

Дмитриенко Владимир Александрович,

к.т.н., доцент
ИСОиП (филиал) ДГТУ

Назаров Александр Владимирович,

Магистрант, 2 курса
ИСОиП (филиал) ДГТУ

ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ СТЕКЛОВОЛОКОННОЙ АРМАТУРЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

Аннотация. В статье рассматривается работоспособность стекловолоконной арматуры при воздействии высоких температур. Приведены результаты экспериментальных исследований, в которых оценивалась прочность и жёсткость армированных стеклопластиковых конструкций при повышении температуры. Описание методики испытаний включает моделирование плиты перекрытия с армированием стекловолоконной арматурой и проведением нагрузочных испытаний при различных температурных режимах.

Ключевые слова: Стекловолоконная арматура, высокие температуры, прочность, жёсткость, экспериментальные исследования.

В последние десятилетия строительная отрасль активно переосмысливает подходы к подбору материалов, отдавая предпочтение инновационным, высокоэффективным и экологически безопасным решениям. Одним из наиболее перспективных решений выступает арматура на основе стекловолоконных композитов, которая обладает высокой прочностью при растяжении, устойчивостью к коррозии, малым весом и химической инертностью. Эти свойства обеспечивают долговечность и надёжность конструкций в агрессивных средах, включая прибрежные районы, инфраструктуру с воздействием химических веществ и зоны повышенной влажности. Однако, несмотря на очевидные эксплуатационные преимущества, остаются недостаточно изученными особенности поведения армированных композитами конструкций при воздействии высоких температур, что сдерживает более широкое внедрение данного материала в ответственных объектах [1].

Проблема потери несущей способности строительных конструкций в условиях кратковременного или длительного температурного воздействия является критически важной в контексте обеспечения общей надёжности зданий и сооружений. Высокие температуры способны вызывать необратимые изменения в структуре полимерной матрицы стеклопластиковой арматуры, приводя к снижению её прочности и жёсткости, а также к ухудшению сцепления с бетоном [2].

Полимерные связующие, входящие в состав композитов, разлагаются при температурах выше 150–200 °С, что значительно снижает прочность и жёсткость арматуры, а также приводит к утрате адгезии с бетоном. Анализ публикаций в этой области свидетельствует, что в отечественной практике недостаточно комплексных экспериментальных исследований на моделях и натуральных образцах, что ограничивает разработку эффективных методик оценки термической устойчивости композитной арматуры [3].

Наиболее объективным способом определения характеристик конструкций являются испытания натуральных образцов. Однако это сопряжено со значительными материальными, финансовыми и трудовыми затратами. Поэтому принято решение выполнить оценку надёжности армирования бетонных конструкций композитными стержнями путём моделирования плиты перекрытия с соблюдением подобия [4].

Разработка методики исследования была основана на выбранной конфигурации образца и специфике задач, связанных с определением отклика армированной плиты при нагреве и механическом воздействии. Особое внимание уделялось точности фиксации прогибов и соблюдению равномерных температурных условий по сечению конструкции.



Для моделирования изготавливалась плита размерами 1200×210×50 мм, армированная стеклопластиковой арматурой диаметром 5 мм с шагом 55 мм. Для этого была изготовлена опалубка с отверстиями в торцевых сегментах на расстоянии 10 мм от поддона для соблюдения толщины защитного слоя бетона. Перед укладкой бетона концы арматуры после предварительного натяжения специальным устройством фиксировались на опалубке с помощью винтовых зажимов.

Методика испытаний предусматривала ступенчатое загрузку плиты сосредоточенной нагрузкой, приложенной к середине модели. Нагрузка варьировалась от 0,262 до 0,672 кН с шагом 0,082 кН. Максимальная нагрузка определена из расчёта 60% прочности приготовленного бетона класса В22,5 на сжатие [5].

Контролируемым параметром выбран прогиб в середине пролёта плиты. При расстоянии между опорами 1150 мм максимально допустимый прогиб составляет 4,6 мм. Критерием потери устойчивости принято значение прогиба 2,75 мм, что составляет 60% от максимального.

Для нагрева плиты были выбраны тэны-шпильки Zanussi, расположенные на расстоянии 15 мм от нижней поверхности модели плиты. Регулировка температуры осуществлялась автотрансформатором изменением напряжения на тэнах. Нагрев выполнялся ступенчато с обязательной термостабилизацией.

Для контроля температурного режима использовались цифровые мультиметры UNI-T UT71C, к которым были подключены термопары ДПТЛ011 – 0,3/1,5, размещённые на различных участках модели, что позволило одновременно фиксировать температурные значения в разных точках и повысить точность измерений за счёт перекрёстной проверки. Используемые мультиметры имеют встроенную память и связь с компьютером, что позволяло непрерывно фиксировать изменение температуры и обрабатывать результаты измерений.

Для получения объективных результатов, перед проведением испытаний выполнена тарировка термопар, подключённых к цифровому мультиметру, которая осуществлялась на специальном стенде с ртутным термометром со шкалой до 360°C и ценой деления 1°C.

Измеренные значения температуры, фиксируемые через мультиметр, передавались на персональный компьютер, где с помощью специализированного программного обеспечения формировалась таблица показаний термометров и построен график. Результаты тарировки аппроксимировались линейным уравнением, по которому рассчитывалась уточнённая температура участков модели.

Для снижения тепловых потерь, колебаний и равномерного распределения температуры по поверхности плиты она по всему контуру укрывалась слоем теплоизоляции 100 мм.

Для фиксации перемещений использовалась натяжная система, соединённая с прогибомером ПСК-МГ4.

Нагружение осуществлялось пошагово с помощью набора калиброванных металлических грузов. Последовательное увеличение массы груза позволяло создавать контролируемый изгибающий момент и отслеживать, как конструкция реагирует на каждое последующее увеличение нагрузки.

Фиксация данных проводилась на каждом этапе нагружения. Особое внимание уделялось моменту, когда деформация начинала резко возрастать, как правило это указывало на приближение предельного состояния элемента. Кроме численных значений, производился визуальный осмотр плиты: отмечались появление трещин, изменения в поведении конструкции, остаточные деформации после снятия нагрузки.

Первый этап исследований был направлен на оценку остаточных деформаций при многократном нагружении. Полученные в ходе испытаний результаты приведены на графике (рис. 1), которые свидетельствуют об отсутствии накопления остаточных деформаций при кратковременном нагружении модели.



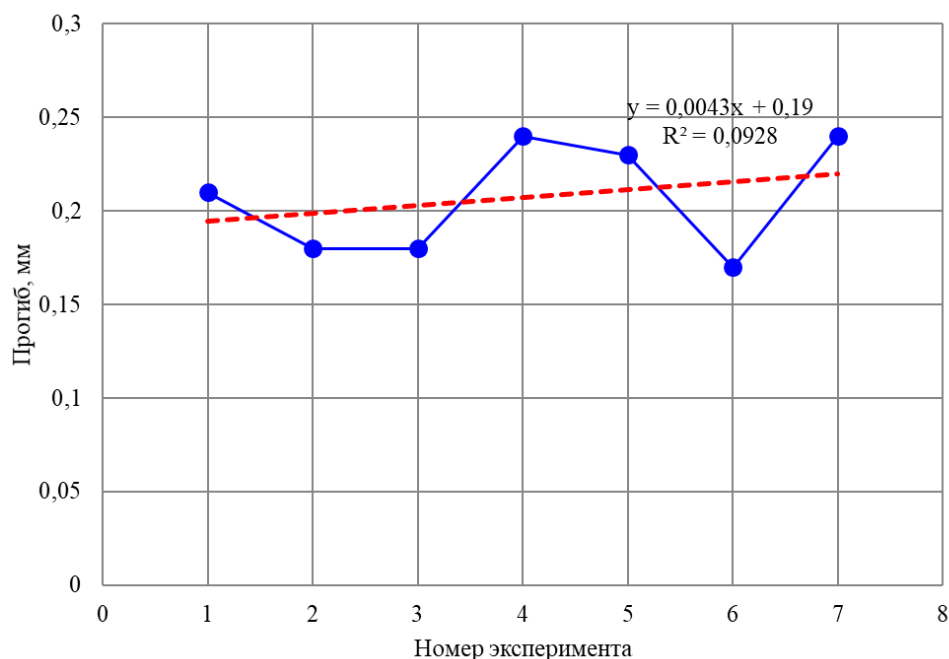


Рис. 1 – Результаты испытаний модели при температуре $20\pm 2^\circ\text{C}$

Без нагрева максимальные прогибы варьируются в диапазоне примерно от 0,18 до 0,24 мм, демонстрируя стабильность и относительную жёсткость конструкции. Линия тренда для данных без нагрева подтверждает эту стабильность, показывая плавное и умеренное изменение прогиба. После семи опытов остаточная деформация увеличилась лишь на 0,03 мм.

На следующем этапе эксперимента была исследована деформативность модели плиты, армированной стеклопластиковой арматурой, при последовательном повышении температуры от нормальных условий до 250°C . Целью испытаний являлось определение зависимости прогиба конструкции от температуры, а также выявление критических режимов, при которых происходит потеря жёсткости и устойчивости плиты.

Температурная выдержка на каждом температурном интервале перед началом нагружения составляла 120 минут, за это время конструкция достигла стабильной температуры по всему объёму, что подтверждалось данными термопар.

Результаты испытаний с максимальной нагрузкой приведены на рисунке 2.

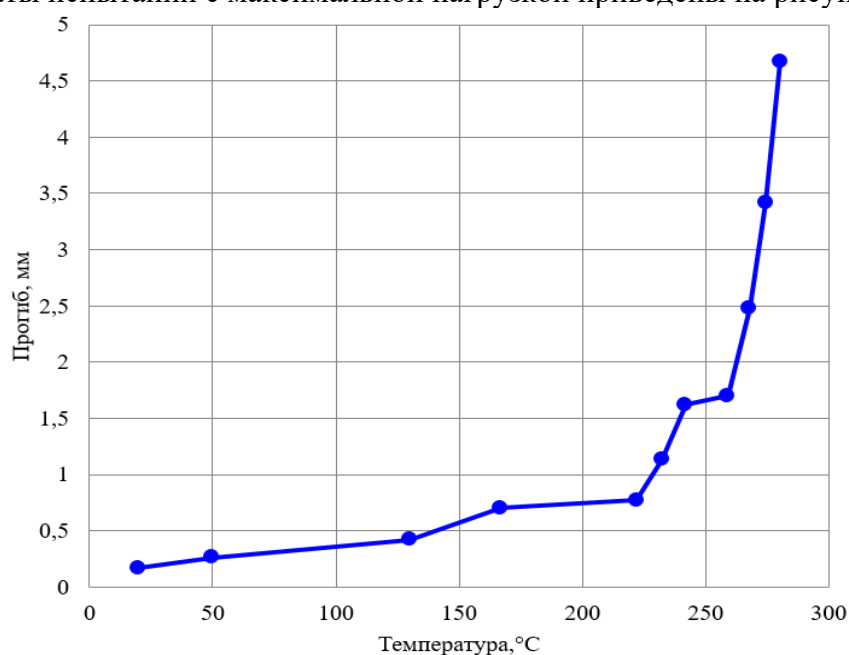


Рис. 2 – График зависимости прогиба от температуры при максимальной нагрузке



По результатам испытаний можно установить, что поведение стеклопластиковой арматуры в условиях повышенных температур отличается от её работы при нормальной температуре. При увеличении температуры наблюдается рост величины прогиба при одних и тех же значениях прикладываемого груза. Это указывает на снижение жёсткости армированной плиты, обусловленное термическим воздействием на полимерную матрицу, входящую в состав материала арматуры. В условиях нагрева волокна и связующий композит теряют часть своей способности сопротивляться деформации, в результате чего происходит увеличение гибкости и, как следствие, снижение несущей способности конструкции.

При температуре выше 100°C фиксируется значительное увеличение прогибов и остаточных деформаций. При температуре порядка 270 °С деформации превышают допустимые и конструкция начинает разрушаться: появляются трещины и локальные дефекты. Это указывает на критический температурный предел эксплуатации и необходимость исключения стеклопластиковой арматуры из конструкций, подверженных сильному нагреву.

Список литературы:

1. Теплова Ж.С., Киски С.С., Стрижкова Я.Н. Стеклопластиковая арматура для армирования бетонных конструкций. Строительство уникальных зданий и сооружений, 2014, №9 (24), с. 49–70. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://unistroy.spbstu.ru/userfiles/files/2014/9%2824%29/5_teplova_24.pdf
2. Фролов Н.П. Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции. М.: Стройиздат, 1980. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://21kompozit.ru/articles/kniga-o-stekloplastikovoy-armature/>
3. Миржалилов У.Т., Исмаилов Д.Б., Шоазизов Ф.Н., Рахматалиев Ш.А. Исследование горючести базальтовой арматуры и сравнение её основных характеристик с композитной и стальной арматурой. Universum: технические науки, 2022, 2 (95). – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/13162>
4. ГОСТ 31938-2012. Арматура композитная полимерная периодического профиля (АКП). – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://plastinfo.ru/content/file/gosts/e1e52abb16c6.pdf>
5. Гиль А.И., Лазовский Е.Д. Неметаллическая композитная стержневая арматура без предварительного напряжения в составе комбинированного армирования: перспективы применения в изгибаемых железобетонных элементах. Вестник Полоцкого государственного университета, 2015, №16, с. 35–39.

