЕЗАНКЕРНОГО СОЕДИНЕНИЯ НА АКРИЛОВЫХ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИЯХ**

Асп. П. М. Фирсов (ХНУГХ им. А. Н. Бекетова)

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОРОТКОЧАСНОЇ МІЦНОСТІ СТАЛЕКЛЕЙОВОГО БЕЗАНКЕРНОГО З'ЄДНАННЯ НА АКРИЛОВИХ МОДИФІКОВАНИХ КОМПОЗИЦІЯХ**

Асп. П. М. Фірсов (ХНУМГ ім. О. М. Бекетова)

**STEEL-GLUED WITHOUT ANCHOR JOINT SHORT-TERM STRENGTH EXPERIMENTAL RESERCH ON ACRYLIC MODIFIED COMPOSITIONS**

Post-graduate student Pavlo Firsov

*Приводятся результаты экспериментов по определению прочности безанкерного крепления технологического оборудования в случае приклейки стальных пластин к поверхности бетона модифицированными акриловыми клеями. Детально описаны методы испытаний кратковременной прочности клеевых сталебетонных соединений, а также проведены исследования по определению влияния основных технологических факторов на прочность безанкерного клеевого крепления на акриловых модифицированных композициях. Проведены экспериментальные исследования влияния класса бетона, толщины клеевого шва и других конструктивных характеристик крепежного узла на прочность адгезии. Результаты данных экспериментальных исследований могут быть использованы для разработки узлов крепления производственного оборудования и технологических линий предприятий, а также для последующего улучшения составов полимерных клеевых материалов, широко используемых в промышленном и гражданском строительстве.*

**Ключевые слова:** безанкерное крепление, толщина стальной пластины, бетон, акриловый модифицированный клей, прочность соединения.

*Наводяться результати експериментів з визначення міцності безанкерного кріплення технологічного обладнання в разі приклеювання сталевих пластин до поверхні бетону модифікованими акриловими клеями. Детально описано методи випробувань короткочасної міцності клейових сталебетонних з'єднань, а також проведені дослідження з визначення впливу основних технологічних факторів на міцність безанкерного клейового кріплення на акрилових модифікованих композиціях. Проведено експериментальні дослідження щодо впливу класу бетону, товщини клейового шва й інших конструктивних характеристик кріплення вузла на міцність адгезії. Результати даних експериментальних досліджень можуть бути використані для розроблення вузлів кріплення виробничого обладнання та технологічних ліній підприємств, а також для подальшого поліпшення складів полімерних клейових матеріалів, широко використовуваних у промисловому і цивільному будівництві.*

**Ключові слова:** безанкерне кріплення, товщина сталеві пластины, бетон, акриловий модифікований клей, міцність з'єднання.

*The central issue of the paper is the short-term adhesive strength dependence determining from the number of various technological factors and advanced acrylic composition selection for further elements constructions and without anchor joint adhesive development. The results of the experiments on determination the technological equipment without anchor joint strength, in the case of gluing steel plates to the concrete surface with modified acrylic adhesives, are conducted. Short-term strength of adhesive steel-concrete joints testing methods, as well as the determination of the main technological factors influence on the strength of without anchor joint on acrylic modified compositions, are described in detail. The experimental research on the concrete class, adhesive layer thickness and other structural fixing joint characteristics influence on the strength of adhesion are conducted. On the basis of research results, it was demonstrated that regardless from the type of the loading, the adhesive compound geometric characteristics, concrete physic and mechanical properties, the destruction of concrete-steel joint was occurred on the concrete surface. The obtained results of experimental research data can be used for attachment joints projecting and industrial technological lines development, as well as for further polymeric adhesive materials, widely applied in industrial and civil engineering, improvement.*

**Keywords:** joint without anchor, steel plate thickness, concrete, modified acrylic adhesive, bond strength.

**Вступление.** Наиболее распространенными основными видами креплений технологического оборудования и производственных линий являются сварные, болтовые и анкерные соединения. Альтернативным соединением является безанкерный способ крепления. Крепление по этому способу осуществляется путем приклейки крепежных узлов или опорных частей технологического оборудования непосредственно к предварительно обработанной поверхности бетона. Для этого соединения используют любые клеи, обладающие необходимой адгезией к бетону и стали, а также высокими физико-механическими характеристиками.

Основной материал в таких соединениях – эпоксидные и акриловые клеи, так как они по своим свойствам отвечают всем необходимым требованиям, предъявляемым к клеям для создания надежных, высокопрочностных сталебетонных креплений [1-3].

Необходимым условием успешного применения безанкерных соединений сталь - бетон с использованием акриловых клеев является комплексное решение научно-исследовательской задачи, включающей исследование их кратковременной, длительной и усталостной прочности, их

проектирование, вопросы технологии их устройства (в частности приклейки крепежных узлов к поверхности бетона для крепления оборудования и различных инженерных коммуникаций), опытно-промышленная проверка в условиях производства.

На основании анализа выполненных ранее исследований конструкций безанкерных креплений технологического оборудования и инженерных коммуникаций сотрудниками кафедры теоретической и строительной механики совместно с кафедрой строительных конструкций Харьковского национального университета городского хозяйства имени А. Н. Бекетова разработана технология и рекомендации для устройства данных креплений на модифицированных акриловых клеях [4]. Технологический процесс приклейки крепежных узлов и опорных частей оборудования выполняется непосредственно после очистки поверхностей стали и бетона и приготовления клея.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В научных работах [5,6] рассмотрены общие вопросы устройства и прочности безанкерных креплений на основе клеевых соединений сталь - бетон и

обобщен опыт их применения, показывающий явную перспективность такого способа крепления технологического оборудования и инженерных коммуникаций по сравнению с традиционным способом анкеровки фундаментных бетонов и заделки выпусков арматуры закладных деталей. К данному способу установки крепежных узлов относят ряд определенных достоинств, заключающихся в том, что для их установки не требуются значительные трудовые затраты для устройства соединений, разборки бетона, бурения скважин, устройства хомутов и т.п., чем достигается существенная экономия денежных средств и трудозатрат. Это особенно актуально в случаях инженерного переоборудования промышленных предприятий, где необходимо провести большое количество креплений и монтажных процессов в краткие временные рамки.

Результаты экспериментов по определению прочности крепления технологического оборудования в случае приклейки стальных пластин к поверхности бетона модифицированными акриловыми клеями на основе полиметилметакрилата (ПММА), либо в случае анкеровки, приведены в научных работах Золотова М.С., Фирсова П.М., Гарбуз А.О., Золотова С.М. [7,8]. В данных статьях проработаны теоретико-методологические и методические подходы по определению прочностных характеристик модифицированных акриловых композиций в зависимости от типа существующего или планируемого крепежного узла.

Проблематика влияния геометрических характеристик клеевого соединения, физико-механических свойств бетона, характера подготовки бетона к склеиванию на прочность адгезии соединений на акриловых композиционных материалах была исследована в ряде работ Золотова М.С., Бабаева В.Н., Складорова В.А., Золотова С.М. [9,10].

В научных работах Ru-Xiang Cheng [11] затронуты вопросы прочности адгезии акриловых композиций с бетонными, стальными и деревянными основаниями при различных температурных условиях. Данные исследования показали, что прочность данного вида клея может изменяться в широких пределах путем введения модифицирующих добавок.

Иностранные ученые Martinez M., Abenojar J., Pantoja M. [12-14], Yanmei Wang [15] детально исследовали влияние влажности и температуры на механические свойства модифицированных составов акриловых и эпоксидных композиций, а также их полимеризацию с различными современными добавками в структуре.

Исходя из этого в данный момент представляет интерес провести дальнейшие исследования влияния различного вида усилий на прочность сталеклевого безанкерного соединения на современных модифицированных акриловых клеях, а также определить зависимость прочности крепежного узла от геометрии соединения (толщина соединения, толщина клеевого слоя, толщина стальной пластины, площадь приклейки и т.п.) и ряда других технологических факторов.

**Определение целей и основных задач исследования.** Растущие потребности отрасли строительства в высококачественных клеевых материалах приводят к значительному увеличению требований к составу и эксплуатационным характеристикам как самих адгезивов, так и клеевых соединений.

Необходимым условием успешного применения безанкерных соединений сталь - бетон с использованием акриловых клеев является комплексное решение научно-исследовательской проблематики, включающей исследование их кратковременной, длительной и усталостной прочности, их проектирования, вопросы технологии их устройства (в частности приклейки крепежных узлов к поверхности бетона для

крепления оборудования и различных инженерных коммуникаций), опытно-промышленная проверка в условиях производства.

Основной целью данной научной работы является испытание новой акриловой композиции для промышленного склеивания материалов, а также детальное рассмотрение вопроса кратковременной прочности сталебетонного клевого соединения при равномерном отрыве. К задачам исследования относится экспериментальная проверка прочностных данных акрилового состава при определении влияния различных геометрических характеристик соединения на прочность крепежного узла.

**Основная часть исследования.** В рамках научного исследования была разработана и принята для дальнейших исследований и испытаний новая акриловая композиция для безанкерного крепления металлических конструкций с бетоном, которая содержит очищенный от стабилизатора акриловый мономер, эмульсионный полимер акрилового ряда, отвердитель – перекись бензоила, ускоритель полимеризации – диметиланилин, наполнитель – кварцевый песок [16]. Применение данной композиции для безанкерного соединения металла с бетоном позволяет существенно увеличить уровень разрушающего напряжения клевого шва в условиях действия усилий равномерного отрыва при

уменьшении толщины металлической закладной пластины.

Данная композиция отличается от подобных аналогов тем, что в качестве очищенного от стабилизатора акрилового мономера содержит метилметакрилат, а в качестве полимера акрилового ряда – эмульсионный полиметилметакрилат при следующем соотношении компонентов, мас. %:

- очищенный от стабилизатора метилметакрилат – 31,0-30,2;
- эмульсионный полиметилметакрилат – 34,5-34,8;
- отвердитель – 0,69-0,66;
- ускоритель полимеризации – 2,11-2,14;
- кварцевый песок – остаток.

Разработанная акриловая композиция при использовании в качестве клея обеспечивает повышение адгезионного контакта металла с бетоном при уменьшении толщины закладного металлического элемента в узлах безанкерного крепления, которое приводит к повышению надежности несущих конструкций зданий и сооружений при снижении материалоемкости и себестоимости в технологии строительного производства.

Эксперименты по определению кратковременной прочности соединений сталь - клей - бетон при равномерном отрыве выполнялись на образцах (рис. 1) по схеме, представленной на рис. 2.

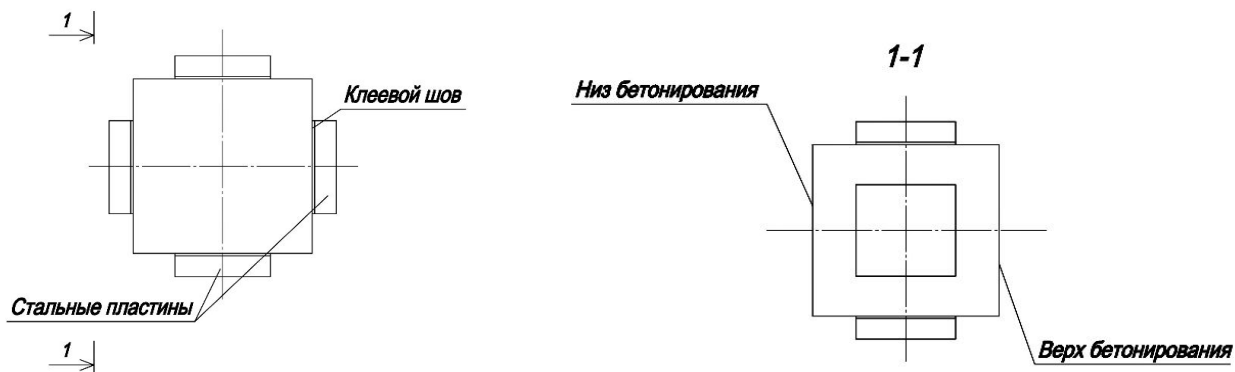


Рис. 1. Схема приклейки стальных пластин к бетонному образцу

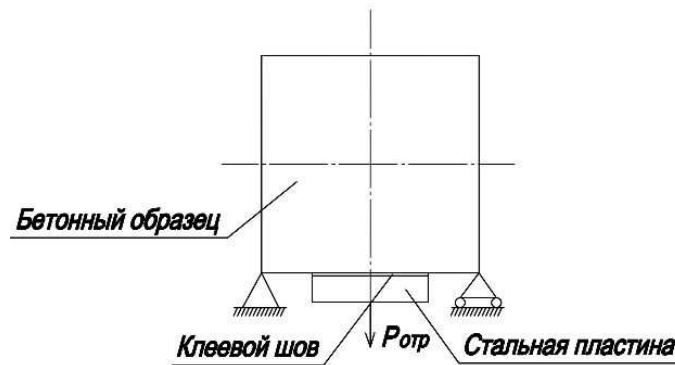


Рис. 2. Схема испытания на равномерный отрыв соединения сталь - клей - бетон

Бетонные образцы изготавливались в стандартной металлической опалубке в производственном цехе ОДО “Жилстрой-2” (Харьков) размером  $100 \times 100 \times 100$  мм из бетона класса С12/15.

Для изготовления образцов крепежных узлов применялась сталь углеродистая качественная марки Ст 08 кп (ДСТУ 2834-94). Эти образцы изготавливались в виде пластин путем порезки листового проката промышленной гильотиной металлобазы ООО “Харьковметалл”. Размер в плане  $a \times a = 80 \times 80$  мм, толщина  $\delta_{пл} = 8$  мм.

Условная жесткость стальных пластин составила  $\Delta = \delta_{пл} / a = 0,10$ .

К центру пластин ручным дуговым полуавтоматическим методом были приварены болты для передачи усилий отрыва на клеевое соединение. Для получения одинаковых результатов пластины наклеивались на те стороны бетонного образца, которые находились при бетонировании в одинаковых условиях. На каждый куб наклеивались четыре пластины (рис. 1). Толщина клеевого слоя составляла  $\delta_{кл} = 2$  мм.

В экспериментах использовался акриловый модифицированный клей, улучшенный состав которого был разработан при участии автора, который рекомендуется для безанкерного соединения строительных конструкций [16,

17]. Испытания образцов проводились на разрывной машине марки МР-1000 в лаборатории кафедры строительных конструкций Харьковского национального университета городского хозяйства имени А. Н. Бекетова.

В процессе испытаний определялись разрушающие усилия и характер разрушения образцов клеевых соединений.

1. *Влияние жесткости металлических пластин на прочность клеевого соединения.* Эксперименты в данном случае проводились с использованием в образцах клеевых соединений стальных пластин толщиной  $\delta_{пл} = 5, 8, 10, 12, 15, 18, 20$  мм при постоянных размерах в плане  $a \times a = 80 \times 80$  мм.

Значения условной жесткости для указанных пластин соответственно составили  $\Delta = 0,06, 0,10, 0,125, 0,15, 0,188, 0,225, 0,25$ . Геометрические характеристики клеевого безанкерного соединения приведены в табл. 1.

Образцы металлических пластин изготавливались из стали марки Ст 08 кп. Бетонные образцы изготавливались в виде кубов  $100 \times 100 \times 100$  мм из бетона класса С12/15. Металлические пластины приклеивались по схеме, представленной на рис. 1. Испытания клеевых соединений производились по схеме, представленной на рис. 2.

Таблиця 1

## Геометрические характеристики клеевых безанкерных соединений

Размер пластины в плане $a \times a$ , мм	Толщина пластины в плане $\delta_{пл}$ , мм	Условная жесткость пластины $\Delta = \delta_{пл} / a$
80×80	5	0,06
80×80	8	0,10
80×80	10	0,125
80×80	12	0,15
80×80	15	0,188
80×80	18	0,225
80×80	20	0,25

## 2. Влияние толщины клеевого шва.

Эксперименты по определению влияния толщины клеевого слоя на прочность соединения сталь - клей - бетон модифицированными акриловыми клеями проводились следующим образом. В образцах клеевых соединений использовались стальные пластины размером  $a \times a = 80 \times 80$  мм и  $\delta_{пл} = 8$  мм. Условная жесткость  $\Delta = 0,10$ . Толщины клеевого слоя принимались  $\delta_{кл} = 2, 4, 8, 12, 16$  мм. Бетонные образцы принимались аналогично предыдущим испытаниям. Схемы приклейки пластин и испытаний образцов клеевых соединений представлены на рис. 1 и 2.

3. Влияние степени удаления пластины от края строительной конструкции на прочность клеевого соединения. Для определения влияния этого фактора на прочность соединения сталь - клей - бетон

в образцах клеевых соединений использовались пластины размером в плане  $a \times a = 60 \times 60$  мм,  $80 \times 80$  мм,  $100 \times 100$  мм и  $120 \times 120$  мм при толщине металлических пластин  $\delta_{кл} = 8$  мм. Значения условной жесткости равны  $\Delta = 0,13, 0,10, 0,08$  и  $0,067$  соответственно. В качестве бетонных образцов изготавливались кубы размером  $b \times b \times b = 70 \times 70 \times 70$  мм;  $90 \times 90 \times 90$  мм;  $100 \times 100 \times 100$  мм;  $120 \times 120 \times 120$  мм;  $150 \times 150 \times 150$  мм;  $180 \times 180 \times 180$  мм;  $200 \times 200 \times 200$  мм;  $250 \times 250 \times 250$  мм;  $300 \times 300 \times 300$  мм;  $350 \times 350 \times 350$  мм. В данных образцах использовался бетон класса С12/15.

Геометрические характеристики клеевых соединений приведены в табл. 2. Схемы наклейки пластин и испытаний на равномерный отрыв представлены на рис. 1 и 2.

Таблиця 2

## Геометрические характеристики клеевых безанкерных соединений

Размер бетонного образца в плане $b \times b$ , мм	Размеры металлических пластин в плане $a \times a$ , мм							
	$a \times a = 60 \times 60$		$a \times a = 80 \times 80$		$a \times a = 100 \times 100$		$a \times a = 120 \times 120$	
	$b / a$	$F_{\bar{\sigma}} / F_{np}$	$b / a$	$F_{\bar{\sigma}} / F_{np}$	$b / a$	$F_{\bar{\sigma}} / F_{np}$	$b / a$	$F_{\bar{\sigma}} / F_{np}$
70×70	1,16	1,36	-	-	-	-	-	-
90×90	1,50	2,25	1,13	1,27	-	-	-	-
100×100	1,67	2,78	1,25	1,56	1,00	1,00	-	-
120×120	2,00	4,00	1,50	2,25	1,20	1,44	1,00	1,00
150×150	2,50	6,25	1,88	3,52	1,50	2,25	1,25	1,56
180×180	3,00	9,00	2,25	5,06	1,80	3,24	1,50	2,25
200×200	3,33	11,11	2,50	6,25	2,00	4,00	1,67	2,78
250×250	-	-	3,13	9,77	2,50	6,25	2,08	4,34
300×300	-	-	-	-	3,00	9,00	2,50	6,25
350×350	-	-	-	-	-	-	2,92	8,51

4. Влияние класса бетона на прочность клеевого безанкерного соединения сталь-бетон. Для определения влияния класса бетона на прочность соединения сталь - клей - бетон образцы клеевых соединений изготавливались следующим образом. Применялись стальные пластины размером  $a \times a = 80 \times 80$  мм и  $\delta_{пл} = 8$  мм. Условная жесткость  $\Delta = 0,10$ . Бетонные образцы изготавливались в виде кубов из бетона класса С8/10, С12/15, С16/20, С20/25 и С25/30.

Образцы клеевых соединений по определению влияния класса бетона на

прочность клеевого соединения сталь - бетон, подготовленных к испытаниям, представлены на рис. 3.

Результаты экспериментов по определению влияния жесткости металлических пластин на прочность клеевых соединений сталь - бетон приведены в табл. 3. Испытания образцов проводились на разрывной машине марки МР-1000 (рис. 4), при этом разрушение клеевых соединений независимо от жесткости пластин происходило по бетону.



Рис. 3. Образцы клеевых соединений по определению влияния класса бетона на прочность соединения сталь - клей - бетон на акриловых клеях



Рис. 4. Испытания образцов клеевых соединений на разрывной машине марки МР-1000 в лаборатории кафедры строительных конструкций Харьковского национального университета городского хозяйства имени А. Н. Бекетова

Результаты испытаний клеевых соединений сталь - бетон на равномерный отрыв в зависимости от жесткости стальных пластин

Условная жесткость пластины $\Delta$	Толщина пластины $\delta_{пл}$ , мм	Разброс данных прочности, МПа	Среднее значение, МПа
0,060	5	0,51-0,60	0,56
0,100	8	1,02-1,22	1,17
0,125	10	1,76-2,07	1,92
0,150	12	2,41-2,68	2,56
0,188	15	2,64-3,10	2,88
0,225	18	2,97-3,36	3,12
0,250	20	3,01-3,48	3,18

По результатам эксперимента построен график изменения прочности клеевого соединения при равномерном отрыве металлических пластин, различных по жесткости (рис. 5).

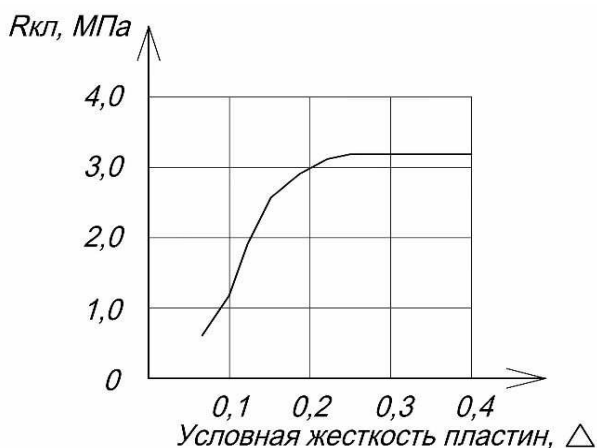


Рис. 5. Зависимость прочности клеевого соединения от условной жесткости металлических пластин

Исходя из табл. 3 и графика изменения прочности клеевого соединения при равномерном отрыве (рис. 5) сделан вывод, что увеличение условной жесткости ( $\Delta$ ) металлических пластин крепежного узла существенно влияет на величину предела прочности клеевого соединения.

Так, при условной жесткости пластин  $\Delta = 0,060$  предел прочности составил  $\sigma_{0np} = 0,60$  МПа:

- при условной жесткости пластин  $\Delta = 0,100 - \sigma_{0np} = 1,20$  МПа;

- при условной жесткости пластин  $\Delta = 0,125 - \sigma_{0np} = 1,92$  МПа;

- при условной жесткости пластин  $\Delta = 0,150 - \sigma_{0np} = 2,60$  МПа;

- при условной жесткости пластин  $\Delta = 0,188 - \sigma_{0np} = 2,90$  МПа;

- при условной жесткости пластин  $\Delta > 0,225 - \sigma_{0np} = 3,20$  МПа.

Т.е. при условной жесткости пластин  $\Delta = 0,225$  прочность клеевого соединения достигает максимального значения, после чего она стабилизируется. Это свидетельствует о том, что при работе на равномерный отрыв прочность клеевых соединений сталь - бетон находится в зависимости от величины условной жесткости пластин крепежных узлов. При этом увеличение условной жесткости свыше определенных классов не приводит к дальнейшему росту прочности клеевых соединений.

Результаты экспериментов по определению влияния толщины клеевого слоя на прочность соединения сталь - клей - бетон приведены в табл. 4.



Таблица 4

Результаты испытаний клеевых соединений сталь-бетон  
на равномерный отрыв в зависимости от толщины клеевого слоя

Толщина клеевого слоя, МПа	Разброс данных прочности, МПа	Среднее значение, МПа	Коэффициент однородности
2	2,87-3,67	3,18	0,85
4	2,91-3,58	3,21	0,87
8	2,84-3,70	3,20	0,84
12	2,94-3,60	3,22	0,87
16	2,91-3,63	3,20	0,86

Анализ данных эксперимента показал, что прочность соединения не изменяется с увеличением толщины клеевого слоя, при этом коэффициент однородности колеблется в диапазоне от 0,84 до 0,87.

Эксперименты по определению влияния степени удаления пластин от края

строительной конструкции на прочность соединения сталь - клей - бетон приведены в табл. 5, а также на графике (рис. 6). Разрушение образцов клеевых соединений независимо от степени удаления крепежного узла (пластины) происходило по бетону.

Таблица 5

Результаты испытаний клеевых соединений сталь - бетон на равномерный отрыв в зависимости от степени удаления пластин от обреза бетонного образца

$b/a$	$F_{\sigma}/F_{np}$	Разброс данных прочности клеевого соединения, МПа	Среднее значение прочности, МПа
1	2	3	4
Металлические пластины $a \times a = 60 \times 60$ мм			
1,16	1,36	1,47-1,79	1,62
1,50	2,25	1,77-2,07	1,94
1,67	2,78	2,13-2,38	2,26
2,00	4,00	2,57-2,83	2,72
2,50	6,25	2,92-3,47	3,22
3,00	9,00	3,55-3,92	3,76
3,33	11,11	3,66-4,08	3,91
Металлические пластины $a \times a = 80 \times 80$ мм			
1,13	1,27	1,33-1,68	1,52
1,25	1,56	1,59-1,83	1,71
1,50	2,25	1,94-2,11	2,02
1,88	3,52	2,33-2,67	2,50
2,25	5,06	2,72-3,25	2,98
2,50	6,25	3,30-3,73	3,51
3,13	9,77	3,54-4,02	3,78
Металлические пластины $a \times a = 100 \times 100$ мм			
1,00	1,00	1,08-1,31	1,21
1,20	1,44	1,44-1,59	1,53

1	2	3	4
1,50	2,25	1,68-1,85	1,78
1,80	3,24	2,05-2,42	2,24
2,00	4,00	2,49-2,93	2,72
2,50	6,25	3,01-3,48	3,12
3,00	9,00	3,42-3,95	3,65
Металлические пластины $a \times a = 120 \times 120$ мм			
1,00	1,00	0,51-0,65	0,58
1,25	1,56	0,95-1,09	1,03
1,50	2,25	1,11-1,23	1,18
1,67	2,78	1,46-1,74	1,64
2,08	4,34	2,21-2,67	2,47
2,50	6,25	2,92-3,49	3,16
2,92	8,51	2,91-3,51	3,22

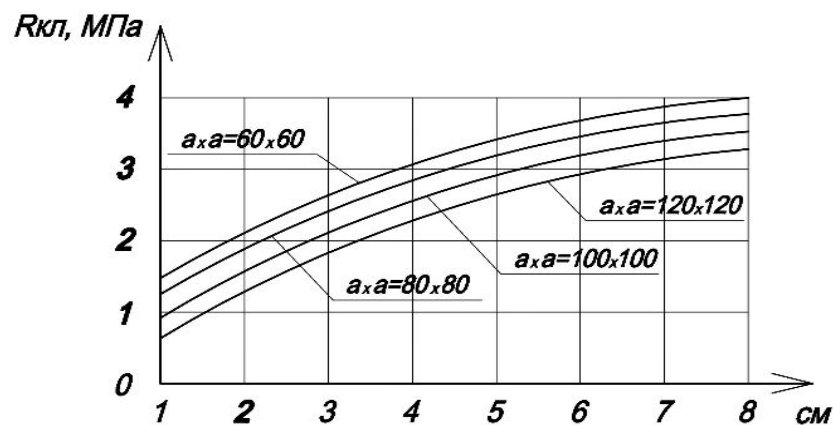


Рис. 6. Зависимость прочности клевого соединения от степени удаления пластин от края бетонного образца

Анализ этих данных свидетельствует о том, что прочность клевого соединения возрастает по мере удаления пластины от края бетонного образца. Прочность клевого соединения крепежного узла стабилизируется при  $F_{\sigma} / F_{np} > 6$ .

Так, при  $F_{\sigma} / F_{np} \approx 1$  прочность соединения составила соответственно:

$$F_{nl} = 36 \text{ см}^2 - 1,62 \text{ МПа};$$

$$F_{nl} = 64 \text{ см}^2 - 1,52 \text{ МПа};$$

$$F_{nl} = 100 \text{ см}^2 - 1,21 \text{ МПа};$$

$$F_{nl} = 144 \text{ см}^2 - 0,58 \text{ МПа}.$$

При  $F_{\sigma} / F_{np} \approx 2$ :

$$F_{nl} = 36 \text{ см}^2 - 2,26 \text{ МПа};$$

$$F_{nl} = 64 \text{ см}^2 - 2,05 \text{ МПа};$$

$$F_{nl} = 100 \text{ см}^2 - 1,78 \text{ МПа};$$

$$F_{nl} = 144 \text{ см}^2 - 1,18 \text{ МПа}.$$

При  $F_{\sigma} / F_{np} > 6$ :

$$F_{nl} = 36 \text{ см}^2 - 3,91 \text{ МПа};$$

$$F_{nl} = 64 \text{ см}^2 - 3,78 \text{ МПа};$$

$$F_{nl} = 100 \text{ см}^2 - 3,65 \text{ МПа};$$

$$F_{nl} = 144 \text{ см}^2 - 3,22 \text{ МПа}.$$

Различные значения прочности при различных величинах  $F_{nl}$  объясняются масштабным фактором и соответственно неоднородностью бетона.

Результаты экспериментов по определению влияния класса бетона на прочность соединения сталь-клей-бетон приведены в табл. 6 и на графике (рис. 7).

Испытания образцов проводились на разрывной машине марки МР-1000, при этом разрушение клеевых соединений

независимо от класса бетона происходило по бетону.

Таблица 6

Результаты испытаний клеевых соединений сталь - бетон на равномерный отрыв в зависимости от класса бетона

Класс бетона	Прочность бетона на сжатие, МПа	Разброс данных прочности, МПа	Среднее значение, МПа	Коэффициент однородности
C8/10	15	2,31-3,42	2,62	0,67
C12/15	20	2,84-3,67	3,18	0,85
C16/20	25	3,33-3,74	3,53	0,87
C20/25	35	4,25-4,67	4,48	0,887
C25/30	40	4,68-5,13	4,91	0,912

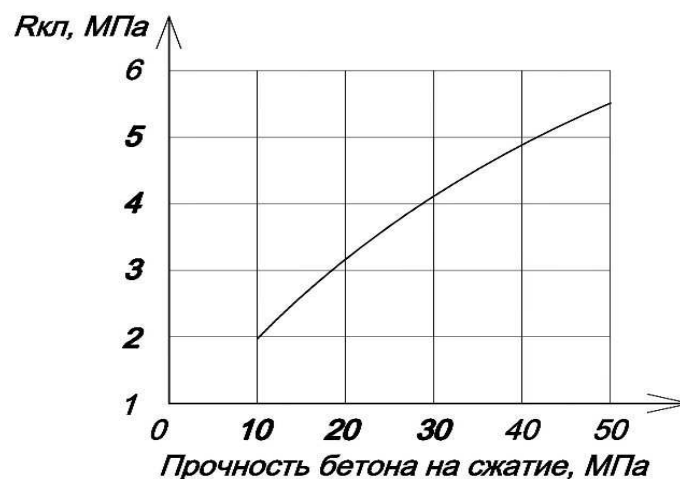


Рис. 7. Зависимость прочности клеевого соединения от прочности бетона

Анализ этих данных говорит о том, что прочность клеевого соединения сталь - бетон при равномерном отрыве зависит от прочности бетона на сжатие. Так, для бетона класса C8/10 она составила 2,62 МПа; для класса C12/15 – 3,18 МПа; для класса C16/20 – 3,53 МПа; для класса C20/25 – 4,48 МПа; для класса C25/30 – 4,91 МПа.

Испытания образцов проводились на разрывной машине марки МР-1000, при этом разрушение клеевых соединений независимо от класса бетона происходило по бетону (рис. 8).

**Выводы и дальнейшие перспективы развития в данном направлении.** Экспериментальными исследованиями установлено, что независимо от вида нагружения, геометрических характеристик клеевого соединения (размер в плане, толщина пластин, толщина клеевого слоя, удаление пластины от обреза строительной конструкции) и физико-механических свойств бетона разрушения соединения сталь - бетон на акриловых модифицированных композициях происходило по бетону.



Рис. 8. Характер разрушения клеевого соединения в зависимости от класса бетона

При равномерном отрыве на прочность клеевого соединения на границе сталь-бетон существенное влияние оказывают:

- условная жесткость металлических пластин  $\Delta$ . Прочность соединения при этом уменьшается в три раза при уменьшении значений  $\Delta$  от 0,225 до 0,060;

- удаление пластин от обреза строительной конструкции от 0 до 2,5 его размера в плане приводит к увеличению прочности соединения в 2-3 раза;

- физико-механические свойства бетона (с увеличением прочности бетонов в пределах их классов от C8/10 до C25/30 прочность соединения увеличивается приблизительно в 2 раза, при этом возрастает коэффициент однородности соединения).

Экспериментально доказано, что толщина клеевого слоя не оказывает

существенного влияния на прочность соединения сталь-клей-бетон на акриловых модифицированных клеях.

Результаты данных экспериментальных исследований могут быть использованы для разработки узлов крепления производственного оборудования и технологических линий предприятий, а также для последующего улучшения составов полимерных клеевых материалов, широко используемых в промышленном и гражданском строительстве.

Кроме того, необходимо провести дальнейшие практические исследования влияния способов подготовки поверхности бетона перед склеиванием, а также влияния стороны бетонирования на прочность клеевого соединения сталь - бетон на акриловых модифицированных композициях.

#### *Список использованных источников*

1. Золотов, С. М. Акриловые клеи для соединения строительных конструкций [Текст]: монография / С.М. Золотов. – Харьков: ХНУГХ им. А.Н. Бекетова, 2016. – 185 с.
2. Фирсов, П. М. Расчетная модель клеевого соединения сталь-бетон [Текст] / П.М. Фирсов // Строительство, реконструкция и восстановление зданий городского хозяйства: материалы IV Междунар. науч.-техн. интернет-конф. – Харьков: ХНУГХ им. А.Н. Бекетова, 2014. – С. 56-61.

3. Брусенцева, Т. А. Композиционные материалы на основе эпоксидной смолы и наночастиц [Текст] / Т.А. Брусенцева, А.А. Филиппов, В.М. Фомин // Известия Алтайского государственного университета. – Барнаул: АлтГУ, 2014. – Вып. 1 (81). – С. 25-27.
4. Золотов, С. М. Полимерные связующие, наполнители и модифицирующие добавки акриловых клеев повышенной адгезионной и когезионной прочности [Текст] / С.М. Золотов, Е.С. Скрипник, М.С. Золотов // Комунальне господарство міст. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2013. – Вип. 110. – С. 8-16.
5. Золотов, С. М. Адгезионная прочность безанкерного соединения сталь-бетон на модифицированных акриловых клеях при равномерном и неравномерном отрыве [Текст] / С.М. Золотов, П.М. Фирсов // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, 2015. – Вип. 4 (82). – С. 102-106.
6. Золотов, М. С. Влияние конструктивных факторов крепежного узла на прочность клеевого соединения безанкерного крепления [Текст] / М.С. Золотов, П.М. Фирсов // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне: Національний університет водного господарства та природокористування, 2015. – Вип. 30. – С. 127-134.
7. Гарбуз, А. О. Анкерные соединения на акриловых клеях с повышенной адгезионной прочностью [Текст] / А.О. Гарбуз // Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве: матер. IV Украинской науч.-техн. конф. – Харьков: ХНАГХ им. А.Н. Бекетова, 1998. – С. 12-14.
8. Золотов, С. М. Композиции на основе акриловых полимеров для ремонта и восстановления бетонных и железобетонных конструкций зданий и сооружений [Текст] / С.М. Золотов // Материалы и изделия для ремонта и строительства: Междунар. сб. науч. тр. – Новосибирск: НГАУ, 2007. – С. 165-168.
9. Кріплення технологічного обладнання і металевих конструкцій до фундаментів та безпека праці [Текст]: монографія / Л.М. Шутенко, М.С. Золотов, Я.О. Серіков, В.О. Склярів. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2008. – 285 с.
10. Шутенко, Л. М. Крепление технологического оборудования коммунальных предприятий анкерными болтами на акриловых клеях [Текст] / Л.М. Шутенко, В.А. Склярів // Проблемы и перспективы развития жилищно-коммунального комплекса города: IV Междунар. науч.-практ. конф. – М.: МИКХиС, 2008. – С. 228-231.
11. Rui-xiang Cheng. Study on bonding properties of PVC-based WPC bonded with acrylic adhesive [Text] / Rui-xiang Cheng, Li Zhang, Ying Li // Journal of Adhesion Science and Technology. – Aug. 2012. – Vol. 26. – Iss. 24. – P. 2729-2735.
12. Abenojar, J. Effect of moisture and temperature on the mechanical properties of an epoxy reinforced with boron carbide [Text] / J. Abenojar, M.A. Martínez, F. Velasco, J.C. del Real-Romero // Journal of Adhesion Science and Technology. – Apr. 2012. – Vol. 25. – Iss. 18. – P. 2445-2460.
13. Chamochín, R. The effect of surface treatment on the behavior of toughened acrylic adhesive/GRP (epoxy) composite joints [Text] / R. Chamochín, M. Cano, J. Abenojar, M. Pantoja, Y. Ballesteros, J.C. del Real-Romero // Journal of Adhesion Science and Technology. – Aug. 2010. – Vol. 24. – Iss. 11-12. – P. 1903-1916.
14. del Real-Romero, J.C. Adhesive bonding of aluminium with structural acrylic adhesives: durability in wet environments [Text] / J.C. del Real-Romero, M. Cano, J. Abenojar, M.A. Martínez // Journal of Adhesion Science and Technology. – Apr. 2010. – Vol. 20. – Iss. 16. – P. 1801-1818.
15. Yanmei Wang. Polymerization of epoxide with hydroxylamides as thermally latent initiators [Text] / Yanmei Wang, Mika Kimura, Atsushi Sudo // Journal of Polymer Science: Polymer Chemistry. – June 2016. – Vol. 54. – Iss. 16. – P. 2611-2617.

16. Акрилова композиція [Текст]: пат. u 2016 01208 Україна, МПК C08L 33/12 (2006.01) / Золотов С.М., Фірсов П.М., Жданюк В.К., Білим П.А.; власник ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. - № 13402/ЗУ/16; заявл. 12.02.2016 р.; опубл. 24.06.2016 р. – 8 с.

17. Золотов, С. М. Реологические исследования и определение адсорбции модифицированных наполнителей метилметакрилата [Текст] / С.М. Золотов, П.М. Фирсов, К.А. Клиценко // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізничн. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 161. – С. 157-169.

---

Фірсов Павло Михайлович, аспірант кафедри теоретичної і будівельної механіки Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова. Тел.: +380950020626. E-mail: firsov1991@mail.ua.

Firsov Pavlo, post-graduate student, Theoretical and Structural Mechanics Department, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Tel.: +380950020626. E-mail: firsov1991@mail.ua.

Стаття прийнята 31.01.2017 р.

*q*

*a*

*q*

*a*