

Н. П. Фролов

**СТЕКЛОПЛАСТИКОВАЯ
АРМАТУРА
И СТЕКЛОПЛАСТБЕТОННЫЕ
КОНСТРУКЦИИ**

Москва
Стройиздат
1980

Печатается по решению секции литературы по строительной физике и конструкциям редакционного совета Стройиздата.

Фролов Н.П. Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции. — М.: Стройиздат, 1980. — 104 с., ил. —

Описан принцип изготовления стеклопластиковой арматуры для предварительно напряженных бетонных конструкций. Приведены ее физико-механические и электрические свойства. Даны рекомендации по подбору составов специальных бетонов для конструкций, эксплуатируемых в различных условиях. Рассмотрены вопросы расчета конструкций, их проектирования и технологии. Приведена технико-экономическая эффективность использования стеклопластбетонных конструкций.

Предназначена для научных и инженерно-технических работников научно-исследовательских и проектных организаций.

Табл. 10, рис. 42, список лит.: 30 назв.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Задача повышения эффективности и качества промышленного, сельскохозяйственного и энергетического строительства в ряде случаев прямо или косвенно связана с проблемой долговечности конструкций, эксплуатируемых в условиях агрессивных сред. Одним из реальных путей решения проблемы является применение высокопрочного однонаправленного стеклопластика в качестве армирующего материала для бетонных, полимербетонных и деревянных конструкций.

Исследования в этом направлении на протяжении почти 20 лет возглавлял в Институте строительства и архитектуры Госстроя БССР автор этой книги Николай Прохорович Фролов. Пройдя нелегкий путь от рабочего-строителя, партизана Великой Отечественной войны до видного белорусского ученого, Н.П. Фролов весь свой незаурядный талант инженера и исследователя до самых последних дней жизни отдавал созданию стеклопластиковой арматуры и на ее основе—конструкций с антикоррозионными и диэлектрическими свойствами.

Работы проводились в тесном творческом содружестве с исследователями НИИЖБа Госстроя СССР, ЦНИИСКА им. В.А. Кучеренко, Харьковского Промстройниипроекта (б. ЮжНИИ), СибНИИЭ Минэнерго СССР, ЦНИИСа Минтрансстроя СССР и научных подразделений инженерно-строительных вузов Москвы, Харькова и Воронежа, что в немалой степени способствовало успеху дела.

Нужно отметить, что практическое применение стеклопластиковой арматуры все еще сдерживается недостаточной изученностью ее возможностей и сравнительно высокой стоимостью. При всем этом совершенно очевидно, что ввиду заметной активизации исследовательских работ и наметившейся тенденции снижения стоимости исходных материалов область применения строительных конструкций, армированных стеклопластиковой арматурой, уже в ближайшие годы будет значительно расширена. С этой точки зрения данная книга несомненно заинтересует специалистов, творчески работающих в области совершенствования стеклопластиковой арматуры и создания на ее основе безметаллических конструкций.

При научном редактировании книги, выполненном канд. техн. наук В.Ф. Залого, внесены некоторые дополнения, связанные с данными последних исследований и появлением новых нормативных документов и рекомендаций.

В предлагаемой на суд читателя книге отдельные мысли, высказанные автором, могут показаться дискуссионными. Однако это никак не должно уменьшить значимости и актуальности книги.

*Заслуженный строитель Белорусской ССР,
д-р техн. наук, проф. С.С. Атаев*

В решениях XXV съезда КПСС подчеркивается необходимость расширения выпуска новых строительных материалов, обеспечивающих долговечность зданий и сооружений. Применение стеклопластиковой арматуры для бетонных и клееных деревянных конструкций в полной мере соответствует поставленной задаче.

Возможность получения бетонных конструкций с неметаллической арматурой издавна интересовала ученых и инженерно-технических работников, поэтому идея использования стеклянного волокна для армирования бетонных конструкций, которая впервые была сформулирована советским ученым А.К. Буровым в 1941 г., привлекла внимание многих исследователей в СССР и за рубежом [1].

В 50-х годах определились три способа армирования бетонных конструкций стеклянным волокном:

дисперсное (распределенное по всему сечению) армирование бетона стеклянным волокном. В СССР этот материал был назван стеклоцементом;

создание сплошных стеклопластиковых обоев на поверхности бетонных конструкций (например, труб, круглых стоек и др.);

сосредоточенное армирование бетонных конструкций стеклопластиковой арматурой.

При дисперсном способе армирования конструкций тонкими стеклянными волокнами необходимо применять специальные бетоны, не разрушающие волокно. Однако при этом не исключается возможность нарушения целостности хрупкого стеклянного волокна при укладке и уплотнении бетона. Способ создания стеклопластиковых обоев ограничен определенной, довольно узкой номенклатурой изделий, на поверхность которых могла бы наматываться тонкая стеклопластиковая лента. При перевозке, монтаже и эксплуатации таких конструкций имеется опасность разрушения стеклопластиковых обоев. В Институте строительства и архитектуры Госстроя БССР (ИСиА), Харьковском Промстройинипроекте, НИИЖБе и ХИИКСе был избран способ сосредоточенного армирования проволочной либо стержневой стеклопластиковой арматурой, который в настоящее время получил наиболее широкое распространение.

В настоящей монографии обобщаются результаты исследований, выполненных под руководством и при непосредственном участии автора, по разработке и созданию технологии стеклопластиковой арматуры, организации опытного производства стеклопластиковой арматуры, изучению комплекса свойств арматуры и, как следствие, определению областей ее использования, исследованию совместной работы стеклопластиковой арматуры с бетоном и клееной древесиной. Кроме того, освещаются результаты исследований по созданию конструкций, армированных стекло-

пластиковой арматурой, и их проверке в реальных эксплуатационных условиях на участках опытного строительства в различных областях народного хозяйства страны. Излагаются и анализируются также некоторые результаты исследований других авторов в области стеклопластиковой арматуры.

Небольшой хронологический экскурс в историю развития этих исследований показывает, что от идеи использования стеклянного волокна для армирования бетонных конструкций до организации опытного производства стеклопластиковой арматуры, удовлетворяющей предъявляемым к ней требованиям, потребовалось значительное время, в течение которого решалось много ранее не предвиденных задач по разработке технологии арматуры, повышению ее качества, изучению кинетики изменения ее свойств во времени под воздействием различных факторов и т.д.

После того как была получена арматура, определение первоочередных областей ее использования, исследование опытных конструкций со стеклопластиковой арматурой, организация участков опытного строительства и решение других вопросов вплоть до начала внедрения конструкций со стеклопластиковой арматурой в практику строительства выполнялись более интенсивно с участием возрастающего числа исследователей и заинтересованных организаций.

Стеклопластиковой арматурой в настоящее время нельзя повсеместно заменить стальную арматуру в железобетонных конструкциях. Она эффективна только при создании конструкций, в которых используются специфические свойства этой арматуры, выгодно отличающие ее от стальной. К таким свойствам относятся высокая коррозионная стойкость, электроизолирующая способность, а также немагнитность, радиопрозрачность и в определенной степени низкий модуль упругости. Поэтому к первоочередным областям использования стеклопластиковой арматуры, в которых можно получить существенный технико-экономический эффект, следует отнести создание долговечных коррозионностойких конструкций из специальных бетонов, предназначенных для эксплуатации при воздействии агрессивных сред, наложенного электрического поля, и несущих электроизолирующих конструкций. Кроме того, стеклопластиковая арматура может быть использована для армирования деревянных клееных конструкций, а также для строительства специальных зданий и сооружений.

Производительность технологических линий для изготовления арматуры может быть существенно повышена использованием токов сверхвысоких частот (СВЧ) для ускорения процессов полимеризации связующего. При этом будет улучшена структура стеклопластиковой арматуры, так как процесс полимеризации будет протекать с центра арматурного стержня к его поверхности, а не в противоположном направлении, как это происходит при поверхностном прогреве стержня.

При использовании токов СВЧ скорость протяжки арматуры будет увеличена в несколько раз. В связи с этим предоставится возможность изготовления арматуры по одностадийному технологическому принципу из более дешевого грубого стеклянного волокна диаметром до 100 мкм. Это волокно будет вытягиваться из электроплавильных сосудов, установленных непосредственно на технологической линии по выработке стеклопластиковой арматуры. Исследования в этом направлении продолжаютяся.

В настоящее время арматура на опытно-промышленной технологической линии ИСиА Госстроя БССР вырабатывается, как правило, из стандартного алюмоборосиликатного волокна и эпокси-фенольного связующего, т.е. из относительно дорогих и универсальных композиций исходных сырьевых материалов. В дальнейшем при выборе исходных материалов для изготовления стеклопластиковой арматуры следует руководствоваться функциональным назначением арматуры и конструкций, для армирования которых она предназначена.

Потенциальные возможности использования стеклопластиковой арматуры еще в полной мере не predeterminedены и не изучены. Однако уже в настоящее время доказано, что стеклопластиковая арматура существенно расширяет и создает новые области использования эффективных предварительно напряженных строительных конструкций из различных материалов и тем самым способствует техническому прогрессу в народном хозяйстве страны.

Естественно, что относительно небольшому числу разработчиков в этой области в течение нескольких лет не представилось возможным полностью решить всю проблему создания и использования стеклопластиковой арматуры. Однако благодаря выполненным исследованиям конструкции со стеклопластиковой арматурой с достаточно высокой эффективностью в настоящее время могут быть использованы в различных отраслях народного хозяйства. Эта завершающая стадия работы начата.

Достигнутые успехи в создании стеклопластиковой арматуры и конструкций, армированных ею, являются результатом исследований, выполненных в разное время советскими учеными, в первую очередь докторами техн. наук, профессорами А.А. Гвоздевым, К.В. Михайловым, Н.А. Мощанским, О.Я. Бергом, И.Н. Ахвердовым, Ю.М. Ивановым, докторами хим. наук Г.Д. Андреевской, М.С. Аслановой, кандидатами техн. наук Ю.М. Вильдавским, С.С. Жавридом, Ю.В. Кондратьевой, К.В. Зеленским, Б.В. Накашидзе, И.В. Подмоство, Ю.В. Дегтярем, канд. хим. наук И.С. Скорыниной и др.

Существенный вклад в организацию исследований и опытно-промышленных работ внесли д-р техн. наук, проф. С.С. Атаев и кандидаты техн. наук Н.М. Мулин и И.И. Цыганков.

ГЛАВА 1. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРЫ

Стеклопластиковая арматура представляет собой гетерогенную систему, состоящую из ориентированных стеклянных волокон и полимерного связующего.

Свойства стеклопластиковой арматуры зависят от свойств и особенностей структуры стеклянных волокон и полимеров, а также от физико-химического взаимодействия этих компонентов, их поведения в процессе восприятия внешних нагрузок, воздействия агрессивных реагентов, изменений температурно-влажностного режима и других факторов. Познание свойств исходных материалов, используемых для изготовления арматуры, позволяет при помощи соответствующего подбора этих материалов управлять свойствами стеклопластиковой арматуры, а при изучении свойств арматуры объяснить причины их изменения при различных внешних воздействиях на нее.

Высокопрочное стеклянное волокно в стеклопластиковой арматуре почти полностью воспринимает воздействие растягивающих либо сжимающих усилий, определяет деформативность арматуры, обуславливает изменение прочностных характеристик арматуры при воздействии агрессивных сред, температуры, влажности и т.д. Поэтому, как будет изложено далее, свойства арматуры в известной степени "копируют" свойства стеклянного волокна.

Полимерное связующее выполняет роль клеящей среды, объединяющей отдельные волокна в монолитный стержень, и тем самым обеспечивает их совместную работу и защищает волокно от непосредственного воздействия влаги, различных химических реагентов и механических повреждений. В связи с этим в настоящей главе особое внимание уделяется стеклянному волокну как основному "рабочему" материалу в стеклопластиковом арматурном стержне.

Стеклопластиковое волокно

Стеклопластиковое волокно, используемое для изготовления стеклопластиковой арматуры, должно быть высокопрочным, химически стойким и обладать электроизолирующими свойствами.

Наиболее доступным для производства арматуры в настоящее время является алюмоборосиликатное стандартное стеклянное волокно. Однако химическая стойкость его при воздей-

ствии агрессивных сред недостаточно высока. Поэтому при изготовлении стеклопластиковой арматуры из этого волокна к связующему предъявляют повышенные требования по химической защите арматуры от воздействия агрессивных сред.

Следует отметить, что в научно-исследовательских организациях нашей страны и за рубежом ведутся изыскания по синтезу составов стекол для выработки высокопрочного стеклянного волокна повышенной универсальной коррозионной стойкости. В частности, в ИСиА Госстроя БССР в содружестве с Белорусским политехническим институтом под руководством д-ра хим. наук, проф. Н.Н. Ермоленко, канд. техн. наук Ю.В. Кондратьевой синтезированы специальные составы стекол 7 Тк и 7 Тм для получения стеклопластиковой арматуры с высокой стойкостью при воздействии кислот и щелочей. Однако до сего времени не организовано промышленное производство волокна из стекла этих составов. В связи с этим для изготовления стеклопластиковой арматуры в настоящее время используется непрерывное стандартное алюмоборосиликатное волокно.

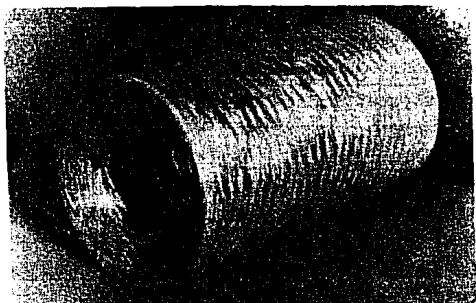
Диаметр непрерывного элементарного стеклянного волокна находится в пределах 2 . . . 100 мкм и зависит от скорости вытягивания волокна, а также диаметра фильер стеклоплавильного сосуда. Элементарные стеклянные волокна, вытягиваемые из сосуда, обрабатывают замасливателем либо аппретом для предохранения их от повреждений при дальнейшей переработке, улучшения адгезии волокна к полимерным связующим и повышения качества поверхности волокна. Кроме того, замасливатель и аппретирующие составы склеивают отдельные элементарные волокна в первичные нити, которые сматывают затем на бобины. Масса стеклянного волокна на бобине достигает 0,5 кг. Число элементарных волокон в первичной нити обуславливается числом фильер в стеклоплавильном сосуде и может быть равно 100, 200, 400 и более.

При дальнейшей переработке стеклянное волокно собирают в жгуты различной толщины. Толщина жгутов зависит от диаметра и числа сложенных первичных нитей в жгуте, которое достигает 60. Жгуты сматывают в поковки (рис. 1), масса которых не превышает 20 кг.

Стеклопластиковую арматуру можно изготовлять из первичного волокна, сматываемого с бобин, или из жгута, собранного в поковки. Наиболее приемлемым является использование стекложгута-ровинга, в котором в меньшей степени проявляется разнородность волокна и, как следствие, лучше используется его прочность.

Массивное стекло обладает сравнительно малым пределом прочности при растяжении — всего около 40—100 МПа. Прочность же тонких стеклянных волокон значительно выше, она превосходит прочность большинства известных материалов и достигает 2,5 ГПа [2]. Повышение прочности при уменьшении размеров

Рис. 1. Поковка из стекложгутова-ровинга



испытуемых образцов характерно не только для стекла, но и для многих других естественных и искусственных материалов. Чем тоньше стеклянное волокно, тем выше его прочность и стоимость, поэтому для получения высокопрочной арматуры, учитывая технико-экономические соображения, используют волокно диаметром около 10 мкм. В отдельных случаях, при определенных условиях формования повышение прочности стеклянного волокна с уменьшением его диаметра не наблюдается. Это свидетельствует о том, что прочность стекла определяется не только его размерами, но и другими факторами.

Прочность образца (отрезка) стеклянного волокна в значительной мере зависит от его длины. Зависимость прочности волокна от длины обусловлена его неоднородностью, наличием в нем различных дефектов. С увеличением длины волокна вероятность присутствия опасных дефектов на исследуемом участке возрастает, что и приводит к снижению его прочности [2]. Таким образом, с увеличением длины образца волокна происходит снижение его однородности. Оказывается, что прочность длинного волокна определяется минимальной прочностью отдельных составляющих его отрезков или, иначе говоря, прочностью наиболее ослабленных участков.

При изучении деформативных свойств стеклянных волокон различного диаметра установлено, что масштабный фактор не влияет на значение модуля упругости, а зависимость "напряжение — деформация" для волокон разного диаметра из стекла алюмоборосиликатного состава имеет линейный характер (рис. 2). Модуль упругости алюмоборосиликатного волокна примерно равен 72 ГПа. Физические свойства силикатных волокон, т.е. диэлектрические, термические, а также их химическая стойкость при воздействии различных реагентов определяются химическим составом стекла.

Изучению старения стеклянных волокон посвящено много исследований. Прочность волокна определяли через разные промежутки времени после его формования. Установлено, что прочность свежего грубого волокна соответствует значениям прочности тонкого волокна. На основании этих исследований сделаны

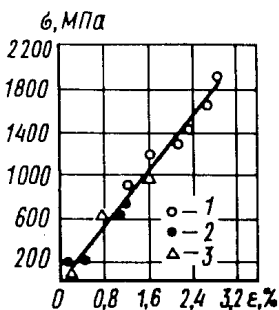


Рис. 2. Зависимость относительного удлинения ϵ от напряжений σ алюмоборосиликатных волокон разного диаметра
1 — 6 мкм; 2 — 54 мкм; 3 — 100 мкм

выводы, что прочность свежевывянутых волокон не зависит от их диаметра. Используя это явление в ИХФ АН СССР под руководством д-ра хим. наук Г.Д. Андреевской проводят весьма интересные исследования, результаты которых в ближайшее время позволят использовать для изготовления арматуры высокопрочные грубые свежевывянутые волокна диаметром до 100 мкм [3]. Это даст возможность упростить технологию стеклопластиковой арматуры и существенно снизить ее стоимость.

На поверхности стеклянных волокон в процессе их формирования возникают микротрещины. Проникание жидкости в трещины, расположенные на поверхности волокна, снижает его прочность. Чем тоньше стеклянное волокно, тем меньше размеры микротрещин. При увеличении диаметра волокна и, как следствие, размеров микротрещин проникание в них влаги облегчается, за счет чего происходит более активное снижение прочности волокна. Снижение прочности волокна в результате проникания влаги в микротрещины, расположенные на его поверхности, называется адсорбционным старением.

Адсорбционное снижение прочности волокна зависит от химического состава стекла, причем чем ниже химическая стойкость волокна при воздействии влаги, тем активнее происходит старение даже тонких волокон [4]. Такое явление характерно, например, для кальциево-натриевого состава стекла и, как указывалось выше, практически не проявляется у тонкого алюмоборосиликатного волокна (рис. 3).

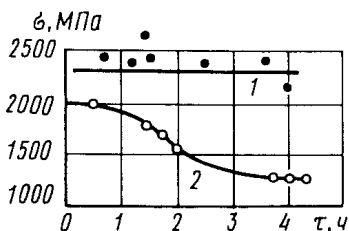


Рис. 3. Старение волокна
1 — алюмоборосиликатного; 2 — кальциево-натриевого

Г.Д. Андреевская подробно рассматривает влияние условий получения стеклянных волокон на их прочность и приходит к следующим выводам [2]. Формование стеклянного волокна происходит при высокой температуре и большой скорости вытягивания. Тонкие волокна охлаждаются и затвердевают с очень большой скоростью — до 3500 м/мин, поэтому в тонких волокнах фиксируется структура расплавленного стекла более однородная, чем структура объемных образцов. Охлаждение тонких волокон происходит настолько быстро, что температура на их поверхности и в центре бывает практически одинакова. Это обеспечивает отсутствие внутренних остаточных температурных напряжений. С увеличением диаметра волокна скорость остывания на поверхности и в объеме будет различной, поэтому возможны остаточные температурные напряжения. Кроме того, при вытягивании волокна происходит ориентация микротрещин вдоль оси волокна. Чем больше скорость вытягивания (тонкое волокно), тем больше вероятность ориентации трещин, и наоборот, при малых скоростях в грубом волокне вероятность ориентации трещин уменьшается, что и обуславливает его меньшую прочность по сравнению с тонким.

П.А. Ребиндером и его школой [5, 6] даны теоретические обоснования влияния окружающей среды и длительности воздействия нагрузок на прочность стеклянного волокна. Известно, что чем выше влажность окружающей среды, тем ниже прочность волокна. Снижение его прочности в этих условиях объясняется прониканием влаги в микротрещины. Разрастание микротрещин происходит в результате двух явлений. С одной стороны, на стенках микротрещин молекулы воды образуют адсорбционные слои. Молекулы этих слоев стремятся двигаться во все стороны вдоль поверхностей трещин, и в частности к их вершинам, и тем самым способствуют углублению трещин. С другой стороны, тонкая пленка влаги, т.е. несжимаемого вещества, расположенная внутри трещины, вызывает расклинивающий эффект при ее сужении (при деформации волокна).

Нам уже известно, что при вытягивании стеклянного волокна происходит ориентация трещин вдоль оси волокна. Следовательно, в стеклянном волокне часть трещин расположена параллельно его оси, а часть трещин может иметь иное направление. Количественное соотношение трещин вдоль оси волокна и трещин других направлений зависит от скорости выработки волокна и, как следствие, от диаметра волокна.

При растяжении волокон посредством внешней нагрузки трещины, ориентированные вдоль оси волокна, будут сужаться, а влага, находящаяся в них, из-за расклинивающего эффекта будет их удлинять. Имеющиеся в структуре волокна неоднородности могут изменять осевую направленность этих трещин и тем самым снижать прочность волокна. Трещины, расположенные в иных направлениях по отношению к оси волокна, при его растяжении

внешним усилием будут удлиняться и увеличивать ширину раскрытия, а молекулы адсорбционных слоев влаги будут перемещаться в глубь вершин трещин. В тех случаях, когда не произойдет разрушения волокна, например при повторных нагрузках, эти трещины будут стремиться сомкнуться, и находящаяся в них влага будет создавать расклинивающий эффект, способствующий дальнейшему развитию трещин, и тем самым еще более снижать прочность стеклянного волокна.

Таким образом, присутствие молекул воды во всех трещинах, расположенных на поверхности волокна независимо от их направления, снижает прочность волокна. Адсорбционная влага производит механическое разрушение волокон в напряженном состоянии, причем особенно велико будет разрушающее действие этой влаги при изменениях напряженного состояния образцов. Следовательно, надежная защита полимерным связующим волокна в арматурном стержне от проникания влаги является весьма важной задачей. Адсорбционное снижение прочности стеклянных волокон — процесс обратимый, так как после высушивания образцов первоначальная прочность волокна может восстановиться. Такое свойство волокна проявляется и в стеклопластиковой арматуре.

А.Ф. Зак и Ю.П. Манько изучали изменение прочности стеклянного волокна алюмоборосиликатного состава при нагреве. При этом установлено, что температурные воздействия в пределах $0 \dots 500^{\circ}\text{C}$ не сказываются на снижении прочности волокна. Однако после термообработки стеклянных волокон при температуре выше 200°C и последующем охлаждении прочность их при повторном нагреве до 300°C составляет 70% исходной, а при температуре 500°C — всего лишь 35 ... 40%. Таким образом, многократные нагревы стеклянного волокна приводят к непрерывному снижению его прочности после охлаждения [7].

Наиболее высокая механическая прочность волокна достигается при его охлаждении до минусовых температур. Это явление объясняется вымораживанием влаги при низких температурах, в результате чего устраняется расклинивающий эффект несжимаемой адсорбционной влаги, которая ранее находилась в микротрещинах стеклянного волокна. Следует заметить, что повышение прочности волокна при воздействии отрицательных температур — процесс обратимый, так как после помещения волокна в зону положительных температур прочность его вновь снижается до исходных значений.

Следует предположить, что при температурных воздействиях на стеклопластиковую арматуру возможны подобные изменения ее прочности. Модуль деформации волокна при повышении температуры меняется незначительно. Только при температуре, близкой к температуре стеклования, можно наблюдать некоторое снижение его значений, зафиксированных при комнатной температуре.

Стеклопластиковая арматура должна обладать высокой коррозионной стойкостью. Химическая стойкость арматуры определяется стойкостью основного материала арматуры, т.е. стеклянного волокна, поэтому изучение причин снижения прочности волокна при воздействии агрессивных сред представляет определенный интерес. При воздействии различных агрессивных реагентов на стеклянное волокно наблюдается процесс растворения волокна, т.е. химического взаимодействия состава стеклянного волокна со средой. При таком взаимодействии происходит либо равномерное растворение всех компонентов стекла, либо выщелачивание некоторых. Характер и скорость разрушения волокон при этом зависят от химического состава самого стекла и воздействующего на него реагента. После процесса взаимодействия наблюдается снижение массы стеклянного волокна и его прочности.

При более или менее равномерном растворении всех компонентов стекла происходит утонение стеклянного волокна. В тех случаях, когда в раствор переходят не все компоненты, несмотря на глубокое и полное растворение части компонентов, волокно сохраняет цилиндрическую форму и, как правило, первоначальный диаметр. После такого взаимодействия волокно представляет собой пространственный каркас из нерастворенного компонента, обладающий довольно сильными молекулярными связями. Например, при действии раствора серной кислоты на алюмоборосиликатное стеклянное волокно растворяются все компоненты стекла, кроме кремнезема. При этом характер разрушения волокна зависит от их диаметра и продолжительности обработки раствором. На массивном стекле возникают поверхностные трещины, имеющие форму сот. На грубом волокне появляются поперечные трещины, причем от волокон отслаиваются отдельные части кольцевидной формы. Такие волокна рассыпаются на отдельные небольшие куски. В процессе воздействия раствора щелочи на алюмоборосиликатное волокно химическим анализом раствора установлено, что происходит растворение всех компонентов стекла и диаметр волокна при этом уменьшается.

Таким образом, в результате многочисленных исследований химической стойкости стеклянного волокна установлено, что все волокна в большей или меньшей мере подвержены разрушению при воздействии различных агрессивных сред, причем степень, скорость и характер разрушения зависят от многочисленных факторов: химического состава стекла, количества компонентов, вида реагентов, диаметра, времени, температуры, состояния поверхности волокна и др.

Влияние агрессивных сред на прочность стеклянного волокна в ИСИА Госстроя БССР изучал С.С. Жаврид [8, 9]. Жгуты стеклянных волокон длиной 400 мм выдерживали в сушильных шкафах при температуре 110...120°C в течение 1 ч, после чего эти жгуты средней частью погружали в раствор реагента и кипяти-

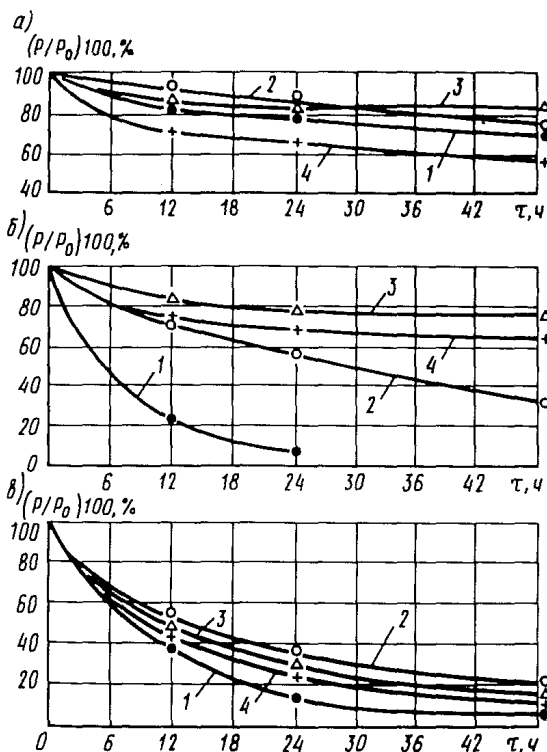


Рис. 4. Стойкость незащищенных волокон из стекла различных составов
 а - в воде; б - в 1 н растворе H_2SO_4 ; в - в 1 н растворе $NaOH$; 1 - бесшелочное алюмоборосиликатное; 2 - состав № 14 Г-3 (ИО и НХ БССР); 3 - состав № 7 Тк (БПИ и ИСиА Госстроя БССР); 4 - состав № 7 (ВНИИСПВ)

ли. Через 6, 12, 24 и 48 ч жгуты извлекали, просушивали и определяли их прочность на разрывной машине. Во избежание раздробления волокна в захвате машины концы жгутов перед испытанием пропитывали бакелитовым лаком и заполимеризовывали. В качестве агрессивных сред использовали однонормальные растворы щелочи и серной кислоты, дистиллированную воду.

На рис. 4 представлены зависимости снижения разрывного усилия от времени выдержки жгута в реагенте. Наиболее агрессивной средой для всех волокон явилась щелочь, наименее агрессивной - вода. Кислота по степени агрессивности имеет промежуточное значение для всех волокон, кроме алюмоборосиликатного, которое в однонормальном растворе серной кислоты за 24 ч кипячения полностью теряет прочность. Представленные

зависимости снижения прочности показывают, что все стеклянные волокна снижают прочность после воздействия реагентов, однако некоторые из них в зависимости от химического состава волокна и вида реагентов снижают прочность значительно меньше.

К наиболее химически стойким относятся стеклянные волокна состава № 14 Г-3 (состав разработан в ИО и НХ АН БССР) и состава № 7 Тк и 7 Тм (составы разработаны в Белорусском политехническом институте и ИСиА Госстроя БССР). Следует отметить, что в серной кислоте волокну состава № 7 (ВНИИСПВ) также присуща повышенная стойкость. В этой связи при организации промышленного производства стеклопластиковой арматуры одновременно следует решать вопрос о замене стандартного алюмоборосиликатного волокна волокном из специального состава стекла, а именно из 7 Тк или 7 Тм, которое для этого создано.

Характер разрушения, т.е. кинетика спада прочности в процессе воздействия агрессивных сред, у волокон из различных составов практически одинаков. При воздействии влаги на стеклянное волокно прочность его, как отмечалось выше, снижается. В значительно большей мере происходит снижение прочности стеклянного волокна при воздействии пара, причем чем выше давление пара и его температура, тем больше сброс прочности волокна во времени. Следует отметить, что паростойчивость волокна зависит от химического состава стекла.

Стеклянное волокно обладает диэлектрическими свойствами. Наиболее высоким электрическим сопротивлением обладает кварцевое и бесщелочное стекло, малое электросопротивление характерно для щелочных стекол. Электросопротивление стеклянного волокна зависит от температуры. При нагреве выше 100°C волокно теряет влагу, поэтому электросопротивление его увеличивается, а после пребывания во влажной среде — уменьшается до первоначальных значений. Алюмоборосиликатное волокно обладает высокими электротехническими свойствами.

Покрытие стеклянных волокон гидрофобными веществами предохраняет волокна от воздействия влаги и повышает их диэлектрические свойства. Наибольший эффект получается при использовании кремнийорганических замасливателей (покрытий), которые наносят в процессе выработки стеклянных волокон. В этом случае электросопротивление волокна практически не меняется, даже если оно находится во влажной среде.

Полимерное связующее

Как указывалось выше, полимерное связующее в стеклопластиковой арматуре выполняет роль клеящей среды, объединяющей отдельные волокна в монолитный стержень и обеспечивающей совместную их работу, а также защищает волокно от механических повреждений. Кроме того, связующее в зависимо-

сти от функционального назначения конструкций и условий их эксплуатации должно обеспечивать высокую коррозионную стойкость арматуры, требуемые электротехнические и другие свойства. Для удовлетворения указанных выше требований полимерное связующее должно обладать плотностью сшивки трехмерной структуры, адгезией к стеклянному волокну, химической стойкостью и высокими электротехническими свойствами.

Данные требования в более полной мере способны удовлетворить полимерные связующие с жесткой сетчатой структурой, например эпоксидные, эпоксиполиэфирные, эпоксифенольные и др. Эти связующие обладают сравнительно высокой теплостойкостью и способностью к образованию после отверждения практически неплавких и нерастворимых продуктов, что в процессе эксплуатации конструкций со стеклопластиковой арматурой весьма важно. Кроме того, полимеры с жесткой сетчатой структурой обладают сравнительно большими значениями модуля упругости, а также высокой адгезионной и когезионной прочностью. Следует отметить, что эти свойства полимеров определяются в основном их химической структурой, т.е. длиной и гибкостью отрезков линейного строения между узлами сетки, а также типом поперечных связей и их прочностью.

Наиболее полно использовать прочность отдельных волокон в арматуре можно при определенном соответствии деформаций и прочности связующего и стеклянных волокон. Деформативность связующего должна быть равна деформативности волокна или превышать ее. При деформативности полимера, меньшей, чем у стеклянных волокон, разрушение его будет происходить при неполном использовании прочности стеклянного волокна.

При применении пластичных полимеров в большей мере будет проявляться разнодлинность волокон в арматурном стержне и, как следствие, снижаться прочность арматуры. Кроме того, повышенная деформативность связующего будет отрицательно сказываться на сцеплении арматуры с бетоном.

Экспериментальные исследования закономерностей деформаций полимерных связующих и ориентированных стеклопластиков позволили Г.Д. Андреевской примерно так сформулировать комплекс требований к полимерному связующему с точки зрения использования прочности стеклянного волокна [2]. Если полимерное связующее обладает одновременно следующим комплексом свойств: относительным удлинением несколько большим, чем у стеклянных волокон, сравнительно высокими значениями модуля упругости и модуля высокоэластичности, а также когезионной и адгезионной прочностью, довольно значительной долей упругих деформаций в общей сумме обратимых деформаций, — то такое связующее может удовлетворять условиям получения монолитной армированной системы, т.е. обеспечивать совместную работу волокон в процессе деформации, а следовательно, и большую одновременность разрушения максималь-

ного числа волокон, и таким образом обусловить наиболее полное использование прочности стеклянного волокна. Эта классическая интерпретация требований к полимерному связующему полностью распространяется на полимерные связующие для стеклопластиковой арматуры.

Средством переноса химических реагентов через полимерное связующее к стеклянному волокну, расположенному в арматурном стержне, в большинстве случаев является влага. Проникание влаги, а также и газов, содержащих агрессивные химические соединения, через полимер происходит через дефекты в связующем, т.е. поры, трещины, каналы. В связи с этим чем выше плотность структуры полимерного связующего в стеклопластиковой арматуре, тем слабее воздействуют на нее агрессивные среды, тем выше ее прочность. Электротехнические свойства арматуры также находятся в зависимости от ее способности к увлажнению и поэтому определяются плотностью структуры полимера и его адгезионной способностью к стеклянному волокну.

Однородность структуры и плотность полимерного связующего в арматуре в значительной степени обеспечиваются технологией арматуры. Поэтому при разработке технологического принципа изготовления арматуры этим вопросам мы уделяли особое внимание.

Для изготовления стеклопластиковой арматуры с широким диапазоном областей ее применения в качестве наиболее универсального связующего рекомендуется эпоксиэфольный компаунд следующего состава, % по массе:

Эпоксидная смола ЭД-20	47,37
Бакелитовый лак марки ЛБС	20,32
Дициандиамид	0,135
Ацетон	2,37
Спирт	29,8

Это связующее позволяет получать арматуру высокой коррозионной стойкости, обладающую необходимыми электротехническими свойствами, т.е. электрическими прочностью и сопротивлением.

Для изготовления арматуры с повышенными электрическими свойствами, в том числе и трекинговой стойкостью, следует рекомендовать эпоксиполиэфирное связующее следующего состава, % по массе:

Эпоксидная смола ЭД-20	26,51
Метилтетрагидрофталеый ангидрид (МТГФА)	21,13
Непредельная полиэфирная смола(НПС 609-21М)	47,21
Перекись бензоила (ПБ)	0,47
Стирол	4,68

На поверхность стеклопластиковой арматуры рекомендуется наносить пленочные полимерные покрытия, обеспечивающие дополнительную защиту арматуры от механических воздействий, повышающие коррозионную стойкость и электротехнические свойства. Наносят один либо два слоя пленочного покрытия, как правило, такого же состава полимерной композиции, что и связующее арматурного стержня. При обосновании целесообразности покрытия полимерные композиции могут иметь другие составы при условии обеспечения хорошей адгезии к арматуре.

Стеклопластиковая арматура может быть использована для создания конструкций из бетонов, клееной древесины, пластмасс и других материалов. Условия эксплуатации и функциональное назначение конструкций могут быть также различными, поэтому для производства стеклопластиковой арматуры можно использовать и другие виды полимеров и их композиций, однако их применение должно быть технически и экономически обосновано.

ГЛАВА П. ТЕХНОЛОГИЯ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРЫ

В процессе разработки технологии стеклопластиковой арматуры в Институте строительства и архитектуры Госстроя БССР (на базе разработок Харьковского Промстройиниипроекта) выполняли лабораторные исследования, затем изготовляли опытные модели узлов технологической линии по производству стеклопластиковой арматуры, изготовляли опытные партии арматуры, изучали ее свойства, исследовали технологические причины, порождающие различные дефекты арматуры, разрабатывали способы их устранения, изыскивали методы повышения качества арматуры.

На первом этапе исследований в основу производства стеклопластиковой арматуры был положен традиционный принцип непрерывного изготовления стеклопластиков [10] — размотка стеклянного волокна, его подсушка, пропитка связующим, формирование профиля поперечного сечения стеклопластика, полимеризация связующего. Включив в этот принцип способ придания арматурному стержню периодического профиля поперечного сечения, создали модель технологической линии ТЛ-СПА-1.

По этому принципу в 1963 г. на Полоцком заводе стеклянного волокна было организовано опытное производство стеклопластиковой арматуры диаметром 3...6 мм из волокна алюмоборосиликатного состава и эпоксифенольного связующего. Арматуру поставляли в различные научно-исследовательские организации для изучения ее свойств и совместной работы с бетоном. В результате этих исследований было доказано, что стеклопластиковая арматура, вырабатываемая на Полоцком заводе, удовлетворяет требованиям, предъявляемым к арматуре для бетонных предварительно напряженных конструкций, однако ее химическая стойкость и прочность не были достаточно высокими.

Основной причиной низкой химической стойкости арматуры, вырабатываемой по традиционному принципу изготовления стеклопластиков, оказалась низкая плотность структуры композиционного материала. Вследствие этого химические реагенты поражали не только поверхность арматуры, но и проникали внутрь, поэтому происходило одновременное поражение всего объема арматурного стержня. Скорость снижения прочности арматуры при воздействии агрессивных сред была весьма значительной. Этим доказано, что традиционный принцип изготовления стеклопластиков без модернизации не пригоден для получения арматуры. Попытки получения стеклопластиковой арматуры с комплексом требуемых свойств без совершенст-

ования традиционного способа выработки стеклопластика не дали положительных результатов.

В этой связи были продолжены исследования по совершенствованию технологии изготовления арматуры. В результате этих работ в 1969 г. была изготовлена вторая модель технологической линии ТЛ-СПА-2 для выработки высокопрочной арматуры, стойкой к воздействию агрессивных сред и обладающей необходимыми электротехническими свойствами.

В технологическую линию ТЛ-СПА-2 были включены дополнительные операции, которые обеспечили параллельность расположения в арматурном стержне стеклянного волокна и устранение его неоднородности, надежную пропитку волокна связующим, практически полное удаление летучих веществ из полимера перед формованием арматурного стержня, повышение плотности структуры арматуры за счет многоступенчатого горячего формования профиля поперечного сечения, плавность и стабильность температурного режима полимеризации связующего, дополнительную защиту арматуры пленочными покрытиями, наносимыми на поверхность стержня.

Внесение дополнительных операций в традиционный принцип изготовления стеклопластиков позволило значительно повысить прочность, коррозионную стойкость и диэлектрические свойства арматуры, вырабатываемой из стандартного алюмоборосиликатного волокна и эпоксифенольного связующего. Поэтому технико-экономическая эффективность использования арматуры также существенно повысилась, и целесообразность ее использования для армирования строительных конструкций стала несомненной.

Технологическая схема процесса изготовления стеклопластиковой арматуры

На рис. 5 представлена схема разработанной в ИСиА Госстроя БССР опытной технологической линии ТЛ-СПА-2 для производства стеклопластиковой арматуры. Процесс производства арматуры начинается со сматывания из магазина 1 первичной стеклянной нити с бобин или жгута из стеклянного волокна с поковок. Следует отметить, что при изготовлении арматуры из первичного волокна прочность ее за счет меньшей неоднородности отдельных элементарных волокон выше прочности арматуры, изготавливаемой из жгута. Однако при этом число бобин, располагаемых в магазине со стеклянным волокном, значительно больше, чем поковок со жгутом, что существенно усложняет процесс контроля за обрывом нитей. Например, для изготовления арматуры диаметром 6 мм из первичной нити в 400 сложений в магазине должно быть расположено 1300 бобин, а из жгута в 60 сложений из этой же нити — только 22 поковки.

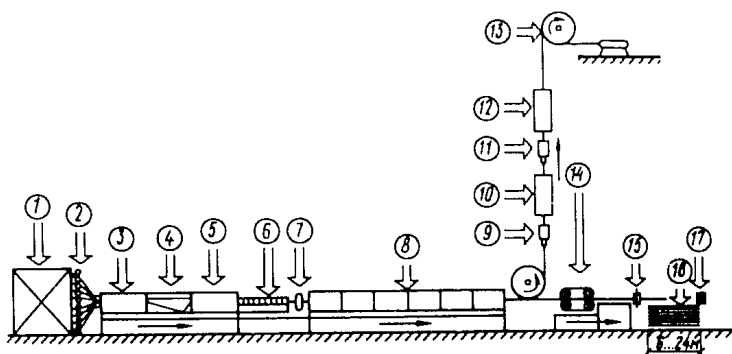


Рис. 5. Схема технологической линии ТЛ-СПА-2 для изготовления стеклопластиковой арматуры

При изготовлении арматуры из первичной нити после сматывания с бобин волокно проходит через натяжители 2 для устранения неоднородности нитей. При изготовлении арматуры из жгута неоднородность волокна устраняется путем притормаживания поволоков при их вращении. При этом на всех поволоках устанавливается примерно равное усилие натяжения сматываемого жгута — около 10 . . . 15 Н на жгут.

После сматывания волокно распределяется в тонкую ленту шириной до 80 мм и направляется в электрическую печь 3 для удаления замасливателя с поверхности и из микродефектов волокна при температуре около 200°C. Затем тонкая лента из стеклянного волокна поступает в ванну 4 со связующим для пропитки волокна полимером. Ванна заполняется полимерным связующим, разбавленным спиртацетоновой смесью для уменьшения его вязкости и, как следствие, улучшения пропитки волокна. Ванна подогревается. Температура связующего в ванне 30°C. В ванне лента в процессе движения захватывает связующее на свои плоскости. При их загибе на полированной металлической колодке, установленной при выходе из резервуара, происходит принудительное вдавливание полимера в натянутую, слегка напряженную ленту из стеклянного волокна.

После пропитки связующим лента направляется в электрическую печь 5 для удаления летучих компонентов (спирта и ацетона) из связующего. Удаление летучих производится при температуре 80 . . . 90°C, после чего при той же температуре осуществляется формование поперечного сечения стержня. В формовочном узле 6 последовательно расположено пять-семь фильер с постепенно уменьшающимися диаметрами отверстий. Обжатие арматурного стержня в последовательно установленных фильерах обеспечивает получение плотной структуры стеклопластикового арматурного стержня. Для качественного уплотнения арматурного стержня отверстиям в фильерах по их длине

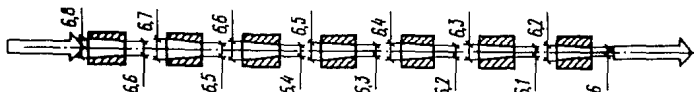


Рис. 6. Изменение диаметров фильер в узле горячего формования (размеры в мм)

придана коническая форма. Установлено, что при выходе незаполимеризованного арматурного стержня из фильеры диаметр его несколько увеличивается, поэтому диаметр отверстия каждой последующей фильеры на входе несколько больше, чем на выходе в предыдущей (рис. 6). Каждая фильера в формовочном узле имеет автономный регулируемый электронагрев.

За формовочным узлом расположен обмотчик 7 (см. рис. 5), в котором производится спиральная обвивка "сырой" заготовки стержня крученой нитью из стеклянного волокна, пропитанной связующим. При обмотке нить натянута с определенным усилием, благодаря чему она вдавливается в тело стержня. За счет этого арматура получает дополнительное уплотнение. Стержень, обвитый спиральной нитью, приобретает периодический профиль, который в дальнейшем обеспечивает надежное сцепление арматуры с бетоном. Шаг спирали обвивочной нити устанавливается в пределах 2 . . . 4 мм и зависит от диаметра арматуры.

После придания арматуре периодического профиля она поступает в электропечь 8 для полимеризации связующего. В зоне полимеризации устанавливается плавно повышающийся температурный режим от 90 до 180°C. В конце зоны температура постепенно снижается до 50 . . . 60°C. Следует отметить, что температурный режим в зоне полимеризации зависит от диаметра арматуры, скорости протяжки, длины зоны полимеризации, вида связующего.

Необходимость плавного изменения температурного режима в процессе полимеризации связующего определяется следующими соображениями. При поверхностном нагреве арматурного стержня резкое повышение либо снижение температуры окружающей среды вызывает нежелательные температурные напряжения в поперечном сечении арматуры. При этом наблюдаются неравномерность температурных деформаций в материалах, составляющих стеклопластик, и, как следствие, нарушение структурной целостности связующего на контакте полимер – волокно. В результате этих явлений в связующем могут образоваться мелкие трещины.

Тонкая арматура диаметром до 8 мм после прохождения зоны полимеризации при помощи ведомого поворотного колеса направляется в вертикальный участок технологической линии для нанесения на ее поверхность пленочных полимерных покрытий с целью повышения коррозионной стойкости арматуры при воздей-

ствии агрессивных сред. При этом случайно оставшиеся поры и каналы в арматурном стержне перекрываются тонкими пленками, которые препятствуют прониканию агрессивных сред к стеклянному волокну, расположенному в теле арматуры.

На стержень, расположенный горизонтально, пленочное покрытие постоянной толщины по всему периметру стержня нанести невозможно, так как в начале процесса полимеризации будет происходить стекание связующего, в результате чего толщина пленки по периметру стержня будет неравномерной. В связи с этим для нанесения пленочных покрытий в технологическом процессе изготовления арматуры устраивается вертикальный участок.

Для нанесения пленочных покрытий в вертикальном участке линии последовательно располагаются резервуары со связующим 9 и 11. В днищах резервуаров для предупреждения вытекания связующего монтируются резиновые уплотняющие фильеры. Стержень, пройдя резервуар, направляется в вертикальные печи 10 и 12, в которых пленочное покрытие полимеризуется. Для надежной защиты стержня наносятся два пленочных покрытия. В технологическом процессе изготовления стеклопластиковой арматуры обеспечиваются автоматический контроль и регулирование температурного режима во всех обогреваемых узлах технологической линии с точностью $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$. После нанесения и полимеризации покрытий тонкая проволочная арматура сматывается на барабан 13.

Арматурные стержни диаметром 10 мм и более с менее развитой относительной поверхностью и, как следствие, более коррозионностойкие, пройдя печи полимеризации, расположенные в горизонтальном участке технологической линии, траковым тянущим устройством 14 направляются на стол с дисковой пилой 15 для резки стержней, а затем стержни требуемой длины поступают на склад арматуры 16.

Управление траковым тянущим устройством, узлом обмотки и барабаном для сматывания арматуры выносится на центральный пульт. Скорости протяжки арматуры и шага обмотки стеклянной нитью регулируются также с пульта управления технологической линии. Резка арматурных стержней больших диаметров выполняется автоматически. Процесс автоматизации резки арматуры заключается в следующем. На заданном расстоянии, равном требуемой длине арматурных стержней, устанавливается концевой пускатель 17. Стержень, направляемый траковым устройством, концом упирается в пускатель, включает электродвигатель дисковой пилы 15, которая отрезает стержень необходимой длины (например, 6, 12, 18, 24 м). Во время резки стержня диск пилы перемещается траковым устройством со скоростью протяжки стержня. В технологической линии может быть предусмотрена одновременная параллельная протяжка нескольких арматурных стержней через все узлы технологической линии. Таким

образом, технологическая линия может быть одноканальной или многоканальной.

Благодаря автоматизации процесса производства арматуры и одновременной протяжке стержней по нескольким параллельным каналам увеличивается производительность линий, сокращаются число обслуживаемого персонала и потребление электроэнергии. При проектировании технологических линий число каналов не следует принимать более десяти. В противном случае магазин со стекловолокном будет очень большим, ширина линии окажется более 1 м, поэтому обслуживание технологической линии значительно усложнится.

Как следует из изложенного выше, технологический процесс изготовления арматуры состоит из относительно большого числа последовательных операций, причем многие из них направлены на получение плотной структуры стеклопластика. К числу таких операций следует отнести равномерное натяжение стекложгута, принудительную запрессовку полимера в тонкие ленты из стеклянного волокна, удаление части летучих компонентов до начала процесса полимеризации, повышение плотности структуры стержня путем многоступенчатого горячего формования, дополнительное уплотнение стержня спиральной обмоткой и обеспечение плавного температурного режима полимеризации связующего.

За счет повышения плотности структуры значительно снижается водопоглощение арматуры и, как следствие, повышается ее химическая стойкость. Повышение прочности и модуля упругости арматуры в технологическом процессе достигается также за счет повышения числа стеклянных волокон и устранения их неоднородности.

Технологическая линия ТЛ-СПА-3 для производства стеклопластиковой арматуры

Используя опыт выработки арматуры на опытной одноканальной технологической линии ТЛ-СПА-2, в ИСиА Госстроя БССР запроектировали и в 1972 г. построили первую полупромышленную многоканальную технологическую линию ТЛ-СПА-3 (рис. 7).

На этой линии вырабатывается арматура диаметром 3...12 мм. Линия построена в четырехканальном варианте. Расстояние между осями каналов принято равным 100 мм. Многоканальность линии позволяет сократить расход электрической энергии, требуемой для выработки арматуры, увеличить производительность, уменьшить производственную площадь.

Общая длина технологической линии (без магазина и тянущего устройства) 25 м. Узлы пропитки и подсушки сырой ленты, фильерный узел, обмотчики и электрические печи зоны полимеризации для удобства обслуживания смонтированы на станине



Рис. 7. Общий вид технологической линии ТЛ-СПА-3

из стального уголкового профиля. Управление технологическим оборудованием линии осуществляется с центрального автоматизированного пульта.

Арматура вырабатывается из жгута и эпоксифенольного связующего. Обычно используется алюмоборосиликатное волокно диаметром 9 . . . 11 мкм. По специальным заказам изготавливаются опытные партии арматуры из других видов волокон и связующих, для чего на линии могут устанавливаться различные скорости протяжки и температурные режимы. Скорость протяжки на ТЛ-СПА-3 может изменяться от 2 до 100 м/ч, температура во всех узлах линии изменяется автономно в диапазоне 30 . . . 200°C с точностью регулирования $\pm 3^{\circ}\text{C}$.

В качестве электрических нагревателей в узлах и печах технологической линии использована лента, сотканная из стеклянного волокна с константановой проволокой. Обогревательная лента монтируется на съемных или выдвигаемых каркасах, что облегчает их осмотр и ремонт.

Арматура на четырехканальной линии протягивается двумя сматывающими тянущими механизмами или траковым меха-

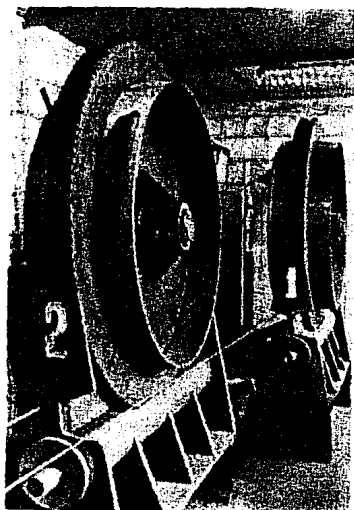


Рис. 8. Тянущее устройство

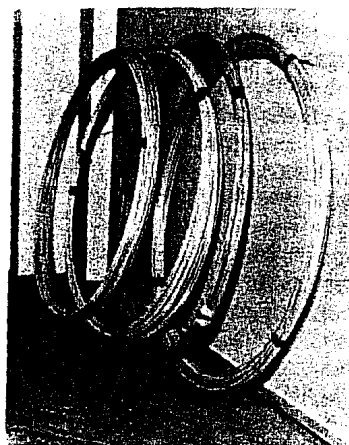


Рис. 9. Арматура диаметром до 8 мм в мотках

низмом. Тянущее устройство состоит из двух барабанов диаметром 1200 мм, на которые сматывается арматура одного диаметра из двух каналов (рис. 8). Скорость вращения обоих барабанов одинакова. Траковое устройство протягивает стержневую арматуру диаметром более 8 мм. Одновременно на технологической линии ТЛ-СПА-3 в четырех каналах может вырабатываться арматура одного либо двух разных диаметров. При протяжке арматуры двух диаметров скорости вращения тянущих устройств будут разные.

Арматура диаметром до 8 мм сматывается в мотки. Длина арматуры в мотке до 200 м (рис. 9). По специальному заказу в моток можно сматывать 3000 м и более. Арматура диаметром более 8 мм (рис. 10) разрезается на отдельные стержни длиной до 24 м.

В узле обмотчиков в каждом канале устанавливается обмотчик с автономным электродвигателем, который располагается вертикально. На оси электродвигателя имеется коническая шестерня, она вращает в разные стороны два диска, стоящие параллельно. В центре дисков через отверстие протягивается арматурный стержень. На окружности каждого диска диаметрально расположены две сменные катушки с намотанной и пропитанной связующим крученой стеклонитью. Катушки вращаются на осях и притормаживаются прижатием пружины к диску. При вращении дисков арматурный стержень обматывается нитями с определен-



Рис. 10. Стержень стеклопластиковой арматуры

ной степени натяжения, при этом получают двойную перекрестную спиральную обмотку. Такая обмотка рекомендуется для арматуры больших диаметров. Если на диске установить одну катушку, то арматурный стержень будет обмотан одиночной винтовой спиралью. Изменяя скорость вращения дисков, можно установить требуемый шаг обмотки, т.е. шаг периодического профиля арматуры.

В узле пропитки волокна по оси каждого канала располагаются четыре ванны со связующим. Ширина ванн 90, длина 700 мм. Днища и стенки ванн двойные, заполненные маслом. Ванны устанавливаются на нагреватель. Содержание связующего в стеклопластиковой арматуре на технологической линии ТЛ-СПА-3 регулируется плоской отжимной фильерой, которая установлена при выходе ленты из ванны со связующим. От количества связующего в значительной степени зависят прочностные характеристики арматуры и ее водопоглощение. Из табл. 1 видно, что при содержании связующего 19–20% стеклопластиковая арматура обладает наиболее высокой прочностью и низким водопоглощением.

Исследованиями установлено*, что при температуре ниже 25°C пропитывающее свойство связующего в связи с повышением его вязкости резко ухудшается. В этом случае из-за малой подвиж-

* Исследования по обработке температурных режимов и определению оптимальных скоростей протяжки выполнены на ТЛ-СПА-3 группой сотрудников под руководством канд. хим. наук И.С. Скорыниной.

Т а б л и ц а 1. Зависимость свойств стеклопластиковой арматуры от содержания связующего

Содержание связующего, %	Водопоглощение, %	Прочность арматуры диаметром 6 мм, МПа
18,5	0,07	1385
19,2	0,06	1475
20,3	0,09	1460
21,3	0,11	1440
22	0,08	1405
23	0,12	1380
24,1	0,11	1360
25,8	0,13	1350

ности связующего происходит лишь частичное заполнение промежутков между волокнами. Микроскопические исследования поперечных срезов таких образцов свидетельствовали о том, что в них есть полости между стеклонитями, в которых отсутствует связующее. Микроскопическая картина образцов арматуры, пропитанных связующим при 30°C, подтверждает равномерное распределение полимера по всему сечению стеклопластика. Этими же исследованиями доказано, что при температуре 30°C старение связующего протекает так же, как и при 20°C, а при температуре 40°C жизнеспособность его существенно сокращается и оно становится непригодным для изготовления арматуры. В связи с изложенным температура связующего в ванне на ТЛ-СПА-3 принята равной 30°C.

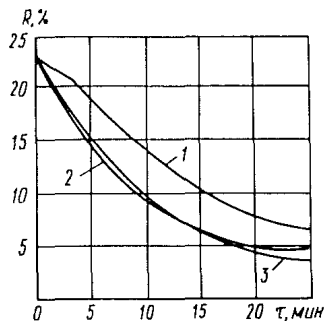
В состав эпоксифенольного связующего для снижения его вязкости и, как следствие, улучшения пропиточных свойств вводится в качестве растворителя спиртацетоновая смесь. Как указывалось раньше, для обеспечения хорошей структуры стеклопластика до начала полимеризации связующего в арматурном стержне растворитель должен быть удален. В этой связи на участке подсушки "сырой" ленты (см. рис. 5, зона удаления летучих) в зависимости от скорости протяжки должен быть обеспечен требуемый температурный режим, который на ТЛ-СПА-3 был определен на основании кривых (рис. 11) и данных по кинетике отверждения связующего.*

Из рис. 11 видно, что скорость удаления растворителей из связующего, их остаточное содержание в стеклопластиковой арматуре зависят от температуры подсушки "сырой" стеклопластиковой ленты. Так, в ленте, высушенной при температурах 80 и 90°C, остается до 4% растворителя, а при 70°C — до 7%. Кинетические исследования показали, что после подсушки свя-

* Режимы сушки, скорректированные на основании последующих исследований, приведены в работе [11].

Рис. 11. Изменение содержания растворителей R от времени τ в связующем при температурах
 1 - 70°C; 2 - 80°C; 3 - 90°C

зующего при температуре 70 и 80°C его гель-фракция (отвержденная, запolyмеризованная часть) полностью отсутствует, а при термообработке ленты при 90°C обнаруживается до 3% нерастворимой фракции. Поэтому температура в зоне подсушки была установлена 80...90°C.



В формовочном многофильерном узле с автономным обогревом конических фильер происходят следующие процессы: формируется профиль поперечного сечения арматуры, при этом обеспечивается максимальное уплотнение системы "волокно-полимер", заканчивается равномерное распределение связующего в поперечном сечении арматурного стержня, происходит дальнейшее удаление летучих веществ. Поэтому в фильерном узле связующее должно обладать достаточной подвижностью, которая достигается, во-первых, наличием остаточного количества растворителя, выполняющего роль пластификатора, и, во-вторых, почти полным отсутствием гель-фракции.

Анализируя данные, полученные при изучении кинетики отверждения связующего, и учитывая особенности формирования профиля поперечного сечения арматуры с различным содержанием остаточного растворителя, установили, что температура формования стержня при низких скоростях протяжки не должна превышать 90°C. В противном случае в фильерном узле гелеобразование приводит к тому, что система полимера в целом становится более жесткой и связующее прилипает к стенкам фильер.

Температурный режим в зоне полимеризации на ТЛ-СПА-3 подбирался для получения наиболее плотной трехмерной структуры связующего. Известно, что в создании окончательной структуры полимера важную роль играет структура, образующаяся на первых стадиях ее формирования. Вместе с тем, неременным условием для получения материала с высокими физико-химическими и физико-механическими показателями является протекание процесса отверждения со скоростью, максимально приближающейся к скорости установления структурного равновесия.

В связи с изложенным выше был разработан плавный режим повышения температуры в печах зоны полимеризации технологической линии, обеспечивающий на всех этапах необходимые условия для протекания релаксационных процессов перегруппировки молекул в целях наиболее благоприятного процесса струк-

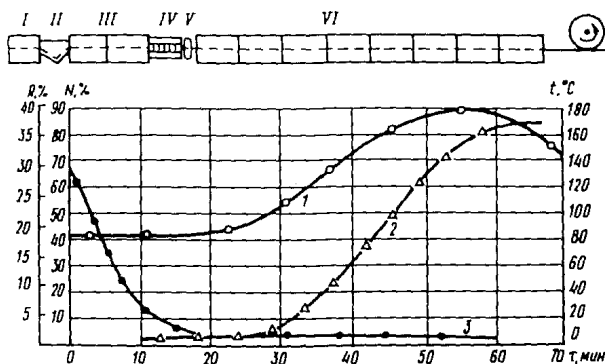


Рис. 12. Основные зоны технологической линии ТЛ-СПА-3 и кинетика формирования структуры стеклопластиковой арматуры диаметром 6 мм

I — зона подсушки волокна; II — ванна со связующим; III — зона подсушки "сырой" ленты; IV — узел формирования; V — обмотчик; VI — зона полимеризации; 1 — температура в узлах технологической линии t ; 2 — степень полимеризации связующего R ; 3 — содержание растворителей в связующем N

турообразования полимера. Температурные параметры разработанного режима полимеризации 90, 100, 110, 120, 135, 150, 180 $^{\circ}\text{C}$, затем плавное охлаждение. Кинетика формирования структуры стеклопластиковой арматуры диаметром 6 мм на технологической линии ТЛ-СПА-3 представлена на рис. 12.

Одним из условий получения стеклопластиковой арматуры является непрерывность процесса, при котором должны быть обеспечены необходимые условия формирования структуры полимера с момента пропитки волокна связующим до завершения процесса полимеризации. В связи с этим длина отдельных узлов технологической линии для выработки арматуры должна обеспечивать завершенность процессов на каждом участке этой линии. Это обстоятельство потребовало изучения влияния скорости протяжки арматуры при разработанном оптимальном температурном режиме на физико-механические характеристики и химические свойства арматуры.

При изменении диаметров арматуры должны устанавливаться скорости протяжки, обеспечивающие высокое качество арматуры. В качестве примера в табл. 2 приведено влияние скорости протяжки на ТЛ-СПА-3 арматуры диаметром 6 мм при оптимальном температурном режиме на ее физико-механические и физико-химические свойства.

Из табл. 2 видно, что увеличение скорости протяжки снижает содержание связующего, уменьшает степень полимеризации (отверждения полимера), увеличивает водопоглощение и снижает

Т а б л и ц а 2. Зависимость свойств стеклопластиковой арматуры от скорости ее протяжки

Скорость протяжки, м/ч	Содержание связующего, %	Степень полимеризации, %	Водопоглощение за 24 ч, %	Прочность при растяжении, МПа
10	21	85,8	0,06	1500
20	20	84,4	0,07	1490
30	18,7	79,6	0,2	1240
40	17,2	77,4	0,31	1115

ет прочность арматуры. Наиболее высокие характеристики у арматуры, полученной при низких скоростях протяжки, однако при скоростях 10 и 20 м свойства арматуры отличаются незначительно. Производительность же технологической линии при скорости протяжки 20 м/ч увеличивается в два раза. Поэтому в процессе отработки технологического режима на ТЛ-СПА-3 скорость протяжки стеклопластиковой арматуры диаметром 6 мм была принята равной 20 м/ч.

Получить наиболее благоприятную структуру полимера в арматуре можно при наличии равномерного температурного поля в отверждаемом материале, поэтому нами было изучено распределение температуры по сечению стержня. При этом было установлено, что на линии ТЛ-СПА-3 обеспечивается равномерное температурное поле в материале.

Как указывалось выше, оптимальная скорость протяжки арматуры определяется ее диаметром и, кроме того, формой профиля поперечного сечения. На ТЛ-СПА-3 при замене фильер в формовочном узле можно выработать арматуру в виде полосы с разными размерами поперечного сечения и других профилей. Для каждого профиля и размеров его поперечного сечения (диаметра), а также вида полимерного связующего на ТЛ-СПА-3 отработаны технологические режимы, обеспечивающие требуемое качество арматуры.

Следует отметить, что незначительные отклонения от установленных режимов существенно снижают качество арматуры. В этой связи на полупромышленном образце линии ТЛ-СПА-3 применены автоматический контроль и регулирование температурного режима во всех узлах линии. На промышленных установках должна быть обеспечена полная автоматизация контроля и регулирования процесса производства арматуры.

Производительность, т/год, технологической линии ТЛ-СПА-3 при непрерывной четырехсменной работе определяется следующей зависимостью:

$$П = v n c k q \cdot 10^{-6},$$

где v — скорость протяжки, м/ч; n — число каналов; c — число рабочих часов в году; q — масса 1 м длины арматуры, г; k — коэффициент, учитывающий потери времени на заправку линии и профилактический ремонт, равный 0,9.

Физико-механические свойства стеклопластиковой арматуры в основном определяются свойствами стеклянного волокна, т.е. основного "рабочего" материала арматуры. Это обстоятельство предопределяется, во-первых, относительно низким (в 6—7 раз меньше, чем у стеклянного волокна) значением модуля упругости связующего и, во-вторых, небольшим содержанием полимера в стеклопластике (около 20% по массе). При повышении температуры проявляются пластические свойства связующего. В этой связи степень участия полимера в работе арматурного стержня снижается и, как следствие, повышается роль стеклянного волокна. При химическом воздействии различных реагентов на стеклопластиковую арматуру наблюдаются проникание жидкой либо газообразной фазы через связующее к стеклянному волокну и затем его разрушение. Поэтому коррозионная стойкость арматуры также определяется в основном свойствами волокна. В связи с этим качество арматуры следует изучать в тесной зависимости от свойств стеклянного волокна, которые изложены в главе I монографии.

В настоящей главе приводятся свойства арматуры, изготовленной из алюмоборосиликатного волокна и эпоксифенольного связующего.

Прочность и деформативность арматуры*

Прочность и деформативность стеклопластиковой арматуры исследовались при растяжении и сжатии, т.е. при воздействиях, которые она воспринимает в строительных конструкциях и изделиях.

Для исследования прочностных и деформативных свойств арматуры при кратковременном растяжении испытывались образцы арматуры при температуре окружающей среды около 20°C и относительной влажности 50...60%. Длина рабочей зоны (расстояние между захватами разрывной машины), как и для стальной арматуры, принималась не менее 30 диаметров образца и не менее 200 мм. Нагружались образцы плавно, ступенями примерно через 0,1 $P_{\text{разр}}$. Длительность нагружения одной ступени составляла около 30 с. После каждой ступени нагружения индикатор

* Исследования выполнялись в ИСИА Госстроя БССР К.В. Зеленским и Л.Я. Самосюк.

торами часового типа замерялись удлинения образца на базе 100 мм с точностью $\pm 0,05$ мм. В расчет принимались образцы, разрушенные в рабочей зоне.

Значения начального модуля упругости определялись по линейному участку диаграммы деформаций растяжения при напряжениях $0,2 \dots 0,5 \sigma_{\text{пр}}$ (предела прочности). Для определения кратковременной прочности арматуры и модуля упругости при сжатии испытывались короткие образцы диаметром 6 мм. Рабочая длина образца (расстояние между захватами) принималась равной 10 мм. После закрепления испытуемого образца в захватах с четырех сторон устанавливались индикаторы часового типа, по которым центрировались сжимающие усилия по физической оси стеклопластикового стержня. При этом усилие обжатия образца приводилось до $0,2 \sigma_{\text{пр}}$. После центровки нагрузка к образцу прикладывалась ступенями, примерно равными $0,1 P_{\text{разр}}$. В процессе нагружения замерялись деформации образца и фиксировалась разрушающая нагрузка. По этим данным определялись кратковременный предел прочности и модуль упругости стеклопластиковой арматуры при сжатии. На растяжение испытывались образцы арматуры, изготовленные из первичного стеклянного волокна, обычного жгута в 20 и 40 сложений, а также из жгута-ровинга в 30 и 60 сложений.

При анализе результатов деформативности и прочности арматуры при кратковременном растяжении необходимо обратить внимание на следующее (табл. 3).

Т а б л и ц а 3. Зависимость деформативности и прочности стеклопластиковой арматуры диаметром 6 мм от вида стеклянного волокна

Вид стеклянного волокна	Временное сопротивление разрыву, МПа	Начальный модуль упругости E , ГПа
Жгут в 40 сложений	1200	—
" "20 "	1242	—
Жгут-ровинг в 30 сложений	1540	52
" " " 60 "	1435	53
Первичная нить	1600	55,8

Наибольшую прочность имеет арматура, изготовленная из первичной нити. Арматура же, выработанная из обычного жгута, обладает самой низкой прочностью. Прочность арматуры из жгута-ровинга, в котором устранена неоднородность нитей, будет выше.

В связи с тем, что при выработке арматуры из первичной нити требуется большой объем магазина для стекловолокна и усложняется контроль обрыва нитей, стеклопластиковую арматуру следует изготавливать из жгута-ровинга в 30 сложений. При большом числе каналов технологической линии можно использовать жгут в 60 сложений.

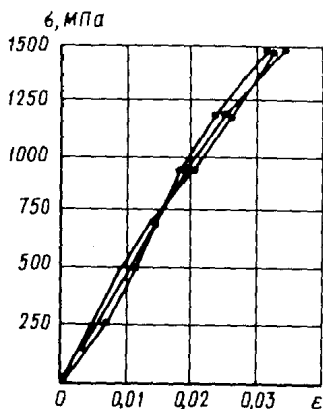


Рис. 13. Диаграмма растяжения арматуры

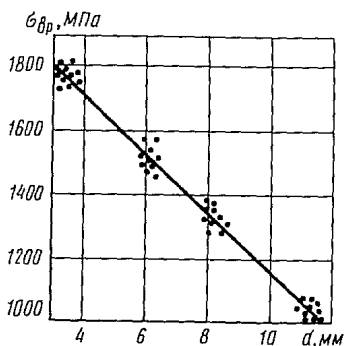
Модуль упругости стеклопластиковой арматуры также в некоторой степени зависит от вида стеклянного волокна, из которого изготавливается арматура. Наибольшее значение начального модуля упругости арматуры получено при использовании первичного волокна.

При выработке опытных партий арматуры изучалась возможность изготовления арматуры одновременно из нескольких видов

стеклянного волокна. Например, арматуру диаметром 6 мм вырабатывали, используя жгут-ровинг в 30 и 60 сложений. При испытании такой арматуры было установлено, что разрыв образцов происходит двухстадийно, а их прочность оказывается низкой. Вначале разрывается часть волокна из жгута в 30 сложений, а затем — в 60. Отсюда следует вывод, что в арматурном стержне лучше использовать только один вид стеклянного волокна.

Диаграмма "напряжение — деформация" стеклопластиковой арматуры (рис. 13) практически прямолинейна вплоть до разрыва. Диаметр арматуры существенно влияет на значение временного сопротивления стеклопластиковой арматуры (рис. 14). Чем тоньше арматура, тем выше ее прочность. Прочность арматуры диаметром 3 мм достигает 1800 МПа, а диаметром 12 мм — только 1050 МПа. Поэтому с увеличением диаметра арматуры требуется повышенное ее содержание в конструкциях, что ведет к удорожанию конструкций.

С другой стороны, при использовании стеклопластиковой арматуры для армирования конструкций, эксплуатируемых под воздействием агрессивных сред, целесообразно использовать



арматуру больших диаметров с менее развитой относительной поверхностью (поверхностью, приходящейся на единицу площади поперечного сечения). Химическая стойкость арматуры больших диаметров будет выше, чем тонкой, так как относительная поверхность ее значительно меньше, а скорость

Рис. 14. Влияние диаметра арматуры на прочность при разрыве

химического разрушения арматуры в определенной степени определяется площадью ее поверхности. Таким образом, долговечность конструкций при восприятии агрессивных воздействий с увеличением диаметра арматуры будет увеличиваться, а их стоимость на единицу эксплуатационного времени — уменьшаться.

В конструкциях, в которых арматура не подвергается химическому разрушению, следует использовать арматуру небольших диаметров с меньшей стоимостью единицы прочности. Поэтому при проектировании конструкций со стеклопластиковой арматурой следует назначать оптимальные диаметры арматуры, которые определяются экономическими соображениями и зависят от функционального назначения конструкций.

Влияние диаметра арматуры на прочность при растяжении можно объяснить следующим. Стеклопластик является композиционным материалом, состоящим из стеклянных волокон, склеенных полимерным связующим. Деформативность его в несколько раз выше, чем стеклянного волокна. При испытании образцов стеклопластиковой арматуры на разрывной машине усилие, обжимающее стержень в захватах, воспринимается стеклянными волокнами, расположенными на поверхности стержня, а затем через прослойки связующего передается волокнам, находящимся в его сердцевине. В связи с этим при растяжении образца наибольшие деформации получают волокна на поверхности стержня, так как за счет повышенной деформативности слоев полимерного связующего происходит некоторое смещение крайних волокон относительно волокон, расположенных ближе к центру испытуемого образца (без нарушения сцепления волокон с полимером), поэтому напряжения в стеклянных волокнах по диаметру стержня от его поверхности к центру уменьшаются (рис. 15). Разрушение образцов начинается с разрыва наиболее напряженных стеклянных волокон, расположенных по периметру стержня, а затем за счет перераспределения напряжений происходит разрыв волокна в оставшемся сечении стержня.

В процессе экспериментального исследования прочности и деформативности образцов стеклопластиковой арматуры на разрывных машинах было установлено, что разрушение их начинается, как правило, с разрыва оплеточной нити, образующей периодический профиль поперечного сечения. Затем следует разрыв отдельных волокон в поверхностном слое по всей длине рабочей части испытуемого стержня, после чего происходит более интенсивное разрушение волокон по периметру стержня с распространением к его центру, при этом рост нагрузки прекращается и наступает разрыв стержня с образованием "метелки". Некоторые стержни разрываются в одном сечении подобно разрыву стальной арматуры без образования "метелки". Особенно четко последовательное разрушение арматуры нами наблюдалось при разрушении стержней диаметром 12 мм. В некоторых из них после разрыва волокон

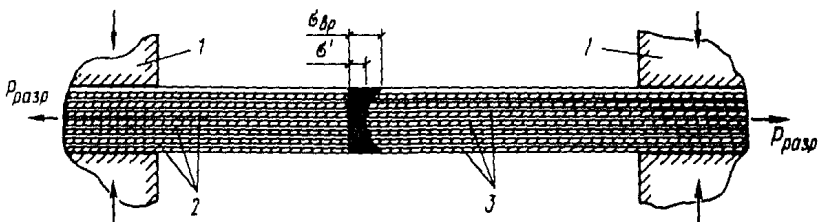


Рис. 15. Напряженное состояние в сечении стержня стеклопластиковой арматуры при разрыве

1 - захват; 2 - стеклянные волокна; 3 - прослойки полимерного связующего

в поверхностном слое происходило проскальзывание неразрушенной сердцевины стержня по слою полимерного связующего.

Степень изменчивости механических свойств стеклопластиковой арматуры определялась путем статистического анализа контрольных испытаний образцов (рис. 16, табл. 4). Из приведенных данных следует, что механические свойства стеклопластиковой арматуры обладают неоднородностью, зависящей от числа сложений жгута. Поэтому значения браковочного минимума временного сопротивления арматуры из жгута в 30 сложений приняты 1420 МПа, а в 60 сложений - 1190 МПа, т.е. ниже их минимальных граничных значений, соответственно равных 1449 и 1264 МПа. Из данных табл. 4 и рис. 16 следует также, что механические характеристики и однородность арматуры из жгута в 30 сложений несколько выше, чем арматуры из жгута в 60 сложений, поэтому жгут-ровинг в 30 сложений предпочтительнее для изготовления стеклопластиковой арматуры, особенно при армировании наиболее ответственных конструкций.

Т а б л и ц а 4. Физико-механические свойства стеклопластиковой арматуры диаметром 6 мм, изготовленной из стекложгута-ровинга на эпоксифенольном связующем

Волокно	Временное сопротивление разрыву		Начальный модуль упругости		Относительное удлинение перед разрывом	
	МПа	коэффициент однородности	E, ГПа	коэффициент однородности	%	коэффициент однородности
Жгут-ровинг в 30 сложений	1540	0,92	52	0,85	2,81	0,72
То же, в 60 сложений	1435	0,82	53	0,81	2,66	0,67

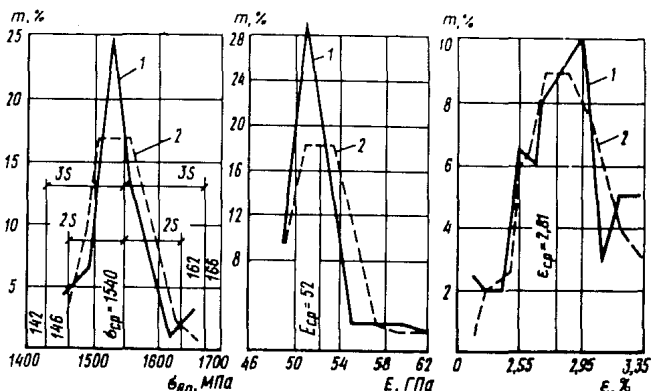


Рис. 16. Распределение значений временного сопротивления $\sigma_{вр}$, модуля упругости E и относительного удлинения ϵ в стеклопластиковой арматуре диаметром 6 мм из жгута-ровинга в 30 сложений

1 — эмпирическое распределение; 2 — теоретическое распределение

Низкое значение модуля упругости стеклопластиковой арматуры (примерно в четыре раза меньше, чем стальной) предопределяет использование ее только в предварительно напряженных конструкциях, так как в конструкциях без предварительного напряжения полное использование прочности арматуры невозможно: жесткость таких конструкций будет низкой. При создании предварительно напряженных конструкций из низкомодульных материалов (полимербетонов, древесины, пластмасс), обладающих повышенной ползучестью, низкий модуль стеклопластиковой арматуры следует рассматривать как одно из ее преимуществ по сравнению со стальной, так как потери предварительного напряжения в стальной арматуре конструкций из перечисленных материалов достигают больших значений и эффект предварительного напряжения либо снижается, либо исчезает.

Химическая стойкость арматуры*

При изучении химической стойкости стеклянного волокна и стеклопластиков многие исследователи за критерий принимают изменение массы образцов при воздействии агрессивных сред. Для исследования стойкости арматуры такая методика не может

* Исследования выполнены в ИСиА Госстроя БССР С.С. Жавридом.

быть использована, так как полученные результаты не позволяют оценить потери прочности арматуры, т.е. ее работоспособность при восприятии растягивающих напряжений. Также совершенно несостоятельна и методика определения стойкости по изменению внешнего вида образцов, т.е. цвета, состояния поверхности и т.д. Наиболее приемлемым критерием при изучении химической стойкости арматуры следует считать прочностный критерий, который комплексно выражает связь физико-химических и механических свойств материала. Этот критерий при изучении стойкости арматуры и был принят определяющим.

Для ускорения и облегчения испытаний опытных образцов арматуры Н.А. Мощанским было предложено испытывать короткие образцы арматуры на изгиб. Однако, как показали результаты испытаний, разрушение таких образцов происходило из-за нарушения целостности сжатой зоны изгибаемых образцов, что не отражало действительной работы арматуры в конструкциях. В связи с этим прочностные характеристики арматуры следует определять при их испытании на разрыв.

Для уменьшения влияния неоднородности арматуры по длине на разброс опытных данных образцы каждой партии брались из одного мотка арматуры. Длина образцов для испытания принималась равной 700 . . . 800 мм. Для обеспечения расположения места разрыва образца между захватами, т.е. в средней рабочей его части, концы испытуемых образцов на 250 мм перед погружением в агрессивные среды усиливались стеклопластиковым жгутом, пропитанным полимерным связующим, с последующей полимеризацией либо покрывались слоем горячего парафина.

Подготовленные образцы стеклопластиковой арматуры перед испытанием (погружением в агрессивную среду) подвергались кондиционированию — выдерживались в течение нескольких суток при постоянном температурно-влажностном режиме (температура $20 \pm 2^\circ\text{C}$, относительная влажность воздуха $65 \pm 5\%$). После кондиционирования для каждой партии арматуры определялись основные характеристики — объемная масса, содержание связующего, степень полимеризации и водопоглощение. Затем образцы помещались в различные агрессивные среды на 7, 10 сут, на 1, 3, 6, 12, 24 мес и более. После воздействия агрессивной среды образцы извлекались из растворов, выдерживались на воздухе 10–12 ч и испытывались на прочность при разрыве, при этом определялись модуль упругости и относительное удлинение перед разрывом. Одновременно со стеклопластиковой арматурой воздействию агрессивных сред подвергалась стальная высокопрочная арматура также диаметром 3 мм.

Характеристики сравнительной стойкости стеклопластиковой и стальной арматуры во времени были получены с помощью сопоставления результатов кратковременных прочностных испытаний образцов арматуры до погружения в агрессивные среды и после длительной выдержки в них.

Проникание растворов агрессивных реагентов к основному рабочему материалу стеклопластиковой арматуры, т.е. к стеклянному волокну, через полимер происходит по имеющимся в нем трещинам, порам и каналам, а также за счет диффузии реагента через полимер. Процесс диффузии молекул жидкости через межмолекулярные дырки в полимере к стеклянному волокну носит замедленный характер и продолжается около 50 . . . 60 сут. За этот период происходит заполнение его микродефектов на поверхности стеклянного волокна и наблюдается активное снижение прочности арматуры за счет расклинивающего эффекта жидкости в трещинах на поверхности стеклянного волокна. В этот период происходит химическое поражение волокна в процессе его взаимодействия с агрессивной средой.

На основании результатов, полученных при испытании арматуры, построен график сравнительной химической стойкости стеклопластиковой и стальной арматуры (рис. 17). На графике по вертикальной оси фиксируется прочность арматуры через τ сут в процентах предела прочности арматуры до испытания, т.е. $(\sigma_{\tau} / \sigma_{br}) 100\%$, где σ_{τ} — прочность арматуры после τ сут воздействия агрессивной среды; σ_{br} — временное сопротивление арматуры разрыву до испытания в агрессивной среде. Из графика следует, что в первые 50 . . . 60 сут происходит интенсивное снижение прочности стеклопластиковой арматуры, затем этот процесс замедляется и приобретает прямолинейный характер. Снижение прочности стальной арматуры происходит значительно активнее. Например, в 1 н растворе H_2SO_4 через 50 . . . 60 сут стальная арматура полностью теряет прочность — разрушается, а стеклопластиковая теряет примерно 10%. Прочность стеклопластиковой арматуры под воздействием 1 н раствора H_2SO_4 в течение 300 сут снижается на 15%, в течение 900 сут — на 20%. В растворе сильвинита за 50 . . . 60 сут прочность стальной арматуры практически не снижается, а стеклопластиковой — уменьшается на 5%. В насыщенном растворе сильвинита остаточная прочность стеклопластиковой арматуры через 900 сут составляет 90%, стальная арматура к этому времени разрушается. Таким образом, из графика следует, что долговечность стеклопластиковой арматуры значительно превышает долговечность стальной арматуры [12].

Нами было обследовано состояние железобетонных конструкций в реальных условиях эксплуатации на заводах синтетических волокон (кислая среда), на комбинатах и складах минеральных удобрений (солевая коррозия). В процессе этих обследований установлено следующее. На заводах синтетических волокон железобетонные конструкции подвергаются воздействию растворов серной кислоты различных концентраций, а также сероводорода, сероуглерода и сернистого газа. Под воздействием растворов серной кислоты происходит разрушение стальной арматуры, а также традиционного цементного бетона. Срок эксплуатации железобетонных конструкций в таких условиях не превышает

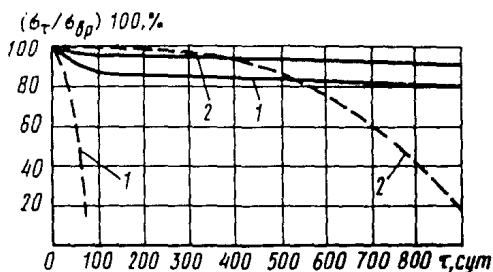


Рис. 17. Сравнение стойкости стеклопластиковой и высокопрочной стальной арматуры диаметром 3 мм в агрессивных средах

1 — воздействие 1 н раствора H_2SO_4 ; 2 — воздействие насыщенного раствора сильвинита (— стеклопластиковая арматура; ---- стальная арматура)

4...5 лет. Например, на кислотной станции Светлогорского завода искусственного волокна ребристые железобетонные панели перекрытий над технологическими тоннелями после каждых 4-х лет эксплуатации заменяются. При воздействии солей на складах и комбинатах минеральных удобрений также наблюдается коррозия стальной арматуры в железобетонных конструкциях. Срок их службы в этих условиях сокращается до 7 лет.

Таким образом, при замене железобетонных конструкций конструкциями из специальных коррозионностойких бетонов со стеклопластиковой арматурой представляется возможным существенно повысить их долговечность и обеспечить требуемые сроки эксплуатации промышленных зданий и сооружений.

Стойкость стеклопластиковой арматуры определяется видом агрессивной среды, причем воздействие кислот и щелочей оказывает наиболее разрушительное действие на арматуру. Известно, что в процессе твердения цементных бетонов и при их увлажнении образуется щелочная среда, поэтому стеклопластиковая арматура в цементных бетонах при определенной их влажности способна снижать прочность во времени.

Были проведены исследования влияния на стеклопластиковую арматуру среды различных бетонов, приготовленных на портландцементе и глиноземистом цементе. При этом установлено, что независимо от вида цемента во всех влажных бетонах происходит снижение прочности арматуры, а степень снижения зависит от влажности бетона.

Стержни стеклопластиковой арматуры диаметром 3 мм закладывались в бетонные призмы, которые твердели либо в воздушно-сухих условиях при относительной влажности воздуха около 60%, либо над поверхностью воды (относительная влажность окружающей среды при этом составляла около 90...100%), а часть призм погружалась в воду на несколько миллиметров.

Через определенное время выдержки в таких условиях призмы раскалывались, арматура извлекалась и испытывалась на разрыв.

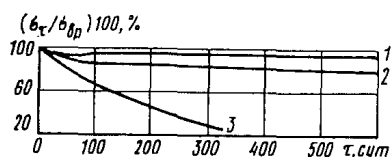
Результаты исследования снижения прочности арматуры диаметром 3 мм без пленочного покрытия в бетоне на портландцементе представлены на рис. 18, из которого следует, что в первые 50...60 сут наблюдалось активное снижение прочности арматуры независимо от влажности бетона. Необходимо напомнить, что в этот период одновременно происходило снижение прочности арматуры за счет химического процесса и расклинивающего эффекта, который возникал в результате заполнения влагой микротрещин, расположенных на поверхности волокна. В последующее время бетонные призмы, находившиеся в воздушно-сухих условиях, высыхали, происходило удаление влаги из микротрещин, поэтому прочность арматуры в этих призмах несколько повышалась. Однако прочность не достигала исходной по причине частичного разрушения волокна за счет химического процесса взаимодействия щелочи со стеклянным волокном во влажном вызревающем бетоне. Затем процесс снижения прочности арматуры в этих призмах прекращался, причем потери прочности составляли около 10% исходной (рис. 18, кривая 1).

В призмах, расположенных над водой (относительная влажность 90...100%), после первых 50...60 сут снижение прочности арматуры продолжалось. За 600 сут снижение прочности арматуры в этом случае произошло примерно на 20% (рис. 18, кривая 2). В призмах, частично погруженных в воду, наблюдалось неуклонное снижение прочности арматуры, и через 300 сут арматура практически разрушилась (рис. 18, кривая 3).

На основании результатов этого исследования необходимо сделать следующие выводы. Во-первых, стеклопластиковую арматуру не следует применять в конструкциях, изготовленных из цементных бетонов и эксплуатируемых во влажном состоянии; во-вторых, при проектировании конструкций из цементных бетонов со стеклопластиковой арматурой, которые эксплуатируются в воздушной среде с относительной влажностью более 70%, необходимо учитывать снижение прочности арматуры в течение всего времени эксплуатации таких конструкций; в-третьих, при эксплуатации конструкций из цементных бетонов со стеклопластиковой арматурой в воздушной среде с относительной влаж-

Рис. 18. Стойкость стеклопластиковой арматуры в бетоне на портландцементе

1 — в условиях 60–70%-ной относительной влажности воздуха; 2 — в условиях 100%-ной относительной влажности воздуха; 3 — при погружении на несколько миллиметров в воду (подсос)



ностью менее 70% следует учитывать снижение прочности арматуры на 10% на весь срок эксплуатации.

Влияние температуры и влажности на физико-механические свойства арматуры *

В процессе изготовления и эксплуатации бетонные конструкции со стеклопластиковой арматурой могут находиться в различных температурных и влажностных условиях. Например, при изготовлении таких конструкций для сокращения сроков твердения бетонов используется пропаривание. При этом арматура подвергается совместному воздействию высоких температур и влаги. Кроме того, конструкции могут эксплуатироваться при отрицательных и положительных температурах. В условиях пожара конструкции испытывают одновременное воздействие высоких температур и огня. В связи с этим для обеспечения надежности конструкций необходимо знать способность арматуры противостоять нагреву и охлаждению, а также действию парообразной влаги.

В литературе имеются различные данные о влиянии температурных и влажностных условий на свойства стеклопластиков, в том числе и на терморезактивном эпоксиэфенольном связующем. Однако по совокупности задач, которые решает арматура в бетонных конструкциях, ее роль совершенно не сопоставима с назначением стеклопластиков в машиностроении, судостроении и других отраслях техники. Например, исследование деформативности и прочности обычных стеклопластиков выполняется, как правило, на изгибаемых образцах, а арматура в бетоне воспринимает растягивающие или сжимающие напряжения. Обычные исследования стеклопластиков на возгораемость не отражают состояние арматуры в бетоне при воздействии высоких температур и огня. Поэтому были проведены исследования влияния температурных и влажностных воздействий на физико-механические свойства стеклопластиковой арматуры, отражающие действительную работу арматуры в бетонных конструкциях.

В процессе исследований физико-механических свойств стеклопластиковой арматуры при воздействии температур от -40 до $+450^{\circ}\text{C}$ испытаниям подвергалась арматура диаметром 3 и 6 мм, изготовленная из алюмоборосиликатного волокна на эпоксиэфенольном связующем (рис. 19). Первая серия образцов арматуры испытывалась на разрыв в горячем и охлажденном состоянии. Вторая серия образцов после нагрева либо охлаждения выдерживалась в течение нескольких часов при температуре 20°C , а затем испытывалась. На графике за 100% приняты исходные свойства арматуры при 20°C .

* Исследования выполнены в ИСИА Госстроя БССР Л.П. Зайцевой.

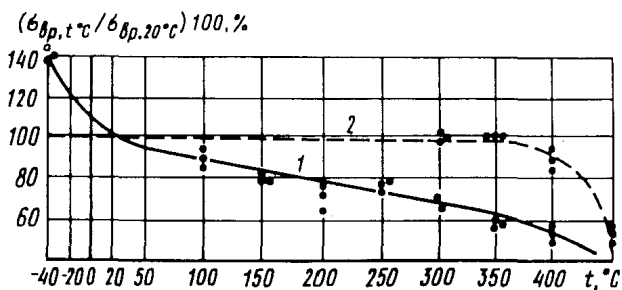


Рис. 19. Зависимость прочности стеклопластиковой арматуры от температуры
 1 – при воздействии температуры; 2 – после прогрева либо охлаждения (испытания при $t = 20^\circ\text{C}$)

Для испытания образцов в горячем состоянии на пятитонной разрывной машине монтировалась электрическая печь, а в холодном – латунный сосуд, наполненный твердой углекислотой. После установки образца арматуры в электрической печи или в латунном сосуде он нагревался или охлаждался до заданной температуры. Затем образец в целях стабилизации температуры по всему его сечению выдерживался при этой температуре в течение 0,5 ч, после чего к образцу прикладывалось разрывное усилие.

Как следует из рис. 19, при снижении температуры прочность образцов арматуры первой серии возрастает и при температуре -40°C повышается на 35...40%. В интервале отрицательных температур наблюдается упрочнение стеклопластика аналогично упрочнению стеклянного волокна по причине вымораживания адсорбционной влаги из микротрещин, расположенных на поверхности волокна. С повышением температуры прочность арматуры снижается (рис. 19, кривая 1). Это явление можно объяснить проявлением пластических свойств связующего, за счет чего более активно сказывается неоднородность стеклянных волокон, так как происходит частичное выпрямление волокон на изогнутых участках. При температуре выше 350°C начинается процесс деструкции связующего, а затем и стеклянного волокна, в связи с чем прочность арматуры снижается.

Прочность арматуры, предварительно выдержанной при температурах от -40 до $+350^\circ\text{C}$ (рис. 19, кривая 2), остается постоянной, так как процессы проявления пластических свойств полимера и вымораживания адсорбционной влаги в этом интервале температур носят обратимый характер. С наступлением деструкции связующего и волокна при температурах выше 350°C прочность термообработанной арматуры резко снижается.

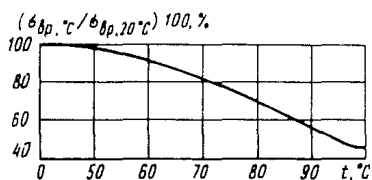


Рис.20. Снижение прочности арматуры при пропаривании

Исследовалось также влияние процесса пропаривания на прочность стеклопластиковой арматуры. Пропаривали образцы по режиму (2 + 6 + 2 ч), идентичному режиму пропаривания бетонных конструкций. При этом установлено, что стеклопластиковая арматура в зависимости от температуры пара способна значительно снижать прочность. Из рис. 20 следует, что пропаривать конструкции со стеклопластиковой арматурой целесообразно при низких температурах пара, например при 60°C, при этом необходимо снижать расчетное сопротивление арматуры на 10%.

Совместно с ВНИИПО были проведены испытания бетонных конструкций со стеклопластиковой арматурой на огнестойкость. При этом изучалось поведение арматуры в среде бетона в условиях пожара. Огнестойкость бетонных конструкций со стеклопластиковой арматурой определялась испытанием балок длиной 6 м и панелей длиной 3 м на специальных огневых установках при стандартном температурном режиме, моделирующем условия пожара.

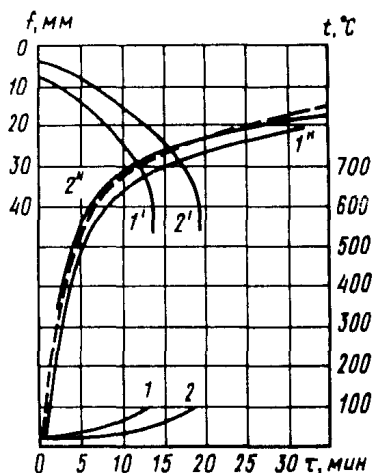
Установка для испытания на огнестойкость состоит из печи с форсунками для жидкого топлива и передвижной рамы для загрузки конструкций. Передвижная рама представляет собой сварную конструкцию из стального проката, накатывающуюся по рельсам на печь в месте расположения проема в своде печи. Испытуемая конструкция подвешивается к стальной раме на двух опорных хомутах. После установки конструкции проем закрывается и производится ее загрузка с помощью рычажного устройства. Нагрузка создается путем заполнения водой мерников, подвешенных к рычагам. В процессе огневых испытаний конструкция нагревается снизу по всей площади, кроме опорных участков длиной не более 30 см, которые во время опыта изолируются.

Предел огнестойкости армированных бетонных конструкций наступает, как правило, в результате потери или несущей способности за счет понижения предела прочности растянутой арматуры в процессе нагревания до критической температуры, при которой сопротивление арматуры снижается до значения рабочих напряжений.

Все испытанные стеклопластбетонные конструкции разрушались хрупко с разрывом арматуры при средней температуре в растянутой рабочей арматуре 100°C. Следует предположить, что при весьма интенсивном огневом прогреве при температуре 100°C

Рис. 21. Результаты испытаний на огнестойкость предварительно напряженных бетонных балок длиной 6 м со стеклопластиковой арматурой

1, 2 — средняя температура растянутой арматуры; 1', 2' — прогиб элемента f ; 1'', 2'' — температура "среды" при испытании на огнестойкость (--- температура стандартной "среды")



происходит активное парообразование влаги, находящейся в микротрещинах, которые расположены на поверхности стеклянного волокна. При этом мгновенно повышается давление и, как следствие, разрушается волокно, т.е. наступает резкий спад прочности арматуры. Конструкция разрушается.

При испытании на огнестойкость, например, двух бетонных балок (на портландцементе) со стеклопластиковой арматурой (рис. 21) балка 1 разрушилась через 13, а балка 2 — через 18 мин. Прогиб балок при этом составлял около 35 мм. Температура "среды" (под нижней гранью балок) превысила 650°C и была практически равна стандартной, требуемой при испытаниях конструкций на огнестойкость.

В результате испытаний на огнестойкость необходимо констатировать, что критической температурой для стеклопластиковой арматуры в конструкциях из цементных бетонов является температура 100°C . Как указывалось выше, разрушение балок произошло через 13...18 мин. По Строительным нормам и правилам для металлических конструкций предел огнестойкости принимается равным 15 мин. Таким образом, огнестойкость конструкции достаточна и удовлетворяет требованиям норм. С этой позиции испытанные балки по огнестойкости можно сравнивать с металлическими конструкциями. Однако одним из косвенных критериев оценки огнестойкости является характер разрушения конструкции. В нашем случае происходило хрупкое, мгновенное разрушение балок.

Электротехнические свойства арматуры

Электротехнические свойства стеклопластиковой арматуры, вырабатываемой в ИСиА Госстроя БССР, исследовались в Ле-

нинградском политехническом институте имени М.И. Калинина. Испытывалась арматура диаметром 3 и 6 мм в исходном состоянии, т.е. в состоянии поставки, после выдержки в воде при температуре 20°C в течение 1 сут и после выдержки во влажной камере при температуре 40°C также в течение 1 сут. При этом измерялись электрическая прочность и электрическое сопротивление арматуры вдоль волокон. Результаты исследований приведены в табл. 5, из данных которой следует, что стеклопластиковая арматура в исходном, т.е. воздушно-сухом, состоянии обладает хорошими электротехническими свойствами и является диэлектриком.

Т а б л и ц а 5. Основные свойства и характеристики стеклопластиковой арматуры из алюмоборосиликатного волокна на эпоксифенольном связующем

Основные свойства и характеристики	Значение показателя	Примечания
Временное сопротивление, МПа		
растяжению	до 1800	Уменьшается с увеличением диаметра арматуры
сжатию	До 400	
Модуль упругости, ГПа:		
при растяжении	50	Без учета воздействия агрессивных сред
при сжатии	30	
Коэффициент длительной прочности (старение)	0,65	
Коэффициент однородности	0,8	
Предельная растяжимость, %	2,5–3	
Потери от релаксации напряжений	0,07 δ_0	
Водопоглощение, %	0,05–0,1	Для арматуры диаметром 6 мм
Повышение коррозионной стойкости по сравнению со стальной арматурой, раз:		Испытания проводились при 18–20°C
в кислой среде	10–15	Данные для арматуры диаметром 3 мм в 1 н растворе H ₂ SO ₄
в растворах солей	7–10	То же, в насыщенном растворе сильвинита
Электрическое сопротивление:		Вдоль волокон для образцов длиной 10 мм
в исходном состоянии для арматуры диаметром 3 мм, ГОм	20000	
то же, 6 мм	10000	
После выдержки в воде при $t=20^\circ\text{C}$ в течение 1 сут для арматуры диаметром 3 мм, МОм	20	
то же, 6 мм	10	

Основные свойства и характеристики	Значение показателя	Примечания
после выдержки во влагокамере при $t = 40^{\circ}\text{C}$ в течение 1 сут для арматуры диаметром 3 мм, МОм	20	
то же, 6 мм	10	
Электрическая прочность, кВ/см:		Вдоль волокон для образцов длиной 10 мм
в исходном состоянии для арматуры диаметром 3 мм	16	
то же, 6 мм	12	
после выдержки в воде при $t = 20^{\circ}\text{C}$ в течение 1 сут для арматуры диаметром 6 мм	9	
после выдержки во влагокамере при $t = 40^{\circ}\text{C}$ в течение 1 сут для арматуры диаметром 6 мм	8,7	
Температурный коэффициент линейного расширения, $^{\circ}\text{C}^{-1}$	$0,58 \cdot 10^{-5}$	
Объемная масса, $\text{кг}/\text{м}^3$	1,9	
Профиль поперечного сечения:		
круглый, диаметр, мм	3...16	Профиль периодический винтовой
прямоугольный с притупленными кромками		
толщина, мм, не менее	0,5	Ленточная арматура
ширина, мм, не более	12...16	гладкая
Длина арматуры, м:		По специальным заказам
в мотках	200	длина арматуры может
стержневой	До 24	быть увеличена

Области эффективного использования стеклопластиковой арматуры в строительных конструкциях

Стоимость стеклопластиковой арматуры выше стоимости стальной арматуры всех классов, поэтому использование ее для повсеместной замены арматуры в железобетонных конструкциях в настоящее время экономически нецелесообразно. Сдерживающим фактором, как указывалось выше, также является низкая химическая стойкость стеклопластиковой арматуры в щелочной среде традиционных цементных бетонов, т.е. в условиях повышенной влажности бетона наблюдается активное снижение прочности арматуры. В этой связи применение стеклопластиковой арматуры целесообразно только в тех случаях, когда

используются ее специфические свойства, которыми не обладает стальная арматура.

Анализируя комплекс свойств стеклопластиковой арматуры, изготовленной из стандартного алюмоборосиликатного волокна и эпоксифенольного связующего (см. табл. 5), можно констатировать, что к таким свойствам в первую очередь относятся высокая коррозионная стойкость арматуры и диэлектрические свойства. Кроме того, модуль упругости, температурный коэффициент линейного расширения и объемная масса стеклопластиковой арматуры значительно меньше, чем эти показатели стальной арматуры.

Используя перечисленные отличительные свойства стеклопластиковой арматуры, можно создавать армированные конструкции с принципиально новыми свойствами. Внедрение этих конструкций в практику строительства дает значительный технико-экономический эффект.

Срок службы железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в зданиях с различными агрессивными средами, значительно сокращается. Так, строительные конструкции цехов основных производств на заводах искусственного волокна подвержены воздействиям различных агрессивных агентов: фундаменты, перекрытия, колонны и стены к воздействию кислот; все конструкции — воздействию агрессивных газов (сероводорода, сернистого газа и сероуглерода) в сочетании с высокой влажностью воздуха. В сборных железобетонных конструкциях на этих предприятиях коррозия арматуры развивается настолько интенсивно, что через несколько лет эксплуатации они нуждаются в капитальном ремонте либо замене [13].

В комбинатах минеральных удобрений под воздействием солевой коррозии также интенсивно разрушаются конструкции из железобетона и кирпичная кладка из красного кирпича низких марок. Срок службы складских помещений для минеральных удобрений сокращается до 7 лет. На молочных заводах, на предприятиях, вырабатывающих фруктовые соки и консервы, на мясокомбинатах (при воздействии растворов органических кислот и солей) стальная арматура корродирует. Агрессивные среды в сельскохозяйственных животноводческих помещениях разрушают железобетонные конструкции, технологические трубопроводы [14], свайные основания и т.п.

Основной причиной разрушения железобетонных конструкций является коррозия стальной арматуры и, кроме того, в большинстве случаев разрушаются традиционные цементные бетоны. В связи с этим для создания долговечных армированных конструкций, как правило, требуется не только замена стальной арматуры стеклопластиковой, но и использование бетонов специальных составов, химически стойких в реальных эксплуатационных условиях. В качестве таких бетонов могут быть использованы полимербетоны, полимерцементные бетоны, полимерсиликатные

бетоны, бетоны на цементах Сорреля и др.

Таким образом, высокая коррозионная стойкость стеклопластиковой арматуры предопределяет ее использование в долговечных армированных конструкциях из специальных бетонов. Эти конструкции предназначены для замены железобетонных конструкций (панелей перекрытий, ограждающих конструкций, колонн, балок и прогонов, технологических трубопроводов, резервуаров и других видов конструкций и технологического оборудования).

В железобетонных конструкциях стальная арматура пассивируется цементным камнем, благодаря чему влажная среда, не являющаяся агрессивной по отношению к бетону, практически не вызывает коррозии арматуры. В таких материалах, как гипс и силикат, этого явления не наблюдается. В конструкциях из этих материалов при эксплуатации в условиях переменного влажностного режима наблюдается коррозия арматуры и, как следствие, снижение несущей способности конструкций.

Стеклопластиковая арматура может применяться для армирования конструкций из силиката, гипса и других аналогичных материалов. Следует иметь в виду, что автоклавная обработка конструкций из силиката может снижать прочность арматуры, поэтому необходима корректировка автоклавного режима, а при расчете конструкций следует учитывать снижение прочности арматуры во времени.

Диэлектрические свойства стеклопластиковой арматуры используются для создания принципиально нового вида строительных конструкций, в которых совмещаются несущие функции и электроизолирующая способность. Эти конструкции изготавливаются из бетонов, обладающих электроизолирующими свойствами, и находят применение на строительстве линий электропередачи, распределительных подстанций, контактных сетей электрифицированных железных дорог и т.п. Из электроизолирующих стеклопластобетонных конструкций могут изготавливаться траверсы линий электропередачи без изоляторов для сравнительно невысоких напряжений (до 110 кВ), а также безызоляторные опоры линий электропередачи высоких и сверхвысоких напряжений (500 кВ и более). Одновременно используются диэлектрические свойства и коррозионная стойкость стеклопластиковой арматуры при замене железобетонных электролизных емкостей (ванн) на предприятиях цветной металлургии ваннами, изготовленными из специальных бетонов и армированными стеклопластиковой арматурой. Высокая эффективность использования стеклопластиковой арматуры в конструкциях достигается за счет устранения необходимости футеровки традиционных железобетонных емкостей дорогостоящими винилпластом или свинцовым листом и увеличения долговечности электролизных ванн. Кроме того, в этих ваннах получают "чистые" цинк и медь — цветные металлы наивысшего качества (нулевой марки), при этом снижается утечка электроэнергии.

Полимербетоны, клееная древесина, пластмассы и другие низкомолекулярные строительные материалы, которые в настоящее время широко распространяются в строительстве, обладают высокой деформативностью за счет ползучести и усадки. В сочетании с высокомолекулярной стальной арматурой из этих материалов нельзя создать эффективные предварительно напряженные конструкции, так как в связи с их большой деформативностью эффект предварительного напряжения практически исчезает. Используя низкомолекулярную стеклопластиковую арматуру, можно создать предварительно напряженные конструкции из перечисленных выше и подобных им материалов. В этом случае потери предварительных напряжений при армировании стеклопластиковой арматурой будут примерно в четыре раза меньше, чем при армировании стальной арматурой.

По данным исследований ЦНИИСКА им. В.А. Кучеренко, переменный температурно-влажностный режим является фактором, снижающим надежность клееных деревянных конструкций со стальной арматурой. При перепадах температур более 50°C в клееной древесине со стальной арматурой возникают значительные температурные напряжения за счет разности температурных коэффициентов линейного расширения древесины и стальной арматуры. Температурные напряжения, суммируясь с напряжениями от внешних нагрузок, могут создавать аварийные состояния конструкций. Температурный коэффициент линейного расширения стеклопластиковой арматуры ниже, чем стали, и примерно равен коэффициенту расширения древесины, поэтому температурные напряжения в деревянных конструкциях со стеклопластиковой арматурой практически отсутствуют. Облагороженная древесина, как и стеклопластиковая арматура, обладает высокой коррозионной стойкостью, поэтому сочетание этих материалов в конструкциях предопределяет их долговечность при эксплуатации в агрессивных средах. Из изложенного выше следует, что при создании предварительно напряженных деревянных клееных конструкций одновременно используется комплекс специфических свойств стеклопластиковой арматуры: низкий модуль упругости, высокая коррозионная стойкость, близость значений температурных коэффициентов линейного расширения.

Предварительно напряженные деревянные клееные конструкции со стеклопластиковой арматурой находят широкое применение в строительстве сельскохозяйственных производственных зданий, спортивных сооружений, предприятий химической промышленности, складов минеральных удобрений, при этом армирование позволяет значительно сократить расход древесины и повысить надежность конструкций [15].

Железобетонные опоры линий электропередачи имеют ряд недостатков, поэтому, например, в США для изготовления опор широко используется клееная древесина. При ее армировании стеклопластиковой арматурой и необходимом облагораживании

для придания древесине диэлектрических свойств представляется возможным строить линии электропередачи без изоляторов.

Сочетание таких свойств стеклопластиковой арматуры, как высокая прочность, коррозионная стойкость и малая объемная масса, дает возможность использовать ее для армирования проводов высоковольтных линий электропередачи, т.е. для замены стального сердечника провода стеклопластиковым. Такой провод будет более устойчив к коррозии, чем сталеалюминиевый, состоящий из металлов с различными электрохимическими потенциалами. Кроме того, провод будет в несколько раз легче, что существенно важно, так как снизится расчетная нагрузка на опоры линий электропередачи, уменьшится стрела провеса провода и, как следствие, представится возможным увеличить расстояние между промежуточными опорами линий электропередачи, сократить их число и уменьшить высоту переходных опор. Используя эти же специфические свойства стеклопластиковой арматуры, можно изготавливать ванты для подвесных конструкций мостов, покрытий зданий и сооружений с большими пролетами.

Приведенный перечень областей использования стеклопластиковой арматуры в полной мере не исчерпывает потенциальные возможности расширения сферы применения ее в строительстве.

ГЛАВА IX. КОНСТРУКЦИИ СО СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРОЙ

Стеклопластбетонные конструкции*

Свойства стеклопластиковой арматуры определяют ее применение только в предварительно напряженных стеклопластбетонных конструкциях [16]. Стеклопластиковую арматуру невозможно сваривать, создание равнопрочных клееных соединений вызывает технологические затруднения. Кроме того, эта арматура не изгибается с небольшими радиусами загиба и имеет низкий модуль упругости. Перечисленные особенности стеклопластиковой арматуры практически исключают возможность изготовления арматурных каркасов. Поэтому армирование стеклопластбетонных конструкций, как правило, выполняется напряженными прямолинейными стержнями. Хомуты и поперечное армирование в таких конструкциях отсутствуют.

Повышенная деформативность стеклопластиковой арматуры определяет некоторые особенности ее совместной работы с бетоном в конструкциях. Экспериментально-теоретические исследования работы стеклопластбетонных конструкций выполнялись в НИИЖБе, ИСиА Госстроя БССР и некоторых других научно-исследовательских организациях страны. В НИИЖБе изучалась несущая способность стеклопластбетонных балок по нормальному сечению. В ИСиА Госстроя БССР исследовались изгибаемые элементы по наклонным сечениям, образованию, раскрытию трещин и деформативности, а также изучалась работа сжатых элементов**. В результате выполненных исследований представилось возможным разработать рекомендации по проектированию и расчету стеклопластбетонных конструкций.

В процессе исследований изгибаемых элементов установлено, что до появления трещин работа предварительно напряженных конструкций со стеклопластиковой арматурой аналогична и пол-

* Бетонные конструкции, армированные стеклопластиковой арматурой называются стеклопластбетонными. В качестве аналога здесь использовано название железобетона.

** Исследования изгибаемых элементов на прочность по нормальным сечениям выполнены Ю.М. Вильдавским под руководством К.В. Михайлова. Исследования изгибаемых элементов на образование и раскрытие трещин и деформативность выполнены К.В. Зеленским, на прочность по наклонным сечениям — В.Ф. Залого, сжатых элементов — И.В. Подмоство и Л.С. Фридман под руководством Н.П. Фролова.

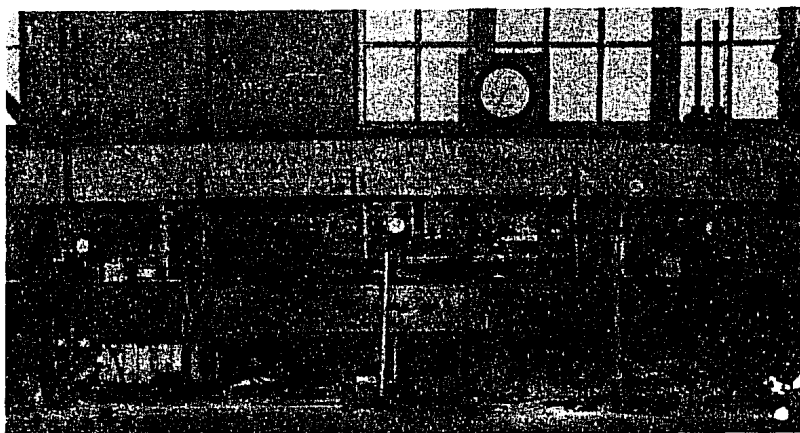


Рис. 22. Испытание стеклопластбетонной балки

ностью подчинена закономерностям, используемым для расчета железобетонных предварительно напряженных конструкций. При этом характер образования трещин в стеклопластбетонных элементах такой же, как и в железобетонных (рис. 22). Однако после появления трещин повышенная деформативность арматуры сказывается на работе конструкций. В этом случае метод расчета железобетонных конструкций может быть использован для расчета стеклопластбетонных элементов с уточнениями и дополнениями, учитывающими специфические особенности арматуры. В связи с отсутствием поперечного армирования при расчете изгибаемых стеклопластбетонных элементов предлагается учитывать повышение несущей способности по наклонным сечениям за счет влияния предварительного обжатия бетона.

Исследования стеклопластбетонных сжатых элементов подтвердили снижение несущей способности жестких образцов за счет предварительного обжатия бетона (рис. 23) и увеличения несущей способности гибких элементов по причине повышения их устойчивости, которая обеспечивается предварительным напряжением. Причем чем больше эксцентриситет приложения внешней силы, тем эффективнее предварительно напряженное армирование (рис. 24).

Стеклопластбетонные конструкции, как правило, изготавливаются из специальных бетонов — коррозионностойких и электроизолирующих. В условиях железобетонных заводов освоение процессов изготовления стеклопластбетонных конструкций не вызывает технологических осложнений.

Стеклопластиковая арматура для изготовления конструкций поставляется в бухтах (мотках) и в пакетах в виде прямоли-

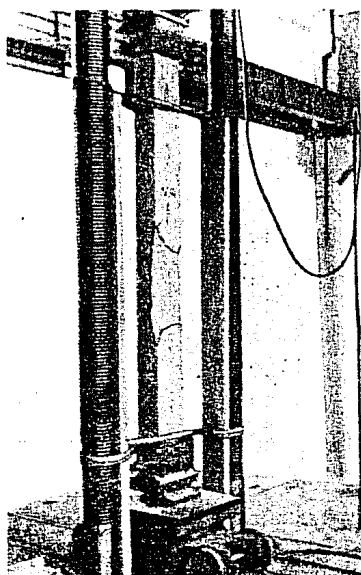


Рис. 23. Испытание жесткой стеклопластбетонной колонны

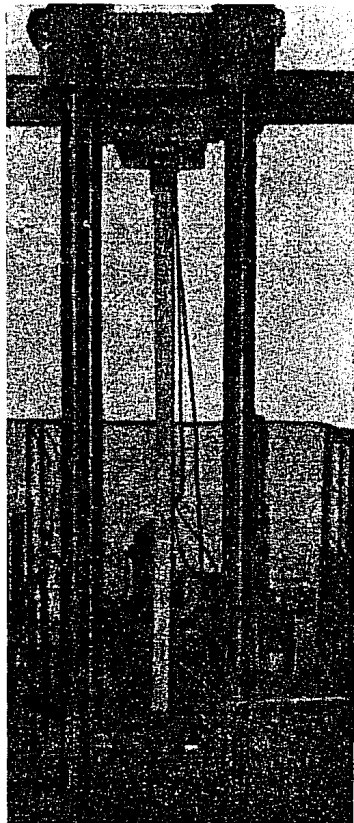


Рис. 24. Испытание гибкой стеклопластбетонной колонны

нейных стержней и снабжается паспортом. Она должна храниться в закрытом сухом помещении. Срок хранения ее не более 1 года. При хранении арматуры более продолжительное время перед изготовлением конструкций она испытывается на разрыв (не менее шести образцов из партии). Предел прочности арматуры при этом должен быть не менее $0,95 R_a^*$, указанного в паспорте на арматуру. При установлении контрольными испытаниями более низкой прочности арматуры потребитель с участием представителей и проектной организации решает вопрос о возможности ее использования.

Специальные бетоны для стеклопластбетонных конструкций*

Наиболее эффективно стеклопластиковая арматура может быть применена только при условии использования в конст-

* Исследования выполнены в ИСиА Госстроя БССР С.С. Жавридом.

рукциях ее специфических свойств, которыми не обладает стальная арматура, т.е. высокой коррозионной стойкости, диэлектрической сопротивляемости и др. Обычные цементные бетоны не обладают этими свойствами, и поэтому применение стеклопластиковой арматуры для их армирования, как правило, не позволяет создать долговечные конструкции для эксплуатации во влажных условиях при воздействии агрессивных сред, а также несущие электроизолирующие конструкции.

Для конструкций со стеклопластиковой арматурой могут быть рекомендованы различные составы бетонов. Каждый из них способен удовлетворить некоторые определенные требования, предъявляемые к конструкциям. Поэтому при выборе состава бетона следует руководствоваться специфическими свойствами бетонов и функциональным назначением конструкций, а также реальными условиями их эксплуатации. Например, бетон для конструкций, эксплуатируемых в условиях агрессивных сред, должен быть стойким к воздействию реагентов, а для конструкций, на которые возлагаются электроизолирующие функции, должен обладать требуемыми электротехническими характеристиками.

При назначении состава бетона для конструкций с высокой коррозионной стойкостью следует учитывать вид агрессивного воздействия, температурно-влажностные условия эксплуатации конструкций, цикличность или непрерывность воздействия, концентрацию химического реагента в среде его носителя, т.е. в растворе, парах или воздушной среде, и другие факторы, которые способны влиять на прочностные и деформативные свойства конструкции.

Наиболее универсальными бетонами, обладающими высокой стойкостью к воздействиям различных агрессивных сред, являются бесцементные полимербетоны. Содержание дорогостоящего полимера в бетонах примерно равно 9...12% по массе, поэтому стоимость таких бетонов высока. В этой связи экономически целесообразно в зависимости от вида агрессивной среды выбирать необходимый состав более дешевого бетона (не только полимербетона), химически стойкого по отношению к определенному виду среды, в которой должна эксплуатироваться конструкция. Такой принцип назначения составов специальных бетонов для конструкций со стеклопластиковой арматурой несомненно обеспечит необходимую их долговечность и снизит стоимость, однако при этом необходимо предварительное изучение коррозионной стойкости бетонов в условиях конкретного производства.

Для упрощения поставленной задачи представляется возможным произвести некоторую ориентировочную группировку агрессивных воздействий для предприятий различного профиля, принимая во внимание, что наиболее распространенными и агрес-

сивными средами, активно сокращающими сроки эксплуатации железобетонных конструкций, являются различные кислые среды и в меньшей степени — растворы солей. Распространены также воздействия щелочей, однако, как правило, они не являются весьма агрессивными для традиционного цементного железобетона.

В связи с изложенным рекомендуются следующие составы специальных бетонов для конструкций со стеклопластиковой арматурой, эксплуатируемых при воздействии различных видов органических и минеральных кислот и стойких в условиях солевой коррозии:

для воздушно-сухих условий эксплуатации и газовой агрессии в воздушно-сухих условиях — обычный бетон на портландцементе;

для эксплуатации в условиях воздействия кислот — полимербетон и полимерсиликатный бетон;

для эксплуатации в солевой агрессивной среде — ксилолито-полимерная композиция, бетон на основе каустического магнетита и плотный аглопоритобетон.

Для полимербетонов в качестве связующих (вяжущих) используются наиболее дешевые фурановые, полиэфирные и другие смолы. Фурановые: смола ФА (ТУ 6-05-1618-73); смола ФАМ (ТУ 6-05-1618-73); фуриловая смола ФЛ-2 (СТУ 110-21-258-64); фуриловый спирт (СТУ 89-257-62). Полиэфирные: смола ПН-1 (МРТУ 6-05-1082-67); смола ПН-3 (МРТУ 6-05-1082-67).

В качестве отвердителей рекомендуются: для фурановых смол — бензосульфокислота (ТУ МХП 307-54) и серная кислота (ГОСТ 2184-77); для полиэфирных смол — гидроперекись изопропилбензола (РТУ 88-26-66) и перекись бензола (СТУ 12-10303-64).

Заполнители и наполнители для коррозионностойких бетонов должны быть химически стойкими. Для полимербетонов в качестве заполнителей следует использовать кварцевый песок (ГОСТ 8735-75), гранитный щебень (ГОСТ 8267-75), бой кислотоупорной керамики и другие кислотоупорные материалы. В виде наполнителей используется андезитовая (ВТУ МПСМ 26-УП-54) и кварцевая мука (ГОСТ 9077-59). Полимербетоны должны содержать, как правило, не менее трех фракций наполнителей и заполнителей: муку фракции не менее 0,15 мм, песок фракции до 5 мм и щебень фракции до 50 мм.

Полимерсиликатный бетон состоит из жидкого стекла, кремнефтористого натрия и уплотняющей полимерной добавки в виде фурилового спирта и заполнителей. В качестве вяжущего используется жидкое натриевое стекло (ГОСТ 13078-67) плотностью 1,38...1,4 г/см³ и модулем 2,8...3. В качестве отвердителя для полимерсиликата применяется технический кремнефтористый натрий (ГОСТ 87-77) с допустимой влажностью не более 1%.

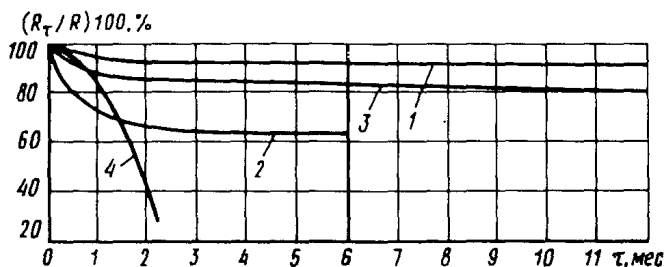


Рис. 25. Стойкость бетонов в 1 н растворе H_2SO_4
 1 — полимерсиликатный бетон (связующее — жидкое стекло с добавкой фурилового спирта); 2 — то же, с добавкой диэтиленгликоля; 3 — полимербетон на смоле ФАМ; 4 — обычный бетон на портландцементе; R_t — кубиковая прочность через t мес; R — исходная кубиковая прочность

Уплотняющей добавкой является смесь фурилового спирта (ТУ 17-69) и фурфурола (ГОСТ 10437-71) в соотношении 1:1. В качестве гидрофобизирующих и замедляющих схватывание добавок применяются кремнийорганические жидкости ГКЖ-10 или ГКЖ-11 (МРТУ 6-02-271-73).

Заполнителями и наполнителями полимерсиликатов служат природные и искусственные кислотоупорные материалы: андезитовый щебень, диабаз, кварц и кварциты, бой кислотоупорной керамики, кварцевый песок, андезитовая мука, маршаллит, кислотоупорный цемент (ГОСТ 5050-69), кварцевая мука. Крупность фракции, мм: муки 0,05 .. 0,2, песка 0,5 .. 5, щебня 5 .. 40. Влажность наполнителей и заполнителей не должна превышать 0,5%.

Бетон на основе каустического магнезита включает также сернокислое железо, полимерную добавку и заполнители. По химическому составу каустический порошок (ГОСТ 1216-75) должен быть не выше II класса. В качестве полимерной добавки рекомендуются синтетический каучук СКС-65, полиэтиленовая эмульсия или фуриловый спирт с солянокислым анилином (10% массы спирта). В качестве заполнителя используются кварцевый песок и гранитный щебень.

На рис. 25 дано сравнение кинетики изменения прочности бетона на портландцементе, полимербетона на мономере ФАМ (фурфуrolацетонoвый мономер), бетона на жидком стекле, модифицированного фуриловым спиртом, и такого же бетона с добавкой диэтиленгликоля. Из рис. 25 видно, что наиболее стойким бетоном в 1 н растворе H_2SO_4 является полимерсиликатный бетон на жидком стекле, модифицированный фуриловым спиртом. Следует отметить, что стоимость этого бетона невысокая. Применять обычные цементные бетоны в этой среде невоз-

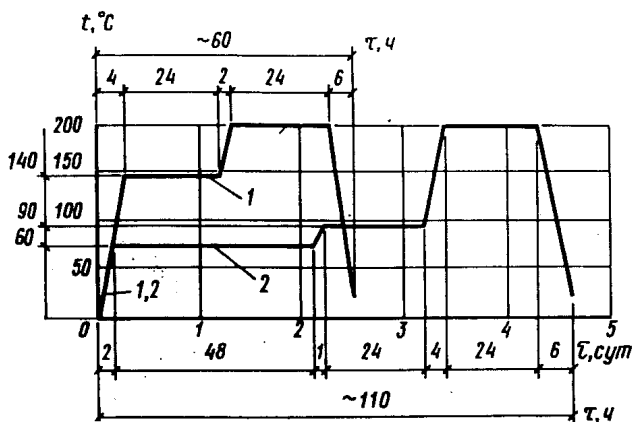


Рис. 26. Температурные режимы сушки электроизоляционного бетона
 1 — режим СибНИИЭ; 2 — режим ИСиА Госстроя БССР

можно без специальной защиты конструкции, так как они разрушаются через 2...3 мес воздействия серной кислоты.

Ксилолитополимерная композиция — это смесь каустического магнетита с древесными опилками, затворенная раствором хлористого магния и железного купороса, с полимерной добавкой в виде фурилового спирта с солянокислым анилином. Древесные опилки рекомендуется применять с влажностью не более 5%.

Электроизолирующий бетон разработан в СибНИИЭ. Он изготавливается из речного песка и низкоалюминатного цемента (ГОСТ 9835—77). Сухой бетон из этих компонентов обладает хорошими диэлектрическими свойствами, однако при увлажнении бетона электроизолирующие свойства исчезают, поэтому для стабилизации электроизолирующих свойств бетон сушат при температуре до 200°C, а затем пропитывают горячим расплавом петролатума.

Известно, что повышенная температура и щелочная среда цементных бетонов способны снижать прочностные характеристики стеклопластиковой арматуры. В связи с этим в СибНИИЭ разработали специальный технологический режим сушки стеклопластобетонных электроизолирующих конструкций (рис. 26, режим 1). Однако было установлено, что процесс сушки снижает прочность стеклопластиковой арматуры на 25%, что следует учитывать при расчете конструкций.

В ИСиА Госстроя БССР были выполнены исследования, в результате которых предлагается другой режим сушки (рис. 26, режим 2), практически не влияющий на физико-механические свойства стеклопластиковой арматуры. Режим 2 отличается большей продолжительностью процесса сушки (110 ч вместо 60),

Т а б л и ц а 6. Составы специальных бетонов, кг на 1 м³ бетонной смеси

Составляющие	Полимербетон		Полимер- силикат- ный бетон	Ксилоли- тополи- мерная компо- зиция	Бетон на ос- нове каусти- ческого магнезита	Легкий аг- лопорито- бетон	Электронизо- лирующий бетон
	тяжелый	легкий					
Щебень гранитный фракции, мм:							
20-30	1100	—	730	—	—	—	—
10-20	88	—	70	—	1050	—	—
Щебень аглопоритовый фрак- ции, мм:							
20-30	—	—	—	—	—	310	—
10-20	—	391	—	—	—	410	—
5-10	—	165	—	—	—	310	—
Песок кварцевый фракции, мм:							
0,15-3	506	—	600	—	70	—	620
3-5	—	—	—	—	—	—	920
Песок аглопоритовый фрак- ции 0,5-3 мм	—	445	—	—	—	380	—
Древесные опилки	—	—	—	370	—	—	—
Мука андезитовая фракции 0,15 мм	264	—	410	—	—	—	—
Мука аглопоритовая фрак- ции 0,15 мм	—	412	—	—	—	—	—
Смола ФАМ	198	190	—	—	—	—	—
Жидкое стекло	—	—	312	—	—	—	—
Бензосульфокислота	44	46,1	—	—	—	—	—
Кремнефтористый натрий	—	—	61	—	—	—	—
Фуриловый спирт	—	—	9,1	—	—	—	—

Продолжение табл. 6

Составляющие	Полимербетон		Полимер- силикат- ный бетон	Ксилоли- тополи- мерная компо- зиция	Бетон на ос- нове каусти- ческого магнезита	Легкий аг- лопорито- бетон	Электронизо- лирующий бетон
	тяжелый	легкий					
Гидрофобная кремнийорга- ническая жидкость ГКЖ-10	—	—	1,2	—	—	—	—
Каустический магнезит	—	—	—	250	200	—	—
Раствор хлористого магния плотностью 1,26 г/см ³	—	—	—	200	240	—	—
Раствор железного купороса плотностью 1,26 г/см ³	—	—	—	30	70	—	—
Полимерная добавка	—	—	—	7,5	11	—	—
Бездобавочный цемент	—	—	—	—	—	500	550
Вода	—	—	—	—	—	220	200

однако он более приемлем, так как сокращается расход арматуры в конструкциях.

В качестве вяжущего в легком аглопоритобетоне используется низкоалюминатный цемент (ГОСТ 9835–77). Заполнители – аглопоритовый щебень и аглопоритовый песок.

Составы и основные физико-механические характеристики специальных бетонов для стеклопластбетонных конструкций приведены в табл. 6.

Особенности изготовления стеклопластбетонных конструкций

Стеклопластбетонные конструкции изготавливаются с использованием форм, стендов и создающих усилие при натяжении арматуры устройств, которые применяются для изготовления предварительного напряженных железобетонных конструкций в заводских условиях или на полигонах.

При использовании натяжных устройств (домкратов, силовых установок) следует иметь в виду, что модуль упругости стеклопластиковой арматуры примерно в четыре раза меньше, чем стальной, поэтому удлинение ее в процессе натяжения значительно больше и может достигать 1–1,3 см на 1 м длины напрягаемого стержня. Натяжные станции при изготовлении конструкций со стеклопластиковой арматурой, особенно при стендовом способе производства работ, должны обеспечивать большие перемещения.

Для натяжения стеклопластиковой арматуры не могут быть применены зажимы (захваты), используемые для предварительного напряжения стальной арматуры, так как прочность стеклопластикового стержня при обжатии в зажиме поперек волокон определяется прочностными характеристиками полимерного связующего, а не стеклянного волокна и поэтому значительно меньше временного сопротивления арматуры разрыву. Это обстоятельство вызвало необходимость разработки специальной конструкции зажимов для натяжения стеклопластиковой арматуры. На рис. 27 представлены зажимы из высокопрочной стали в разобранном и собранном состоянии: слева – зажим для натяжения арматуры натяжной станцией, справа – самозанкеривающий цапговый зажим, напрягающий арматуру. Первый тип зажима представляет собой две стальные пластины с выбранными полукруглыми канавками. В собранном состоянии в канавках расположена арматура. Обжатие арматуры производится винтами. Во втором зажиме обжатие стержня производится цапговыми клиньями, а натяжение стержня – вращением средней части зажима, внутри которого левая, а снаружи – правая резьба. При установке в этом зажиме двух клиньев зажимается и напрягается один стержень арматуры, а при наличии двух клиньев с

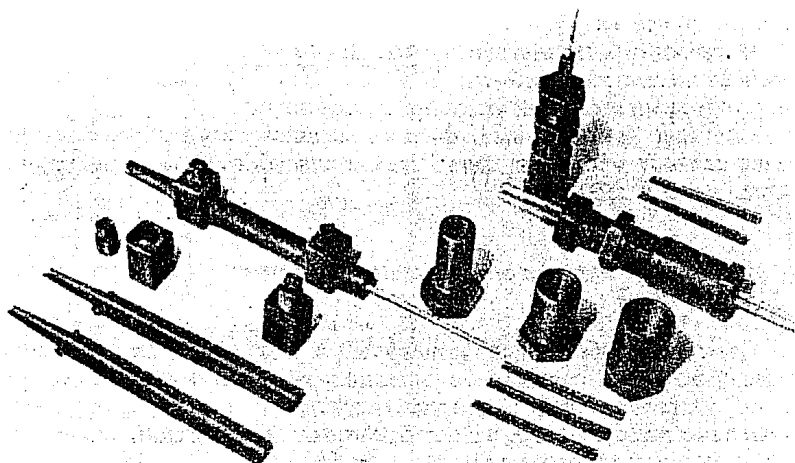


Рис. 27. Зажимы для натяжения стеклопластиковой арматуры

вкладышем между ними, обжимающим стержень, одновременно могут быть зажаты и натянуты два стержня одного диаметра.

Передавать напряжение на бетон следует плавно, так как отсутствие поперечной арматуры при мгновенной передаче предопределяет появление трещин в бетоне в торцовых участках конструкций. При использовании винтовых цанговых зажимов плавный отпуск арматуры осуществляется поворотом средней части зажима, за счет чего происходит его укорочение.

При натяжении арматуры зажимами из пластин рекомендуется групповое одновременное натяжение всей арматуры. Для этого зажимы упираются в подвижную жесткую стальную траверсу, затем домкратами или другим способом производится перемещение траверсы и одновременное натяжение всей арматуры стеклопластбетонного элемента. Затем положение траверсы фиксируется клиньями и прокладками либо другим способом и домкраты освобождаются. После бетонирования и приобретения бетоном необходимой прочности (не менее 70% проектной) осуществляется плавный отпуск арматуры в обратном порядке операций ее натяжения. Значение контролируемого напряжения в стеклопластиковой арматуре принимается не более 50% временного сопротивления [17]. Контроль натяжения, как и стальной арматуры, осуществляется по значению прилагаемого усилия или по замеру удлинения стержня.

В некоторых стеклопластбетонных конструкциях, например в широких плитах с несущими продольными и поперечными ребрами, появляется необходимость предварительного напряжения рабочей арматуры в двух направлениях (двухосное предварительное напряжение). Для изготовления таких конструкций

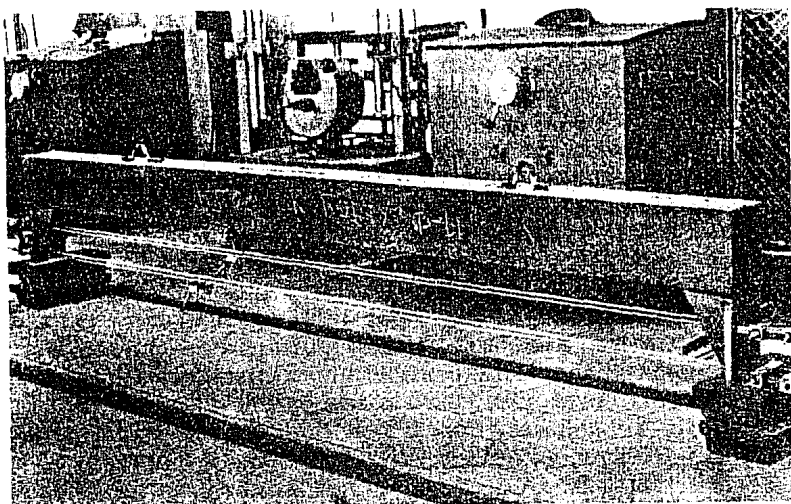


Рис. 28. Вставной элемент, сваренный из двух швеллеров, с напряженной стеклопластиковой арматурой для поперечного ребра стеклопластиковой панели

могут использоваться формы, способные воспринимать сжимающие напряжения при натяжении арматуры в двух перпендикулярных направлениях, или специальные стенды. Естественно, что изготовление таких форм и стендов вызывает определенные производственные осложнения. Поэтому в ИСиА БССР предложен и освоен способ двухосного предварительного напряжения арматуры, при котором используются существующие на заводах железобетонных конструкций стенды или формы для одноосного

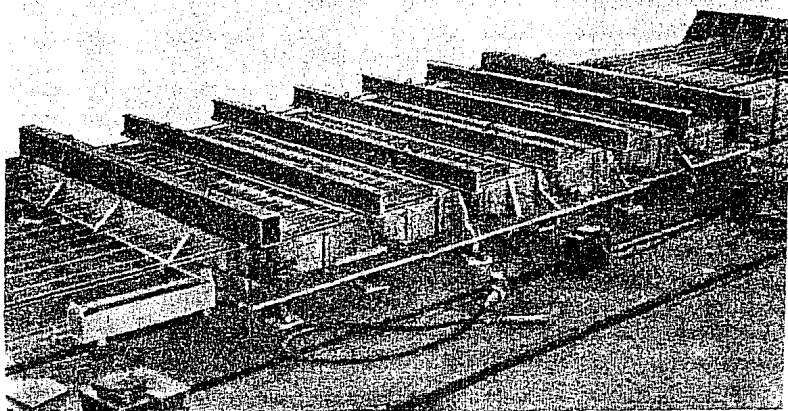


Рис. 29. Двухосное напряженное армирование стеклопластбетонной панели размером 3х6 м

напряжения. В этом случае двухосное напряжение арматуры осуществляется следующим образом: напряжение арматуры в продольном направлении конструкций производится на стальную форму или на упоры стенда, а в поперечном — на одиночные вставные элементы, сваренные из стального проката.

На рис. 28 представлен элемент, сваренный из двух швеллеров с напряженной стеклопластиковой арматурой для армирования несущих крайних поперечных ребер стеклопластбетонных панелей 3 x 6 м для покрытий промышленных зданий (в средних поперечных ребрах в этом случае вместо двух швеллеров используется один двутавр). После напряжения нижней рабочей арматуры в продольных ребрах панели в форму устанавливаются элементы с предварительно напряженной арматурой для поперечных ребер, а затем производятся армирование и предварительное напряжение рабочей продольной арматуры в полке панели.

На рис. 29 показано двухосное напряженное армирование ребристой панели, изготавливаемой в деревянной форме на стенде со вставленными элементами с предварительно напряженной стеклопластиковой арматурой для поперечных ребер.

Проектирование стеклопластбетонных конструкций*

Основные данные для проектирования и расчета конструкций из стеклопластбетона получены в результате исследований, выполненных в ИСиА Госстроя БССР, НИИЖБе Госстроя СССР и СибНИИЭ Минэнерго СССР. Разработанные стеклопластбетонные конструкции могут быть рекомендованы к массовому внедрению после их проверки в реальных эксплуатационных условиях на объектах экспериментального строительства. Число опытных образцов конструкций на участках опытного строительства должно быть достаточным для получения достоверных технических и экономических данных, подтверждающих эффективность применения стеклопластбетонных конструкций.

Для изготовления конструкций в зависимости от их функционального назначения и условий эксплуатации используются специальные коррозионностойкие, электроизолирующие и обычные цементные бетоны (см. табл. 6). Данные для расчета получены на основании исследований опытных образцов конструкций со стеклопластиковой арматурой периодического профиля, изготовленной методом протяжки по технологическому принципу, который разработан в ИСиА Госстроя БССР и отвечает требованиям ТУ-7 (БССР) [16].

* Единицы измерения величин в расчете даны в соответствии с действующими СНиП П-21-75.

Стеклопластбетонные конструкции армируются, как правило, продольной арматурой без устройства каркасов. Рабочая продольная арматура выполняется предварительно напряженной. Конструктивная арматура может быть использована без предварительного напряжения. В кольцевых сечениях весьма эффективно применять спиральную предварительно напряженную арматуру.

В сборных конструкциях, предназначенных для эксплуатации в агрессивных средах, и в электроизолирующих конструкциях, не защищенных от атмосферных воздействий, закладные детали изготавливаются из нержавеющей стали или из обычных сталей с защитным покрытием. Для изготовления монтажных петель используется обычная мягкая круглая сталь с антикоррозионным покрытием.

Расчет стеклопластбетонных конструкций производится по методу расчета железобетонных конструкций в соответствии со СНиП П-21-75 с учетом повышенной деформативности стеклопластиковой арматуры, некоторого снижения ее прочности при изготовлении и эксплуатации конструкций в специфических условиях [17]. При проектировании конструкций следует учитывать снижение прочности стеклопластиковой арматуры и бетона из-за следующих воздействий: повышенных температур (выше 50°C); влияния среды бетона, из которого изготовлена конструкция; влияния внешних агрессивных сред, воздействующих на конструкцию при эксплуатации; влияния температурно-влажностного режима технологического процесса изготовления конструкций (пропаривание, сушка). Эксплуатация стеклопластбетонных конструкций при температуре выше 60°C допускается по согласованию с научно-исследовательскими и проектными организациями. Стеклопластбетонные конструкции относятся к конструкциям IV степени огнестойкости.

В проектах стеклопластбетонных конструкций должны быть оговорены условия поставки и хранения стеклопластиковой арматуры и компонентов специальных бетонов, а также необходимость испытания контрольных образцов арматуры на прочность перед изготовлением конструкций. Кроме того, должны излагаться основные условия приготовления специальных бетонов.

Нормативное сопротивление арматуры диаметром 6 мм установлено по браковочному минимуму временного сопротивления и равно $R_a^H = 1250$ МПа. Расчетное сопротивление арматуры R_a определяется как произведение нормативного сопротивления на коэффициенты длительной прочности $m_{a,t} = 0,65$, условий изготовления $m_{a,t}$ и эксплуатации конструкций $m_{a,k}$.

Коэффициент $m_{a,k}$ при эксплуатации конструкций под воздействием кислых сред равен 0,8 и уточняется по опытным данным для реальных условий эксплуатации конструкции; при эксплуатации при воздействии солевой коррозии равен 0,8 и также уточ-

няется по опытным данным для реальных условий эксплуатации. Для конструкций, изготовленных на цементных бетонах при естественном вызревании и эксплуатируемых в нормальных температурно-влажностных условиях (температура менее 50°C , относительная влажность окружающей среды не более 60%), $m_{a,r} = 0,9$.

При пропаривании конструкций, изготовленных из цементных бетонов, при температуре пара не более 60°C $m_{a,r} = 0,9$; 70°C — $m_{a,r} = 0,85$; 80°C — $m_{a,r} = 0,8$. При сушке электроизолирующих конструкций коэффициент $m_{a,r}$ принимается в зависимости от режима сушки [18], но он не должен быть более 0,95.

Определение потерь напряжений в арматуре

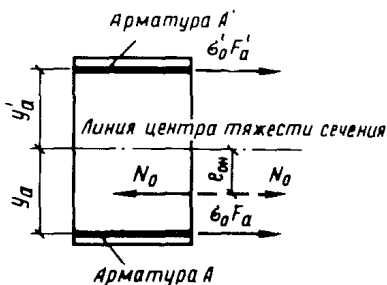
При расчете предварительно напряженных стеклопластбетонных конструкций определяются растягивающие напряжения σ_0 и σ'_0 в арматуре соответственно растянутой и сжатой зон элемента (рис. 30) в момент перед обжатием бетона с учетом потерь предварительного напряжения и коэффициента точности натяжения m_r .

Контролируемое значение предварительного напряжения σ_0 и σ'_0 стеклопластиковой арматуры не должно превышать $0,75 R_a$. Однако оно может быть повышено до $0,8 R_a$ в следующих случаях: в арматуре сжатой зоны для повышения ее трещиностойкости при обжатии элемента, транспортировании и монтаже, при временной перетяжке арматуры для компенсации потерь от релаксации напряжений или неодновременного натяжения арматуры, а также от температурного перепада между арматурой и упорами, воспринимающими усилия от натяжения арматуры.

Коэффициент точности предварительного напряжения (при расчете зоны, растянутой от действия внешних нагрузок, по трещиностойкости и при расчете по деформациям) принимается равным 0,9; при неблагоприятном влиянии предварительного напряжения (при расчете трещиностойкости зоны, растянутой от действия предварительного обжатия) и при расчете на прочность в стадии обжатия или в стадии эксплуатации для арматуры сжатой зоны элемента принимается равным 1,1.

При натяжении на упоры учитываются потери, происходящие до окончания обжатия (первые потери), от релаксации напряжений в стеклопластиковой арматуре, от деформации форм (при натяжении арматуры на форму), от изменения разности температур натянутой арматуры и устройства, воспринимающего усилие напряжения, а также от неупругих деформаций бетона, проявляющихся в процессе обжатия; после обжатия бетона (вторые потери) — от усадки и ползучести бетона и воздействия многократно повторяющейся нагрузки.

Рис. 30. Схема распределения усилий в поперечном сечении стеклопластбетонного элемента при определении напряжений в бетоне и арматуре



Расчетный температурный перепад при пропаривании или подогреве бетона рекомендуется принимать не более 60°C (что должно обеспечиваться назначаемым режимом прогрева). Потери от температурного перепада следует учитывать при натяжении арматуры на неподвижные упоры (упоры стенда, штыри матрицы, закрепленные в основании), расстояние между которыми не меняется в процессе прогрева. Потери от деформации форм учитываются при последовательном натяжении отдельных стержней и передаче усилий от натяжений на форму.

Значения потерь предварительного напряжения определяются по табл. 7 с учетом следующих рекомендаций:

потери от усадки и ползучести бетона для конструкций, подвергающихся пропариванию либо прогреву, снижаются на 15%;

при заранее известном сроке загрузки конструкций, например при их контрольных заводских испытаниях, значение потерь напряжений от усадки и ползучести (которые определяются по табл. 7, пп. 7 и 8) умножается на коэффициент

$$\beta = 4\tau/100 + 3\tau,$$

где τ — время, сут, отсчитываемое при определении потерь от усадки со дня бетонирования, а при определении потерь от ползучести — со дня предварительного обжатия конструкции.

При определении предварительных напряжений потери учитываются следующим образом:

при расчете в стадии эксплуатации учитываются все потери;

при расчете в стадии изготовления, транспортирования и монтажа в том случае, когда влияние предварительного обжатия неблагоприятно, учитываются первые потери; при благоприятном влиянии предварительного напряжения учитываются все потери;

если заранее известен срок загрузки конструкции (например, при контрольных испытаниях), потери принимаются равными сумме первых потерь и потерь от усадки и ползучести (по табл. 7, пп. 7 и 8) с учетом коэффициента β , учитывающего фактические потери к моменту загрузки конструкции.

Равнодействующая усилий от предварительного напряжения всей арматуры в элементе определяется по формуле (см. рис. 30)

Таблица 7. Потери предварительного напряжения стеклопластиковой арматуры

№ п.п.	Факторы, вызывающие потери предварительного напряжения	Формулы для определения потерь при натяжении арматуры на упоры
А. Первые потери (до окончания обжатия бетона)		
1.	Релаксация напряжения в арматуре	$m \tau^n \sigma_0,$ <p>где τ – время, сут, со дня натяжения арматуры; m и n – коэффициенты, принимаемые равными соответственно 0,013 и 0,17 в воздушно-сухих условиях при температуре 20°C; 0,02 и 0,2 – в воздушно-сухих условиях при температуре 80°C; 0,027 и 0,2 – в водонасыщенном состоянии и температуре 80°C; σ_0 – предварительное напряжение без учета потерь.</p>
2.	Температурный перепад (разность температур натянутой арматуры и устройства, воспринимающего усилия натяжения при пропаривании или прогреве бетона, а также при экзотермическом саморазогреве полимербетона)	$\alpha_{\text{с.т}} E_a \Delta t,$ <p>где $\alpha_{\text{с.т}}$ – температурный коэффициент линейной деформации бетона, °C⁻¹; E_a – модуль упругости арматуры, Па; Δt – разность между температурами нагреваемой конструкции и устройства, воспринимающего усилие натяжения, °C.</p>
3.	Деформация анкеров (обжатия шайб или прокладок, расположенных между анкерами и бетоном элемента), $\lambda_1=1$ мм на каждый анкер либо прокладку и деформация гаек и захватов, $\lambda_2=1$ мм на каждый анкер либо захват	$(\lambda_1 + \lambda_2) E_a / l,$ <p>где l – длина натягиваемой арматуры, мм. При применении анкеров в виде плотно затянутых гаек или клиновидных шайб потери за счет обжатия гаек и шайб могут не учитываться, т.е. $\lambda_1=0$.</p>
4.	Деформации стальных форм при натяжении арматуры домкратами или натяжными устройствами гачечного типа (см. примечания к таблице)	$K_1 \Delta l E_a / l,$ <p>где $K_1 = (t-1)/(2t)$; Δl – сближение упоров по оси равнодействующей силы обжатия, определяемое в зависимости от типа формы [18]; l – расстояние между наружными гранями упоров; t – число групп стержней, натягиваемых неодновременно.</p>
5.	Неупругие деформации бетона: а) для бетона естественного твердения	$125 \sigma_{\text{с.н}}/R_0 \text{ при } \sigma_{\text{с.н}}/R_0 \leq a;$ $125a + 250a(\sigma_{\text{с.н}}/R_0 - a) \text{ при } \sigma_{\text{с.н}}/R_0 > a,$ <p>где $\sigma_{\text{с.н}}$ – напряжения в бетоне на уровне центров тяжести арматуры А и А' с учетом потерь (пп. 1...4); R_0 – кубиковая прочность бетона при</p>

обжатию; a и e — параметры, принимаемые в зависимости от проектной марки бетона:

M300 и выше — $a = 0,6$; $e = 1,5$;

M200 — $a = 0,5$; $e = 3$;

M150 — $a = 0,4$; $e = 3$.

б) для бетона, подвергнутого тепловой обработке

Потери вычисляются по формулам п. 5а с учетом коэффициента, равного 0,85.

Б. Вторые потери (после окончания обжатию бетона)

6. Релаксация напряжений арматуры
7. Усадка бетона принимается в зависимости от проектной марки:
- | |
|-------------|
| M400 и ниже |
| M500 |
| M600 и выше |
8. Ползучесть бетона

См. формулу п. 1

Бетон естественного твердения Бетон, подвергнутый тепловой обработке

100	90
125	100
150	125

500 $K_2 \sigma_{с.н} / R_0$ при $\sigma_{с.н} / R_0 \leq 0,6$;

1000 $K_2 [(\sigma_{с.н} / R_0) - 0,3]$ при $\sigma_{с.н} / R_0 > 0,6$,

где K_2 — коэффициент, принимаемый для бетона естественного твердения равным 1; для бетона, подвергнутого тепловой обработке, 0,85; $\sigma_{с.н}$ — сжимающие напряжения в бетоне на уровне центра тяжести всей продольной арматуры от усилия предварительного обжатию, определенного с учетом первых потерь, и от изгибающего момента, вызванного нагрузкой, действующей при обжатию (например, собственный вес).

Примечания: 1. Значения потерь предварительного напряжения определены с учетом модуля упругости стеклопластиковой арматуры $E_a = 50$ ГПа.

2. При появлении растягивающих напряжений в бетоне потери от ползучести принимаются равными нулю.

3. Вторые потери от усадки и ползучести даны для тяжелых цементных бетонов.

4. Значение потерь от усадки и ползучести легких бетонов, полимербетонов и других специальных бетонов следует принимать по опытным данным.

5. При отсутствии данных о технологии и конструкции формы потери предварительного напряжения от ее деформации разрешается принимать равным 8 МПа.

$$N_0 = \sigma_0 F_a + \sigma'_0 F'_a .$$

Эксцентриситет силы N_0 относительно центра тяжести сечения (см. рис. 30).

$$e_{0,н} = (\sigma_0 F_a Y_a - \sigma'_0 F'_a Y'_a) / N_0 ,$$

где σ_0 и σ'_0 — предварительные напряжения в арматуре A и A' , определенные с учетом коэффициента точности натяжения m_T и потерь напряжений для рассматриваемой стадии работы элемента. При одновременном механическом натяжении отдельных стержней с передачей усилия на формы контролируемые напряжения следует назначать с учетом потерь от деформаций форм в соответствии с п. 4 табл. 7 и [18, 19]; Y_a и Y'_a — расстояния от центра тяжести сечения до точки приложения равнодействующей в арматуре A и A' .

Напряжения в бетоне от предварительного обжатия в момент отпуска арматуры в зависимости от напряженного состояния поперечного сечения стеклопластбетонного элемента и способа напряжения арматуры не должны превышать допустимых значений, представленных в табл. 8. Напряжения в бетонных сечениях, нормальных к оси элемента, определяются по площади бетонного сечения без учета площади, занимаемой арматурой.

Т а б л и ц а 8. Допускаемое обжатие бетона $\sigma_{б,н}$ в долях кубиковой прочности R_0 .

Влияние внешних воздействий	Характер обжатия бетона в элементе	
	центральное	внецентренное
Напряжения уменьшаются при действии внешних нагрузок	0,7	0,8
Напряжения увеличиваются при действии внешних нагрузок	0,5	0,55

П р и м е ч а н и я : 1. Напряжения $\sigma_{б,н}$ определяются без учета вторых потерь напряжений в арматуре.

2. При подсчете $\sigma_{б,н}$ коэффициент точности натяжения арматуры m_T принимается равным 1.

Расчет изгибаемых стеклопластбетонных элементов

Расчет прямоугольных сечений по прочности (рис. 31) выполняется следующим образом [20, 21]. Определяется граничное значение относительной высоты сжатой зоны бетона по формуле

$$\xi_R = \frac{\xi_0}{1 + [(R_a - \sigma_0)/K](1 - \xi_0/1,1)} , \quad (1)$$

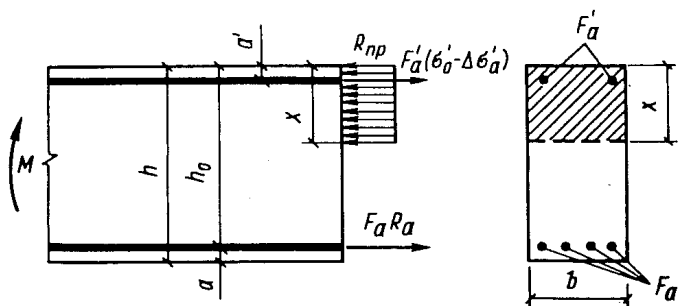


Рис. 31. Схема расположения усилий в поперечном сечении изгибаемого элемента при расчете на прочность

где ξ_0 — характеристика сжатой зоны бетона, определяемая по формуле (31) СНиП II-21-75:

$$\xi_0 = 0,85 - 0,0008 R_{np},$$

здесь R_{np} , кгс/см²; R_a — расчетное сопротивление арматуры растяжению, кгс/см², с учетом соответствующих коэффициентов условий работы арматуры; σ'_0 — предварительное напряжение арматуры, кгс/см², с учетом потерь; K — коэффициент, принимаемый равным 1000 для конструкций на основе тяжелого цементного бетона и 1400 — для тяжелого полимербетона.

Высота сжатой зоны бетона прямоугольных сечений определяется по формуле

$$x = [F_a R_a + F_a'(\sigma'_0 - \Delta\sigma'_a)] / (R_{np} b), \quad (2)$$

где $\Delta\sigma'_a$ — снижение напряжений в арматуре сжатой зоны к моменту исчерпания расчетной прочности элемента, равное 550 кгс/см².

В связи с опасностью хрупкого разрушения от разрыва арматуры проектирование элементов, в которых $x \leq \xi_R h_0$, требует экспериментального обоснования в каждом конкретном случае. С точки зрения полного использования сопротивления арматуры оптимальным является сечение, для которого соблюдается условие $x = \xi_R h_0$. При расчете стеклопластбетонных элементов рекомендуется соблюдать условие $x \geq \xi_R h_0$. В этом случае для оценки прочности сечения допускается принимать $x = \xi_R h_0$.

Прочность сечения проверяется из условия (см. рис. 31)

$$M \leq R_{np} b x (h_0 - 0,5x) - F_a'(\sigma'_0 - \Delta\sigma'_a)(h_0 - a'). \quad (3)$$

Расчет стеклопластбетонных изгибаемых элементов на образование и раскрытие трещин в нормальных сечениях следует выполнять, руководствуясь СНиП для расчета железобетонных элемен-

тов, с учетом особенностей стеклопластиковой арматуры и ее физико-механических характеристик и в зависимости от условий изготовления и эксплуатации конструкций.

В отечественных и зарубежных публикациях отсутствуют данные о прочности изгибаемых стеклопластбетонных элементов по наклонным сечениям при совместном действии изгибающих моментов и поперечных сил. Поэтому в ИСиА Госстроя БССР были проведены экспериментальные исследования нескольких серий стеклопластбетонных балок. Общность характера поведения стеклопластбетонных и железобетонных элементов по наклонным сечениям позволила при изучении прочности изгибаемых стеклопластбетонных сечений использовать экспериментальный и теоретический материал из области железобетона.

При анализе исследований, посвященных прочности железобетонных элементов (работы В.В. Михайлова [22], С.А. Тихомирова [23], Л.М. Слепко [24], П.И. Пекелиса [25] и др.), установлено, что продольное армирование, особенно предварительно напряженное, значительно повышает прочность балок по наклонным сечениям. Авторами этих исследований предложены эмпирические зависимости прочности по наклонному сечению от степени предварительного обжатия бетона продольной арматурой.

При изучении работы стеклопластбетонных и железобетонных балок в ИСиА Госстроя БССР [26], а также в результате анализа исследований железобетонных балок других авторов установлена эмпирическая зависимость между высотой сжатой зоны над вершиной наклонной трещины x_1 и высотой сжатой зоны в нормальных сечениях в середине пролета изгибаемого элемента x . К моменту разрушения это отношение равно

$$x_1/x = K, \quad (4)$$

где $K \leq 1$ — коэффициент, суммарно учитывающий влияние деформации продольной арматуры в пролете среза на высоту сжатой зоны бетона в конце наклонной трещины.

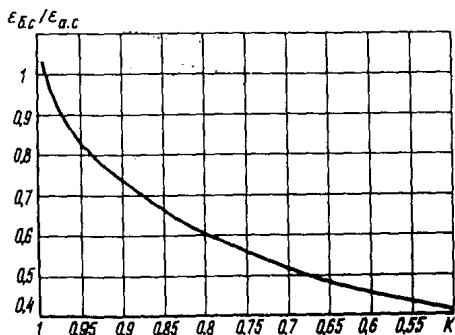
Прочность стеклопластбетонных балок по наклонным сечениям определяется по формуле

$$M_{\text{накл}} = R_{\text{пр}} b x_1 (h_0 - x_1/2). \quad (5)$$

Значительное число испытанных железобетонных и стеклопластбетонных балок (всего 114 элементов) позволило определить зависимость K от $\varepsilon_{\text{в.с.}}/\varepsilon_{\text{а.с.}}$ (рис. 32) в нормальных сечениях (здесь $\varepsilon_{\text{а.с.}}$ и $\varepsilon_{\text{в.с.}}$ — соответственно средние значения относительного удлинения арматуры и относительного укорочения сжатого бетона на участке между трещинами, которые могут быть определены по формулам (285) и (286) Руководства [20]).

В результате полученных данных устанавливается следующий порядок расчета прочности по наклонным сечениям:

Рис. 32. Графическая зависимость K от $\epsilon_{в.с}/\epsilon_{а.с}$



по значению максимального изгибающего момента определяется высота сжатой зоны бетона x в нормальном сечении элемента по формуле (2);

по формулам Руководства [19] определяются $\epsilon_{а.с}$ и $\epsilon_{в.с}$;

по графику (см. рис. 32) устанавливается значение коэффициента K ;

по формуле (4) определяется x ;

по формуле (5) определяется $M_{накл}$.

Элементы прямоугольного поперечного сечения должны удовлетворять условию

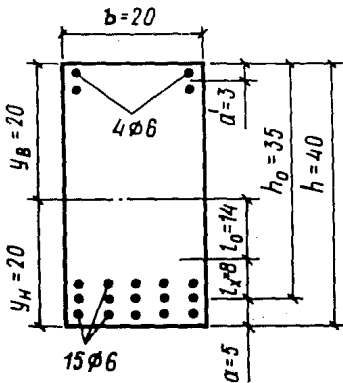
$$Q \leq 0,35 R_{np} b h_o. \quad (6)$$

Пример расчета. Дано: предварительно напряженная стеклопластбетонная прямоугольная балка с размерами поперечного сечения: $b=20$ см, $h=40$ см, $h_o=35$ см; расчетный пролет $l_p=550$ см; марка бетона 400 кгс/см², $R_{np}=175$ кгс/см², $R_{npд}=255$ кгс/см², $R_{сд}=18$ кгс/см²; $E_b=330000$ кгс/см², площадь сечения предварительно напряженной стеклопластиковой арматуры $F_a=4,24$ см² ($15\phi 6$ мм) и $F_a'=1,13$ см² ($4\phi 6$ мм); предварительное напряжение продольной арматуры с учетом потерь $\sigma_n=\sigma_n'=6100$ кгс/см², нормативное сопротивление арматуры $R_n=12500$ кгс/см², расчетное сопротивление $R_a=8100$ кгс/см², $E_a=500000$ кгс/см²; балка нагружена двумя сосредоточенными длительно действующими силами, расположенными на расстоянии 100 см от опор; коэффициент перегрузки $\eta=1,15$; $I_n=0,00107$ м⁴; $y_n=0,20$ м; $F_n=0,08$ м²; $W_o=0,0053$ м³ (рис. 33).

Требуется определить прочность балки по нормальному и наклонному сечениям.

Расчет прочности по нормальному сечению. Граничное значение относительной высоты сжатой зоны бетона определяем по формуле (1):

Рис. 33. Поперечное сечение изгибаемого стеклопластбетонного элемента



$$\xi_x = \frac{\xi_0}{1 + [(R_a - \sigma_0)/K](1 - \xi_0/1,1)} =$$

$$= \frac{0,71}{1 + [(8100 - 6100)/1000](1 - 0,71/1,1)} = 0,417,$$

где $\xi_0 = 0,85 - 0,0008 R_{np} = 0,85 - 0,0008 \cdot 175 = 0,71$.

Вычисляем высоту сжатой зоны в середине пролета по формуле (2):

$$x = [F_a R_a + F_a'(\sigma_0 - \Delta \sigma_a')] / (R_{np} b) =$$

$$= [4,24 \cdot 8100 + 1,13(6100 - 550)] / (175 \cdot 20) =$$

$$= 11,8 \text{ см} \approx \xi_R h_0 = 11,9 \text{ см}.$$

В данном случае прочность арматуры используется полностью.

Значение расчетного изгибающего момента, воспринимаемого нормальным сечением, определяем по формуле (3):

$$M_p = R_{np} b x (h_0 - x/2) - F_n'(\sigma_n' - \Delta \sigma') (h_0 - a') =$$

$$= 175 \cdot 20 \cdot 11,8 (35 - 0,5 \cdot 11,8) - 1,13 (6100 - 550) (35 - 3) =$$

$$= 1000000 \text{ кгс}\cdot\text{см} = 10 \text{ тс}\cdot\text{м}.$$

Расчет прочности по наклонному сечению. Для определения высоты сжатой зоны в конце наклонной трещины x_1 необходимо вычислить значения $\varepsilon_{s,c}$ и $\varepsilon_{a,c}$:

$$\varepsilon_{a,c} = [\Psi_a / (E_a F_n)] (M_3 / z_1 - N_c) =$$

$$= [0,73 / (500000 \cdot 4,24)] (1090000 / 25 - 32800) = 0,354 \cdot 10^{-2};$$

$$\varepsilon_{s,c} = \Psi_s M_3 / [z_1 \vartheta E_s (\gamma' + \xi) b h_0] =$$

$$= 0,9 \cdot 1090000 / (25 \cdot 0,15 \cdot 330000 \cdot 0,576 \cdot 20 \cdot 35) = 0,198 \cdot 10^{-2},$$

где $M_3 = M_p/n_1 + N_0 e_x = 10/1,15 + 32,8 \cdot 0,067 = 10,9$ тс·м;
 $N_0 = F_n \delta_n + F_n' \delta_n' = (4,24 + 1,13) \cdot 6100 = 32800$ кгс = 32,8 тс;
 $e_x = y_n - a - e_0 = 20 - 5 - 8,3 = 6,7$ см = 0,067 м;

$$e_0 = [\delta_n F_n (y_n - a) - \delta_n' F_n' (y_n - a')] / (\delta_n F_n + \delta_n' F_n') =$$

$$= [6100 \cdot 4,24 (20 - 5) - 6100 \cdot 1,13 (20 - 3)] / [6100 (4,24 + 1,13)] = 8,3 \text{ см}$$

$$\psi_a = 1,25 - sm - (1 - m^2) / [(3,5 - 1,8m) e_1 / h_0] =$$

$$= 1,25 - 0,8 \cdot 0,244 - (1 - 0,244^2) / (3,5 - 1,8 \cdot 0,244) \cdot 33,2 / 35 = 0,73;$$

$$m = R_{px} W_T / (M_3 - M_{os}^a) = 1,8 \cdot 9275 / (1090000 - 403000) = 0,244;$$

$$M_{os}^a = N_0 (e_0 + r_a) = 32800 (8,3 + 4) = 403000 \text{ кгс·см};$$

$$r_a = W_0 / F_n = 0,0035 / 0,08 = 0,04 \text{ м} = 4 \text{ см}.$$

Относительную высоту сжатой зоны в сечении с трещиной определяем по формуле

$$\xi = \frac{1}{1,8 + [1 + 5(L + T)] / 10 \mu n} + \frac{1,5}{11,5 e_1 / h_0 - 5} =$$

$$= \frac{1}{1,8 + (1 + 5 \cdot 0,175) \cdot 0,064} + \frac{1,5}{11,5 \cdot 33,2 / 35 - 5} = 0,576,$$

где $L = M_3 / R_{np} b h_0^2 = 1090000 / (255 \cdot 20 \cdot 35^2) = 0,175;$
 $\gamma' = 0; T = 0;$

$$\mu n = [F_n / b h_0] n = [4,25 / (20 \cdot 35)] \cdot 1,51 = 0,0064;$$

$$e_1 = M_3 / N_0 = 1090000 / 32800 = 33,2 \text{ см}.$$

Плечо внутренней пары сил

$$z_1 = h_0 (1 - \xi / 2) = 35 (1 - 0,576 / 2) = 25 \text{ см}.$$

Определяем отношение $\varepsilon_{s,c} / \varepsilon_{a,c}$:

$$\varepsilon_{s,c} / \varepsilon_{a,c} = 0,198 \cdot 10^{-2} / (0,354 \cdot 10^{-2}) = 0,56.$$

С помощью графика на рис. 32 по отношению $\varepsilon_{s,c} / \varepsilon_{a,c}$ находим значение коэффициента $K = 0,75$.

Высота сжатой зоны в конце наклонной трещины

$$x_1 = K x = 0,75 \cdot 11,8 = 8,9 \text{ см}.$$

Расчетный изгибающий момент, воспринимаемый наклонным сечением,

$$M_{накл} = R_{np} b x_1 (h_0 - x_1 / 2) - F_n' (\delta_n' - \delta_0') (h_0 - a') =$$

$$= 175 \cdot 20 \cdot 8,9 (35 - 0,5 \cdot 8,9) - 1,13 (6100 - 550) (35 - 3) = 780000 \text{ кгс·см} =$$

$$= 7,8 \text{ тс·м}.$$

Расчетное значение поперечной силы

$$Q_p = M_{накл} / a = 7,8 / 1 = 7,8 \text{ тс}.$$

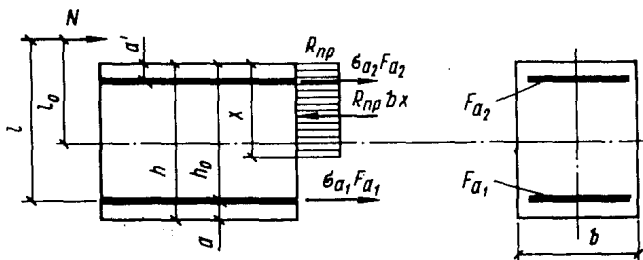


Рис. 34. Схема расположения усилий и эпюра напряжений в поперечном сечении сжатого стеклопластбетонного элемента

Значение предельно допустимой поперечной силы для данного сечения определяется по формуле

$$Q = 0,35 R_{np} b h_0 = 0,35 \cdot 175 \cdot 20 \cdot 35 = 43000 \text{ кгс} < 78000 \text{ кгс} .$$

Таким образом, при действии изгибающего момента прочность нормального сечения балки составляет 10,9 тс·м, а наклонного сечения — 7,8 тс·м.

Сжатые стеклопластбетонные элементы прямоугольного сечения, имеющие гибкость $l_0/h \leq 30$, следует рассчитывать с учетом увеличения эксцентриситетов продольных сил на значение случайного эксцентриситета e_{ca} . Значение e_{ca} принимается равным $h/30$, но не менее $l/600$ и не менее 1 см (l — длина элемента или часть длины между точками закрепления; h — высота прямоугольного сечения) (рис. 34).

Сечения сжатых элементов следует рассчитывать из условия

$$Ne \leq R_{np} b x (h_0 - 0,5x) - \sum \sigma_{ai} S_{ai} , \quad (7)$$

при этом высота сжатой зоны x и напряжения в продольной арматуре σ_{ai} определяются из совместного решения уравнений

$$R_{np} b x - \sum \sigma_{ai} F_{ai} - N = 0 \quad (8)$$

и

$$\sigma_{ai} = [1000 / (1 - \xi_0 / 1,1)] (\xi_0 / \xi_i - 1) + \sigma_{oi} , \quad (9)$$

где F_{ai} и σ_{ai} — соответственно площадь сечения и предварительное напряжение каждого i -го стержня продольной арматуры; ξ_i — относительная высота сжатой зоны бетона; $\xi_i = x / h_{oi}$; здесь h_{oi} — расстояние от наиболее сжатой грани сечения до оси, проходящей через центр тяжести сечения каждого рассматриваемого i -го сжатого стержня; ξ_0 — характеристика сжатой зоны бетона, определенная по формуле

$$\xi_0 = 0,85 - 0,0008 R_{np} . \quad (10)$$

Напряжение σ_{ai} вводится в расчетные формулы со своим знаком, полученным при расчете по формуле (9), при этом во всех случаях необходимо соблюдать следующее условие:

$$R_a \geq \sigma_{ai} \geq \sigma_c ,$$

где σ_c — напряжение в арматуре, равное предварительному напряжению σ_o , за вычетом 1000 кгс/см^2 .

При расчете сжатых элементов следует учитывать влияние прогиба на их несущую способность, как правило, путем расчета конструкции по деформированной схеме. Допускается производить расчет конструкций по недеформированной схеме, но с учетом в этом случае влияния прогиба элементов (при гибкости $l_o/h > 14$) на значение эксцентриситета продольного усилия относительно центра тяжести сечения путем умножения этого значения на коэффициент η , определяемый по формуле

$$\eta = 1 / (1 - N / N_{кр}), \quad (11)$$

где $N_{кр}$ — условная критическая сила;

$$N_{кр} = 0,55 E_s J / [l_o^2 K_{дл} (0,07 + t / K_n)], \quad (12)$$

здесь l_o — расчетная длина элемента; J — момент инерции сечения относительно оси, проходящей через центр тяжести сечения и параллельной линии, ограничивающей сжатую зону; t — коэффициент, принимаемый равным e_o/h , но не менее

$$t_{мин} = 0,5 - 0,01 l_o/h - 0,001 R_{пр} ,$$

$K_{дл}$ — коэффициент, учитывающий влияние длительного действия нагрузки на прогиб элемента в предельном состоянии:

$$K_{дл} = 1 + \beta M_{дл} / M. \quad (13)$$

$\beta = 1$ — для обычного цементного тяжелого бетона естественного твердения; $\beta = 0,9$ — для такого же бетона, подвергнутого пропариванию; M — изгибающий момент относительно растянутой или менее сжатой грани сечения от совместного воздействия всех нагрузок; $M_{дл}$ — то же, от совместного воздействия постоянной и длительной нагрузки; K_n — коэффициент, учитывающий влияние предварительно напряженной арматуры на жесткость элемента в предельном состоянии. При равномерном обжатии сечения напрягаемой арматурой

$$K_n = 1 + 45 \sigma_{б.н} e_o / [R_{пр} (5e_o + h)], \quad (14)$$

где $\sigma_{б.н}$ — напряжение обжатия бетона, определяемое с учетом всех потерь.

Деревянные клееные конструкции

Клееные деревянные конструкции в Западной Европе начали применять с 1907 г., а в Америке — с 1935 г. [27]. Следует отметить, что в те годы изготовлялись конструкции больших пролетов — балки пролетом до 35,5 м, арки — до 54 м, фермы — до 49 м (фирма "Спидуоли К⁰" в Сигтле, штат Вашингтон). Конструкции применялись для покрытий гимнастических и театральных залов, паровозных депо, промышленных зданий, теплиц для выращивания овощей, для строительства автодорожных и железнодорожных мостов.

Изучение долговечности, прочности и жесткости этих конструкций было произведено в 1936 г. Всего было обследовано около 50 сооружений. Результаты осмотра в целом оказались исключительно благоприятными. На основании обследования, выполненного в Мэдисоновской лаборатории инженером Вильсоном [27], была отмечена долговечность элементов, склеенных казеиновым клеем, при их использовании в зданиях, в которых преобладают нормальные атмосферные условия. Отсутствие факторов разрушения или серьезного повреждения элементов клееных конструкций позволяет дать оптимистическую оценку этим элементам в отношении долговечности: склеенные казеиновым клеем составные конструкции прослужат так же долго, как конструкции, изготовленные из любых массивных деревянных элементов. Однако свойства казеинового клея не дают возможности использовать его для элементов, соприкасающихся непосредственно с землей или со средой, в которой содержание влаги может превышать 80%, что имеет место, например, в теплицах, оранжереях, на бумажных фабриках и пр.

Хорошее состояние обследованных паровозных депо, вагоноремонтных зданий и других железнодорожных сооружений показывает, что на склеенные казеином конструкции не влияют выделения от паровозов. Сохранность клееных конструкций на химических заводах Швейцарии в течение ряда лет также показывает их хорошую сопротивляемость химическим агрессивным средам.

Обследование конструкций железнодорожных пассажирских платформ и двух мостов, бывших в эксплуатации 7—8 лет, показывает хорошее состояние склеенных казеиновым клеем элементов в сооружениях на открытом воздухе при условии обеспечения быстрого стока дождевых вод и предохранения их от водяных паров испарений. Замеченные в некоторых случаях гниение дерева и порча клея вблизи соединений элементов, не обеспеченных хорошими стоками и достаточной вентиляцией, указывают на необходимость тщательного проектирования деталей сопряжения элементов конструкций.

На основании произведенного осмотра можно также сделать вывод, что рамы ведут себя хуже, чем арки или балки: именно в рамках наблюдались трещины клеевых швов в углах.

Весьма интенсивное развитие промышленности сборного железобетона в период восстановления и развития народного хозяйства в послевоенные годы в нашей стране несколько сдерживало исследования в области деревянных клееных конструкций и их применение. За последние десятилетия в СССР программа строительства значительно возросла. Потребовалось существенное увеличение объемов строительных материалов, расширение их номенклатуры и снижение массы для сокращения транспортных расходов. В связи с этим потребность использования деревянных клееных конструкций значительно возросла.

Дефицитность древесины во многих районах нашей страны вызывает необходимость ее экономии. Неоднородность структуры древесины, большая изменчивость качественных показателей и физико-механических характеристик ставит перед исследователями задачи по изысканию способов упрочнения деревянных клееных конструкций, повышению их надежности. В настоящее время, в период развития химической промышленности, при наличии различных полимеров, мономеров и огнезащитных покрытий долговечность и надежность деревянных клееных конструкций значительно повышена.

В 60-е годы у нас в стране, в США, Франции, ФРГ, Англии и других странах начаты исследования по созданию армированных стальной арматурой деревянных клееных конструкций. Армирование повышает надежность конструкций, снижает расход древесины, массу конструкций и, как следствие, их стоимость.

По данным исследований ЦНИИСКА им. В.А. Кучеренко [28], изменения температурно-влажностного режима отрицательно сказываются на надежности работы деревянных конструкций со стальной арматурой. В процессе изготовления, монтажа и эксплуатации конструкций перепады температуры могут превышать 50...60°C. В результате большой разности температурных линейных деформаций древесины и стали в конструкциях возникают дополнительные температурные напряжения. При суммировании этих напряжений с напряжениями от внешних нагрузок в конструкциях могут возникать перенапряжения и, как следствие, аварийные состояния. Кроме того, древесине присущи значительные упругие и неупругие деформации при обжатии элементов. Поэтому при создании предварительно напряженных конструкций из древесины со стальной арматурой, имеющей высокий модуль упругости, большие потери напряжений в арматуре значительно снижают эффективность предварительного напряжения.

При эксплуатации таких конструкций под воздействием агрессивных сред не исключается явление язвенной коррозии стальной арматуры, что также в определенной мере снижает надежность и долговечность конструкций. При этом следует иметь в виду, что древесина относится к категории строительных материалов, хорошо сопротивляющихся воздействию агрессивных сред, а

армирование деревянных конструкций сталью способно снижать их долговечность.

Стеклопластиковая арматура обладает высокой коррозионной стойкостью, температурные линейные удлинения ее и древесные по своему значению примерно равны (коэффициент линейного расширения древесины $5 \cdot 10^{-5}$, стеклопластиковой арматуры $5,8 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; модуль упругости стеклопластиковой арматуры примерно в четыре раза меньше, чем стальной арматуры. Перечисленные характеристики стеклопластиковой арматуры выгодно отличают ее от стальной и создают значительные преимущества при использовании для армирования деревянных клееных конструкций.

Исследования деревянных клееных конструкций, предварительно напряженных стеклопластиковой арматурой, ведутся в ИСиА Госстроя БССР. Хабаровском и Белорусском политехнических институтах, ЦНИИСКе им. В.А. Кучеренко. Для исследований используется арматура, изготавливаемая на опытно-промышленной технологической линии ИСиА Госстроя БССР. Следует отметить, что, несмотря на возрастающее число экспериментальных и теоретических работ в области исследований армированных деревянных клееных конструкций у нас и за рубежом, до настоящего времени не удалось получить достаточно полного, обобщенного экспериментально-теоретического решения вопроса о сопротивлении армированной древесины изгибу. Однако, несмотря на это, в БССР начато опытное строительство зданий и сооружений с применением деревянных клееных конструкций, предварительно напряженных стеклопластиковой арматурой, достаточное число образцов которых предварительно было исследовано на прочность и жесткость.

Экспериментальные исследования деревянных клееных предварительно напряженных балок со стеклопластиковой арматурой

Изучение прочности, деформативности и изменения напряженного состояния изгибаемых элементов из клееной древесины со стеклопластиковой арматурой при предварительном напряжении и восприятия внешних нагрузок производилось в ИСиА Госстроя БССР на образцах—балках длиной 3000 мм (расчетный пролет 2700 мм) с высотой прямоугольного сечения 160 и шириной 60 мм*.

Опытные образцы склеивались фенолформальдегидным клеем из сосновых досок толщиной 40 мм. Армирование выполнялось стеклопластиковой арматурой диаметром 6 мм. Арматура располагалась в пазах размером 8x8 и 8x16 мм только

* Исследования выполнялись В.С. Шевчук.

в растянутой или в растянутой и сжатой зонах, причем в растянутой зоне арматура была предварительно напряжена, а в сжатой не напрягалась. Арматура в пазы клеивалась при помощи эпоксидного компаунда холодного отверждения, в качестве наполнителя в котором применялся портландцемент.

Напряжение арматуры осуществлялось на упоры на специальном металлическом стенде. Сжимающие напряжения передавались вначале на форму-стенд, а затем после заливки пазов с арматурой клеем и его отверждения производился плавный отпуск предварительно напряженной арматуры, и сжимающие напряжения воспринимались древесиной.

При изготовлении первых образцов, армированных в растянутой зоне, при отпуске предварительно напряженной арматуры из-за возникновения больших по значению скальвающих напряжений в древесине приопорных участков балок появлялись продольные трещины и, как следствие, происходил отрыв нижней части балки с предварительно напряженной арматурой. Для предупреждения разрушения предварительно напряженных образцов по указанной выше причине в приопорных участках балок часть древесины располагалась таким образом, чтобы ее волокна были перпендикулярны продольной оси изгибаемого элемента. Для этого в приопорных участках длиной $2,5h$ балки на всю высоту при помощи гвоздевого забоя (прижима) наклеивались накладки на ее боковые поверхности. Толщина накладок принималась не менее $1/6$ ширины балки. Вместо досок в приопорных участках может наклеиваться бакелизованная фанера. Таким образом, была принципиально решена конструкция изгибаемого элемента из клееной древесины с предварительно напряженной стеклопластиковой арматурой (рис. 35).

Всего было испытано 11 серий балок по три близнеца в каждой серии. Варьируемыми параметрами опытных образцов являлись расположение и содержание арматуры в растянутой и сжатой зонах. Образцы испытывались двумя сосредоточенными грузами, расположенными в третях пролета. Для измерения деформаций по высоте сечения в зоне чистого изгиба в крайних растянутых и сжатых волокнах древесины и в арматуре по длине балок устанавливались тензодатчики с базой 20 мм. Выгибы балок при предварительном обжатии древесины арматурой и прогибы при восприятии внешних нагрузок замерялись прогибомерами. Проскальзывание арматуры фиксировалось индикаторами, установленными на торцах балок.

Разрушение образцов, армированных только растянутой предварительно напряженной стеклопластиковой арматурой, начиналось из-за появления складок в древесине сжатой зоны. При снятии внешней нагрузки в момент начала образования складок волокна древесины в складках сжатой зоны пружинили и складки исчезали. При повторных загрузках несущая способность и жесткость элементов (практически в пределах точности изме-

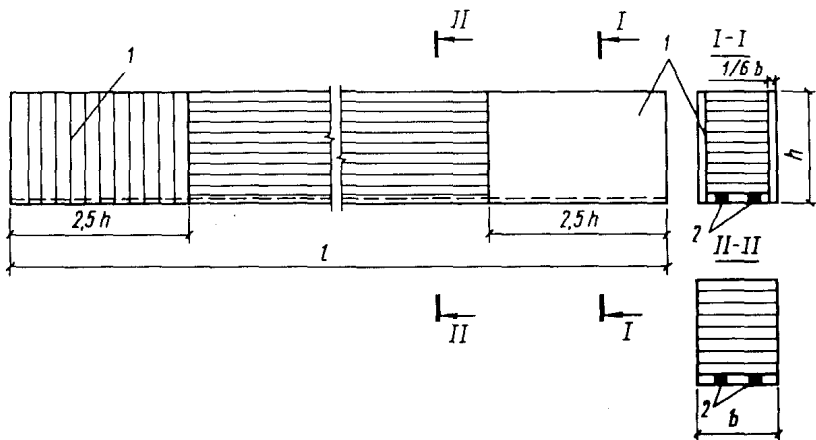


Рис. 35. Конструкция предварительно напряженной балки из клееной древесины со стеклопластиковой арматурой

1 – усиливающие накладки; 2 – стеклопластиковая арматура

рений) восстанавливалась (рис. 36). При дальнейшем увеличении нагрузки прогибы возрастали, складки в сжатой зоне проявлялись более отчетливо. Затем в сжатой зоне балок появлялись продольные трещины. Эти трещины находили выход на поверхность сжатой зоны балок, или отделенная продольными трещинами часть древесины теряла устойчивость, в результате наступало разрушение опытных балок.

При армировании растянутой и сжатой зон балок соответственно предварительно напряженной и ненапряженной арматурой (с одинаковым количеством арматуры в обеих зонах) разрушение, как правило, происходило из-за разрыва волокон древесины в растянутой зоне. Случаев разрыва арматуры в растянутой зоне не наблюдалось. Контрольные неармированные балки разрушались хрупко вследствие разрыва древесины в растянутой зоне, как правило, в местах расположения пороков древесины (рис. 37).

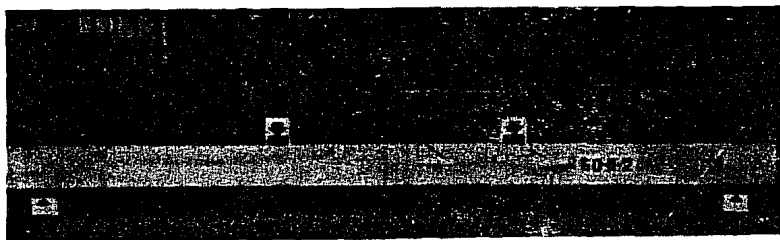


Рис. 36. Армированная балка после разрушения (прямоугольниками обведены места образования складок в сжатой зоне)

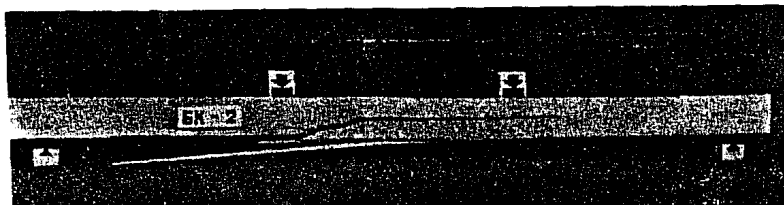


Рис. 37. Разрушение контрольных балок без армирования

После отпуска предварительно напряженной арматуры растянутой зоны нейтральная ось в нормальных сечениях балок сместилась вверх по отношению к геометрической оси сечения изгибаемого элемента. При этом в крайних волокнах сечения в зоне расположения предварительно напряженной арматуры допускалось напряжение, не превышающее расчетное сопротивление древесины при сжатии. Во всех образцах контролируемое напряжение арматуры принималось не более $0,5 \sigma_{вр}$. На противоположной стороне сечения балки возникали растягивающие напряжения. При постепенном ступенчатом нагружении опытных балок внешней нагрузкой нейтральная ось смещалась в сторону расположения геометрической оси поперечного сечения образцов, совмещалась с ней, а затем продолжала смещаться в сторону предварительно напряженной арматуры.

В табл. 9 приведены результаты испытаний опытных прямоугольных балок (пролет 2700 мм, сечение 60x160 мм) с предварительно напряженным армированием только растянутой зоны.

При анализе результатов испытания балок с одиночным предварительно напряженным армированием необходимо обратить внимание на следующее. Армирование существенно повышает несущую способность и жесткость изгибаемых элементов, причем чем больше процент содержания арматуры в исследованных пределах, тем выше эффективность армирования, но до определенного предела.

Учитывая, что балка БО-Ш-3 разрушилась в связи с допущенными технологическими погрешностями при ее изготовлении (потеря сцепления арматуры), можно предположить, что повышение содержания арматуры выше 1...1,2% нецелесообразно (см. табл. 9). Очевидно, при таком содержании арматуры исчерпывается прочность древесины в сжатой зоне изгибаемого элемента. Дальнейшее повышение несущей способности балок может быть достигнуто путем повышения прочности сжатой зоны при одновременном увеличении содержания арматуры в растянутой зоне. Усиление сжатой зоны может быть выполнено за счет ненапряженного армирования, развития ее площади (тавровые сечения) или использования древесины, модифицированной полимерами.

Таблица 9. Результаты испытания балок

Серия балок*	Содержание арматуры, %	Разрушающая нагрузка, $2P$, кН	Разрушающий момент, кН·м	Выгиб, мм	Прогиб при $2P$, мм	Несущая способность, %
БК-1		22,4	10,08	—	30,83	
БК-2	—	22,4	10,08	—	24,95	100
БК-3	—	25,2	11,34	—	32,19	
БО-I-1		28,8	13,86	5,79	48,66	
БО-I-2	0,295	28	12,6	4,53	43,02	121
БО-I-3		25,2	11,34	5,19	29,3	
БО-II-1		33,6	15,12	7,1	53,25	
БО-II-2	0,59	33,6	15,12	8,21	56,06	140
БО-II-3		30,8	13,86	9,21	37,1	
БО-III-1		42	18,9	9,31	62,35	
БО-III-2	0,884	39,2	17,64	10,31	67,75	156
БО-III-3		28	12,6	9,55	25,02	
БО-IV-1		42	18,9	10,49	50,3	
БО-IV-2	1,18	36,4	16,38	11,79	64,03	164
БО-IV-3		36,4	16,38	11,13	56,37	

* БК — балки контрольные неармированные; БО — балки предварительно напряженные с армированием в растянутой зоне, I, II, III, IV показывают содержание арматуры; 1, 2, 3 — номера балок-близнецов.

Исследовались балки таких же габаритов (2700x160x60 мм) с двойной симметричной арматурой — напряженной в растянутой зоне и ненапряженной в сжатой. В результате исследований установлено, что наиболее эффективно может быть использована арматура в растянутой зоне изгибаемых элементов. Однако двойное армирование усложняет технологический процесс изготовления конструкций. Учитывая сказанное выше, а также достаточно высокую стоимость стеклопластиковой арматуры, в настоящее время следует рекомендовать одиночное предварительно напряженное армирование растянутой зоны изгибаемых элементов, а двойное армирование — только в случаях подтверждения его целесообразности соответствующими технико-экономическими расчетами.

Экспериментальное исследование треугольных трехшарнирных деревянных клееных арок со стеклопластиковой арматурой

В сельском строительстве Белоруссии, Литвы и других районах страны в настоящее время широко используются клееные деревянные арки со стальной затяжкой. Недостатками этой

конструкции является наличие стальной затяжки, которая подвергается активной коррозии в производственных сельскохозяйственных зданиях, а также значительный расход древесины.

В целях устранения перечисленных недостатков в ИСиА Госстроя БССР были проведены исследования по модернизации конструкции трехшарнирной треугольной арки пролетом 18 м (МДА-18-6) с использованием стеклопластиковой арматуры: внецентренно-сжатые элементы верхнего пояса арки предварительно напрягались стеклопластиковой арматурой, расположенной в растянутой зоне; стальная затяжка была заменена стеклопластиковой*.

Модернизация арки позволила изменить сечение верхнего пояса с 140x480 на 120x380 мм, т.е. получить экономию древесины, равную 22,8%. Замена стальной затяжки стеклопластиковой устранила эксплуатационные затраты, связанные с предохранением затяжки от коррозии.

Элементы верхнего пояса арки армировались шестью стержнями диаметром 6 мм, которые располагались по два в трех пазах сечением 10x18 мм. Предварительно напряженная арматура в пазах верхних элементов арки заливалась эпоксидно-цементным клеем ЭПЦ-1 следующего состава (ч. по массе): эпоксидная смола ЭД-20 100, полиэфир МГФ-9 20, полиэтиленполиамин ПЭПА 15, цемент 200. Приопорные участки элементов усиливались деревянными накладками из досок толщиной 15 мм на всю высоту сечения, а по длине элементов — на $2,5h \approx 1000$ мм. Накладки наклеивались фенолформальдегидным клеем с запрессовкой гвоздевым забоем (прижимом). Конструкция конькового узла в модернизированной арке не была изменена.

В качестве стеклопластиковой затяжки при испытаниях опытных арок использовались два стержня диаметром 12 мм или восемь стержней диаметром 6 мм. Стеклопластиковые стержни затяжки с элементами деревянного клееного верхнего пояса арок в опорных узлах сопрягались оцинкованными стальными деталями — гильзами и швеллерами (рис. 38). Стеклопластиковые стержни вставлялись в стальные гильзы на эпоксидной смоле холодного отверждения и до полимеризации смолы запрессовывались в матрицах на прессе (рис. 39). При испытании на выдерживание стержней из гильз происходил разрыв стеклопластиковой арматуры, что подтверждает надежность предложенного сопряжения.

Испытание арок производилось на силовом полу в корпусе испытаний ИСиА Госстроя БССР (рис. 40). Нагружение пятью сосредоточенными силами на каждой полуарке осуществлялось ступенями посредством гидравлических домкратов с выдержками до затухания деформаций и перемещений. Прогибы деревян-

* Исследования выполнялись М.А. Кляйманом.

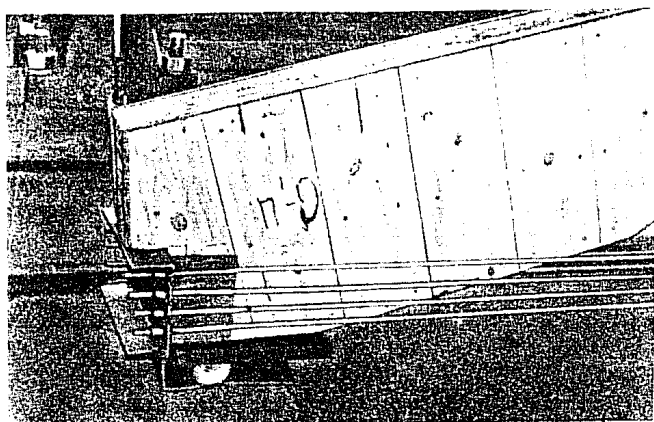


Рис. 38. Опорный узел арки со стеклопластиковой затяжкой из восьми стержней диаметром 6 мм

ных клееных элементов верхнего пояса, просадки опор и конькового узла фиксировались прогибомерами Максимова. Деформации в нормальных сечениях в середине пролета элементов верхнего пояса и в затяжке замерялись тензодатчиками соответственно с базой 25 и 50 мм. Для замера смещений стеклопластиковых стержней в стальных гильзах и арматуры в элементах верхнего пояса устанавливались индикаторы часового типа.

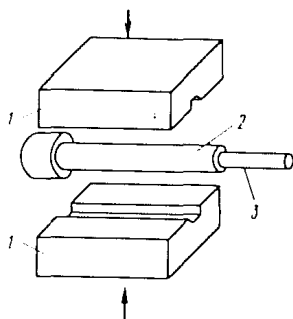
Прогибы полуарок со стеклопластиковой затяжкой при нормативной нагрузке не превысили их первоначального выгиба, полученного при предварительном напряжении. К моменту, предшествующему разрушению арки, прогибы элементов полуарок составили $f_1 = 49$ мм и $f_2 = 54$ мм. Нормальные сечения в середине пролетов полуарок при расчетной нагрузке были сжаты по всей высоте. Краевые напряжения в верхних волокнах были примерно равны 5 МПа, а в нижних – 2,5 МПа. К моменту разрушения арки эпюры напряжений в этих сечениях были двухзначными: краевые напряжения сжатия в верхних волокнах достигали 20 МПа, растяжения в нижних волокнах – 5,5 МПа.

Стеклопластиковая затяжка при расчетной нагрузке удлинилась на 78 мм, что меньше расчетного примерно в два раза. Это объясняется тем, что свободному перемещению опор в некоторой степени, очевидно, могли препятствовать тяжи, связывающие гидродомкраты (установленные над верхним поясом арки) с силовым полом.

Причиной разрушения арки явилось скалывание древесины по нейтральной оси в коньковом узле в связи с концентрацией напряжений за счет поворота сечений полуарок в коньке при усилии 13,9 кН на 1 м длины.

Рис. 39 Схема запрессовки стальной гильзы

1 — матрица; 2 — гильза; 3 — стеклопластиковый стержень.



Условный коэффициент запаса составил

$$K = q_{\text{разр}}/q_{\text{расч}} = 1390/600 = 2,3.$$

Таким образом, при условии некоторого изменения конькового узла конструкция арки была рекомендована для экспериментального проектирования и строительства. Для уменьшения концентрации напряжений в коньковом узле предлагается устраивать упругую прокладку в месте стыка полуарок.

В результате выполненных работ представилось возможным составить технические условия на трехшарнирные клееные арки со стеклопластиковой арматурой, приступить к освоению их производства на Гомельском заводе деревянных клееных конструкций для экспериментального строительства.

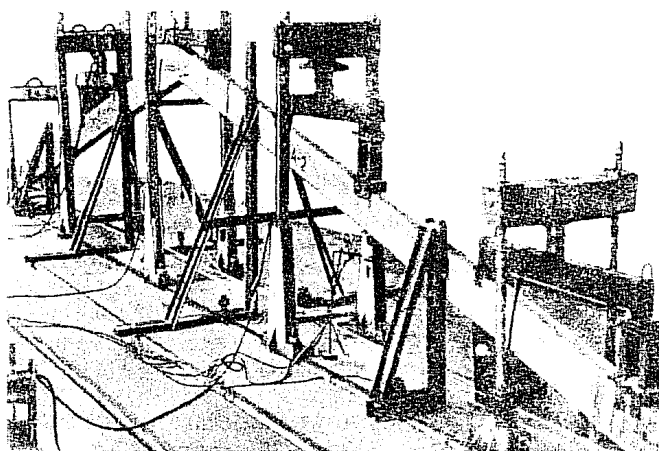


Рис. 40. Испытание трехшарнирных арок с армированным предварительно напряженным верхним поясом и стеклопластиковой затяжкой из двух стержней диаметром 12 мм

ГЛАВА У. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО ИЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СО СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРОЙ. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Исследования физико-химических, механических и электротехнических свойств стеклопластиковой арматуры предопределили области ее использования в конструкциях из специальных бетонов и клееной древесины. Создание и исследование опытных образцов конструкций в лабораторных условиях позволило изучить особенности их работы под воздействием статических нагрузок, агрессивных сред и электрического тока высоких напряжений. В процессе изготовления экспериментальных образцов конструкций накапливался технологический опыт по производству работ.

В результате выполненного комплекса исследований представилось возможным в содружестве с проектными и производственными организациями начать проектирование и экспериментальное строительство зданий и сооружений с применением конструкций со стеклопластиковой арматурой для изучения их работы в реальных эксплуатационных условиях, а также совершенствования их технологий.

В настоящей главе приводятся некоторые примеры экспериментального строительства сооружений из стеклопластбетонных и деревянных клееных предварительно напряженных конструкций, а также расчеты технико-экономической эффективности их применения.

Склады минеральных удобрений из сборных стеклопластбетонных конструкций

Производство минеральных удобрений и поставки их сельскому хозяйству страны непрерывно возрастают. Особое внимание уделяется выпуску высококачественных концентрированных и сложных несслеживающихся минеральных удобрений. В настоящее время производство их достигло 80% общего объема.

Склады минеральных удобрений в основном строятся двух типов — районные железнодорожные (прирельсовые) емкостью до 15–20 тыс. т и глубинные совхозно-колхозные емкостью около 1,5 тыс. т.

Исследования Гипрониисельхоза (Москва) и НИИЖБа Госстроя СССР свидетельствуют о том, что железобетонные конст-

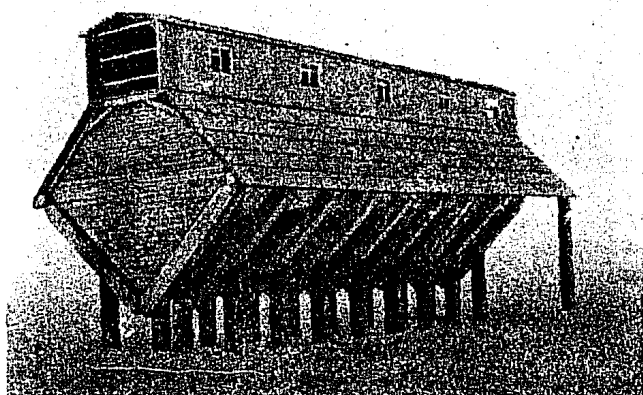


Рис. 41. Склад минеральных удобрений емкостью 1,2 тыс. т, построенный с применением стеклопластбетонных конструкций

рукции складов под воздействием солевой коррозии, вызываемой их опылением минеральными удобрениями при высокой влажности окружающей среды, подвергаются разрушению в течение 7 лет эксплуатации. При этом корродирует стальная арматура и разрушаются традиционные цементные бетоны. При обследовании деревянных конструкций на Первом соликамском калийном комбинате производственного объединения "Уралкалий" установлено, что древесина, не защищенная специальными покрытиями, под воздействием солевой коррозии разрушается в течение 15–20 лет. В связи с изложенным поиск долговечных материалов, стойких в условиях солевой коррозии, для массового строительства складов минеральных удобрений приобретает особо важное значение.

Для замены железобетонных конструкций следует рекомендовать стеклопластбетонные, изготовленные из специальных бетонов. Широкое применение для строительства складов найдут также армированные деревянные клееные конструкции [15]. Используя перечисленные материалы, срок службы складов минеральных удобрений можно увеличить в три-пять раз. Стоимость склада на единицу эксплуатационного времени значительно снизится.

ИСиА Госстроя БССР в творческом содружестве с Гипроинсельхозпроектом (Москва) и ЦНИИМЭСХ нечерноземной зоны (Минск) было разработано проектное предложение на строительство экспериментального склада минеральных удобрений емкостью 1,2 тыс. т. Проектирование склада выполнил Владимирский Гипросельхозпром, а Минсельстрой БССР в 1973 г. построил склад в совхозе им. Притыцкого Молодечненского района Минской области (рис. 41).

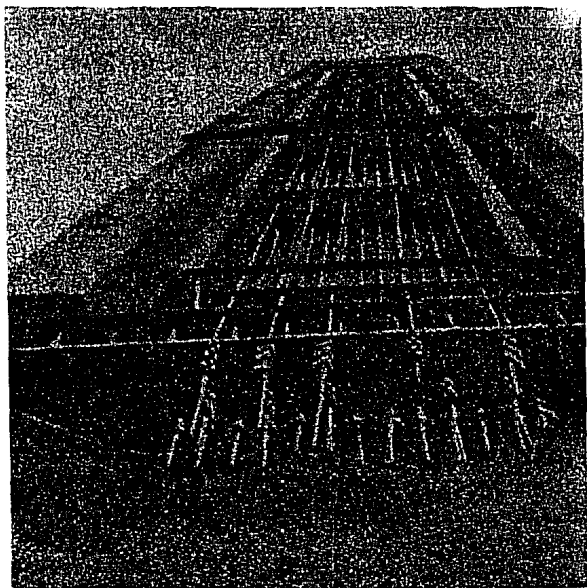


Рис. 42. Открытый стенд на полигоне для изготовления стеклопластбетонных панелей

Склад состоит из четырех отсеков-бункеров, в которых хранятся несколько видов незатаренных удобрений. Загрузка, разгрузка и смешение удобрений полностью механизированы. Смеси можно получать по ранее заданной программе. Днища бункеров выполнены из стеклопластбетонных плит размером 290х120х22 см. Колонны и рандбалки запроектированы из обычного железобетона, так как они непосредственно с минеральными удобрениями не соприкасаются. Верхним ограждением бункеров служит покрытие из волнистого стеклопластика по стропильной конструкции из облагороженной древесины. Сверху вдоль всех бункеров расположена транспортная галерея для загрузки удобрений. Стены и кровля галереи обшиты волнистыми стеклопластиковыми листами. Таким образом, все конструкции, имеющие непосредственный контакт с минеральными удобрениями, запроектированы из долговечных, коррозионностойких материалов — стеклопластбетона, стеклопластика и древесины.

Стеклопластбетонные плиты для днищ бункеров изготавливались на полигоне завода железобетонных конструкций по стендовой технологии (рис. 42). Для восприятия сжимающих усилий в процессе натяжения арматуры на стенде временно были использованы железобетонные колонны сечением 40х40 см. Поперечные траверсы — упоры сваривались из листовой стали толщиной 30 мм.

Порядок производства работ при изготовлении панелей на стенде был следующим. После установки опалубки стенд на

всю длину заправлялся стеклопластиковой арматурой. На концах каждого арматурного стержня устанавливались захваты, упирающиеся в поперечные сварные траверсы (перед установкой захватов арматура вручную подтягивалась для выравнивания длины отдельных стержней). После зарядки стенда арматурой производилось групповое натяжение всей арматуры домкратами, расположенными с одной стороны стенда между подвижной и неподвижной траверсами. Напряжение арматуры контролировалось замерами перемещения траверсы. Затем между подвижной и неподвижной траверсами рядом с домкратами устанавливались и расклинивались стальные прокладки, после чего домкраты отключались. Бетонировались панели с уплотнением бетона высокочастотными глубинными и площадочными вибраторами с частотой колебаний 10000 мин^{-1} . После вызревания бетона вновь подключались домкраты, подвижная траверса несколько смещалась, извлекались прокладки и клинья, установленные между траверсами и домкратами, производился плавный отпуск всей арматуры.

Состав бетона, кг на 1 м^3 , был принят следующий: цемент для производства асбестоцементных изделий (ГОСТ 9835-77) 500; песок кварцевый 310; щебень аглопоритовый фракции 20-40 мм 310; 10-20 мм 400; 5-10 мм 310; вода 220 л.

Расчет экономической эффективности применения стеклопластбетонных конструкций для строительства складов минеральных удобрений выполнен Владимирским Гипросельхозпромом совместно с ИСиА Госстроя БССР в соответствии с "Инструкцией по определению экономической эффективности капитальных вложений в строительстве" СН 423-71. Для сравнительной оценки был принят типовой проект № 705-1-7 склада минеральных удобрений емкостью 1,2 тыс. т, который отличается от проекта экспериментального склада конструктивными решениями (табл. 10).

Т а б л и ц а 10. Характеристика конструктивных элементов

Конструктивные элементы	Проект экспериментального склада	Типовой проект 705-1-7, тип I
Фундаменты	Из железобетонных свай длиной 3 м и ростверка	Бутобетонные ленточные
Стены	Сборные из стеклопластбетонных панелей	Кирпичные несущие
Кровля	Двускатная стеклопластиковая	Плоская рулонная

При сравнении строительных конструкций с различными сроками службы необходимо учитывать эффект, связанный с отсутствием повторных затрат на замену менее долговечных

конструкций за период службы сооружения*. Для приведения варианта склада с меньшим сроком службы в сопоставимый вид необходимо определить суммарные затраты на его восстановление за весь срок службы сравниваемого более долговечного варианта.

Эти суммарные затраты определяются по формуле

$$K_{\text{в}} = K'_1 + \frac{K'_1}{(1+E_{\text{н.п}})^{t_1}} + \frac{K'_1}{(1+E_{\text{н.п}})^{2t_1}} + \frac{K'_1}{(1+E_{\text{н.п}})^{3t_1}} + \frac{K'_1}{(1+E_{\text{н.п}})^{4t_1}},$$

где K'_1 — стоимость строительно-монтажных работ на сооружение склада-аналога, равная 88,82 тыс. руб.; $E_{\text{н.п}}$ — норматив для приведения одновременных затрат, который установлен типовой методикой определения экономической эффективности капитальных вложений в размере 0,08; t_1 — срок службы менее долговечного склада (аналога), равный 4 годам.

Тогда

$$K_{\text{в}} = 88,82 + \frac{88,82}{(1+0,08)^4} + \frac{88,82}{(1+0,08)^8} + \frac{88,82}{(1+0,08)^{12}} + \frac{88,82}{(1+0,08)^{16}} = 263,25 \text{ тыс. руб.}$$

Полные приведенные затраты на строительство сравниваемых складов определяются в соответствии с п. 5.7 Инструкции СН 423-71 по формуле

$$\Pi_i = C_i + E_{\text{н}} K_i + K_{\text{н}} K'_i + M_i T,$$

где для аналога

$$C_i + E_{\text{н}} K_i + E_{\text{н}} K'_i = K_{\text{в}}.$$

Приведенные затраты по складу-аналогу определяем по формуле

$$\Pi_1 = K_{\text{в}} + M_1 T,$$

где M_1 — среднегодовые эксплуатационные расходы для аналога, равные 9,43 тыс. руб.; T — нормативный срок окупаемости, равный 8 годам.

Тогда

$$\Pi_1 = 263,25 + 9,43 \cdot 8 = 263,25 + 75,44 = 338,69 \text{ тыс. руб.}$$

Приведенные затраты по складу из стеклопластбетонных конструкций определяются по формуле

$$\Pi_2 = C_2 + E_{\text{н}} K_2 + E_{\text{н}} K'_2 + M_2 T,$$

* Расчет выполнен Л.П. Зайцевой.

где C_2 — стоимость строительно-монтажных работ на сооружение склада из стеклопластбетонных конструкций, равная 83,46 тыс. руб.; E_n — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений для отрасли, равный 0,12; K_2' — капитальные вложения в производство стеклопластбетона, согласно калькуляции ИСиА Госстроя БССР равные $120,42 \cdot 60 = 7,22$ тыс. руб.; K_2 — капитальные вложения в основные производственные фонды и вложения в оборотные средства в сфере строительства, согласно справке ИСиА Госстроя БССР равные 7,07 тыс. руб.; M_2 — среднегодовые эксплуатационные расходы, равные 4,5 тыс. руб.; T — нормативный срок окупаемости, равный 8 годам.

Следовательно,

$$П_2 = 83,46 + 9,12 \cdot 7,07 + 0,12 \cdot 7,22 + 4,5 \cdot 8 = 121,2 \text{ тыс. руб.}$$

Тогда

$$П_1 - П_2 = 338,69 - 121,2 = 217,49 \text{ тыс. руб.}$$

Годовая экономическая эффективность, связанная с отсутствием повторных затрат на замену менее долговечных конструкций за период службы более долговечных, составит:

$$217,49 : 20 = 10,87 \text{ тыс. руб.}$$

Годовой экономический эффект от внедрения автоматизации погрузочно-разгрузочных работ и тукосмешения рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E}_r = [(C_n + E_n K_n) - (C_n + E_n K_n)] Q_n,$$

где C_n — прямые эксплуатационные затраты по складу-аналогу, равные 9,43 тыс. руб.; E_n — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений для отрасли; K_n — капитальные вложения в технологическое оборудование по складу-аналогу, равные 12,39 тыс. руб.; C_n — прямые эксплуатационные затраты по экспериментальному складу, равные 4,5 тыс. руб.; K_n — капитальные вложения в автоматизацию технологического процесса в экспериментальном складе, равные 10,76 тыс. руб.; Q_n — годовой объем работ в натуральном выражении — 1 склад.

Тогда

$$\mathcal{E}_r = [(9,43 + 0,12 \cdot 12,39) - (4,5 + 0,12 \cdot 10,76)] 1 = 10,92 - 5,8 = 5,12 \text{ тыс. руб.}$$

Общая годовая экономическая эффективность составит

$$10,87 + 5,12 = 15,99 \text{ тыс. руб.}$$

Склады минеральных удобрений с применением трехшарнирных деревянных клееных арок

Положительные результаты испытаний опытных образцов деревянных клееных арок пролетом 18 м под расчетную нагрузку 600 кгс на 1 м длины с прямолинейными элементами верхнего

пояса, предварительно напряженными стеклопластиковой арматурой, позволили начать экспериментальное проектирование и строительство сельскохозяйственных производственных зданий с применением таких арок.

Белколхозпроектом с участием ИСиА Госстроя СССР и Белорусского филиала Центрального научно-исследовательского института механизации и электрификации сельского хозяйства (ЦНИИМЭСХ) в 1975 г. разработан проект передвижного склада минеральных удобрений емкостью 1000 т совхозно-колхозного типа с применением армированных арок. Оригинальность предложенного проекта склада состоит в том, что при разгрузке или загрузке склада шатровое покрытие в виде двух половин, не связанных между собой, раздвигается по рельсовому пути, открывая свободный доступ к площадке складирования удобрений.

Разработанная несущая конструкция шатрового покрытия склада представлена легкой трехшарнирной аркой пролетом 18 м с наклонными прямолинейными элементами верхнего пояса, монтируемыми под углом 45° . В плане склад прямоугольный размером 18x24 м, состоит из двух половин размером 18x12 м, не связанных между собой. Элементы арок в коньковом узле шатра сопрягаются шарнирно. Внизу к деревянным клееным элементам верхнего пояса монтируются колеса, опирающиеся на наклонно уложенный рельсовый путь. Таким образом, распор арки воспринимается рельсами на шпальном основании. Покрытие склада запроектировано из волнистого стеклопластика по деревянной обрешетке. Верхние прямолинейные элементы арки выполняют роль стропильной конструкции.

Несущие наклонные элементы верхнего пояса арок армируются четырьмя предварительно напряженными стержнями стеклопластиковой арматуры диаметром 6 мм. Стержни расположены в двух пазах сечением 10x18 мм, выбранных в нижней пластине элементов. Приопорные участки элементов (в коньковом и опорном узлах) усиливаются деревянными накладками из досок толщиной 20 мм. Накладки наклеиваются и запрессовываются гвоздевым прижимом, как и в ранее описанных изгибаемых элементах.

После испытания опытной нагрузкой элементов верхнего пояса арок, которое прошло успешно, в Белоруссии в районах городов Рогачева и Червеня в 1976 г. построены два экспериментальных передвижных склада.

Согласно расчетам, технико-экономическая эффективность складов выразилась в следующем: экономия древесины в несущих армированных элементах составила 22%, стоимость их за счет этого снизилась на 9%, масса конструкций уменьшилась на 20%, стоимость опытного склада по сравнению с существующими типовыми решениями складов такой же емкости снизилась в 1,7 раза.

Панели междуэтажных перекрытий для предприятий синтетических волокон

На кислотной станции Светлогорского комбината искусственного волокна перекрытия над технологическими галереями смонтированы из ребристых железобетонных панелей ПБ П1-9 серии ИИ-64 размером в плане 1190x5660 мм под полезную нагрузку 20 кПа. Панель имеет только продольные и поперечные ребра, окаймляющие ее по контуру. Ширина продольных ребер 85 мм, поперечных 75 мм, толщина полки панели 60 мм, высота ребер панели 350 мм. В процессе эксплуатации через каждые 4—5 лет производится капитальный ремонт перекрытия с заменой железобетонных панелей из-за их разрушения под воздействием серной кислоты.

Нами предложена замена железобетонных панелей стеклопластбетонными, изготовленными из полимербетона ФАМ со стеклопластиковой арматурой. Стеклопластбетонные панели изготовлялись в тех же формах, что и железобетонные панели ПБ П1-9 серии ИИ-64. Для восприятия усилий, возникающих при предварительном напряжении стеклопластиковой арматуры, формы были усилены стальным профилем. Таким образом, все габариты стеклопластбетонных панелей были такими же, как и железобетонных.

Плиты армировались стеклопластиковой арматурой диаметром 6 мм с предварительным напряжением ребер и плиты в поперечном направлении. Распределительная арматура полки выполнялась без предварительного напряжения.

В ИСиА Госстроя БССР были проведены расчеты экономической эффективности, получаемой от внедрения стеклопластбетонных ребристых панелей взамен железобетонных*. Стойкость стеклопластиковой арматуры в условиях непосредственного воздействия раствора серной кислоты в 7—10 раз выше, чем стальной арматуры. Полимербетон ФАМ практически не разрушается в серной кислоте, поэтому при расчете предполагаемого эффекта принято, что срок службы стеклопластбетонных панелей на Светлогорском комбинате искусственного волокна будет не менее 20 лет. Таким образом, долговечность стеклопластбетонных конструкций будет в 4—5 раз выше, чем железобетонных.

Расчет выполнен в полном соответствии с СН 423—71. Фактические затраты на капитальные ремонты железобетонных перекрытий взяты согласно сметам на выполненные работы по комбинату. Стоимость стеклопластиковой арматуры принята по калькуляции для опытного производства ИСиА Госстроя БССР. Стоимость полимербетона определена по калькуляции, составленной с учетом отпускных цен на исходные материалы. Трудовые затраты на изготовление стеклопластбетонных панелей при-

* Расчет выполнен Т.В. Никифоровой.

няты по фактическим данным, полученным при изготовлении опытных образцов панелей. Стоимость монтажных работ для полимербетонных панелей принята такой же, как и для железобетонных. При расчете эффективности использованы методические рекомендации [29].

Для учета различий, связанных с увеличением срока службы полимербетонной панели по сравнению с железобетонной, производится расчет суммарных затрат на создание и восстановление менее долговечной железобетонной плиты перекрытия в соответствии с п. 5.8 СН 423-71:

$$K_B = K'_1 + \frac{K'_2}{(1+E_{н.п})^{2t_1}} + \frac{K'_3}{(1+E_{н.п})^{2t_1}} + \frac{K'_4}{(1+E_{н.п})^{3t_1}} + \frac{K'_5}{(1+E_{н.п})^{4t_1}},$$

где K'_i — затраты на создание менее долговечной плиты (затраты на строительные-монтажные работы, капитальные вложения в оборотные средства строительной организации, а также сопряженные капитальные вложения в производство строительных материалов), равные 9,79 руб.; $E_{н.п}$ — норматив для приведения разновременных затрат, который установлен СН 423-71 в размере 0,08; t_1 — срок службы менее долговечной железобетонной плиты, равный 4 годам. Тогда

$$K_B = 9,79 + \frac{9,79}{(1+0,08)^4} + \frac{9,79}{(1+0,08)^8} + \frac{9,79}{(1+0,08)^{12}} + \frac{9,79}{(1+0,08)^{16}} =$$

$$= 9,79 + 9,79 \cdot 0,735 + 9,79 \cdot 0,54 + 9,79 \cdot 0,397 + 9,79 \cdot 0,292 = 29,03 \text{ руб.}$$

Полные приведенные затраты определяются в соответствии с п. 5.7 СН 423-71

$$П_i = C_i + E_n K_i + E_n K'_i + M_i T,$$

где C_i — себестоимость строительные-монтажных работ по сравниваемым вариантам ($C_1 = 8,36$ руб.; $C_2 = 24,77$ руб.); K_i — капитальные вложения в основные производственные фонды и вложения в оборотные средства в сфере строительства по сравниваемым вариантам ($K_1 = 0,44$ руб.; $K_2 = 1,77$ руб.); K'_i — сопряженные капитальные вложения в производство строительных материалов по сравниваемым вариантам ($K'_1 = 9,79$ руб.; $K'_2 = 23,81$ руб.); M_i — среднегодовые эксплуатационные расходы по сравниваемым вариантам ($M_1 = 9,15$ руб.; $M_2 = 3,37$ руб.); T — расчетный период, в течение которого учитываются эксплуатационные расходы (принимаются равными нормативному сроку окупаемости); $T = 0,33$ года.

Стоимость потерь из-за возможного простоя основных производственных фондов C_n в период проведения ремонтно-строительных работ определяется по формуле (11) [30].

$$C_n = E_n K_{об} T_{п.об}$$

где $K_{об}$ — стоимость действующих основных производственных фондов, простаивающих в связи с проведением ремонтно-строительных работ ($K_{об} = 1275$ руб. на 1 м^2 перекрытия); $T_{п.об}$ — время простоя основных производственных фондов в период проведения ремонтно-строительных работ; E_n — нормативный коэффициент экономической эффективности капиталовложений.

Стоимость потерь из-за возможного простоя оборудования в год по эталонному варианту $C_{п1}$ и предлагаемому $C_{п2}$:

$$C_{п1} = 0,12 \cdot 1275 \cdot 0,055 = 8,42 \text{ руб.};$$

$$C_{п2} = 0,12 \cdot 1275 \cdot 0,004 = 0,61 \text{ руб.}$$

Приведенные затраты по железобетонным плитам

$$П_1 = K_n + M_1 T + C_{п1} = 29,03 + 9,15 \cdot 8,33 + 8,42 = 113,67 \text{ руб.}$$

Приведенные затраты по полимербетонным плитам

$$П_2 = C_2 + E_n K_2 + E_n K_2' + M_2 T + C_{п2} = 24,77 + 0,1 \cdot 2 \cdot 1,77 + 0,12 \cdot 23,81 + 3,37 \cdot 8,33 + 0,61 = 55,69 \text{ руб.}$$

Сравнительный экономический эффект за счет снижения приведенных затрат на 1 м^2 перекрытия составит

$$\Delta = П_1 + П_2 = 113,67 - 55,69 = 57,98 \text{ руб.}$$

Линии электропередачи со стеклопластбетонными траверсами без изоляторов

Из электроизолирующих бетонов со стеклопластиковой арматурой можно изготавливать несущие электроизолирующие конструкции для линий электропередачи высоких напряжений, подстанций, опор и кронштейнов контактных сетей электрифицированных железных дорог, нетягового энергоснабжения и т.п. При использовании несущих стеклопластбетонных электроизолирующих конструкций без дорогостоящих фарфоровых изоляторов повышается надежность линий электропередачи в процессе эксплуатации и снижается их стоимость.

В 1969 г. ИСиА Госстроя БССР совместно с ГПИ Сельэнергопроектом (Москва) начал разработку и исследование электроизолирующих траверс для линий электропередачи ЛЭП-10 кВ и ЛЭП-35 кВ. В 1970 г. в районе Костромы сдан в эксплуатацию опытный участок ЛЭП-10 кВ со стеклопластбетонными траверсами.

Траверсы в виде замкнутого треугольного контура были изготовлены из электроизолирующего песчаного бетона, приготовленного на речном кварцевом песке и предназначенного для производства асбестоцемента. Для стабилизации электроизоли-

рующих свойств бетонные траверсы после набора бетоном проектной прочности сушились, а затем пропитывались горячим раствором петролатума.

Предварительно напряженное армирование бетонных траверс стеклопластиковой арматурой диаметром 3 мм осуществлялись непрерывной обмоткой. Арматура на поверхности треугольного контура траверс располагалась в ранее предусмотренной канавке глубиной 4 мм и шириной 25 мм. Всего наматывалось семь витков арматуры. До обмотки в канавку и после обмотки на арматуру наносился трекингостойкий слой на основе эпоксидной смолы холодного отверждения. Провода на каждой вершине треугольного контура траверсы крепились к закладным стальным деталям.

В 1972 г. в районе Ставрополя сдан в эксплуатацию опытный участок ЛЭП-35 кВ с электроизолирующими стеклопластбетонными траверсами. Конструкция траверс была изменена и состояла из трех стеклопластбетонных элементов (лучей), предварительно напряженных армированием и соединенных между собой болтами на стальной пластине, которая хомутами закреплялась на вершине железобетонной опоры. Провода ЛЭП-35 кВ крепились к закладным стальным деталям, забетонированным на концах стеклопластбетонных электроизолирующих элементов (лучей).

Конструкции электроизолирующих стеклопластбетонных траверс, используемых на опытных участках линий электропередачи в районах городов Костромы и Ставрополя, имели большую собственную массу — до 100 кг. Кроме того, арматура, расположенная на поверхности элементов, могла подвергаться механическим повреждениям при транспортировании и монтаже траверс, а также воздействиям атмосферных осадков и солнечной радиации. Несмотря на это, эксплуатация стеклопластбетонных траверс в течение продолжительного времени подтвердила надежность их работы в реальных эксплуатационных условиях.

В связи с изложенным в ИСиА Госстроя БССР были продолжены работы по совершенствованию конструкций электроизолирующих траверс, и в начале 1975 г. в Белоруссии в районе расположения азотнотукового комбината в Гродно и нескольких комбинатов калийных удобрений в Солигорске были сданы в эксплуатацию два опытных участка ЛЭП-10 кВ с траверсами принципиально нового конструктивного решения.

Конструкция новой траверсы сборная трехлучевая, состоит из двух прямолинейных предварительно напряженных стеклопластбетонных элементов: горизонтального, на котором расположены два провода, и вертикального, на вершине которого крепится третий провод. Сборная траверса основанием вертикального элемента присоединена к железобетонной опоре ЛЭП с помощью стальных хомутов. Траверсы изготовлены из электроизолирующего бетона. Арматура — четыре стержня диаметром 6 мм — в

каждом элементе располагается в теле бетона по углам прямоугольного поперечного сечения. Предварительное напряжение арматуры при изготовлении элементов производится на упоры.

Расчет экономической эффективности составлен в ИСиА Госстроя БССР. Техничко-экономический анализ выполнен на примере металлических траверс ВЛ 6–10кВ со штыревыми фарфоровыми изоляторами и безызоляторными траверсами из электроизоляционного стеклопластика. Расчет производится по формулам сравнительной оценки экономической эффективности на стадии проведения строительно-монтажных работ при применении новых материалов и конструкций.

Годовой экономический эффект определяем по формуле

$$\mathcal{E} = A(C_2 - C_1) + E_n(K_2 - K_1),$$

где A — годовой объем строительства новых и модернизации старых ЛЭП 6–10 кВ; C_1 — стоимость на 1 км электролинии из стеклопластбетона при 12 опорах (стоимость одного комплекта траверс из стеклопластбетона, согласно калькуляции, равна 8,75 руб.), $C_1 = 8,75 \cdot 12 = 105$ руб.; C_2 — стоимость металлических траверс со штыревыми изоляторами на 1 км электролинии (сметная стоимость одной металлической траверсы равна 4,4 руб., одного изолятора — 3,1 руб.); $C_2 = 12(4,4 + 3,1 \cdot 3) = 164,4$ руб.; K_1 — капитальные вложения, расходуемые на траверсы из стеклопластбетона на 1 км сооружаемой ВЛ 6–10 кВ; $K_1 = 91,2$ руб. Указанный объем капитальных вложений является суммой капитальных вложений по трем главнейшим предприятиям, обеспечивающим выпуск стеклопластбетонных траверс:

капитальные вложения в предприятия, изготовляющие стеклопластбетонные конструкции, равные 26 руб. на 1 км линий электропередачи;

капитальные вложения в предприятия, изготовляющие стеклопластиковую арматуру, равные 9 руб. на 1 км линий электропередачи;

капитальные вложения в предприятия, изготовляющие мономер ФАМ, равные 56,2 руб. на 1 км линий электропередачи; K_2 — капитальные вложения, расходуемые на металлические траверсы и фарфоровые изоляторы для 1 км ВЛ 6–10 кВ, составляют 104,6 руб.; E_n — нормативный коэффициент экономической эффективности, равный 0,12.

Годовой экономический эффект от внедрения стеклопластбетонных, безызоляторных траверс на 1 км линии электропередачи составляет

$$\mathcal{E} = 1(164,4 - 105) + 0,12(104,6 - 91,2) = 61,01 \text{ руб.}$$

Электролизные ванны для предприятий цветной металлургии

Электролизные ванны на комбинатах цветной металлургии изготавливаются из железобетона с внутренней футеровкой винипластовым или свинцовым листом. Срок эксплуатации таких ванн не превышает обычно 3 лет.

На Усть-Каменогорском комбинате цветной металлургии трестом Средазцветметремонт совместно с ИСиА Госстроя БССР освоено массовое производство предварительно напряженных электролизных ванн из стеклопластбетона. Для изготовления таких ванн используется полимербетон на мономере ФАМ и предварительно напряженная стеклопластиковая арматура диаметром 6 мм. Размер ванны в плане 1080х2300 мм, высота 1650 мм, толщина стенки 100 мм. Стенки и днище ванны армируются двойной симметричной арматурой с шагом стержней 200 мм.

Ванны изготавливаются в формах, выполненных из стального листа, усиленного швеллерами. Предварительные сжимающие усилия при натяжении стеклопластиковой арматуры передаются на форму. Ванны бетонируются в положении вверх днищем. Внутри формы располагается пуансон, также изготовленный из стального листа. Конструкция пуансона при усадке полимербетона способна уменьшать свои габариты в плане на 10–15 мм, т.е.

с 1080х2300 до 1065х2285 мм. Для этого пуансон разрезан на четыре части. В разрезы в момент бетонирования вводятся стальные вкладыши. После бетонирования и вибрирования смеси навесными вибраторами вкладыши извлекаются. Такая конструкция пуансона исключает появление усадочных трещин в конструкции ванны. В нижней части наружных стенок формы устроены шарниры. После термообработки изделия и приобретения бетоном необходимой прочности стенки формы раскрываются поворотом их на осях шарниров, после чего ванна легко извлекается.

В процессе эксплуатации стеклопластбетонных электролизных ванн на Усть-Каменогорском комбинате цветной металлургии выявлены следующие их преимущества. Срок службы стеклопластбетонных ванн превышает 10 лет. Первоначальные затраты на их изготовление по сравнению с затратами на изготовление железобетонных ванн с футеровкой снижаются примерно в 1,5 раза. Более чем в три раза сокращаются производственные затраты, связанные с остановкой производства на замену ванн. Уменьшаются потери электроэнергии за счет утечки тока. Повышается качество цветного металла из-за отсутствия присадок свинца (от футеровки) или железа (от стальной арматуры).

Расчет экономической эффективности, получаемый от внедрения стеклопластбетонных электролизных ванн на Усть-Каменогорском комбинате цветной металлургии, выполнен трестом

Средазцветметремонт. Расчет ведется по формуле для одной электролизной ванны

$$\mathcal{E} = (C_1 - C_2) A$$

где C_1 — затраты на изготовление, монтаж и ремонт железобетонной ванны в течение 10 лет, равные 2044,06 руб.; C_2 — затраты на изготовление, монтаж ванны по смете из полимербетона при сроке службы 10 лет, равные 1028,56 руб.; A — годовой объем внедрения.

Экономический эффект на одну ванну без учета затрат, связанных с остановкой производства при замене железобетонных ванн, равен

$$\mathcal{E} = (2044,06 - 1028,56) 1 = 1015,5 \text{ руб.}$$

Список литературы

1. Буров А.К., Андреевская Г.Д. Синтетические волокнистые анизотропные структуры. М., 1952.
2. Андреевская Г.Д. Высокопрочные ориентированные стеклопластики. М., 1966.
3. Андреевская Г.Д., Зеленский Э.С., Куперман А.М. Методы получения ориентированных нетканых стеклопластиков. — Сб/АН СССР, ордена Ленина ин-т хим. физики. М., 1970.
4. Зак А.Ф. Физико-химические свойства стеклянного волокна. М., 1962.
5. Ребиндер П.А., Калиновская А.В. Понижение прочности поверхностного слоя твердых тел при адсорбции поверхностно-активных веществ. — ЖТФ, 1932, № 2.
6. Ребиндер П.А. Поверхностно-активные вещества. М., 1961.
7. Зак А.Ф., Манько Ю.П. Прочность и деформации стеклянного волокна при высоких температурах. — Труды/ВНИИСВ, 1953, № 4.
8. Жаврид С.С. Исследование противокоррозийной стойкости стеклопластиковой арматуры для бетонных конструкций. Автореф. дисс. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Минск, 1968.
9. Akhverdov I.N., Zhayrid S.S., Frolov N.P. Investigations into means of improvement of physical and mechanical properties and durability of glass — plastic reinfor — cement. — ritem, Paris, 1967.
10. Фролов Н.П., Кондратьева Ю.В., Скорынина И.С. Разработка оптимального технологического режима производства стеклопластиковой арматуры. — В кн.: Симпозиум по стеклопластиковой арматуре. Минск, 1974.
11. Скорынина И.С., Гуревич Ю.Б., Жукова Н.К. Исследование удаления растворителей из стеклопластиковой арматуры. — В кн.: Вопросы теплопепноса в процессах сушки и термообработки. Минск, 1978.
12. Жаврид С.С., Башлаков П.Е. Применение стеклопластиковой арматуры в бетонных конструкциях при воздействиях кислых агрессивных сред и солей. — Стр-во и архитектура Белоруссии, 1972, № 1.
13. Рубецкая Т.В., Алексея С.Н., Чуриков С.С. Железобетонные конструкции на предприятиях синтетических волокон. — Бетон и железобетон, 1965, № 9.
14. Ахвердов И.Н. Круглая стеклопластиковая арматура для армобетонных напорных труб. — Бетон и железобетон, 1965, № 9.
15. Хасанов Р.С., Хрулев В.М. Обследование клееных деревянных конструкций склада калийных солей. — Стр-во и архитектура Белоруссии, 1975, № 4.
16. Стеклопластиковая арматура. ТУ-7. Минск, 1976.
17. Рекомендации по расчету конструкций со стеклопластиковой арматурой. М., 1978.
18. Руководство по расчету и проектированию стальных форм. М., 1970.
19. Руководство по технологии предварительного напряжения стержневой арматуры железобетонных конструкций. М., 1972.
20. Руководство по проектированию предварительно напряженных железобетонных конструкций из тяжелого бетона. М., 1977.
21. Вильдавский Ю.М. Исследование физико-механических свойств стеклопластиковой арматуры и некоторых особенностей ее работы в изгибаемых бетонных элементах. Автореф. дисс. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. М., 1969.
22. Михайлов В.В. Сопrotивление срезу поперечной силой предварительно напряженных железобетонных балок при изгибе. М., 1960.
23. Тихомиров С.А. К вопросу о сопротивлении железобетонных балок действию поперечных сил при изгибе. Автореф. дисс. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Л., 1961.

24. Слепко Л.М. Некоторые результаты экспериментального исследования прочности прямоугольных предварительно напряженных железобетонных балок по наклонным сечениям. — Вопросы современного строительства. Львов, 1967, Вестник ЛПИ № 20.

25. Пекелис П.И. К вопросу прочности предварительно напряженных железобетонных балок при действии поперечных сил. — В кн.: Исследования по железобетонным конструкциям. Т. 1. Вильнюс, 1966.

26. Залого В.Ф. Исследование прочности по наклонным сечениям стеклопластбетонных и железобетонных балок без поперечного армирования. — В кн.: Повышение эффективности жилищно-гражданского строительства. Минск, 1971. Материалы научно-технической конференции. Раздел 1.

27. Строительные конструкции промышленных сооружений. М., 1946.

28. Разработка и исследование клееных деревянных и фанерных армированных конструкций. — Труды/ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, М., 1972. Вып. 24.

29. Методические рекомендации по технико-экономической оценке проектных решений промзданий и сооружений. М., 1973.

30. Руководство по определению экономической эффективности антикоррозионной защиты строительных конструкций промышленных зданий и сооружений. М., 1969.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие	3
Введение	4
Глава I. Материалы для изготовления стеклопластиковой арматуры . . .	7
Стеклоянное волокно	7
Полимерное связующее	15
Глава II. Технология стеклопластиковой арматуры	19
Технологическая схема процесса изготовления стеклопластиковой арматуры	20
Технологическая линия ТЛ-СПА-3 для производства стеклопластиковой арматуры	24
Глава III. Свойства стеклопластиковой арматуры	32
Прочность и деформативность арматуры	32
Химическая стойкость арматуры	37
Влияние температуры и влажности на физико-механические свойства арматуры	42
Электротехнические свойства арматуры	45
Области эффективного использования стеклопластиковой арматуры в строительных конструкциях	47
Глава IV. Конструкции со стеклопластиковой арматурой	52
Стеклопластбетонные конструкции	52
Деревянные клееные конструкции	78
Глава V. Экспериментальное строительство из предварительно напряженных конструкций со стеклопластиковой арматурой. Экономическая эффективность их применения	88
Склады минеральных удобрений из сборных стеклопластбетонных конструкций	88
Склады минеральных удобрений с применением трехшарнирных деревянных клееных арок	93
Панели междуэтажных перекрытий для предприятий синтетических волокон	95
Линии электропередачи со стеклопластбетонными траверсами без изоляторов	97
Электролизные ванны для предприятий цветной металлургии	100
Список литературы	102

Николай Прохорович Фролов

**СТЕКЛОПЛАСТИКОВАЯ АРМАТУРА И СТЕКЛОПЛАСТБЕТОННЫЕ
КОНСТРУКЦИИ**

Научный редактор канд. техн. наук В.Ф. З а л о г о

Редакция литературы по строительным
материалам и конструкциям

Зав. редакцией П. И. Ф и л и м о н о в

Редактор М. А. Г у з м а н

Мл. редактор З. М. Т е р е н т ь е в а

Внешнее оформление А.А. Б е к н а з а р о в а

Технический редактор И. В. Б е р и н а

Корректор А. В. Ф е д и н а

ИБ № 2563

Подписано в печать 6.6.80. Т-07470 Формат 84x108/32
Набор машинописный Печать офсетная Бумага офсетная 80 г/см²
Усл. печ л. 5,46 Уч.-изд. л. 6,46 Тираж 3270 экз. Изд. № АУШ-5156
Зак. № 848. Цена 65 коп.

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а

Тульская типография Союзполиграфпрома при
Государственном комитете СССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли
г. Тула, пр. Ленина, 109