

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»

Р.Г. Касимов, Т.К. Белова

# **ИННОВАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Учебное пособие

Рекомендовано ученым советом федерального государственного  
бюджетного образовательного учреждения высшего образования  
«Оренбургский государственный университет» для обучающихся  
по образовательной программе высшего образования по направлению  
подготовки 08.04.01 Строительство

Оренбург  
2021

УДК 691.3(075.8)  
ББК 38.626я73  
К28

Рецензент – кандидат технических наук, доцент С. А. Дергунов

**Касимов, Р. Г.**

К28      Инновации в строительстве и реконструкции зданий и сооружений [Электронный ресурс] : учебное пособие для обучающихся по образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 08.04.01 Строительство / Р. Г. Касимов, Т. К. Белова; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Оренбург : ОГУ. - 2021. - 119 с- Загл. с тит. экрана. с. ISBN 978-5-7410-2526-0

В учебном пособии изложены общие сведения о теоретических основах инновационных процессов, классификация и проблемы инновации. Содержатся общие сведения о нанотехнологии и наноструктурах, композиционных материалах. Приведены основные положения проектирования бетонных конструкций с композитной арматурой, а также численные примеры расчёта бетонных конструкций с композитной арматурой. Приведён перечень вопросов для самоконтроля усвоения материала и список литературы для углубленного изучения дисциплины.

Учебное пособие предназначено для обучающихся по программе высшего образования по направлению подготовки 08.04.01 Строительство

УДК 691.3(075.8)  
ББК 38.626я73

ISBN 978-5-7410-2526-0

© Касимов Р.Г.,  
Белова Т.К., 2021  
© ОГУ, 2021

## Содержание

Введение .....	5
1 Инновации .....	9
1.1 Термины и определения .....	9
1.2 Общие сведения.....	12
1.3 Теоретические основы инновации.....	13
1.4 Теория смены технологических укладов .....	17
1.5 Инновационный процесс .....	22
1.5.1 Этапы инновационного процесса .....	22
1.5.2 Понятие инновационной деятельности.....	24
1.5.3 Организационные формы инновационной деятельности .....	25
1.6 Классификация инноваций.....	30
1.7 Жизненный цикл инновации .....	34
1.8 Проблемы инноваций.....	38
1.9 Вопросы для самопроверки.....	39
2 Продуктовые инновации .....	41
2.1 Научные исследования при разработке инновационных технологий искусственных каменных материалов .....	41
2.2 Нанотехнологии, нанобетоны и композиты в строительстве и реконструкции... ..	45
2.3 Вопросы для самопроверки.....	58
3 Композитные строительные материалы .....	60
3.1 Общие сведения.....	60
3.2 Отличительные признаки композиционных материалов.....	65
3.3 Распространённые виды композиционных материалов, применяемых в строительстве .....	68
3.3.1 Композиционный бетон.....	69
3.3.2 Композиты на основе древесины.....	74
3.3.3 Композиционные материалы для армирования и усиление строительных конструкций .....	77
3.4 Композитная, стержневая арматура для армирования бетонных конструкций ...	90

3.5 Основные положения проектирования конструкций с композитной арматурой	97
3.5.1 Общие сведения об армировании бетонных конструкций композитными стержнями	97
3.5.2 Расчёт по прочности нормальных сечений по предельным усилиям	100
3.5.3 Расчёт по предельным состояниям второй группы	104
3.5.4 Расчёт прочности нормальных сечений	105
3.6 Примеры расчёта	105
3.6.1 Пример расчёта изгибаемого бетонного элемента, армированного композитной арматурой	105
3.6.2 Пример расчёта балки покрытия склада удобрений, армированной базальтопластиковой арматурой	106
3.6.3 Пример расчёта изгибаемого элемента, армированного стеклопластиковой арматурой без предварительного напряжения на образование трещин	108
3.6.4 Пример расчёта пустотной армированной композитной арматурой панели на образование трещин	109
3.7 Вопросы для самопроверки	114
Список использованных источников	116

## Введение

Одной из главных задач XXI века, поставленной на всемирном форуме по устойчивому развитию человечества, прошедшем в 2002 году в Йоханнесбурге, является необходимость сочетания социальных, экономических, высокотехнологических и экологических вопросов в решении глобальных проблем всей планеты, отдельно взятых стран и отраслей производства.

Современный этап в развитии мирового хозяйства называют «эпохой инноваций». Накопившийся опыт развития стран мира доказывает как эффективность, так и неизбежную закономерность инновационного развития территорий, являющегося залогом в обеспечении экономической безопасности и снижения зависимости от конъюнктуры мирового рынка.

В хозяйственных отраслях происходят глубокие структурные изменения благодаря новым технологиям, способствующим формированию новых отраслей, созданию новых рабочих мест. Экономико-социальный прогресс обеспечивается за счёт инновационного процесса производства новых знаний.

Инновационное развитие во всём мире обусловлено необходимостью постоянного повышения и удержания конкурентоспособности предприятиями. Использование инноваций даёт предприятиям возможность эффективно конкурировать на рынке, привлекать новых потребителей, улучшать финансовые результаты работ.

Коренной особенностью российской модели экономики является экспортно-сырьевой характер. Даже в период экономического подъёма 2002-2008 годов принципиально тенденции роста не изменились в связи с преобладанием экспорта топливно-сырьевых ресурсов и проявлением отчётливой тенденции замедления темпов прироста промышленного производства.

Основным направлением государственной экономической политики в России в данный момент является развитие инновационной деятельности. Несмотря на значимость и важность инноваций для экономики страны, развитие инновационной сферы в России имеет ограниченный характер. По статистике, в России внедряется

не более 10 % разработанных инноваций, и всего 9,4 % наших предприятий являются инновационными, в то время как в странах с развитой экономикой этот показатель составляет 30-45 %.

Стратегией инновационного развития строительной отрасли РФ до 2030 года определены основные приоритеты и направления государственной политики в строительной отрасли, задачи, мероприятия и целевые показатели на этот период, включая инновационную составляющую.

Разрабатывалась стратегия развития с учётом долговременных системных вызовов, отражающих как мировые тенденции, так и внутренние барьеры развития:

- усиление глобальной конкуренции;
- новая волна технологических изменений, усиливающая роль инноваций;
- формирование новой технологической базы, основанной, в том числе, на использовании цифровых технологий, искусственного интеллекта, биотехнологий и нанотехнологий;
- возрастание роли человеческого капитала как основного фактора экономического развития;
- исчерпание потенциала экспортно-сырьевой модели экономического развития РФ вследствие неустойчивой конъюнктуры мирового рынка энергоносителей.

Строительство, являясь одной из самых масштабных отраслей экономики, должно находиться в постоянном эффективном развитии, инструментом достижения чего является инновационный характер деятельности строительных организаций из-за высокой конкуренции на строительном рынке.

Инновации в строительстве – это различные новшества в строительных технологиях, архитектурно-конструктивных решениях зданий и сооружений, конструкционных и отделочных материалах, методах и инженерных решениях в организации и управлении строительством. Базой для новых открытий является сочетание достижений научного познания и накопленного опыта.

Низкая инновационная активность в России связана с рядом проблем:

- сокращение численности персонала, занятого в исследованиях и разработках;

- отток профессиональных кадров из сферы исследований и разработок в Европу и Америку;

- низкая финансовая активность, в том числе коммерческого сектора в деятельности, направленной на получение новых знаний и их практического применения (научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки НИОКР);

- низкая эффективность использования нашей страной знаний в целях её экономического и общественного развития;

- низкий уровень долгосрочного сотрудничества между корпоративным сектором, научными и образовательными учреждениями в вопросе коммерциализации научных разработок;

- недостаточная охрана и защита прав интеллектуальной собственности, создающая нестабильность и неопределённость в правовых и экономических отношениях.

На данный момент в стране сложились предпосылки существенной переориентации приоритетов государства, частного бизнеса и гражданского общества на активизацию инновационной деятельности, повышение роли науки и перевод экономики России на инновационный путь развития, являющиеся единственной возможностью преодоления глобальных социально-экономических кризисов, создающих угрозу устойчивого развития государства.

Учебное пособие предназначено для обучающихся по направлению подготовки 08.04.01 Строительство, магистерской программы «Теория и практика организационно-технологических и управленческих решений в строительстве», изучающих дисциплину «Инновационные высокотехнологические решения в строительстве».

Цель пособия – ознакомить будущих магистров с основами инновационного процесса, продуктовыми инновациями в строительстве, композитными материалами и областью их применения в строительстве, особенностями реализации инновационных проектов в сфере строительства.

Весь материал пособия разбит на три главы, каждая глава содержит несколько параграфов, в которых в доступной форме изложены основные положения по разделу. Каждая глава завершается перечнем вопросов для самопроверки усвоения материала.

Теоретический материал, необходимый для более глубокого изучения различных тем и обсуждения приведённых вопросов, можно найти в источниках, рекомендованных библиографическим списком пособия.



# 1 Инновации

## 1.1 Термины и определения

*Инновации* – введённый в употребление новый или значительно улучшенный продукт (товар, услуга) или процесс, новый метод продаж или новый организационный метод в деловой практике, организации рабочих мест или во внешних связях (в ред. Федерального закона от 21 июля 2011 г. № 254-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О науке и государственной научно-технической политике»);

*Инновационный проект* – комплекс направленных на достижение экономического эффекта мероприятий по осуществлению инноваций, в том числе по коммерциализации научных и (или) научно-технических результатов (в ред. Федерального закона от 21 июля 2011 г. № 254-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О науке и государственной научно-технической политике»);

*Инновационная инфраструктура* – совокупность организаций, способствующих реализации инновационных проектов, включая предоставление управленческих, материально-технических, финансовых, информационных, кадровых, консультационных и организационных услуг (в ред. Федерального закона от 21 июля 2011 г. № 254-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О науке и государственной научно-технической политике»);

*Инновационная деятельность* – деятельность (включая научную, технологическую, организационную, финансовую и коммерческую деятельность), направленная на реализацию инновационных проектов, а также на создание инновационной инфраструктуры и обеспечение ее деятельности (в ред. Федерального закона от 21 июля 2011 г. № 254-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О науке и государственной научно-технической политике»);

*Инновационный цикл* – периодически повторяющийся процесс последовательного создания инновационных продуктов – от выявления новой потребности и порождения идеи (концепции) до ее практического воплощения

(внедрения) и сбыта на рынке в рамках единого хозяйствующего субъекта или в рамках совокупности организаций, объединенных устойчивыми хозяйственными связями, и постоянно воспроизводящий инновационную инфраструктуру. (Приложение к проекту "Основы политики Российской Федерации в области развития национальной инновационной системы на период до 2010 года и дальнейшую перспективу");

*Жизненный цикл инновации* – период времени до момента коммерциализации или ожидаемый период окупаемости. На показатели продаж, приходящихся на технологии, технологически новые и технологически усовершенствованные виды продукции, напрямую влияет жизненный цикл товара. Они, как правило, выше для продуктовых групп с коротким жизненным циклом, в которых инновации появляются наиболее часто. Но инновации такого вида не всегда являются наиболее значительными или технологически передовыми. Высокая доля продаж технологически новых или значительно измененных видов продукции не обязательно свидетельствует о высоком уровне инноваций. Чтобы учесть влияние жизненного цикла товара на этот показатель, компании должны предоставлять данные о средней продолжительности жизненного цикла своей продукции. Эти данные могут быть использованы для взвешивания процентных долей. Альтернативный способ формулировки этого вопроса – насколько часто фирма представляет инновации. (В.И. Винокуров, Инновационная экономика, № 4, 2005 г.).

*Композиты (композиционный материал)* представляет собой неоднородный сплошной материал, состоящий из двух и более компонентов (материалов) с четкой границей раздела, среди которых можно выделить армирующие элементы, обеспечивающие необходимые механические характеристики материала и матрицу (или связующее), обеспечивающую совместную работу армирующих элементов.

*Матрица* – компонент непрерывный во всем объеме композиционного материала, а прерывистый, разъединенный в объеме композиции компонент называется *армирующим элементом (наполнителем)*.

*Нанометр* (русское обозначение – нм, международное – nm) – дольная единица измерения длины в Международной системе единиц (СИ) равная одной миллиардной части метра (т.е.  $1 \cdot 10^{-9}$  м).

*Нанотехнологии* – область фундаментальной и прикладной науки и техники, имеющая дело с совокупностью теоретического обоснования, анализа и синтеза, а также методов производства и применения продуктов с заданной атомной структурой путём контролируемого манипулирования отдельными атомами и молекулами.

*Новшество* – что-либо новое, вновь созданное, применённое и т.п., *нововведение* – это оформленный результат фундаментальных исследований и разработок в какой-либо сфере деятельности, являющийся промежуточным итогом. Этап деятельности по практическому рыночному использованию достижений науки и техники после того как новшество превращается в новый продукт, потребляемый на рынке, последний становится *нововведением (инновацией)*. В современной теории инноваций не проводится различия между терминами «нововведение» и «инновация» – они синонимы.

*Внедрение* – распространение нововведений, достижение практического использования прогрессивных идей, изобретений, результатов научных исследований.

*Открытие* – научное, новое достижение в процессе научного познания природы и общества. Объект специальной правовой охраны, им признаётся установление неизвестных ранее объективно существующих закономерностей, свойств и явлений материального мира, вносящих коренные изменения в уровне познания.

*Изобретение* – новое и обладающее существенными отличиями техническое решение задачи в любой области народного хозяйства, социально-культурного строительства или обороны, дающее положительный эффект. Право на изобретение удостоверяется авторским свидетельством или патентом.

*Патент* – документ, удостоверяющий государственное признание технического решения изобретением и закрепляющий за лицом, которому он выдан исключительное право на изобретение.

*Предприниматель* – лицо, имеющее своё дело в целях получения прибыли в форме оказания услуг, торговли или производства, человек, осуществляющий предпринимательскую деятельность.

*Риск в инновационной деятельности* – это вероятность потерь при вложении средств в производство новых товаров (услуг) в разработку новой техники и технологий. Понятие риск включает неопределённость событий, когда возможен не единственный сценарий развития.

*Инновационный процесс* – последовательное преобразование научного знания в инновацию, т.е. в цепь событий, в ходе которых инновация вызревает от идеи до конкретного продукта, технологии или услуги и распространяется при практическом использовании на коммерческой основе.

## **1.2 Общие сведения**

История развития человеческого общества с древнейших времён (каменный, бронзовый, железный века) и в настоящее время неразрывно связана с открытием и освоением новых материалов, технологий, знаний, в результате чего научно-технический прогресс не стоял на месте и в настоящее время находится на высочайшем уровне.

В современном мире нововведения играют огромную роль в экономической и хозяйственной деятельности общества. Основную роль в формировании характера этого влияния играет инновационное развитие. Это условное нововведение, которое может состояться в области организации труда, техники, технологии, управления, новых материалов и др.

В отличие от научно-технического прогресса инновационный процесс не заканчивается, так называемым внедрением – первым появлением на рынке нового продукта, услуги или доведением до проектной мощности новой технологии.

Новшества – это результат интеллектуальной деятельности, обладающий признаками новизны по сравнению с существующими аналогами. В науке и технике новшествами являются *открытия* (установление неизвестных ранее, объективно существующих закономерностей, свойств и явлений материального мира, вносящих изменения в познание природы), *изобретения* (выдающиеся изобретения, если в их основ лежит открытие), *рационализаторское предложение* (предлагаемые технические решения, обладающие относительной новизной или новые для данной отрасли, организации, рынка).

Практическое использование новшества с момента технологического освоения производства и масштабного распространения в качестве новых продуктов и услуг является нововведением-инновацией (англ. *innovation* – нововведение, новшество, обновление (лат. *novation*)).

### **1.3 Теоретические основы инновации**

Трактовок термина «инновация» довольно много в научно-технической литературе. В широком смысле инновации – это все виды нововведений, которых не было раньше и которые повышают эффективность социально-экономических систем и процессов в различных отраслях: науке, технике, экономике, образовании, искусстве и др. Инновация – это новые или усовершенствованные технологии, виды товарной продукции, услуг, организационно-технические решения различного характера, способствующие продвижению технологий, товарной продукции на рынок, являясь конечным результатом деятельности по реализации нового или усовершенствованного продукта.

Потребность в инновациях возникает под воздействием как внешних, так и внутренних факторов. К внешним относятся: конкурентная борьба, задачи завоевания новых рынков, изменение политической, демографической, правовой ситуации и пр.; к внутренним – неблагоприятные условия труда, рост производственных затрат.

Поскольку новшествами, как правило, нельзя воспользоваться без специальных знаний, важную роль в деле их реализации играют «ноу-хау» - информация, необходимая для их практического применения (технологические и конструкторские секреты производства, конфиденциальные сведения коммерческого, управленческого и организационного характера). Она специально опускается в описании, т.к. в большинстве случаев не охраняется патентами. Основными признаками «ноу-хау» считаются промышленная и коммерческая ценность и закрытость. Таким образом, инновации представляют собой внедрённые новшества, востребованные рынка и только те, которые существенно повышают эффективность технических, производственных и социально-экономических систем.

Необходимо отличать инновации от:

- несущественных видоизменений в продуктах и технологических процессах (например, эстетические изменения – цвета, формы и т.п.);

- незначительных технических или внешних изменений в продуктах, оставляющих неизменными конструктивное исполнение и не оказывающих достаточно заметного влияния на параметры, свойства, стоимость изделия, а также входящих в него материалов и компонентов;

- расширения номенклатуры продукции за счёт освоения производства не выпускавшихся прежде на данном предприятии, но уже известных на рынке продуктов, с целью удовлетворения текущего спроса и увеличения доходов предприятия.

Новизна инноваций оценивается по технологическим параметрам, а также с рыночных позиций. С учётом этого строится классификация инноваций, в литературе приведён их ряд.

Термин «инновация» предложил впервые в 1930 году экономист, политолог, социолог Й.А. Шумпетер, который рассматривал экономику как специфическую систему комбинаций производственных факторов и ресурсов, где каждая из них имеет исключительно уникальный способ соединения производительных сил, с помощью которых и создаётся новый продукт.

Шумпетер обосновал основные положения нововведений:

- 1) введение нового продукта, неизвестного потребителям, или нового вида продукта;
- 2) внедрение нового вида производства;
- 3) открытие нового рынка, на котором ранее данная отрасль промышленности не была представлена;
- 4) открытие нового источника сырья;
- 5) внедрение новой организационной структуры в какой-либо отрасли промышленности.

По определению Й. Шумпетера инновация является новой комбинацией производственных факторов, мотивированная предпринимательским духом. В своей теории учёный обосновал ведущую роль инновации в процессе экономического развития, которое происходит не только за счёт увеличения национальных запасов и средств производства, но и собственно перераспределения производственных средств, принадлежащих старым комбинациям, в пользу новых. Й. Шумпетером было введено в экономическую науку разграничение между экономическим ростом – это увеличение производства и потребления одних и тех же товаров и услуг со временем, и экономическим развитием – это появление чего-то нового, неизвестного ранее или инновации.

Пять типичных изменений в экономическом развитии на основе инновации по Шумпетеру:

- 1) использование новой техники, новых технологических процессов или нового рыночного обеспечения производства (купля-продажа);
- 2) внедрение продукции с новыми свойствами;
- 3) использование нового сырья;
- 4) изменения в организации производства и его материально-технического обеспечения;
- 5) появление новых рынков сбыта.

Понятие базовых и вторичных инноваций было представлено учёным в 1939 году в работе «Конъюнктурные циклы». Базовая инновация реализует созданное изобретение и способствует формированию новых технологий и возникновению

менее значительных (вторичных) инноваций, образующих инновационные пучки – кластеры (совокупность базисных инноваций, реализуемых в единый момент времени).

По утверждению Й. Шумпетера нововведения появляются не равномерно, а определёнными группами-кластерами, к зарождению которых приводят новые научные открытия. В настоящее время эта концепция является основой практически всех современных концепций научно-технического развития. Особое внимание в реализации инновационной деятельности учёный уделял предпринимателям-новаторам, которые стремятся получить большую прибыль за счёт осуществления инновации и которые являются активными элементами процесса экономического развития страны. Предприниматель не является изобретателем, он лишь реализует результаты научных открытий и изобретательской деятельности, являясь инноватором. Предприниматель отличается от менеджера (исполнителя), который выполняет работу только по управлению хозяйственными процессами. В современном мире инновации становятся определяющим фактором динамичного развития, трансформации и конкурентоспособности социально-экономических систем во всём мировом пространстве.

Одним из первых исследователей сущности инновации в России был Н.Д. Кондратьев, который эмпирически установил, что есть короткие и длинные циклы капиталистического производства (К-волны). Впервые в работе «Большие циклы конъюнктуры» (1925 г.) он обосновал теорию больших циклов продолжительностью примерно в 50 лет, ввёл понятие длинной волны, характеризующее влияние радикальных инноваций на мировое промышленное развитие. Он доказал, что переход к новому циклу связан с расширением запаса капитальных благ, создающих условия массового внедрения накопившихся изобретений. К таким инновациям Кондратьев относил изобретение паровых машин, строительство железной дороги, электроэнергетику и автомобилестроение.

В российской теории инновации чередование деловых циклов принято связывать со сменой технологических укладов в общественном производстве.



## **1.4 Теория смены технологических укладов**

Существенным вкладом в развитие инноваций как теории является разработка российскими экономистами (С. Глазьев, В. Маевский, А. Дагаев, Ю. Яковец и др.) теории смены технологических укладов.

Понятие «технологический уклад» введёно в начале 1990-х годов в научный оборот С.Ю. Глазьевым. Технологический уклад (волна) – совокупность технологий, характерных для определённого уровня развития производства. В связи с научным и технико-технологическим прогрессом происходит переход от более низких укладов к более высоким, прогрессивным. В рамках одного технологического уклада осуществляется добыча первичных производственных ресурсов, прохождение всех стадий их переработки и выпуск набора конечных продуктов, удовлетворяющих соответствующему типу общественного потребления. Ядром технологического уклада является совокупность базисных технологических процессов, которые лежат в основе соответствующих научных, технических и технологических совокупностей и связанных между собой определёнными однотипными технологическими цепями.

Переход от уклада к укладу сопровождается революционными преобразованиями в производстве, производительности труда, усложнением хозяйственных связей и отношений, высокими темпами роста объектов прибыли, внедрением базисных инноваций.

Смена за счёт внедрения инновации каждого технологического уклада новым сопровождается серьёзными сдвигами в международном разделении труда, изменением конкурентоспособности стран.

Критерием отнесения производства к определённому технологическому укладу является использование в данном производстве технологий, присущих этому укладу, либо технологий, обеспечивающих выпуск продукции, которая по своим техническим либо физико-химическим характеристикам может соответствовать продукции данного уклада.

По результатам анализа эмпирических данных технологический уклад имеет фазы развития и определяется периодом времени около 100 лет (рисунок 1.1). Первая фаза приходится на его зарождение и становление в экономике предшествующего технологического уклада.

Вторая фаза связана со структурной перестановкой экономики на базе новой технологии производства и соответствующей периоду доминирования нового технологического уклада в течение примерно 50 лет.

Третья фаза приходится на отмирание устаревающего технологического уклада.

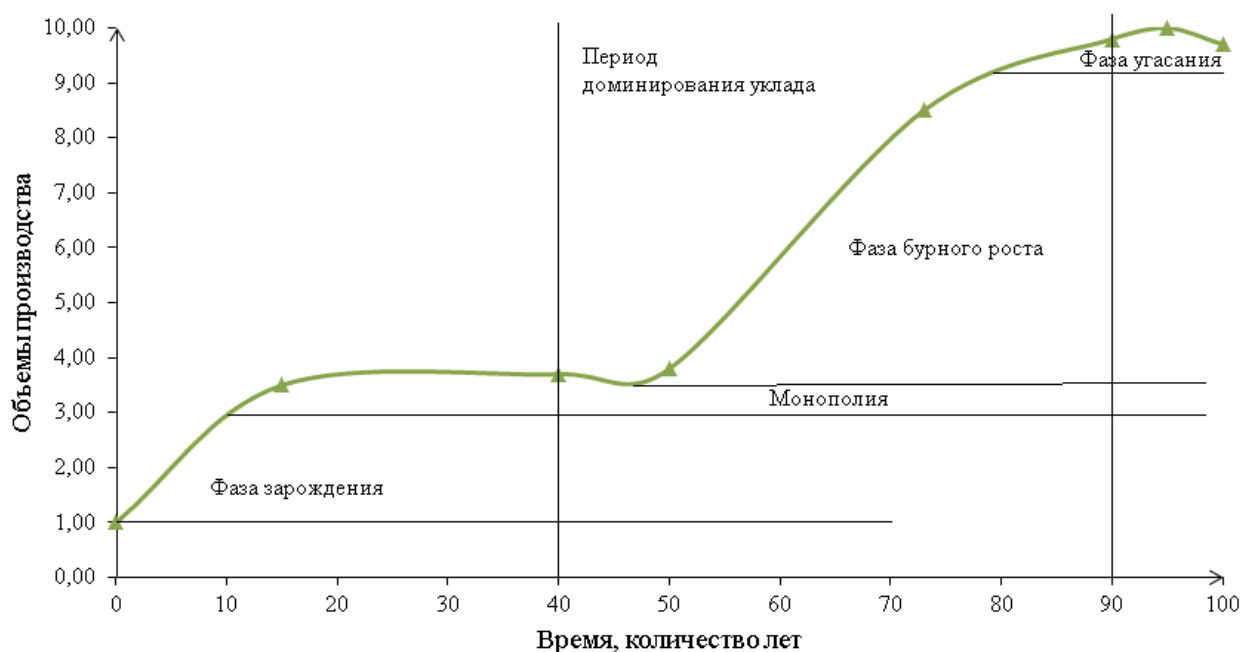


Рисунок 1.1 – Фазы развития технологического уклада

Первый технологический уклад (1770-1830 годы) – первая промышленная революция характеризуется изобретением и внедрением текстильных машин, что повлекло за собой развитие текстильной промышленности и текстильного машиностроения, потребовало больше чугуна и железа для изготовления станков. Для приведения станков в движение необходим источник энергии. Это привело к строительству каналов для обеспечения работы водяных двигателей и транспортировки товаров. Лидерами стала, в первую очередь, Великобритания, затем Франция и Бельгия.

Стали появляться заводы и фабрики с узкоспециализированным разделением труда между её работниками. Предметная система труда, при которой ремесленник изготавливал изделие от начала и до конца, уступила место операционной. Теперь рабочий выполнял только отдельные операции по изготовлению конечного продукта – быстро, качественно, дешево. Воцарился прагматичный капитализм, резко поменявший социальное устройство и мировоззрение общества. Вместо лавок ремесленников, торгующих только тем, что сами сделали, стали появляться прототипы современных магазинов, предлагающие многообразные товары промышленного производства.

Второй технологический уклад (1830-1880 годы) – «эпоха пара» в связи с созданием парового двигателя. Его появление позволило производству сделать энергетически независимым от рек. Появилась возможность размещать фабрики и заводы в больших городах, где есть рабочая сила и необходимая инфраструктура. Впервые у человека появился свой рукотворный источник энергии, мощный и компактный, который можно пометить на корабль и даже на самодвижущуюся повозку. Символом изменений стала железная дорога. Хотя поначалу многие просвещенные люди того времени предсказывали неудачу этой диковинке. При пуске первой железной дороги в России на первый поезд посадили солдат, так как у специалистов были опасения, что при такой огромной скорости в 60 км/ч от быстрой смены пейзажей человек может сойти с ума. Но с ума никто не сошел, а там, где прокладывалась железнодорожная ветка, жизнь резко изменялась.

Бурно развивалось машино-, пароходостроение. Это вызвало развитие станкоинструментальной промышленности, черной металлургии. Основным энергоносителем стал уголь, что привело к золотому веку угольной промышленности.

К группе мировых лидеров добавляется Германия и США. Увеличивается концентрация производства, и города становятся еще больше.

Третий технологический уклад (1880-1940 годы), получивший название «эпоха стали», базировался на применении в промышленности электроэнергии, развитие тяжёлого машиностроения и электрической промышленности, новых

открытий в области неорганической химии. Внедрены радиосвязь, телеграф, автомобили, самолёты. Применяются цветные металлы, пластмассы, алюминий. Началась концентрация банковского и финансового капитала.

Четвёртый технологический уклад – «эпоха нефти» (1930-1990 годы) связан с дальнейшим развитием энергетики с использованием нефти, газа, новых синтетических материалов, массовым производством автомобилей, тракторов, самолётов, вооружения, товаров массового потребления, появлением компьютеров, программных продуктов, использованием атома в военных и мирных целях.

Пятый технологический уклад (1985-2015 годы) базируется на достижениях в области микроэлектроники, информатики, биотехнологий, генной инженерии, новых видов энергии, материалов, освоении космического пространства, спутниковой связи.

Шестой технологический уклад при сохранении нынешних темпов технико-экономического развития вступил в фазу распространения в 2010-2020 годах, а в фазу зрелости вступит в 2040-е годы.

Новым катализатором технического прогресса становятся нанотехнологии. Они определяют появление генной инженерии, развитие альтернативной энергетики, новых конструкционных материалов, лекарств и т.п.

Для становления нового технического уклада требуются очень «наукоёмкие вложения». Экономика будет основана на знаниях, но знания будут рассматриваться лишь с точки зрения их товарной ценности. Увеличится роль науки в экономике: сама наука станет основной инновацией. Сейчас: пока везде в мире ухудшается уровень образования на фоне духовного и культурного обнищания масс.

Характерные признаки технологических укладов представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Характерные признаки технологических укладов

№ п/п	Период, годы	Название	Основные достижения	Продукция уклада
1	1770-1830	Первая промышленная революция	изобретение и внедрением текстильных машин, развитие промышленности и транспорта	текстильные станки
2	1830-1880	«Эпоха пара»	создание парового двигателя, пуск первой железной дороги	продукция станкоинструментальной промышленности, черной металлургии
3	1880-1940	«Эпоха стали»	применение в промышленности электроэнергии, развитие тяжёлого машиностроения и электрической промышленности, новые открытия в области неорганической химии, внедрение радиосвязи, телеграфа, автомобилей, самолётов	продукция тяжелого машиностроения, электрической промышленности, автомобили, самолеты
4	1930-1990	«Эпоха нефти»	развитие энергетики с использованием нефти, газа, новых синтетических материалов	автомобили, тракторы, самолёты, оружие, товары массового потребления, компьютеры, программные продукты
5	1985-2015	-	достижения в областях микроэлектроники, информатики, биотехнологий, геномной инженерии, новых видах энергии, материалов, освоении космического пространства, спутниковой связи	продукция в области биотехнологий, микроэлектроники, геномной инженерии
6	2010 по настоящее время	-	развитие нанотехнологии, альтернативной энергетики, новых конструкционных материалов, лекарств и т.п.	продукция нанотехнологий

Меры, предлагаемые в рамках концепции технологических укладов, легко соотносятся с концепцией устойчивого развития: «инновационная экономика», «экономика, основанная на знаниях» (knowledge-based economy), «интеллектуальное

общество». Хотя в России эти слова совсем не означают научную организацию как экономики, так и общества.

## 1.5 Инновационный процесс

Инновационный процесс – последовательная цепь событий от этапов исследования и разработок новой технической идеи до этапов практического внедрения на рынок или в производство – процесс последовательного превращения идеи в товар (новую продукцию, технологию и др.).

Суть инновационного процесса и его отличия от обычной текущей деятельности представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Отличия инновационного процесса от текущей деятельности

Параметры	Инновационный процесс	Текущая деятельность
1 Цель	удовлетворение новой потребности	удовлетворение сложившейся потребности
2 Риск	высокий	низкий
3 Тип процесса	дискретный	непрерывный
4 Управляемость	низкая	высокая
5 Отношение к текущим интересам участников	противоречит	соответствует
6 Результат системы	переход на новый уровень	сохранение на прежнем уровне

### 1.5.1 Этапы инновационного процесса

#### 1 Фундаментальные исследования

Фундаментальные исследования, сбор и систематизация информации по соответствующей проблеме о потребностях и тенденциях развития.

Цель – осознание потребности и возможности изменений, познание явлений окружающего мира и открытие новых закономерностей его развития, генерирование перспективных идей, их отбор, определение возможности реализации.

Этот этап делится на:

- теоретический, когда формируются новые научные подходы к проблеме и теории;

- поисковый, в результате которого формируются принципы создания изделий и технологии.

## 2 Прикладные исследования

Назначение – определение способов применения результатов предыдущего этапа и их уточнение, разделяют на: теоретические и экспериментальные. Разрабатываются лабораторные технологии и методы испытаний, изготовление и испытание макетов и образцов новых изделий, нестандартного оборудования. Конечный результат этапа – технического задание, рекомендация, образец.

## 3 Опытно-конструкторский этап

Опытно-конструкторские разработки для создания новых образцов, прошедших испытания и пригодных для производственного и коммерческого использования.

Опытно-конструкторские разработки проходят 6 стадий:

- 1) разработка заказчиком технического задания с требованиями к изделию – принципы работы, конструктивные особенности, габариты, вес, КПД, цена;
- 2) формулировка предложений, содержащих технико-экономических обоснований целесообразности создания изделия;
- 3) изготовление эскизного проекта, содержащего чертежи общего вида, принципиальные схемы, расчёт основных эксплуатационных показателей;
- 4) подготовка на основе эскизного проекта конструкции, узлов, наиболее сложных деталей, пояснительной записки с технико-экономическим обоснованием, расчёт эксплуатационных издержек;
- 5) создание рабочего проекта, содержащего полное описание конструкции объекта и включающего всю документацию, необходимую для его изготовления, монтажа, эксплуатации;
- 6) изготовление, испытание, доводка опытного образца.

## 4 Освоение производства нового изделия

На этом этапе проводится оценка рыночных перспектив, финансовых возможностей, проверка на соответствие стандартам, обеспеченности патентной защиты, отсеивание неперспективных вариантов, подготовка производственных

мощностей, разработка и проектирование технологических и организационных процессов, освоение и выпуск новой техники, её массовый выпуск и сбыт, распространение, тиражирование и многократное повторение на других объектах. Одновременно с производством инновационный процесс включает потребление.

Блок-схема этапов инновационного процесса представлена на рисунке 1.2.

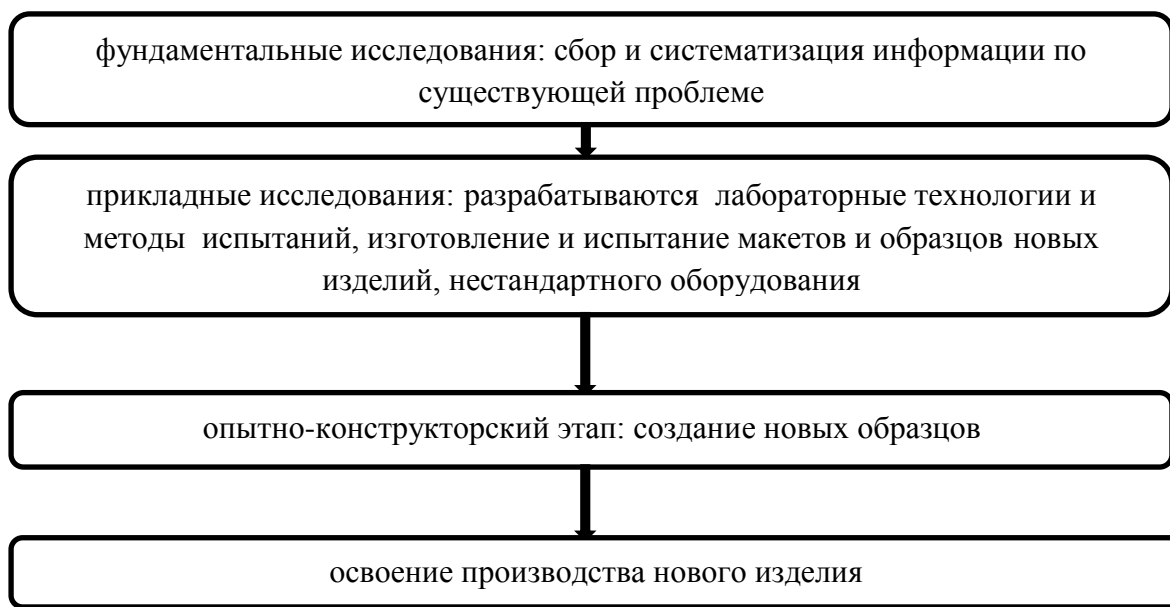


Рисунок 1.2 – Этапы инновационного процесса

Таким образом, инновационный процесс охватывает цикл от разработки идеи до её реализации на коммерческой основе.

### 1.5.2 Понятие инновационной деятельности

Основу инновационного процесса составляет инновационная деятельность, предполагающая осуществление целого комплекса научных, технологических, организационных, финансовых, коммерческих мероприятий, направленных на создание и внедрение новшества.

Виды инновационной деятельности:

1 Подготовка и реализация производства, его освоение, маркетинг и реклама новых продуктов.



2 Приобретение вещественных и невещественных технологий, патентов, лицензий, торговых марок, «ноу-хау».

Результатом инновационной деятельности на этапах фундаментальных, поисковых, прикладных исследований является интеллектуальный продукт, становящийся объектом интеллектуальной собственности и товаром.

На этапе фундаментальных исследований это научные знания, теории, открытия; на этапе прикладных исследований это результаты научно-исследовательских работ; на этапах проектных, опытно-конструкторских и технологических работ это научно-технические проекты в области создания наукоёмких инжиниринговых систем с кадровым сопровождением; на этапе освоения производства нового изделия это опытные образцы и установочные партии новой техники и новых материалов, изготовленные по результатам выполненных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ НИОКР.

К результатам инновационной деятельности можно отнести: мелкосерийную и малотоннажную продукцию, изготовленную на экспериментальной базе ВУЗов и НИИ; программную продукцию; научно-производственные услуги с использованием уникальной аппаратуры; услуги в области информатики, информационного, метрологического, патентно-лицензионного обеспечения НИОКР и производства; консалтинговые услуги: хорошее знание и эффективное использование рыночных возможностей.

### 1.5.3 Организационные формы инновационной деятельности

Организационные формы инновационной деятельности довольно многообразны (рисунок 1.3).

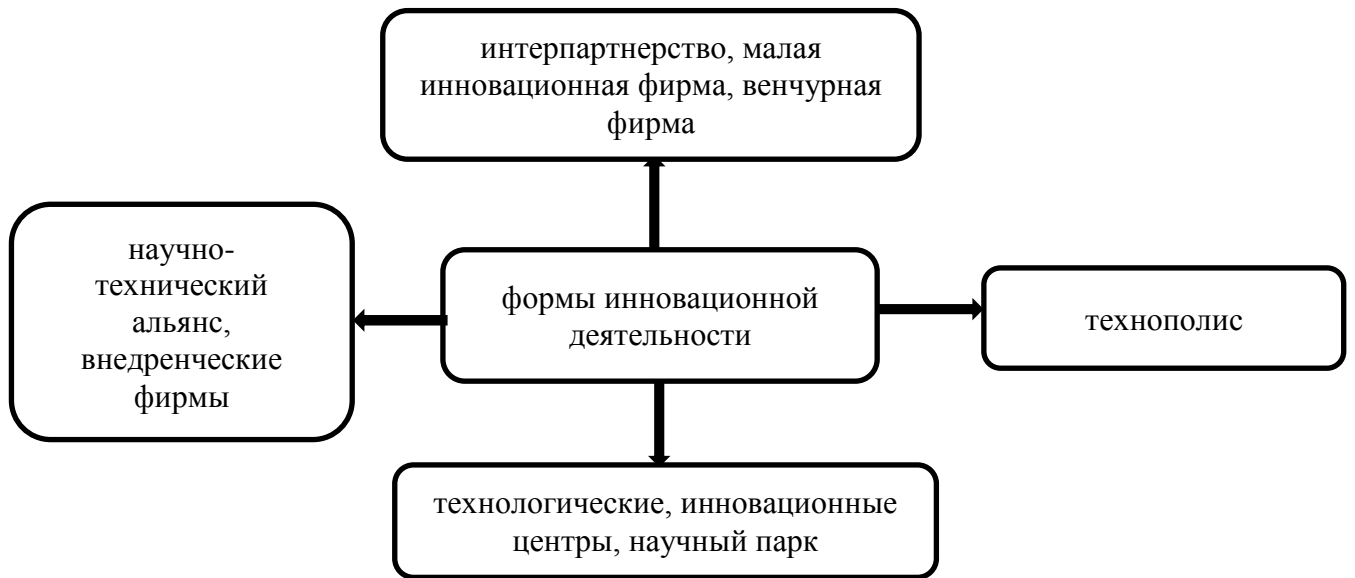


Рисунок 1.3 – Формы инновационной деятельности

1) Интерпартнерство, малая инновационная фирма, венчурная фирма и типы венчуров

Интерпартнерство представляет собой наиболее простую внутрифирменную форму инновационно-предпринимательской деятельности, когда инициативный творческий работник (интерпартнер) при поддержке администрации сам имеет возможность осуществить нововведения. Оно позволяет реализовывать новые формы деловой активности, создает возможности внутрифирменной реализации идей, самостоятельного выбора нового направления деятельности и внедрения на рынок в качестве независимого контрагента; дальнейшей модификации организационных структур для поддержки инноваций.

Малая инновационная фирма является небольшим коллективом профессионалов, действующим самостоятельно или в составе крупной организации, специализируется на узком направлении инновационной деятельности и имеет возможность быстрой переориентации. Эта мобильность особо важна в таких сферах, как электроника, робототехника, новые конструкционные материалы, биотехнология, связанных с повышенным риском.

Венчурная фирма создается учеными и изобретателями, покинувшими крупные фирмы, научные учреждения или университеты. Их деятельность часто финансируется крупными компаниями, которые сами не решаются осуществлять инновации, но стремятся их контролировать. В случае успеха они получают готовое научно-техническое достижение.

Как правило, сами по себе венчурные фирмы не прибыльны, так как не занимаются организацией производства, но ими создается до 60% новшеств, например, ксерокс, микропроцессор, персональный компьютер. Они могут быть дочерними у более крупных фирм или самостоятельными.

Выделяют следующие типы венчуров:

Внутренний венчур – это автономное в административном и хозяйственном отношении подразделение, которое создается в структуре организации на период разработки и внедрения наукоемкой продукции. В его основе лежат идеи сотрудников фирмы, отобранные специальной службой. Подразделение, возглавляемое авторами проектов, в течение обусловленного срока проводит разработку новшества и готовит проект запуска его в производство.

Внешний венчур является мобильной временной независимой малой компанией, занимающейся инновациями межотраслевого характера.

2) Технологический, инновационный центры, научный парк

Технологический центр, представляющий собой разновидность исследовательского центра, создается в США на средства федерального или местного бюджета, как правило, для привлечения ученых и студентов к разработке новых идей. За умеренную плату разработчики обеспечиваются помещением, оборудованием, кадрами на срок от 1 до 3 лет, за который они могут самостоятельно стать на ноги или найти солидный источник финансирования.

Научный парк формируется вблизи крупного научного центра или ВУЗа, обладающих развитой инфраструктурой, и ориентируется на осуществление инновационного процесса, разработку новых технологий и программного продукта. Такая структура основывается на пространственном соединении творческой деятельности с необходимой для нее материальной базой.

В собственном смысле слова научный парк представляет собой территорию, пригодную для размещения инновационных предприятий различного размера и охватывающих различные стадии исследований, а также маломасштабных производств, основанных на научно-технических разработках местного исследовательского центра. Если новшество разрабатывается только до стадии опытного образца, такое образование получило название исследовательский парк.

Инкубатор (США), или инновационный центр (Западная Европа), является специальной экономической структурой, предназначенной для первоначальной поддержки небольших вновь образованных инновационных компаний, созданных под руководством ученых и специалистов, для доработки новых научно-технических идей и доведения их до образования новых стартовых или полноценных наукоемких компаний.

Обычно инкубатор создается местными властями либо крупными компаниями на срок до 3 лет для реализации инновационного проекта. ВУЗы за оплату предоставляют землю, помещения, лабораторное оборудование, необходимые услуги. Инвесторами проектов могут быть также физические лица.

3) Технополис как разновидность научного парка специализируется на прикладных исследованиях и разработках с целью коммерциализации их результатов.

«Спин-оф» (фирмы-отпрыски) – это отделившиеся от ВУЗов, государственных исследовательских центров и лабораторных крупных компаний малые инновационные организации, созданные с целью коммерческого внедрения нетрадиционных проектов. Обычно они субсидируются государством через различные некоммерческие центры и университеты.

Научно-экспериментальная, финансово-экономическая, социально-культурная инфраструктура, объединенная вокруг научного центра и предназначенная для поддержки самостоятельных малых научно-технических организаций, творческих коллективов и отдельных ученых в деле внедрения результатов НИР в новую технику и технологию и распространению их на рынке, получила название технопарк.

Сосредоточенный в рамках региона комплекс научных учреждений фундаментального и прикладного характера, ВУЗов, конструкторских и внедренческих предприятий, венчурных фирм, банков, промышленных предприятий, организующих производство на базе новшеств образуют технополис. Он объединяет полный инновационный цикл, включая подготовку кадров. Первый технополис «Силиконовая долина» появился в США в 1950-х годах.

Для организации высокотехнологичной деятельности в крупных исследовательских организациях и университетах создаются технологические центры.

Организационной формой инновационной деятельности сообщества вновь создаваемых территориально близких предприятий в сфере «наука-производство» является учредительный центр («промышленный двор»). Он включает общие здания, в которых расположены фирмы, управляемые головной компанией, облегчающие консультирование.

С конца 1980-х годов одной из особенностей научно-технической деятельности стало быстрое увеличение числа межфирменных соглашений (научно-технических альянсов) с НИОКР, нацеленных на решение долгосрочных коммерческих задач в связи с глобальным распространением новых технологий. Причинами их появления стали усложнение и удорожание научных исследований и разработок, сохранение продолжительности жизненного цикла товаров. Это обеспечивает разделение расходов и уменьшение рисков.

#### 4) Научно-технический альянс, внедренческие фирмы

Научно-технический альянс представляет собой устойчивое объединение фирм различных размеров с университетами и государственными лабораториями на основе соглашения о совместном финансировании НИОКР, разработке или усовершенствовании выпускаемой продукции. Каждый из участников вносит свой вклад в виде имеющихся у него материальных или интеллектуальных ресурсов, а после получения результатов согласно договору получает право на свою долю интеллектуальной собственности.

Внедренческие фирмы реализуют проекты, находящиеся на пороге промышленного освоения, и могут обеспечить им быструю окупаемость. Для этого они проводят их доработку, промышленное испытание и освоение.

Выделяют несколько видов таких фирм.

1) эксплеренты (пионерные фирмы) занимаются продвижением новшеств на рынок. С целью уменьшения риска создаются типовые схемы финансирования на срок, за который необходимо добиться успеха. Когда новинка создана, они заключают контракт с крупной фирмой для ее разработки.

2) патенты работают на узкий сегмент рынка и удовлетворяют потребности, сформированные под воздействием моды, рекламы и др. Они действуют на этапе роста выпуска продукции с целью расширения рынка. Такие фирмы уже прибыльны.

3) виоленты обладают крупным капиталом, высоким уровнем технологии и обеспечивают крупносерийный и массовый выпуск продукции.

4) коммутанты действуют на этапе снижения объема выпуска и осуществляют изменения с учетом требований рынка.

## **1.6 Классификация инноваций**

Важным составляющим элементом научно-технического методологического обоснования инновационных процессов является классификация инноваций, основанная на последовательной деятельности с целью установления порядка, определения структуры и систематизации конкретных нововведений. Среди специалистов и ученых, исследующих влияние инноваций и инновационных процессов в обществе, существуют различные подходы к классификации инноваций по ряду признаков:

- по степени радикальности, значимости в экономическом развитии – подразделяют на: базисные, улучшающие и псевдоинновационные (рационализирующие);

- по направленности результатов инновации делят на продуктовые и процессные. Продуктовые инновации охватывают внедрение новых или усовершенствованных продуктов. Они включают применение новых материалов, новых полуфабрикатов и комплектующих, получение новых продуктов. Процессные инновации делятся на технологические – новые технологии производства продукции; организационно-управленческие – новые методы организации производства, транспорта, сбыта и снабжения, новые организационные структуры управления и социальные – улучшение условий труда, отдыха, удовлетворение потребностей человека в услугах здравоохранения, образования, культуры.

Достаточно полную классификацию инноваций предложил А.И. Пригожин в работе «Нововведение: стимулы и препятствия» (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Классификация инноваций по А.А. Пригожину

Признак классификации	Виды инноваций
1 По распространенности	1.1 единичные; 1.2 диффузные
2 По месту в производственном цикле	2.1 сырьевые; 2.2 обеспечивающие (связывающие); 2.3 продуктовые
3 По преемственности	3.1 замещающие; 3.2 отменяющие; 3.3 возвратные; 3.4 открывающие; 3.5 ретровведения
4 По охвату ожидаемой доли рынка	4.1 локальные; 4.2 системные; 4.3 стратегические
5 По инновационному потенциалу и степени новизны	5.1 радикальные; 5.2 комбинаторные; 5.3 совершенствующие

Четвертый и пятый признаки классификации, учитывающие масштаб и новизну инноваций, интенсивность инновационного изменения, в наибольшей степени выражают количественные и качественные характеристики инноваций и имеют значение для экономической оценки их последствий и обоснования управленческих решений.

П.Н. Завлин в работе «Оценка эффективности инновации» предлагает классифицировать инновации по 12 признакам:

- по значимости;
- по направленности;
- по отраслевой структуре жизненного цикла;
- по глубине изменения;
- по отношению к разработке;
- по масштабам распространения;
- по роли в процессе производства;
- по характеру удовлетворяемых потребностей;
- по степени новизны;
- по времени выхода на рынок;
- по причинам возникновения;
- по предмету и сфере приложения.

В работе Мюмера М.У. «Сущности и квалификация инноваций» классификации инноваций представлены в единой схеме (таблица 1.4). Данная классификация позволяет путём опроса и паспортизации провести диагностику субъектов инновационного предпринимательства, выделить основные особенности каждого кластера и зафиксировать основные группы субъектов инновационного предпринимательства.

Таблица 1.4 – Обобщённая классификация инноваций по признакам

Инновации	
1	2
<p>1 С точки зрения циклического развития:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– крупнейшие;</li> <li>– крупные;</li> <li>– средние;</li> <li>– мелкие</li> </ul>	<p>2 С точки зрения интенсивности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– нулевого порядка;</li> <li>– первого порядка;</li> <li>– второго порядка;</li> <li>– третьего порядка;</li> <li>– четвертого порядка;</li> <li>– пятого порядка;</li> <li>– шестого порядка;</li> <li>– седьмого порядка</li> </ul>



Продолжение таблицы 1.4

1	2
<p>3 В зависимости от степени использования научных знаний:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основанные на фундаментальных научных знаниях;</li> <li>– на научных исследованиях с ограниченной областью применения;</li> <li>– на существующих научных знаниях; на комбинации различных типов знаний;</li> <li>– на использовании одного продукта в различных областях;</li> <li>– на побочных результатах крупных программ;</li> <li>– на уже известной технологии</li> </ul>	<p>4 По возможности планирования жизненного цикла:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– нововведения, воплощающие научные идеи, революционизирующие производительные силы и закрепляющиеся в их составе, как новый неотъемлемый элемент (объект прогноза);</li> <li>– качественные сдвиги в отдельных элементах производительных сил, означающие смену поколений техники при сохранении исходного фундаментального принципа (объект долгосрочного характера); количественные изменения, улучшение отдельных параметров (объектов текущего и перспективного планирования)</li> </ul>
<p>5 С точки зрения структурной характеристики:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– на входе;</li> <li>– на выходе;</li> <li>– инновации структуры предприятия</li> </ul>	<p>6 По способу:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– экспериментальные;</li> <li>– прямые</li> </ul>
<p>7 С точки зрения увязки с отдельными сферами деятельности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– технологические;</li> <li>– производственные;</li> <li>– торговые;</li> <li>– социальные</li> </ul>	<p>8 По уровню управления:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– народнохозяйственные;</li> <li>– отраслевые;</li> <li>– территориальные;</li> <li>– первичного звена управления</li> </ul>
<p>9 В области управления:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– продукции;</li> <li>– процессов (технологических);</li> <li>– рабочей силы;</li> <li>– управленческой деятельности</li> </ul>	<p>10 По срокам выполнения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– 20 и более лет;</li> <li>– 15-20 лет;</li> <li>– 5-10 лет;</li> <li>– до 5 лет</li> </ul>
<p>11 По степени охвата жизненного цикла:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– НИОКР, освоение и применение;</li> <li>– НИОКР, теоретические</li> </ul>	<p>12 По объёму:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– точечные;</li> <li>– системные;</li> <li>– стратегические</li> </ul>
<p>13 По отношению к предыдущему состоянию процесса (системы):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– заменяющие;</li> <li>– отменяющие;</li> <li>– открывающие;</li> <li>– ретроинновации</li> </ul>	<p>14 По назначению направленные на:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– эффективность реализации;</li> <li>– эффективность производства;</li> <li>– улучшение условий труда;</li> <li>– повышение качества продукции</li> </ul>
<p>15 По источнику планирования:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– центральные;</li> <li>– локальные;</li> <li>– спонтанные</li> </ul>	<p>16 По результативности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– внедрённые и полностью используемые;</li> <li>– внедрённые и слабо используемые;</li> <li>– не внедрённые</li> </ul>

## 1.7 Жизненный цикл инновации

Мировая экономика в целом является цикличной с меняющейся мировой конъюнктурой, что доказано учёными. Возникло большое число понятий, связанных с цикличностью экономических процессов и явлений. Одним из распространённых понятий стало понятие жизненного цикла, представленного как ряд последовательных этапов, начиная с выполнения теоретических и производственных инноваций, включая последовательную разработку, освоения и применения новой научно-технической идеи, улучшение технико-экономических параметров выпускаемой продукции, её ремонтные и иное обслуживание и завершается моментом, когда эта продукция подлежит замене качественно новой, более эффективной. Существует ряд определений этого понятия и подходов к инновационным циклам.

Жизненный цикл инновации представляют собой определенный период времени, в течение которого инновация обладает активной жизненной силой и приносит производителю или продавцу прибыль или другую реальную выгоду (рисунок 1.4). Цикл означает совокупность взаимосвязанных процессов, работ, образующих законченный круг развития в течение какого-либо промежутка времени. Жизненный цикл продукта – это время его существования на рынке или концепция, описывающая сбыт продукции с момента поступления изделия на рынок и до его снятия с производства и замены другим, более востребованным рынком, товаром. Таким образом, жизненные циклы товара и инновации не совпадают полностью. Жизненный цикл инноваций заканчивается раньше, чем жизненный цикл продукта. Инновационный процесс перестает быть инновационным после выхода продукта на рынок. В качестве стартовых позиций инновационного процесса могут фигурировать различные стадии жизненного цикла, что отличает жизненный цикл инновации от жизненного цикла продукта.

## Инновационная деятельность и маркетинг



Рисунок 1.4 – Жизненный цикл инновации

Жизненные циклы инновации различаются по видам инновации. Эти различия затрагивают прежде всего общую продолжительность цикла, продолжительность каждой стадии внутри цикла, особенности развития самого цикла, разное количество стадий.

Виды и количество стадий жизненного цикла определяются особенностями той или иной инновации. Однако, у каждой инновации можно определить основу жизненного цикла с его выделенными стадиями. В типичном жизненном цикле нового продукта выделяют следующие стадии:

- 1 стадия – разработки нового продукта,
- 2 стадия – выход на рынок;
- 3 стадия – развитие рынка;
- 4 стадия – стабилизация рынка;
- 5 стадия – уменьшение рынка.

На 1 стадии разработки рождаются идеи новой продукции. Проводятся маркетинговые исследования с целью прогнозирования возможного спроса на товар. Предприятие должно определить на какие продукты и на какие рынки следует обратить основное внимание. Необходимо сформулировать чего именно стремится

достичь предприятия с помощью новинок: получения больших доходов, доминирующего положения в рамках определенной части рынка или иных новых целей.

Существует множество источников идеи для создания новинок. Один из них – потребители. За их нуждами потребностями следят с помощью опросов клиентуры, групповых обсуждений, анализа поступающих жалоб и предложений, чтобы найти именно те потребности, которые в настоящее время нуждаются в удовлетворении. Данные идеи превращают в замыслы товаров. Замысел товары – это проработанный вариант идеи, выраженный значимыми для потребителя понятиями. Проверка замысла продукта предусматривает опробование его на соответствующей группе целевых потребителей, которым представляют проработанные варианты всех замыслов. Рыночные исследования на основе пробного маркетинга показывают перспективу товара на рынке.

2 стадия выведения на рынок начинается с момента распространения продукта и поступления его в продажу. Процедура выведения продукта на рынок требует времени, сбыт в этот период обычно растёт медленно. На данной стадии жизненного цикла товара обычно начинается «новичок» или «знак вопроса». Покупатель ознакомится с товаром, привыкает к нему. Для этапа внедрения характерны низкий объем продаж, высокие расходы, низкая доля прибыли на единицу продукции, незначительная конкуренция. Затраты на стимулирование достигают в это время наивысшего уровня, что связано с необходимостью концентрации усилий на продвижение новинки. Необходимо информировать потенциальных потребителей о новом, неизвестном им, продукте, побудить их к опробованию товара и обеспечить этому товару распространение через предприятия торговли. Производителей на данном этапе немного, они выпускают только основные варианты продукта, поскольку рынок еще не готов к восприятию его модификации. Предприятия фокусирует свои усилия по сбыту на потребителях, наиболее подготовленных к совершению покупки. Цены на этом этапе обычно повышенные.

На 3 стадии роста (развития рынка) из-за существенного повышения роста спроса товара называют «звездой». Сбыт на этой связи зависит от процесса

признания и распространения товара. Продолжительность этапы роста показывает время, в течение которого новый продукт активно продаётся и рынок насыщается этим продуктом. На этой стадии возможно превышение спроса над предложением, увеличение прибыли, стабилизация цен и расходов на рекламу. Хотя рынок растёт быстро, но характер спроса очень изменчивый. Продление периода интенсивного роста объёма продаж и быстрого роста рынка можно достичь, повышая качество, модифицируя новинки, придавая им дополнительные свойства, проникая в новые сегменты рынка, используя новые каналы распространения, своевременно снижая цены для привлечения новых потребителей.

4 стадия замедления роста (зрелости, насыщения). Товар на 4 стадии стабилизации рынка называют «дойной коровой». Этот этап характеризуется замедлением темпов роста объёмов продаж, по мере насыщения рынка стабилизируется сбыт продукции и снижается потребление на душу населения. Возрастает конкуренция, достигая своего максимума. Покупки совершает массовый рынок со средними доходами, формируются группы постоянных покупателей. На продукцию устанавливают гибкие цены, предоставляются скидки, что ведёт к сокращению прибыли на единицу продукции. Для улучшения положения может быть использована стратегия улучшения качества, с целью совершенствования главных характеристик товара. Это действие даёт эффект, если качество товара можно улучшить.

На 5 стадии – стадии падения рынка происходит резкое снижение объёма продаж продукции, падение его до нуля. На этой стадии происходит полная реализация продукта или полное прекращение продаж продукта из-за его ненужности покупателю. Развитие бизнеса многих предприятий базируется на чётко выстроенном процессе управления жизненным циклом продукции, ведут к целому ряду последствий, негативно сказывающихся на всей деятельности предприятия.

## 1.8 Проблемы инноваций

Одной из проблем инновации является досрочное моральное устаревание элементов производственной системы при сохранении их нормального физического состояния. Инновации требуют осуществления нововведения в смежных областях, что нарушает стабильность и установившиеся «статус-кво».

При доходности инновационной деятельности значительно большей, чем от других видов деятельности, по совокупности технологии в долгосрочной перспективе каждая из технологий предполагает:

- высокий риск (только 1-3 % из всех проектов будут прибыльными);
- большие затраты (в 200-500 раз больше, чем на создание технологии);
- длительный период развития (5-7 лет).

Перечисленные причины вызывают нежелание у частных инвесторов вкладывать деньги в развитие науки. Кроме того, сдерживающим фактором развития инновационной деятельности в строительстве являются:

- большие издержки ввода объектов в эксплуатацию;
- нехватка финансовых ресурсов, необходимых для инновационных исследований;
- преобладание на строительном рынке мелких фирм, не имеющих для внедрения инновационных ресурсов;
- зависимость строительного процесса от климатических условий;
- отсутствие связей, способствующих обмену опытом между строительными и научно-исследовательскими центрами;
- низкий уровень поддержки инновационной деятельности со стороны государства (таблица 1.5).

Таблица 1.5 – Достоинства и недостатки инновации

Достоинства	Недостатки
<p>1 Возможность реализации творческих планов и достижения собственных жизненных целей.</p> <p>2 Высокая степень самостоятельности и свободы в принятии решений.</p> <p>3 Возможность осуществления собственных инновационных идей.</p>	<p>1 Высокая степень персональной ответственности за успех предпринимательской деятельности.</p> <p>2 Невозможность учёта всех факторов риска при начале предпринимательской деятельности.</p> <p>3 Высокая техническая неопределённость инноваций</p>
<p>4 Высокая вероятность успеха за счёт профессиональной (технической) компетенции учредителя.</p> <p>5 Возможность утвердить высокий имидж и творческое признание инновационного успеха.</p>	<p>определяет высокий коммерческий риск предпринимателя.</p> <p>4 Повышение интенсивности труда и изменение структуры затрат времени.</p> <p>5 Появление несвойственных ранее новых видов деятельности в качестве менеджера.</p> <p>6 Снижение возможностей заниматься собственными исследованиями и разработками.</p> <p>7 Необходимость развития специфических свойств и навыков в области коммуникаций, координации и экономики.</p>

## 1.9 Вопросы для самопроверки

- 1 Причины инновационного развития в современном мире.
- 2 Главные задачи XXI века по устойчивому развитию человечества.
- 3 Инновации в строительстве.
- 4 Причины низкой инновационной деятельности в строительстве России.
- 5 Определение «инновация».
- 6 Определение «инновационный процесс».
- 7 Внешние и внутренние потребности в инновациях.
- 8 Основные положения теории нововведений И.А. Шумпетера.
- 9 Определение «кластер».
- 10 Определение «предприниматель».
- 11 Теории коротких и длинных циклов капиталистического производства по Н.Д.Кондратьеву.
- 12 Теория смены технологических укладов (Глазьев С., Маевский Р., Дагаев А., Яковец и другие).

- 13 Ядро технологического уклада.
- 14 Фазы развития технологического уклада.
- 15 Характерные признаки 1, 2, 3, 4, 5, 6 технологических укладов.
- 16 Инновационный процесс и его суть.
- 17 Этапы инновационного процесса.
- 18 Понятие инновационной деятельности.
- 19 Результаты инновационной деятельности.
- 20 Интерпартнерство, малая инновационная фирма, венчурная фирма и типы венчуров.
- 21 Технологический, инновационный цикл, научный парк.
- 22 Научно-технические альянсы, внедренческие фирмы.
- 23 Классификация инноваций.
- 24 Жизненный цикл инновации – сущность.
- 25 Отличие жизненного цикла инновации от жизненного цикла продукта.
- 26 Стадии жизненного цикла инновации.
- 27 Проблемы инноваций.



## **2 Продуктовые инновации**

В промышленных производствах продуктовые инновации включают в себя разработку и внедрение в производство технологически новых и значительно технологически усовершенствованных продуктов. Технологический новый продукт – это продукт, чьи технологические характеристики (функциональные признаки, конструктивное выполнение, дополнительные операции, а также состав применяемых материалов и компонентов) или предполагаемое использование являются принципиально новыми, либо существенно отличаются от аналогичных ранее производимых организацией продуктов. Такие инновации могут быть основаны на принципиально новых технологиях, либо на использовании или сочетании существующих технологий, либо на использовании результатов исследований и разработок.

### **2.1 Научные исследования при разработке инновационных технологий искусственных каменных материалов**

Современное строительство включает в себя множество различных видов работ и технологических процессов, каждый из которых имеет возможности реализовываться инновационным путем. Формами строительных инноваций могут быть строительные технологии, материалы, методы и инженерные решения в организации и управлении, архитектурные и конструктивные решения строительных объектов. Инновации затрагивают не только новое строительство, в стране значительную часть жилого фонда, общественных и производственных зданий составляют объекты, прослужившие 50 и более лет, сохранение эксплуатационных качеств которых требует проведение ремонтно-восстановительных работ, реконструкции, модернизации. Применение инновационных материалов и технологий при ремонтно-восстановительных работах позволяет увеличить межремонтные сроки, повысить энергоэффективность, надёжность усиливаемых конструкций, сократить сроки проведения

реконструкционных работ с перепрофилированием или перепланировкой, увеличить долговечность строительных объектов, снизить материальные затраты, обеспечить соответствие современным стандартам, снизить загрязнение окружающей среды.

При современном состоянии развития строительной индустрии наиболее востребованными качествами являются инновационные решения в области строительных материалов: конструкционных, отделочных, вспомогательных, ремонтных и других. О перспективности работ по новым строительным материалам говорит тот факт, что почти четверть патентов приходится на эту область. В современном строительстве востребованы материалы многофункционального назначения или такие, которые могли бы намного превосходить по своим свойствам уже известные материалы.

Для их получения нужны «прорывные» технологии – технологии завтрашнего дня. В настоящее время к высокотехнологичным и наукоёмким строительным материалам относятся композиционные строительные материалы (композиты), композиты на основе дисперсно армированных бетонов, материалы, полученные с применением нанотехнологий, позволяющие с меньшими трудовыми и энергетическими затратами получать материалы и изделия с качеством, намного превосходящим существующие, и недоступными до сих пор свойствами.

Исследования, направленные на лучшее понимание процессов, происходящих в природе, и подражание им является одним из наиболее перспективных областей в нанотехнологиях. С помощью современного оборудования атомно-силовой микроскопии, применения наноразмерных материалов исследования: ядерный магнитный резонанс; атомно-силовая микроскопия; определение микро- и нанотвёрдости; нейтронные и рентгеновские рассеяния; ультразвуковая силовая микроскопия; ионно-лучевая нанотомография появилась возможность наблюдать структуру на атомном уровне и даже измерять прочность, твёрдость и другие основные свойства микро- и нанофаз в материалах.

Нанотехнологии (НТ), считающиеся сердцевинной шестого технологического уклада, это способы получения наноструктур с целью их использования для резкого

повышения физико-механических, технологических и ряда других свойств материалов.

К наноструктурам, имеющим хотя бы в одном направлении размер от 1 до 100 нм относятся следующие объекты:

1 наночастицы (НЧ) – это тела наноразмерные во всех трёх направлениях (рисунок 2.1);

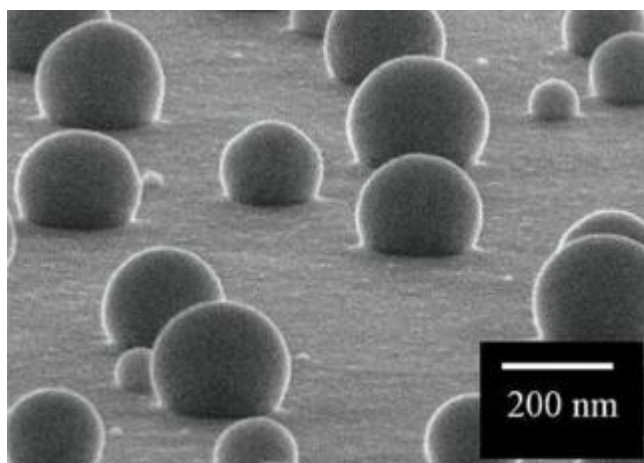


Рисунок 2.1 – Наночастицы

2 нанотрубки (НТР) – цилиндры, у которых диаметр наноразмерный, а длина намного больше (рисунок 2.2);

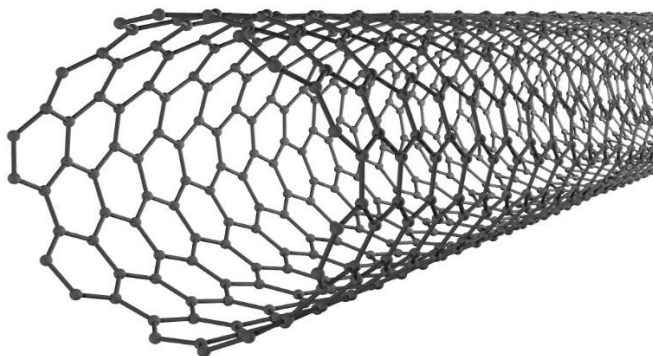


Рисунок 2.2 – Нанотрубка

3 наноплёнки (НП) – свободные плёнки, у которых наноразмерная только толщина (рисунок 2.3);

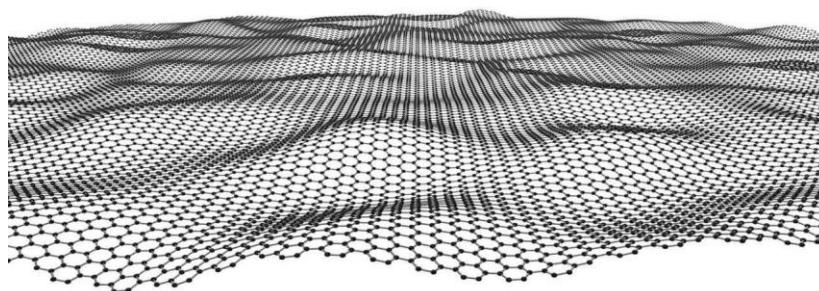


Рисунок 2.3 – Нанопленка

4 нанопокрытие (НПК) – это плёнка, зафиксированная на подложке, у которой наноразмерная только толщина;

5 наносuspензии (НС) – это взвеси твёрдых НЧ в жидкости;

6 наноземульсии (НЭ) – это взвеси жидких НЧ в жидкости, в которых они нерастворимы;

7 нанокластер (НК) – это НЧ упорядоченного строения размером до 5 нм, содержащие до 1000 атомов (рисунок 2.4). Обычно НК образуют атомы металла.

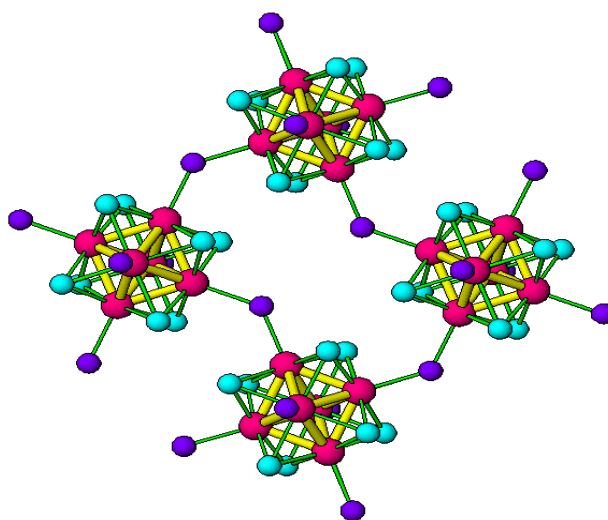


Рисунок 2.4 – Нанокластеры

Наиболее перспективные современные разработки включают в себя синтез новых форм углерода: фуллерена (C<sub>60</sub>), углеродных нанотрубок (например, одностенных), графена. Синтезы одностенных нанотрубок осуществляется в строго

контролируемых условиях в присутствии катализатора. Области применения нанотрубок очень широки – от наноэлектронных устройств и игл для зондовых микроскопов до биологических и химических датчиков.

## **2.2 Нанотехнологии, нанобетоны и композиты в строительстве и реконструкции**

Большой интерес к нанотехнологиям, наноматериалам в XXI веке и рост инвестиций в них, отмечаемый и во всём мире, связан с высоким потенциалом экономического роста, которые могут обеспечить нанотехнологии. Появившийся новый класс материалов, обладающий необычной атомно-кристаллической решёткой и уникальными свойствами, получил название наноматериала – материала с размером элементов менее 100 нм ( $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ). Нано в переводе с греческого – карлик. Один нанометр равен одной миллиардной части метра. На этом расстоянии вплотную можно расположить 10 атомов. По геометрическим признакам эти элементы можно разделить на нольмерные атомные кластеры (пучки) и частицы, одно и двухмерные мультитела, трёхмерный объёмные нанокристаллические и нанофазные материалы.

Наноматериалы – это природные или намеренно сконструированные называемые «нано-ноль» композиты, которые содержат более чем одну фазу, но все фазы менее 100 нм. Вошедшее в обиход понятие «нанотехнология» обозначает процессы получения наноматериалов, а также технологические процессы получения приборов, устройств, конструкций с применением наноматериалов.

Открытие наноматериалов предшествовали открытия в области физики, химии. В 1931 году был создан электронный микроскоп, в 1982 году был создан сканирующий туннельный микроскоп, в 1986 году атомно-силовой зондовый микроскоп, позволяющий наблюдать атомно-молекулярное строение поверхности монокристаллов в нанометровом диапазоне размеров. Пространственное разрешение приборов составляет 1/100 нанометра по нормам к поверхности. Началом интенсивного развития нанотехнологии считают 1984 год – год открытия

американскими учёными-химиками фуллерена – молекулы, состоящей из 60 атомов углерода, расположенных в форме сферы – новой формы существования углерода, самой знаменитой наночастицы НЧ (рисунок 2.5).

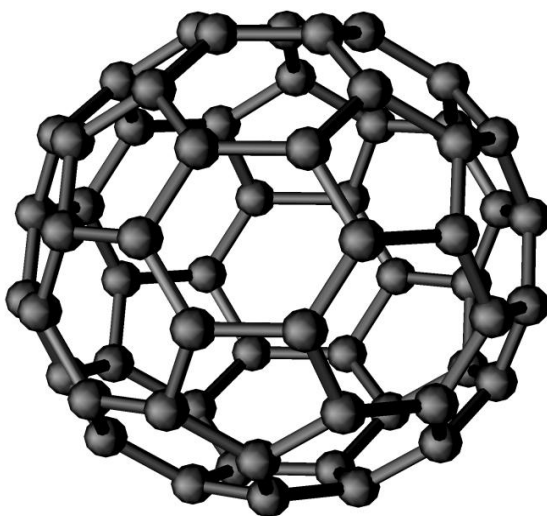


Рисунок 2.5 – Фуллерен C60

В 1991 году был открыт ещё один вид углеродных наночастиц НЧ – нанотрубки, совокупность свойств которых превзошла таковую для фуллерена. Нанотрубки – протяжённые цилиндрические структуры диаметром в несколько нанометров. По своей прочности при растяжении они более чем на порядок превосходят сталь, при этом плотность их в 6 раз меньше плотности стали.

За открытие наночастицы, точнее наноструктуры – графен в 2010 году авторам открытия присуждена была Нобелевская премия.

Нанотехнологии становятся мощным толчком в развитии научно-технического прогресса, в том числе строительной индустрии. На промышленной основе приступают к изготовлению материалов с недоступными до сих пор свойствами, в частности новых строительных материалов на основе портландцемента: бетона, железобетона, нанобетона, сухих строительных смесей. Сдерживающим фактором в применении фуллерена и нанотрубок является их цена. Стоимость фуллерена и нанотрубки в натуральном виде очень высокая и применение их привело бы к сильному удорожанию продукта. Благодаря отечественным разработкам были получены фуллероиды – наночастицы,

производство которых значительно дешевле, но эффективность их сохранена на уровне фуллерена.

В строительной отрасли на данный момент уже применяют большое количество современных материалов с использованием нанотехнологий. Это теплоизоляционные материалы, краски, лаки, эмали, наногели, нанопокртия, способные накапливать солнечную энергию, модификаторы для бетонов, армирующие волокна, высокоэффективные вяжущие и наполнители, активные минеральные добавки и др. Нанодобавки позволяют получать новые инновационные строительные композиты с уникальными свойствами. Обычные бетоны заменяются многокомпонентными, модифицированными, компьютерное проектирование состава бетона позволяет получать материалы с требуемыми свойствами.

Введение в исходные цементные смеси небольшого количества наночастиц различных видов заметно улучшает показатели свойств продукта. Вводимые наночастицы получили название наномодификаторов (НМ), использование – наномодифицирование.

Благодаря исследованиям учёных в области наномодификации металлов и сплавов, была получена высокопрочная сталь, не имеющая аналогов по показателям прочности и вязкости, идеально подходящая для возведения различных дорожных и гидротехнических объектов. Нанопокртия стальных конструкций многократно повышают их коррозионную стойкость и увеличивают срок службы даже в агрессивных средах.

Нанонаука и наноинженерия (наномодификация) композиционных материалов на основе цемента являются терминами, характеризующими два основных направления в нанотехнологии строительных материалов. Нанонаука изучает структуру используемых материалов на нано- и микроуровне с помощью передовых методов исследования и моделирования на атомном или молекулярном уровне, чтобы понять, как структура влияет на макроскопические свойства. Наноинженерия включает в себя способы манипулирования объектами в нанометровом масштабе с целью создать новое поколение многофункциональных композиционных материалов с высокими механическими показателями и долговечностью,

обладающих также рядом новых свойств: низкое электрическое сопротивление, возможность самоконтролирования, самоочищения, самовосстановления и другие.

Лучшее понимание структуры вещества на наноуровне помогает влиять на важные характеристики и процессы, связанные с производством и использованием строительных материалов: прочность, трещиностойкость, коррозия. Для наружных и внутренних работ очень важны разработки красок и отделочных материалов со свойствами самоочищения, устойчивости к изменению цвета, защиты «антиграффити», высокой устойчивостью к царапинам и погодным условиям. По новейшей технологии производства фасадных красок в неё добавляют частицы серебра, которые полностью разрушают различные микробные заражения, краска не выцветает, не токсична для человека. Нередко инновации рождаются благодаря нанотехнологиям, которые позволяют избирательно изменять свойства поверхности, чтобы они могли соответствовать желаемой функциям. Самоочищающиеся бетоны, строительные растворы и краски на водной основе были разработаны на основе фотокаталитических процессов. Фотокаталитические свойства можно также использовать для создания цементных материалов, способных генерировать энергию.

Начало экспериментальным исследованиям с нанодобавками в строительных материалах было положено в конце XX века. Было замечено, что при добавлении в состав углеродных нанотрубок в количестве от 0,001 до 0,0001 % от доли связующего вещества, прочностные и другие характеристики полученного материала повышаются до 40 % (рисунок 2.6), а по некоторым параметрам – в 2-3 раза за счёт содействия нанодобавками росту кристаллов в минеральном веществе, и их лучи, переплетаясь между собой, придают материалу более высокую прочность.



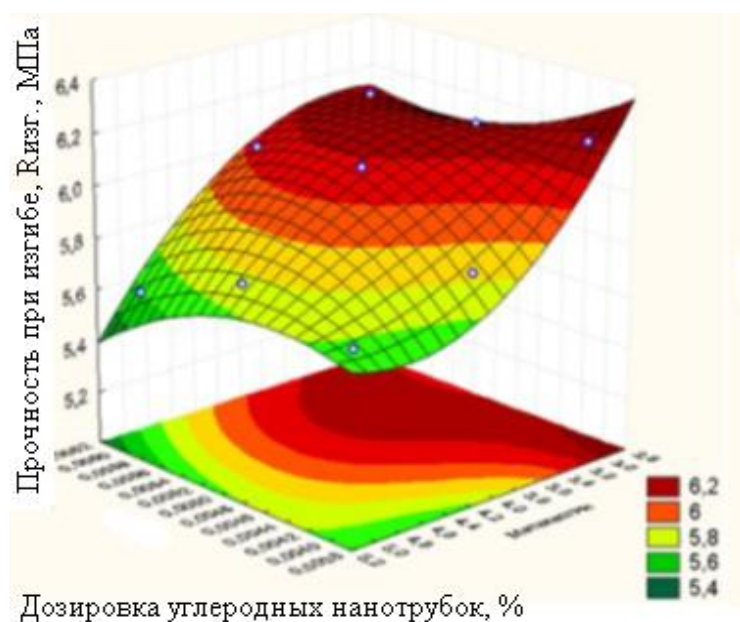


Рисунок 2.6 – Зависимость прочности при изгибе бетонных образцов от дозировки углеродных нанотрубок

Этот процесс назвали дисперсным самоармированием. Результаты применения вместо песка базальтовой микрофибры превзошли все ожидания. Также было установлено, что применение вместо наночастиц более дешёвых наночастиц – астраленов, даёт хорошие результаты. В итоге был разработан высокопрочный, высококачественный бетон, имеющий умеренную стоимость, устойчивый к агрессивным средам и перепадам температур. Оптимальным волокном для этих целей оказалось базальтовое, которое было легче стального, не вызывало коррозию и с существенно более низкой ценой и превосходило полипропиленовые и стеклянные микрофибры.

Исследования, направленные на получение бетона с заданными свойствами, улучшающими имеющиеся физико-химические и другие характеристики в соответствии с назначением и условиями эксплуатации, ведутся с XIX века. Однако прорыв в этом направлении произошел в конце XX начале XXI века.

К первому способу получения нанобетона относится применение планетарных мельниц домола портландцемента до наночастиц. Вторым способом получения нанобетона, получившим широкое практическое применение, стало введение в

цементные слои наномодификаторов, в частности, микрокремнезёма (МЦ). В микрокремнезёме содержится заметное количество наноразмерных частиц, но в основном это продукт с частицами, размер которых лежит в коллоидном диапазоне ( $1 \cdot 10^{-5} \dots 1 \cdot 10^{-7}$ ). На втором месте по объёму применение для изготовления нанобетона находится фуллерены и фулероиды (фуллереноподобные вещества значительно дешевле фуллерена). Первые успешные результаты в разработке нового строительного материала – нанобетон и российским учёным Андреем Пономарёвым из Санкт-Петербурга группой учёных из других городов были получены в 1993 году.

В настоящее время в России над темой создание новых строительных материалов на основе нанотехнологий для реконструкции зданий и строительства новых объектов работает ряд организаций, лабораторий: «Наноцентр»; МЭЦ, МГСУ, ООО «Нанотроника» из Москвы; НПО «Синтетика-Строй» Новочеркасск; НТУ «Прикладные технологии» Санкт-Петербург и другие.

Одним из актуальных направлений разработок является применение ультрадисперсных наноразмерных частиц НЧ для создания высокопрочных и долговечных бетонов. Нанодобавки, в отличие от пластификаторов, не влияют отрицательно на бетон. При их применении улучшаются характеристики бетонных конструкций, увеличиваются сроки службы, коррозионная стойкость, стойкость к перепадам температур, повышается прочность, облегчаются конструкции.

Наномодифицированные бетоны разделяются на: лёгкий наномодифицированный пенобетон; наноулучшенный цементный раствор, наномодифицированные бетоны высокой и сверхвысокой прочности. Положительное воздействие наночастиц на микроструктуру и свойства материала на основе цемента объясняется следующими факторами:

- хорошо диспергированные наночастицы увеличивают вязкость жидкой фазы, способствуя суспензированию цементных частиц и зёрен заполнителя, повышая устойчивость к сегрегации и удобоукладываемость;

- наночастицы заполняют пустоты между зёрнами цемента, что приводит к высвобождению дополнительного количества воды («эффект наполнителя»);

- хорошо диспергированные наночастицы действуют как центры нуклеации для продуктов гидратации цемента, тем самым ускоряя её;
- наночастицы способствуют образованию кристаллов малого размера ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и AFm) и однородных кластеров C-S-H также небольших размеров;
- нано- $\text{SiO}_2$  участвуют в пуццолановой реакции, связывая  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  с образованием дополнительного C-S-H;
- наночастицы улучшают структуру «контактной зоны», повышая сцепление между зёрнами заполнителя и цементным тестом;
- наночастицы могут способствовать блокировке трещин и улучшает контакт между плоскостями скольжения, что приводит к повышению ударной вязкости цементных материалов, прочности при разрыве, изгибе и сдвиге.

Углеродные наноструктуры, такие как нанонанотрубки (УНТ), нановолокна (УНВ) и графен, являются потенциальными кандидатами для nanoармирования композиционных материалов на основе цемента. УНТ обладают исключительными характеристиками (модулем упругости порядка терапаскалей ( $1 \cdot 10^{12}$  Па) и прочности при разрыве порядка гигапаскалей ( $1 \cdot 10^9$  Па) и уникальными химическими свойствами.

В течение последних двадцати лет различными исследовательскими группами разработано большое количество новых типов и видов бетона и цемента, обладающих весьма необычными и нетипичными свойствами и характеристиками. В 2005 году исследователи из Мичиганского университета (США) создали гибкий бетон, обладающий высоким сопротивлением образованию трещин и на 40 % легче традиционного. В состав бетона входили укрепляющий композитные волокна. Бетон нашёл применение в Японии, Южной Кореи, Австралии. В Германии под маркой Лиссон выпускается прозрачный бетон, который используется в области дизайна, но производство его дорого. В бетоне присутствуют стекловолокна, через которые проходит свет, рассеивается и отражается от внутренних и внешних поверхностей, создавая эффект прозрачного бетона.

Разработки наночастиц научно-образовательными центрами химической физики и мезоскопии Удмуртского научного центра Уральского отделения РАН,

Ижевского ГТУ и ОАО «Завод Купол» оказались весьма эффективными для нанобетонов, повышая в два раза прочный, трещиностойкость, снижая усадку. Наночастицы представляют собой металлы (железо, кобальт, медь, никель), включённый в оболочку углерода, вводятся в состав бетона в количестве 0,001-0,01 % процент от массы цемента.

Высокой прочности бетон был разработан в НПО «Стеклопластик» Московской области, который в возрасте 7 суток набирает прочность 47-50 МПа, и около 100 МПа в конце срока твердения. Бетон готовится на портландцементе, традиционных заполнителях, наномодификаторе (ноу-хау), добавляемом в количестве (0,01-0,02) процента к массе цемента и структурированной ультразвуковой обработкой воде. Бетон того же состава, но без наномодификатора и на обычной воде показал прочность в два раза ниже.

Существуют сооружения весьма затратные при проектировании и возведении, эксплуатируемые в тяжёлых условиях под открытым небом. Это мостовые сооружения, дорожные покрытия, фасадные изделия. Естественное желание проектировщиков и эксплуатирующих организаций подобрать материал конструкции с максимальной долговечностью. Крупнейшими компаниями «Зика» (Швейцария), BASF (Германия), «Маити» (Япония) были разработаны высокопрочные бетоны с применением нанотехнологий для строительства большепролётных мостов, небоскрёбов, защитных оболочек атомных реакторов и т.п.

Среди отечественных наномодифицирующих добавок для бетонов необходимо отметить создание исследователями из Санкт-Петербурга А.Н. Пономарёвым и коллективом водорастворимого аналога фуллерена «Астрален-С», предназначенного для цементных материалов и предоставляющего представляющего собой порошок насыпной плотностью 600-900 кг/м<sup>3</sup>, каждая крупинка его представляет кластер, построенный из наночастиц, средний размер кластера 300 нм (рисунок 2.7). Введение в цементные смеси «Астрален-С» в количестве 0,15 % от массы цемента повышает подвижность от П1 до П5, увеличивает прочность.



Рисунок 2.7 – Внешний вид углеродной наночастицы «Астрален»

Для быстрого ремонта взлётных полос аэродромов, железобетонных шпал, путей метрополитена и других объектов на основе «Астрален-С» разработан наноструктурированный неорганический ремонтный композит на водной основе «Астрофлекс-РЦ». Через 2 часа после использования прочность «Астрофлекс-РЦ» достигает  $20\pm 2$  МПа, через 12 часов –  $30\pm 5$  МПа, через 36 часов –  $40\pm 5$  МПа.

Для применения в гидротехнических, дорожных и самоуплотняющихся бетонах, в железобетонных конструкциях заводского изготовления, цементно-песчаных смесях был разработан материал, проявляющий свойства гиперпластификатора «Астрофлекс ГП-1».

Для дисперсного армирования бетонов вместо прутковой стальной арматуры или дисперсного армирования стальной фиброй А.И.Пономарёвым была разработана модифицированная астраленами базальтовая микрофибра (МФ), способствующая равномерному распределению в бетонной смеси наночастиц астраленов. Эта технология получила применение при бетонировании объектов различного назначения, в частности, при строительстве моста через реку Волгу в городе Кимры. Бетон был применён плотностью  $1600 \text{ кг/м}^3$ , прочностью на сжатие 60 МПа, на растяжение 6 МПа, морозостойкостью (F300), водонепроницаемостью W(16-20), водопоглощением менее 1%т. Область применения микрофибры базальтовой модифицированной во многом диктуется её размерами – длина волокон или менее 0,5 мм. Это позволяет расширить область её применения, в частности, применение при помощи пневмонабрызга. Основные характеристики модифицированной базальтовой микрофибры представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Основные характеристики МФ

Наименование характеристики	Единица измерения	Значение
Средний диаметр волокна	мкм	8-10
Средняя длина волокна	мкм	100-500
Насыпная плотность, не более	кг/м <sup>3</sup>	450
Влажность, не более	%	2
Органическая часть по массе, не более	%	2
Цвет	-	желто-коричневый
Наномодификатор	-	полиэдральные многослойные углеродные наноструктуры фуллероидного типа

В 2008 году разработана и запатентована оптимальная рецептура сухой смеси добавок к основному составу цемент-песок-вода. Бетон, изготовленный с использованием этой добавки называется бетон лёгкий наноструктурированный (БЛН) конструкционный строительный. При плотности 1380-1600 кг/м<sup>3</sup> прочность на сжатие составляет 35-65 МПа, класс по морозостойкости 200-500.

Наномодификатор «Таунит», разработанный Тамбовским ГТУ совместно с ООО «Тамбовский инновационно-технологический центр машиностроения» и ОАО Тамбовский завод «Комсомолец», добавляемый в сверхмалых (0,001-0,0001 %) дозах в цементные смеси в полтора раза повышает прочность бетона. Углеродный наноматериал «Таунит» представляет собой одномерные наномасштабные нитевидные образования поликристаллического графита длиной более 2 мкм с наружными диаметрами от 15 до 40 нм в виде сыпучего порошка черного цвета. Гранулы микрометрических размеров имеют структуру спутанных пучков многостенных трубок (рисунок 2.8). Наномодификатор «Таунит» повышает прочность (в 1,5-3 раза) полиэтилена, полипропилена, полиуретана, флоропласта, увеличивает адгезионную прочность, теплостойкость клеев, лакокрасочных материалов, повышает твёрдость, износостойкость, снижает пористость гальванических, хромовых, цинковых покрытий. Введение «Таунит» в материалы, предназначенные для поглощения электромагнитных излучений, усиливает экранирующую способность. «Таунит» получают каталитическим пиролизом

углеводородов с образованием твёрдых углеродных наномасштабных нитевидных образований, преимущественно цилиндрической формы с внутренним каналом.

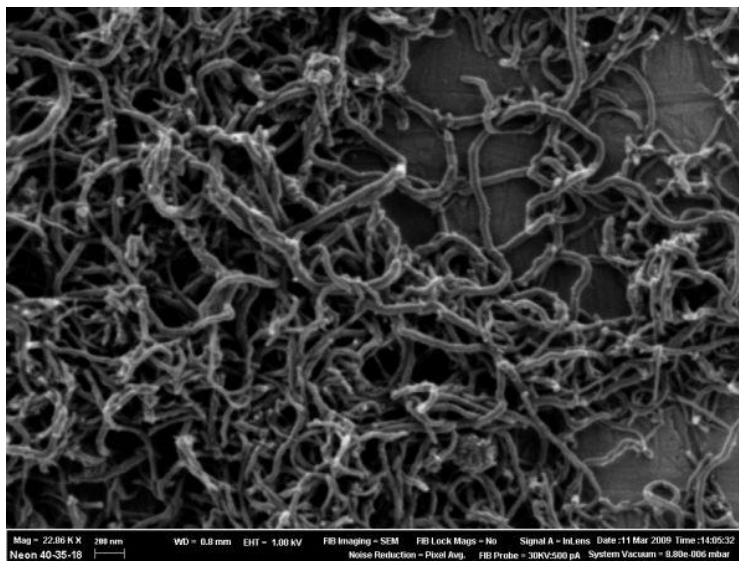


Рисунок 2.8 – Электронная микрофотография наномодификатора «Таунит»

Разработан состав пенобетона с нанодисперсной арматурой. Применение углеродных нанотрубок при изготовлении цементных нанобетонов позволяет повысить их физико-механические характеристики и снизить расход цемента при сохранении проектной прочности пенобетона. Распределяется в объёме цементного пенобетона, нанотрубки играют роль центров направленной кристаллизации, что приводит с одной стороны к появлению фибриллярной структуры в стенках пор, обеспечивая её непрерывность и сплошность, а с другой – к появлению упрочняющей структурно-ориентированной надмолекулярной оболочки вокруг нанотрубки. При этом достигается повышение прочности нанобетона и снижение теплопроводности изделия из нанобетона. Введение в состав цементной системы синтетических углеродных нанотрубок диаметром 40-60 нм с плотностью  $0,086 \text{ г/см}^3$  в количестве 0,5 % от массы исходного сырья обеспечивает повышение прочности в 1,7 раза, снижение теплопроводности на 20 %, уменьшение его средней плотности, а также армирование стенок и стабилизацию размеров пор. Таким образом, использование нанодисперсной арматуры позволяет снизить расход цемента при сохранении проектной прочности. В свою очередь это сказывается на снижении стоимости продукта и улучшении качества.

Бетонные поверхности со временем загрязняются и трудно поддаются очистке. Попытки создания самоочищающегося бетона долгое время не давали нужного эффекта. Европа в 2007 году приступила к проекту «UNAKON», стоимостью 1,1 млрд евро, по разработке многофункциональных нанодобавок для бетонов. Для решения поставленной задачи был сформирован синдикат научных и производственных предприятий Германии, Австралии. Самоочищающийся бетон был получен путём введения в бетон добавок Tintadioxid. Под воздействием солнечных лучей активизируются специальные свойства материала, которые не дают закрепляться на поверхности плесени, мхам, лишайником. Эффект самоочищения был достигнут с помощью наноразмерного диоксида титана рутильной модификации, который является фотокатализатором, способным разлагать до углекислого газа и воды на своей поверхности, при освещении солнечным светом, частицы органических веществ, составляющих загрязнения, обычно оседающие на фасадах зданий. Фотокатализатор способен окислять и молекулы таких веществ, как пары бензина, оксид углерода, альдегиды – выхлопные газы автомобилей и разрушает тела микроорганизмов. Бетон строительных конструкций, содержащий наночастицы фотокатализатора, будет не только самоочищаться, но и очищать воздух.

Производство бетонных изделий с фотокатализатором налажено в ряде стран. В России налажено производство бытовых очистителей и обеззараживателей воздуха, разработан ГОСТ Р 5725-2016 «Бетоны фотокаталитически активные самоочищающиеся. Технические условия».

В настоящее время, как и 20 лет назад, главным и перспективным направлением развития строительной индустрии остаются разработки и внедрение достижений нанотехники, которые могут существенно изменить современные технологии строительных материалов, способствовать созданию высокотехнологичных конструкционных материалов, стали и других металлов, керамики и стекла, полимеров, цементов и бетонов, а также композитных материалов.



Модифицированные материалы могут применяться при изготовлении стекла. Инновации помогают сэкономить в будущем на эксплуатационных расходах, например, при мойки стекла высотных зданий, так называемый эффект лотоса – эффект самоочищения. Компания «Okalux Kapillarglas» продаёт полупрозрачное стекло Okagel, состоящие из двух стеклянных панелей со слоем Nanogel между ними. Стекло улучшает теплоизоляцию, способно изменить светопропускание. По оценкам специалистов каждый год гибнет от столкновения со стеклом около 1 миллиарда птиц. В стёклах компании Okalux имеется специальный встроенный ультрафиолетовый фильтр, видимый для птиц, но незаметный человеческому взгляду. Птицы, подлетая к окну, могут определить его как препятствие.

Использование нанотехнологий в строительстве позволяет добавлять к традиционным строительным материалам определенные свойства, достижение которых ещё недавно казалось невозможным:

- основание зданий с саморегулирующейся системой компенсации осадок грунта;
- несущие конструкции зданий, осуществляющие мониторинг собственного напряжённо-деформируемого состояния;
- ограждающие конструкции и кровли, аккумулирующие солнечную энергию;
- покрытия, реагирующие на психофизическое состояние людей;
- фотокаталитические и другие функциональные покрытия;
- «умные» дома нового поколения.

В ближайшие годы ожидается значительный прогресс в производстве строительных материалов, и особенно бетона. Ожидается развитие следующих направлений, имеющих отношение к бетонным технологиям:

- катализаторы для низкотемпературного синтеза клинкера и ускорения гидратации;
- интенсификаторы помола и модификаторы поверхности частиц для сверхтонкого измельчения и механохимической активации;
- вяжущие материалы с добавками наночастиц, нанопроволок, нанотрубок, графена, нанопружин, наносеток;

- вяжущие материалы, продукты гидратации которых характеризуются улучшенными связями между собой и структурой на наноуровне;
- вяжущие материалы, модифицированные полимерными наночастицами или плёнками;
- материалы экологической направленности с наномодифицированными вяжущими, позволяющими существенно сократить содержание портландцементного композита (вплоть до 15 %);
- альтернативные вяжущие на основе магниевофосфатных и геополимерных наносистем;
- биотехнологические материалы (например, имитирующие структуру раковин моллюсков);
- композиционные материалы на основе цемента, армированные нановолокнами;
- «умные» материалы, реагирующие на температуру и нагрузку;
- фотокаталитические цементы для аккумуляции и выработки энергии;
- материалы с самозалечивающимся общим эффектом и связанные с ними ремонтные технологии;
- материалы с наноструктурой, обеспечивающей высокую долговечность, и другие.

### **2.3 Вопросы для самопроверки**

- 1 Продуктовые инновации в строительстве.
- 2 Особенности высокотехнологичных, наукоёмких строительных материалов.
- 3 Перечень объектов, относящихся к наноструктурам.
- 4 Размер нанометры.
- 5 Что относится к наноматериалам?
- 6 Что означает понятие нанотехнологии?
- 7 Что такое фуллерены?

- 8 Что такое нанотрубки?
- 9 Назначение наномодификаторов.
- 10 Современные строительные материалы, полученные с использованием нанотехнологий.
- 11 Нанобетон, виды и свойства.
- 12 Перспективные направления применения нанотехнологии.
- 13 Самоочищающийся бетон.

## 3 Композитные строительные материалы

### 3.1 Общие сведения

Строительство зданий и сооружений в далёком прошлом и настоящем не обходилось и не обходится без применения композиционных строительных материалов. Если в далёком прошлом первыми композиционными материалами были искусственные камни – сырцовый кирпич из смеси глины и соломы, материал довольно непрочный и нестойкий, то современные полимерные композиционные строительные материалы не сопоставимы по прочностным, деформативным и многим другим эксплуатационным характеристикам, с традиционными строительными материалами (бетон, камень, металл, дерево). Композиционные материалы, независимо от их происхождения, являются результатом объёмного сочетания разнородных составляющих его материалов, один из которых пластичен, другой обладает высокой прочностью и жёсткостью. Однако, сплавы, получаемые на основе смеси индивидуальных веществ не считаются композитами, так как не имеют чёткой границы раздела между компонентами. Композиционные материалы (composition – составление) сложные, составные, состоящие из двух или более компонентов с чёткой границей раздела между ними. Одни компоненты прерывистые, разъединённые в объёме композиции, являются армирующими элементами, введёнными в материал с целью изменения его свойств (борные, углеродные, стеклянные, арамидные волокна, нитевидные кристаллы, тонкодисперсные частицы, жгуты, полотна, слои, диспергированные частицы, частица другого материала и др.), другие компоненты (компонент) – связующие, непрерывные во всём объёме, называется матрицей. Она обеспечивает совместную работу армирующих элементов. Матрица может состоять из цементной, полимерной, металлической, углеродной, керамической или другой основы. Матрицу обычно выполняют из одного материала, известны также многокомпонентные композиционные материалы, когда в одном композиционном материале применено несколько матриц – полиматричные, гибридные. В

композиционных материалах разнородные компоненты создают новое качество материала, свойства которого отличаются от свойств исходных материалов. Например, в конструкционных композитах главное – высокая удельная прочность, значительно превышающая аналогичную характеристику стали. Желаемый комплекс свойств композита достигается не созданием нового вещества, а удачным сочетанием в одном материале веществ.

Полимер, армированный волокном – это анизотропный полимерный композиционный материал (ПКМ), состоящий из высокопрочных волокон в полимерной матрице. Волокна в ПКМ являются главным несущим элементом и характеризуются высокой прочностью при растяжении. Типичный многослойный ПКМ состоит из нескольких миллионов тонких нитевидных волокон. Полимерная матрица (также называемое смолой) защищает волокна от повреждений, обеспечивает их ровность и распределяет нагрузку между отдельными волокнами композита.

ПКМ, армированные углеродными волокнами, называются углепластиками, стеклянными – стеклопластиками, армидными – органопластиками, базальтовыми – базальтопластиками.

Свойства ПКМ можно подобрать путём выбора смолы, типа и количества армирующего материала, ориентации и распределения в поперечном сечении армирующего материала, объёмным соотношением волокон и отверждающего полимера. Выбор волокон основывается на требованиях прочности, жёсткости, долговечности, огнестойкости, диэлектрическими, радиопоглощающими свойствами, а выбор матрицы зависит от окружающей среды, в которой будет находиться композит, и технологии производства самого композита.

Все указанные волокна выдерживают большие напряжения, чем сталь и ведут себя вплоть до разрушения как идеально упругие тела, подчиняясь закону Гука. Они различаются по своим физическим свойствам, наиболее важные из которых – жёсткость и деформация растяжения. Свойства этих типов волокон представлены на рисунке 3.1, а также в таблице 3.1.

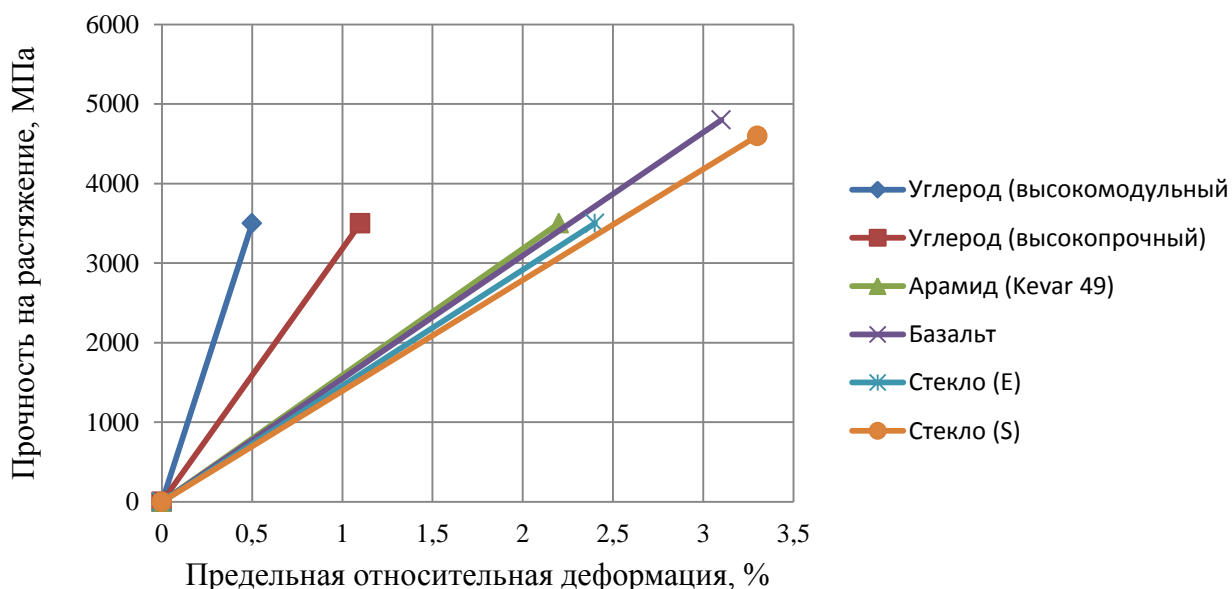


Рисунок 3.1 – Диаграмма растяжения для основных типов армирующих волокон

Таблица 3.1 – Свойства волокон, применяемых для изготовления ПКМ

Тип волокна	Плотность	Прочность на растяжение	Модуль упругости	Предельная относительная деформация	Коэффициент температурного расширения	Коэффициент Пуассона
	кг/м <sup>3</sup>	МПа	ГПа	%	10 <sup>-6</sup> °C	
Стекло (E)	2500	3450	72,4	2,4	5	0,22
Стекло (S)	2500	4580	85,5	3,3	2,9	0,22
Щелочестойкое стекло	2270	1800-3500	70-76	2,0-3,0	-	-
Углерод (высокомодульный)	1950	2500-4000	350-650	0,5	-1,2...-0,1	0,2
Углерод (высокопрочный)	1750	3500	240	1,1	-0,6...-0,2	0,2
Арамид (Kevlar 29)	1440	2760	62	4,4	-2,0 (59*)	0,35
Арамид (Kevlar 49)	1440	3620	124	2,2	-2,0 (59*)	0,35
Арамид (Kevlar 149)	1440	3450	175	1,4	-2,0 (59*)	0,35
Арамид (Technora H)	1390	3000	70	4,4	-2,0 (59*)	0,35
Базальт	2800	4840	89	3,1	8	-

Применение в одном композиционном материале нескольких матриц или армирующих элементов расширяет возможности регулирования свойств

композиционных материалов. Физико-механические свойства определяет армирующий компонент, а монолитность, передачу напряжений, стойкость к внешним воздействиям обеспечивает матрица. В композиционных материалах разнородные компоненты создают новое качество материала, отличающееся от свойств исходных компонентов. Наличие границ раздела между армирующими элементами и матрицей существенно повышает трещиностойкость материала, и в композитах, в отличие от металлов, повышение статической прочности приводит не к снижению, а, как правило, к повышению вязкости разрушения.

Преимуществами композиционных материалов являются:

- высокая удельная прочность;
- высокая жёсткость (модуль упругости 130-140 ГПа);
- высокая износостойкость;
- высокая усталостная прочность.

Большинство видов композитов обладает недостатками:

- высокая стоимость, некоторых композитов;
- анизотропные свойства;
- повышенная наукоёмкость производства, необходимость специального дорогостоящего оборудования и сырья, развитого промышленного производства и научной базы страны.

Разрабатываются композиты в зависимости от назначения со специальными свойствами: радиопрозрачные, радиопоглощающие материалы, материалы для тепловой защиты, материалы с высоким модулем упругости и многие другие.

Композиционные материалы нашли применение во всех областях науки, техники, промышленности, медицине, спорте, искусстве и др.

Общие свойства композиционных материалов:

- 1) состав, форма, распределение компонентов являются плодом человеческого творения и не встречается в природе;
- 2) имеют новые свойства, отличающиеся от свойств компонентов (наполнители и матрицы);

3) состоят из двух или более компонентов, разделённых чёткой границей и различающихся по своему химическому составу;

4) неоднородны в микромасштабе и однородны в макромасштабе;

5) свойства определяются каждым из компонентов, которые должны быть в количествах, превышающих критическое содержание.

О достоинствах композитного материала можно судить, например, по полимеру, усиленным углеродными волокнами:

1) менее плотный, чем алюминий;

2) прочнее стали;

3) жёстче титана;

4) усталостнопрочный;

5) износостойкий;

6) химостойкий;

7) коррозионностойкий;

8) формоустойчив;

9) демпарирует (гасит) вибрацию;

10) малое электрическое сопротивление;

11) защищает от электромагнитных помех;

12) высокая теплопроводность.

Ещё одним достоинством некоторых композитных материалов является относительная дешевизна, на что сказывается дешевизна полимерных наполнителей, где возможно применение даже отходов производства, а также тенденции снижения стоимости по мере развития технологий. На современном этапе развития технологий композитных материалов наиболее массовый и сравнительно дешёвый компонент – стеклопластик.

Современное перспективное направление создания высокопрочных композиционных материалов – армирование материала нитевидными кристаллами («усами»), которые вследствие малого диаметра практически лишены дефектов, имеющих в более крупных кристаллах, и обладают высокой прочностью.



### 3.2 Отличительные признаки композиционных материалов

В настоящее время существует много видов композиционных материалов с присущими каждому виду индивидуальными характерными свойствами и областями их применения. По вещественной природе матрицы классифицируют композиционные материалы на : органической (полимерной) матрице и на неорганической матрице.

Композиционные материалы на основе органической матрицы это:

- пластики, армированные волокнами, тканями или объёмными элементами;
- фанера, состоящая из чередующихся слоёв древесины и полимерного материала и другие.

Композиционные материалы на основе неорганической матрицы это:

- цементные (на основе портландцемента и его разновидностей) – асбестоцемент, армоцемент, стеклоцемент, арболит и цементно-стружечные цементно-волокнистые материалы.

Строительные композиционные материалы различают по ряду признаков:

1) по назначению:

- конструкционные, предназначенные для изготовления несущих и ограждающих конструкций, технологических ёмкостей и оборудования;
- теплоизоляционные, предназначенные для ограждающих конструкций зданий и сооружений, технологического оборудования;
- гидроизоляционные, предназначенные для устройства гидро- и пароизоляция стен, покрытий;
- химически стойкие, предназначенные для устройства химически стойкой облицовки или отделки существующих объектов;
- электроизоляционные, предназначенные для диэлектрических конструкций;
- отделочные, предназначенные для решения архитектурных, дизайнерских идей, реставрации и ремонта объектов;
- специального назначения – радиационностойкие, огнестойкие, огнеупорные, тампонажные;

2) по виду вяжущего:

- минеральные (цементные, известковые гипсовые, магнезиальные и др.);
- органические (битумные, дёгтевые);
- синтетические полимерные (термопластичные, термореактивные);
- комплексные (полимерцементный и др.);

3) по способу твердения:

- при понижении температуры (водные растворы, асфальтовые, битумные, металлические, керамические, стекло, каменное литьё, сера, термопластичные полимеры);

- при удалении части компонентов в жидкой фазы – растворителей или разбавителей (лакокрасочные сети, эмульсии, холодные мастики и замазки);

- при физико-химическом взаимодействии с газообразными средами (углекислым газом, кислородом) материалы на основе воздушной извести и жидкого стекла;

- при физико-химическом взаимодействии с жидкими средами (водой, растворами солей, щелочей, кислот) с образованием новых продуктов реакции – материалы на основе минеральных вяжущих;

- в результате полимеризации или поликонденсации термопластичных или термореактивных синтетических полимеров (замазки, клеи, стеклопластики, древопластики и др.);

- в результате обжига (керамика, металлы);

4) по строению макроструктуры;

- дисперсно-наполненные (мастики, шпатлевки, замазки, клеи, растворы), содержащие связующее и дисперсный наполнитель;

- дисперсно-армированные (стеклопластик, асбестоцемент и др.) из хаотично расположенных волокнистых наполнителей и связующих;

- волокнистые композиты (фанера, дерево, пластмассы, стекловолокнистые анизотропные материалы, стеклотекстолиты) из ориентированных волокон и связующего;

- растворы, состоящие из вяжущего и мелкого заполнителя;

- бетоны;

5) по плотности (особо лёгкие, лёгкие, обычные, тяжёлые, особо тяжёлые;

6) по механизму упрочнения (армирование матрицы высокопрочными элементами, дисперсно-упрочненные);

7) по природе компонентов (обычно материалы матрицы – металлические, полимерные, жидкокристаллические, керамические, углерод, оксиды, бориды и др.);

8) по структуре композита (каркасная, матричная, слоистая, комбинированная);

9) по геометрии наполнителя: порошковые, гранулы, волокнистые, пластины, трёхмерные каркасы, слоистые;

10) по конструктивным признакам (хаотично армированные, одномерно-армированные непрерывными волокнами, короткими волокнами, двухмерные непрерывные нити, ткани, пространственное армирование 3 семейство нитей, n семейство нитей);

11) по количеству компонентов (полиматричные – несколько матричные, гибридно-полиармированные);

12) по методу назначения (искусственные и естественные);

13) по виду упрочнителей:

- волокнистые КМ – представляют слоистую структуру, где каждый слой армирован большим числом параллельных нитей. Упрочнение алюминия, магния борными волокнами, повышение жаропрочности никеля вольфрамовыми нитями;

- дисперсно-упрочненные композиционные материалы отличаются от волокнистых КМ тем, что матрица является основным несущим элементом;

- стекловолокниты – композиционная составляющая из синтетической смолы и стекловолокнистого наполнителя короткого или непрерывного;

- карбоволокниты – композиционный материал состоит из полимерного связующего и упрочнителя из углеродных волокон. Сохраняет прочность при температуре 2200 °С. Высокая сопротивляемость динамической усталости;

- карбоволокнисты-КМ с углеродной матрицей. Сохраняет прочность при температуре 2200 °С, на воздухе окисляется при температуре 450 °С и требует замены;

- борволокониты-КМ из полимерного вяжущего и уплотнителя из борных волокон, отличаются высокой прочностью, стойкостью к воздействию радиации, воды, органических растворителей;

- органоволокониты-КМ из полимерного связующего, упрочнители из синтетических волокон. Обладает малой массой, высокой прочностью, стойкостью в агрессивных средах.

Таблица 3.2 – Свойства некоторых композиционных материалов

Матрица	Армирующий наполнитель	Плотность, г/см <sup>3</sup>	$\sigma_{\text{раст}}$ , ГПа	Модуль упругости, ГПа
<i>Полимерные</i>				
1 Эпоксидная	Стекловолоконное	1,9-2,2	1,2-2,5	50-68
	Органическое (арамидное) волокно	1,3-1,4	1,7-2,5	75-90
	Углеродное волокно	1,4-1,5	0,8-1,5	120-220
	Борное волокно	2,0-2,1	1,0-1,7	220
<i>Металлические</i>				
2 Алюминиевая	Борное волокно	2,6	1,0-1,5	220-250
	Углеродное волокно	2,3	0,8-1,0	200-220
3 Магниева	Борное волокно	2,0	0,7-1,0	200-220
	Углеродное волокно	1,8	0,6-0,8	180-220
4 Никелевая	Вольфрамовая проволока	12,5	0,8	265
	Молибденовая проволока	9,3	0,7	235
<i>Углеродная</i>				
5 Углеродная	Углеродное волокно	1,5-1,8	0,35-1,0*	120-220
<i>Керамическая</i>				
6 Керамическая	Волокно карбида кремния	3,2	0,48*	
Примечание – *прочность при изгибе, 1 ГПа = 1000 МПа				

### 3.3 Распространённые виды композиционных материалов, применяемых в строительстве

Современное строительство большепролётных мостовых конструкций, высотных зданий, тонкостенных пространственных и других сложных сооружений

требует использования наиболее усовершенствованных материалов, поэтому композитные материалы находят всё большее применение в конструкциях, подвергающихся значительным механическим, климатическим и другим нагрузкам и воздействиям.

### 3.3.1 Композиционный бетон

Самым распространенным композиционным материалом являются бетоны, отличающиеся по своим составам и свойствам. Матрица современных бетонов может быть цементной, полимерной (эпоксидная, серная, полиэфирная, акриловая и т.д.).

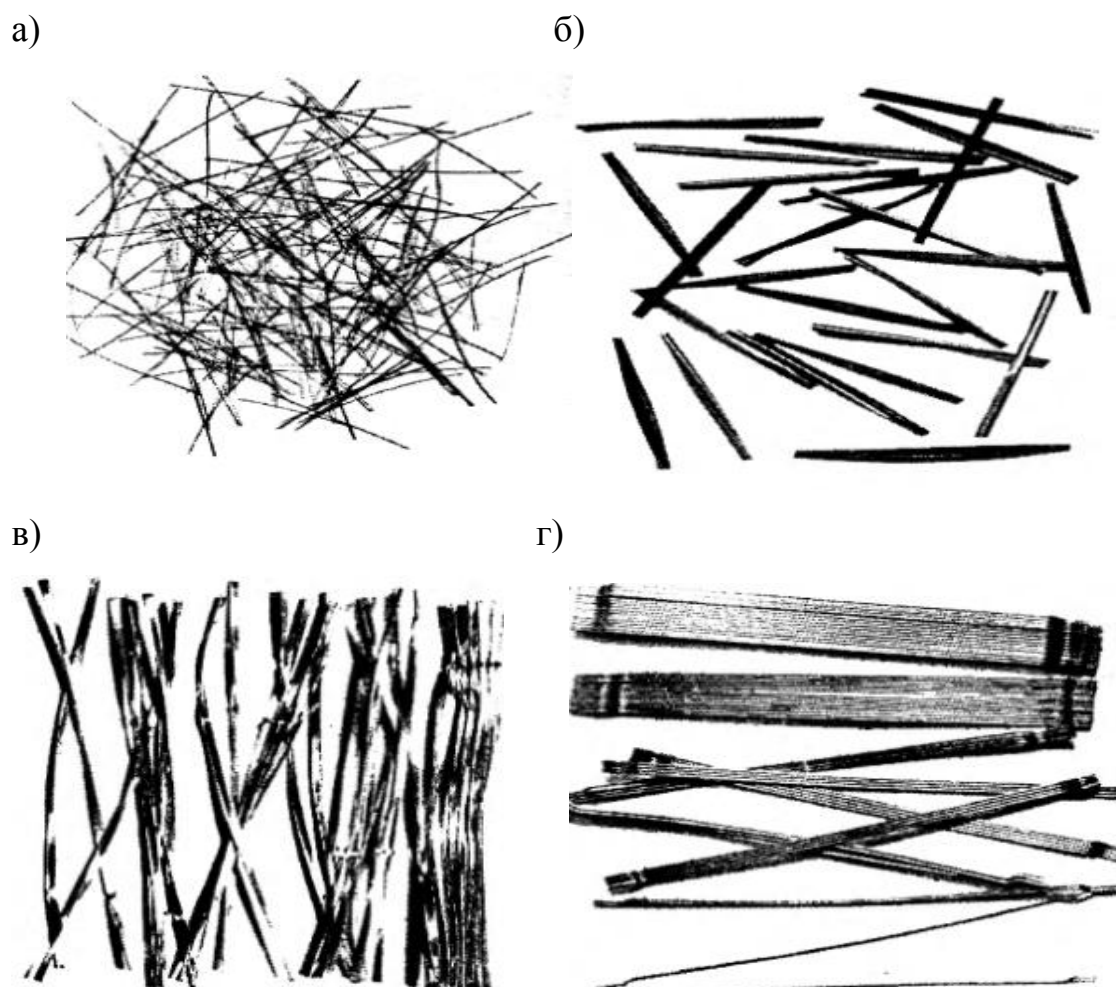
Представителем обширного класса композиционных материалов являются дисперсно армированные бетоны – в настоящее время один из перспективных конструктивных материалов, который применяется в различных отраслях промышленности. Армирование бетона осуществляется волокнами-фибрами, равномерно расположенными в бетонной матрице.

Все виды армирующих наполнителей-фибр разделяют на две группы: металлические и неметаллические.

Сталефибробетон является разновидностью дисперсно армированного железобетона и изготавливается из тяжёлого или мелкозернистого бетона (бетон-матрица), в котором в качестве арматуры используются стальные фибры, дисперсно и равномерно распределённые по объёму бетона. Совместная работа бетона и стальных фибр обеспечивается сцеплением по их поверхности, анкеровкой фибры в бетоне за счёт её периодического профиля, кривизны в продольном и поперечном направлениях, а также наличием анкеров на концах фибр.

Сталефибробетонные конструкции по виду армирования рассматриваются как: *фибробетонные* – при расчётном армировании только фибрами, равномерно распределёнными по объёму элемента; *комбинированно армированные* – при их расчётном совместном армировании стальными фибрами и стальной стержневой арматурой.

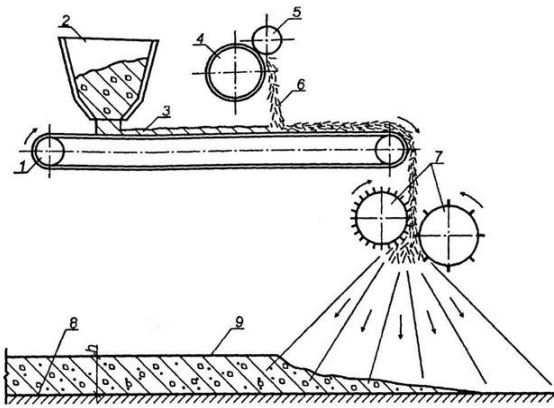
Для фибрового армирования используют фибры, представляющие собой отрезки стальной проволоки, в том числе из отработанных канатов или тонкого стального листа, из стального сплава или сляба, кордовый проволоки, токарной стружки и пр (рисунок 3.2). Фибры могут иметь различное поперечное сечение и длину.



а) из проволоки; б) из сляба; в) из листа; г) «Драмикс»

Рисунок 3.2 – Стальные фибры:

Сталефибробетонные конструкции могут изготавливаться различными технологическими приёмами: предварительным приготовлением смеси в заводских условиях (рисунок 3.3) или в бетономесителях на строительном объекте, уплотнением с помощью вибрирования и вакуумирования, роликовым формованием и прессованием, торкретированием и центрифугированием.



1 – ленточный конвейер; 2 – расходный бетоносмеситель; 3 – бетонная смесь; 4 – бухта-лента из тонколистного проката; 5 – станок для нарезки из листа фибр; 6 – поток фибр; 7 – большой и малый лопастной роторы; 8 – поддон-формы; 9 – формируемое изделие.

Рисунок 3.3 – Схема формирования сталефибробетонных изделий

Расчёт сталефибробетонных конструкций по предельным состояниям выполняется по аналогии с расчётом железобетонных и армоцементных конструкций с учётом расчётных характеристик сталефибробетона в соответствии с разделами 4-7 СП 52-104-2006\*. В качестве исходного сырья для неметаллической фибры применяют стекло, хлопок, полиэтилен, акрил, базальт, карбон, сталь, полиэфир, вискозу, полиэтилен, нейлон, полиамид, полипропилен, асбест и др.

Виды волокон-фибр, применяемых при изготовлении композиционного материала, определяют и название его - сталефибробетон, стеклофибробетон и др. Применяемые фибры от дефицитных (нитрид кремния, бора, углерода, вольфрама и др.) до сравнительно доступных (стальных, стеклянных, базальтовых, полимерных) для массового строительства.

Достоинством фибробетона является повышенная, по сравнению с обычным бетоном, прочность на растяжение, трещиностойкость, истираемость, морозостойкость, ударная вязкость, пониженная усадка и ползучесть.

Основные области применения в монолитных конструкциях – полы промышленных зданий, монолитные обделки метро и тоннелей, взлётно-посадочные полосы аэродромов, стоянки автомобилей и автомобильные дороги, резервуары и бассейны, банковские и сейфовые хранилища, взрывозащитные

фортификационные объекты и другие приложения; торкретсталефибробетона – ремонт и усиление железобетонных и каменных конструкций, укрепление горных склонов и откосов и т.п.; сборного сталефибробетона – трубы, тубинги метро, элементы стеновых панелей и плит перекрытия, железнодорожные шпалы, малые архитектурные формы и др.

Основными нормируемыми и контролируемыми показателями качества фибробетона с неметаллической фиброй являются:

- класс прочности на сжатие  $V_f$ ;
- класс прочности на осевое растяжение  $V_{ft}$ ;
- класс остаточной прочности на растяжение  $V_{ft3}$ ;
- марка по морозостойкости  $F$ ;
- марка по водонепроницаемости  $W$ .

Основными прочностными характеристиками фибробетона с неметаллической фиброй являются нормативные значения:

- сопротивление фибробетона осевому сжатию  $R_{fb,n}$ ;
- сопротивление фибробетона осевому растяжению  $R_{fbt,n}$ ;
- остаточное сопротивление фибробетона осевому растяжению  $R_{fbt2,n}$ ;
- остаточное сопротивление фибробетона осевому растяжению  $R_{fbt3,n}$ .

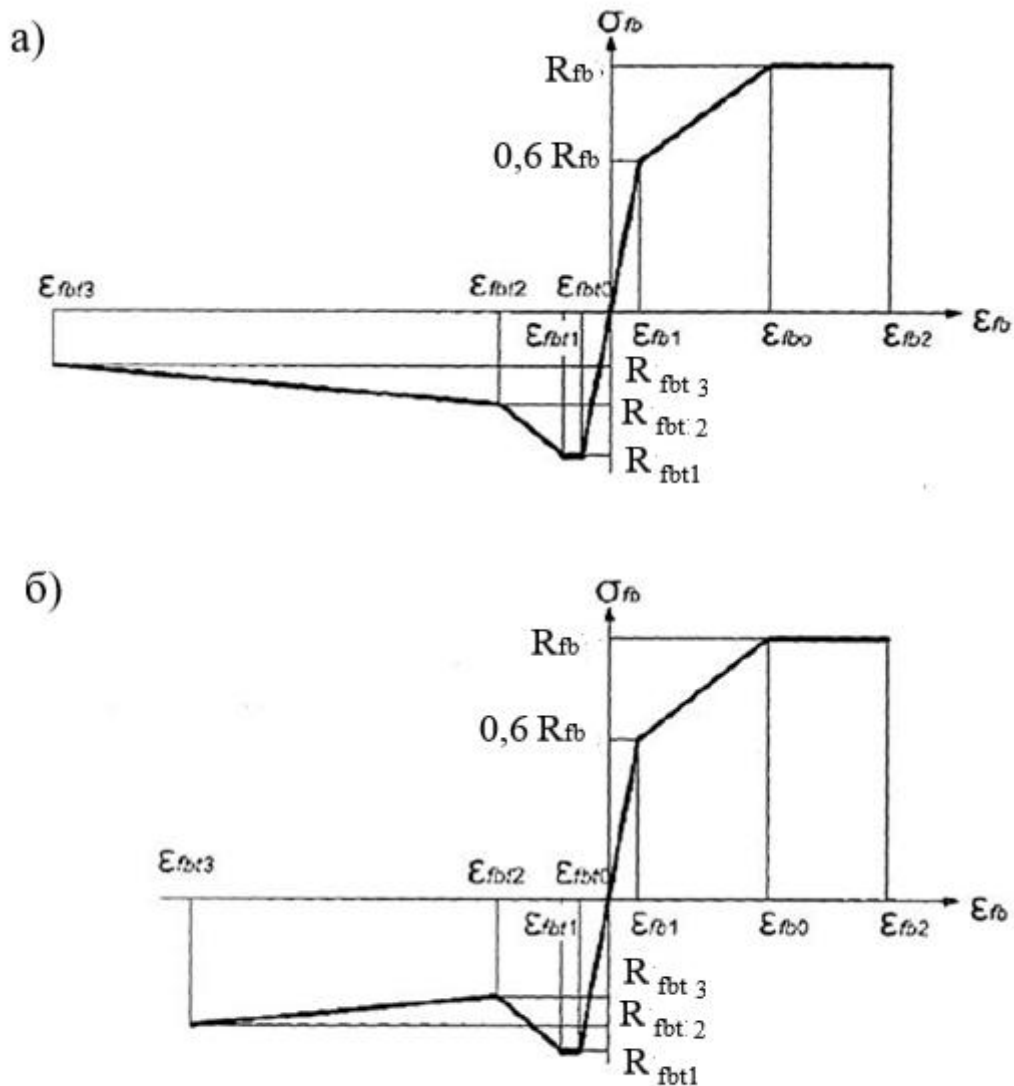
Основными деформационными характеристиками фибробетона являются значения:

- предельные относительные деформации фибробетона при осевом сжатии и растяжении  $\varepsilon_{fbo}$  и  $\varepsilon_{fbto}$

- начальный модуль упругости  $E_{fb}$ ;
- модуль сдвига  $G$ ;
- коэффициент ползучести  $\varphi_{b,cr}$ ;
- коэффициент Пуассона  $\nu_{b,p}$ .

В качестве рабочих диаграмм деформированного фибробетона при осевом растяжении принимают упрощённую трёхлинейную диаграмму (рисунок 3.4).





а)  $R_{fbt3} / R_{fbt2} < 1$    б)  $R_{fbt3} / R_{fbt2} > 1$

Рисунок 3.4 – Диаграммы деформирования фибробетона при сжатии и растяжении

Расчёт по прочности нормальных сечений элементов с рабочей арматурой по предельным усилиям следует производить, определяя предельные усилия, которые могут быть восприняты фибробетоном и арматурой в нормальном сечении, исходя из следующих положений:

- сопротивление фибробетона растяжению представляется остаточными напряжениями, равными  $R_{fbt2}$  или  $R_{fbt3}$  и равномерно распределёнными по растянутой зоне фибробетона;

- сопротивление фибробетона сжатию представляется напряжениями, равными  $R_{fb,3}$  и равномерно распределёнными по сжатой зоне фибробетона;
- деформации (напряжения) в арматуре определяют в зависимости от высоты сжатой зоны фибробетона;
- растягивающие напряжения в стержневой арматуре принимают не более расчётного сопротивления растяжению  $R_s$ ;
- сжимающие напряжения в стержневой арматуре принимают не более расчётного сопротивления сжатию  $R_{sc}$ .

Расчёт по прочности нормальных сечений элементов без рабочей арматуры по предельным усилиям следует производить исходя из следующих положений:

- эпюру напряжений в сжатой зоне фибробетона принимают треугольной формы, как для упругого тела;
- эпюры напряжений в растянутой зоне фибробетона принимает трапецевидной формы с напряжениями в растянутой грани сечения, равными  $R_{fnt}$ .

### 3.3.2 Композиты на основе древесины

Второе место по распространенности среди композиционных материалов занимают древесные композиционные материалы: арболиты, ксилолиты, цементно-стружечные плиты, клееные деревянные конструкции, гнутоклееные детали и конструкции, фанера, древесные пластики, древесноволокнистые древесностружечные плиты, древесные пресс-массы и пресс-порошки, термопластичные древесно-полимерные композиты. Композиционные материалы на основе древесины условно разделяют в зависимости от вида наполнителя на две подгруппы: клееная древесина и материалы на основе измельченной древесины.

Клееная древесина охватывает три вида материалов:

- 1) слоистая клееная древесина, полученная из шпона – это фанера, фалерные плиты, древесные слоистые пластики, гнутоклееные изделия;
- 2) массивная клееная древесина, полученные из массивной древесины – это клееные доски и бруски, плиты, применяемые в качестве полуфабрикатов, заготовок и деталей;

3) комбинированная клееная древесина, полученное сочетанием массивной древесины и шпона, это столярные плиты.

Некоторые разновидности клееной древесины представляют собой уже готовые изделия – это балки, арки, плиты и др.

Наиболее распространенным в практике строительства слоистым древесным материалом является фанера, склеенная из трёх и более слоев лущённого шпона с взаимно перпендикулярным расположением волокон в смежных слоях. По сравнению с древесиной фанера обладает меньшей анизотропностью, легко поддается гибке, в меньшей степени подвергается усушке, короблению, разбуханию.

Фанерные плиты изготавливают из семи и более слоёв лущёного шпона толщиной плит от 8 до 78 миллиметров, они используются во многих отраслях промышленности и строительстве.

Древесные слоистые плиты представляют собой композиционный материал, изготовленные при термической обработке при большом давлении из листов шпона, склеенных синтетическими клеями.

Столярные плиты изготавливают из реечных щитов, оклеенных с двух сторон лущёным шпоном.

Композиционные материалы на основе измельчённой древесины представлены большим ассортиментом:

- древесно-волокнистые плиты (ДВП). Это слоистый материал, изготовленный в процессе горячего прессования;

- древесно-стружечные плиты (ДСП). Это материал, полученный путём прессования древесных частиц, смешанных со связующим;

- массы древесные прессовочные (МДП). Это готовые композиции, полученные в результате обработки частиц древесины и синтетических смол и др.

В качестве наполнителя используются волокна, дроблёнка, древесная шерсть, резаная стружка, стружка в виде отходов производства, опилки, древесная крошка, измельченная кора. На основе этих наполнителей изготавливают арболит, фибролит, ДВП, ДСП, МДП, цементно-стружечные плиты, опилкобетон, ксилолит, каролит.

В зависимости от природы матрицы все композиционные материалы на основе древесины делят на три группы. К первой группе относятся синтетические полимеры. К таким композитам относятся: модифицированная древесина, изделия из древесно-прессовочных масс и древесно-клеевых композиций, древесно-волокнистые и древесно-стружечные плиты. В качестве связующего для них применяются фенолформальдегидные, карбонидо-формальдегидные и другие синтетические полимеры, олигомеры и мономеры.

Ко второй группе относятся композиционные материалы, матрицы которых являются неорганическими вяжущими веществами. В качестве вяжущих здесь используются клинкерные цементы (для арболита, фибролита, цементно-стружечных плит, опилкобетона и др.), гипс (гипсоопилочные плиты и блоки), магнезиальные вяжущие (плиты на каустическом магнезите, ксилолит, магнезиальный фибролит, прессованные строительные брус) и т.д.

К третьей группе принадлежат материалы, матрицами которых являются природные клеящие вещества в виде продуктов гидролитического расщепления углеводного комплекса древесины. Такими материалами являются пьезотермопластики или лигноуглеводные пластики.

К наиболее перспективным, внедряемым и планируемым к внедрению композитным материалам, инновационным для нашей страны, относятся CLT-панели, SIP-панели, древесно-композитные конструкционные (ДПК) материалы, объединённые под названием SCL (Structural Composite Lumber) с наиболее известными продуктами этой группы: LVL-брус, PSL-брус, LSL-брус и OSB-брус. CLT-панели (Gross Laminated Timber) широко распространённый в домостроении строительный материал в Европе и Америке, представляет собой перекрёстно склеенные панели из хвойных лиственных пород. CLT-панели используются при строительстве высотных зданий, большепролётных сооружений и конструкций, мостов и др. SIP-панели (Structural Insulated Panel) или структурно-изоляционная панель состоит из двух листов плиты OSB, между которыми находится наполнитель (пенополистирол, пенополиуретан, стекловолокно, минвата. SIP-панели могут быть применены для устройства стен, перекрытий, покрытия, перегородок. Здания,

возведённые из СИП-панелей обладают множеством достоинств: высокое термическое сопротивление, огнестойкость, хорошая звукоизоляция, невысокий вес конструкции 15-20 кг/м<sup>2</sup>, сжатые сроки строительства. Основным недостатком зданий и сооружений, построенных из СИП-панелей является требование точной сборки и обеспечение герметичности. LVL-брус (Laminated Veneer Lamber) – это брус, склеенный из листов однонаправленного лущёного шпона (с параллельным расположением волокон в смежных слоях). Этот материал производится также и в России в городе Торжке и Ханты-Мансийском автономном округе.

LVL изготавливается в виде плит, брусьев, брусков, досок. PSL-брус (Parallel Strand Lumber, Parallam) – брус, склеенный из длинных (не менее 1м) листов шпона. Применяют для изготовления большепролетных конструкций под большие нагрузки, а также двутавровых балок.

LSL-брус (Laminated Strand Lamber) получают путём раскроя плит, изготовленных из длинных плоских стружек, уложенных в ковры параллельно друг другу.

OSL-брус (Oriented Strand Lumber) получают аналогично, но стружка в два раза короче (0,5 м).

Основой, получающегося широкий размах многоэтажного строительства деревянных домов, является применение CLT-панелей (в каркасном и бескаркасном строительстве) LVL-, PSL-бруса в качестве вертикальных и горизонтальных элементов лущеного несущего каркаса. Пролёт балок LVL может достигать 36 м, ферм – 42 м и более.

### 3.3.3 Композиционные материалы для армирования и усиление строительных конструкций

Наибольшее применение в строительстве и технике получили композиционные материалы на основе терморезистивных (эпоксидных, полиэфирных, фенолформальдегидных, полиамидных и др.) и термопластичных связующих, армированных стеклянными, углеродными, борными, органическими и другими волокнами; металлические композиционные материалы на основе сплавов

Al, Mg, Cu, Ti, Ni, Cr, армированных борными, углеродными или карбидокремниевыми волокнами, а также стальной, вольфрамовой, молибденовой проволокой. В зарубежной научно-технической литературе эти материалы называют FRP.

Композитные материалы с фиброй (волокнами) (RVA) изготавливаются из волокон (углеродных (КМФУ), стеклянных (КМФС), арамидных (КМФА) и других), омоноличенных (ламинированных) в полимере в виде жёстких полос или пластин, непосредственно приклеиваемых на специально подготовленную поверхность конструкции. Общепринятое название таких композитных материалов – ламинаты. Вторым распространённым типом композитных материалов являются холсты, представляющие собой гибкую ткань с одно- или двунаправленным расположением волокон (фибры). При установке на конструкции они утапливаются в полимерный клеящий состав – матрицу, обеспечивающую их плотное прилегание к поверхности усиливаемой конструкции. Такой способ применения композитных материалов называется «по месту». Физико-механические свойства композитных материалов определяются типом и количеством применяемых волокон, их ориентацией и распределением в поперечном сечении ленты. Роль полимера сводится к передаче действующих напряжений между волокнами, а также их защите от внешних воздействий.

Ламинаты и холсты с однонаправленными волокнами используют для восприятия продольных усилий изгибаемых, центрально и внецентренно растянутых (сжатых) элементов (плит, балок, элементов ферм). Двунаправленные холсты используют для усиления конструкции, работающих при сложном напряжённом состоянии, для восприятия поперечных, сдвиговых усилий (колонн, приопорных участков).

Достоинства: малый вес, изготовление любых длин, малая толщина, лёгкость, прочность, щёлочестойкость, отсутствие коррозии. Недостатки: невысокая огнестойкость матрицы, вандализм и случайные повреждения, высокая стоимость.

Полимеры для омоноличивания волокон (изготовления матрицы) могут быть различного типа, но чаще всего применяются термоотверждающиеся полимеры.

Отверждающая матрица (полимер) определяет некоторые механические свойства композитных материалов – прочность и модуль упругости в поперечном направлении, сопротивление сдвигу и характер поведения материала при сжатии. Для отверждения волокон чаще всего используются эпоксидные, винил и полиэфирные составы. Все они обладают хорошей стойкостью к различным химическим воздействиям. Эпоксидные составы обладают лучшими механическими свойствами, а полиэфирные составы более дешёвы. Основные физико-механические свойства некоторых применяемых для отверждения волокон полимеров приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Свойства отверждающих полимеров

Физико-механические свойства полимеров	Фирмы-производители				
	MBT	SBD	DML composites	Sika	Sumitomo
Прочность на растяжение (МПа)	50	17	81	30	29
Прочность при изгибе (МПа)	120	28	-	-	-
Модуль упругости при изгибе (ГПа)	3	5	-	3,8	2,5
Температура стеклования (°C)	55	60, 80	59	53	55

Наиболее распространенными типами применяемой фибры (волокон) являются углерод, арамид и стекло. Основные физико-механические свойства фибр приведённые в таблице 3.4. В таблице приводятся свойства фибры (волокон), а не самого композитного материала. При этом фактические свойства фибры могут несколько отличаться от приведенных в таблице 3.4 и окончательно устанавливаются фирмой-производителем. Все приведённые в таблице типы фибры имеют линейную диаграмму «напряжение-деформация» вплоть до разрушения без какой-либо пластической зоны.

Таблица 3.4 – Типичные свойства применяемой фибры

Тип фибры	Прочность на растяжение, МПа	Модуль упругости, ГПа	Деформация удлинения, %	Плотность, т/м <sup>3</sup>
Углерод с высокой прочностью*	4300-4900	230-240	1,9-2,1	1,8
Углерод с высоким модулем упругости*	740-5490	294-329	0,7-1,9	1,78-1,81
Углерод с высоким модулем упругости**	2600-4020	540-640	0,4-0,8	1,91-2,12
Арамид***	3200-3600	124-130	2,4	1,44
Стекло	2400-3500	70-85	3,5-4,7	2,6
Примечания: 1 * на полиакрилнитриловой матрице; 2 ** на полимерной матрице из эпоксидной смолы; 3 *** арамид может иметь ту же прочность с меньшим модулем упругости.				

Волокна в сечение изготавливаются продолговатой и сплюснутой формы. Для усиления строительных конструкций наибольшее распространение получили волокна продолговатой формы, имеющие в поперечнике диаметр 5-20 мкм. Стекловолокна, предназначенные для внешнего армирования, подразделяются на три типа: E-стекловолокно, A-стекловолокно, и AR-стекловолокно, имеющее высокую сопротивляемость щелочным воздействиям. E-стекловолокно содержит большое количество борной кислоты и алюмината и плохо сопротивляется щелочной агрессии. A-стекловолокно является более прочным, но практически не выдерживает щелочных воздействий. В AR-стекловолокне для предотвращения негативных воздействий щелочной агрессии на контакте с усиливаемой железобетонной конструкцией вводится значительное количество циркония. Прочностные и деформационные свойства этого стекловолокна сопоставимы с E-стекловолокном. Достоинством всех стекловолокон является их небольшая стоимость.

Полимерные композиционные материалы, армированные короткими или непрерывными стекловолокнами (КМФС) и формируемые из расплавленного неорганического стекла, относятся к классу стеклопластиков с наиболее часто применяемой матрицей из терморезистивных синтетических смол (фенольных, эпоксидных, полэфирных и др.) или термопластичных полимеров (полиамиды,



полиэтилен, полистирол и др.). Композиционный материал обладает высокой прочностью, низкой теплопроводностью, высокими электроизоляционными свойствами, прозрачный для радиоволн. Прочность стекловолокна увеличивается с уменьшением его диаметра. Неориентированные стекловолокна содержат в качестве наполнителя короткие волокна. Получается материал с изотропными свойствами.. Температура работы стекловолокна  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При старении в течение 2 лет коэффициент старения  $K=0,5-0,7$ .

Арамидные волокна применяются начиная с 1971 года и выпускаются различными производителями под разными торговыми марками. Одной из самых известных является Kevlar. Это волокна анизотропны по своей структуре и по сравнению с другими имеют более высокие прочность и модуль упругости в поперечном направлении. Их диаметр составляет приблизительно 12 мкм. Они более пластичны при действии растягивающих нагрузок, но при сжатии остаются упругими вплоть до разрушения. Арамидные волокна обладают хорошей выносливостью и жёсткостью.

Полимерные композиционные материалы с наполнителем из углеродных волокон, получаемых из синтетических и природных волокон на основе целлюлозы, сополимеров акрилонитрила, нефтяных и каменноугольных песков и др., называют углепластиками. Матрицей для углепластиков могут служить терморезистивные и термопластичные полимеры. Основное преимущество углепластиков сравнении с стеклопластиками – более низкая плотность, более высокий модуль упругости, высокая прочность. Композиционные материалы на основе углеродных волокон и углеродной матрицы – углеграфитовые материалы – самые термостойкие композиционные материалы способные выдерживать температуру до  $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Механические свойства углеродных волокон сильно зависят от вида исходного материала – прекурсора и условий карбонизации, так как эти факторы определяют степень дефектности образующегося кристалла. Выбор типа фибр для использования в системе усиления строительных конструкций зависит от типа усиливаемой конструкции и условий её работы, ожидаемой нагрузки после усиления, вида и степени агрессивного воздействия. Углеродные волокна

изготавливаются на основе исходной смолы или полиакрилонитрила (PAN). Первый тип волокон изготавливается из очищенных нефти и угля, пропускаемых под большим давлением через очень тонкое сопло и впоследствии отверждаемых термопроцессом.

Полиакрилонитриловые (PAN) волокна изготавливаются из полиакрилонитрила путём его карбонизации под воздействием высокой температуры. Диаметр волокон при этом способе получения меньше и составляет 5-8 мкм. Композиционный материал состоит из волокон (фибр), отверждённых в эпоксидной смоле. Объёмное содержание волокон 25-30 % в холстах и 50-70 % в полосах (ламинатах).

Волокна являются основным элементом композиционного материала, воспринимающим внешнее силовое воздействие, отверждающий полимер (матрица) перераспределяет нагрузку между ними и предохраняет от воздействия агрессивной среды. Выбор типа фибры для использования в системе усиления строительных конструкций зависит от многих факторов: типа усиливаемой конструкции и условий её работы, ожидаемой нагрузки после усиления, виды и степени воздействия агрессивных внешних факторов и т.д. При выборе системы усиления учитываются основные свойства фибры:

- стойкость к химическим воздействиям. Углеродные и арамидные волокна хорошо сопротивляются многим химическим воздействиям: щелочам, кислотам, хлоридам, сульфатом, нитритам и другим. Многие типы стекловолокон подвержены щелочной коррозии (при  $pH > 11$ ). Арамид обладает большей водопроницаемостью. Большая концентрация солей может привести к изменению кристаллической решётки у всех типов волокон, и, следовательно, к их разрушению;

- сопротивление ультрафиолетовому излучению. Стекло- и углеродные волокна не подвержены воздействию ультрафиолетового излучения. Арамидные волокна меняют цвет, снижается их прочность на растяжение. Прямое воздействие солнечных лучей повышает хрупкость матрицы и других защитных покрытий;

- электропроводимость. Арамидные из стекловолокна являются диэлектриками. Углеродные волокна проводят электрический ток;

- прочность на сжатие. Углеродные и стекловолокна имеют прочность на сжатие, сопоставимую с прочностью на растяжение. У арамидных волокон прочность на сжатие значительно меньше;

- жёсткость. Модуль упругости углеродного волокна сопоставим или значительно выше модуля упругости арматурной стали (таблицы 3.1-3.2). Модуль упругости арамидных волокон меньше, а стекловолокон значительно меньше, чем у стали;

- сопротивление ударным нагрузкам. Поведение волокон во время приложения ударной нагрузки определяется полученной ими энергии при упругом деформировании. Волокна, сочетающие высокую прочность на растяжение (более 3500 Мпа) и значительное относительное удлинение (более 2 %), являются благоприятным материалом для восприятия ударной нагрузки. Этим требованиям отвечают многие типы углеродных, арамидных и стекловолокон;

- воздействие огня. Стекловолокна сохраняют свою прочность вплоть до точки плавления более (1000 °C), тогда как углеродные волокна окисляются на воздухе при температуре около 650 °C. Арамидные волокна не могут использоваться при температурах свыше 200 °C. Все типы волокон не поддерживают горение. В композитных материалах при пожаре определяющим будет поведение отверждающего полимера, при возгорании которого могут выделяться токсичные вещества;

- безопасность и санитарии. Все типы волокон не представляют опасности для здоровья в условиях нормальной эксплуатации. Отдельные части фигуры могут привести к раздражению кожи, глаз и слизистых оболочек, поэтому при выполнении работ с ними необходимо пользоваться индивидуальными средствами защиты.

Изготавливаются композитные материалы различными способами, из которых наиболее распространенными являются:

- автоматический, заключающийся в продолжительном процессе вытягивания углеродной ровницы, пеков или пряжей, пропитанных смолой, между высокотемпературными матрицами до их формования и застывания (pultusion);

- пропитывание полимером пряжи или нити и помещение их на длительное время в плоскую форму при очень низкой температуре для более позднего изготовления с помощью прессформы (prepreg);

- ручное формование в виде необходимого профиля.

Застывшая часть формируемой массы композиционного материала разрезается по длине на отдельные полосы.

Физико-механические свойства композитного материала определяются свойствами его составляющих (волокон и полимера) и их объёмным соотношением в композите. Модуль упругости композитного материала  $E_c$  и его прочность на растяжение  $R_c$  определяются по формулам:

$$E_c = E_f \cdot V_f + E_m \cdot V_m \quad (3.1)$$

$$R_c = R_f \cdot V_f + R_m \cdot V_m, \quad (3.2)$$

где  $E_f$ ,  $R_f$ ,  $V_f$  – соответственно модуль упругости, прочность на растяжение и объёмное соотношение в композите волокон (арамидных, углеродных или стекловолокон);

$E_m$ ,  $R_m$ ,  $V_m$  – то же самое для отверждающего полимера.

При этом  $V_f + V_m = 1$ .

Поведение композитных материалов под нагрузкой определяется микромеханическими процессами деформирования и разрушения, зависящими от диаметра волокна, его распределения в матрице и параллельности волокон, местных дефектов материала, а также объёмным соотношением волокон и полимеры.

В случае предварительно изготовленных полос композитного материала их свойства зависят от площади поперечного сечения, принимаемой при расчёте. При изготовлении композитных материалов на месте (холсты, утапливаемые в клеящий состав-матрицу) конечная толщина КМФ и содержание волокон по площади материала являются переменными величинами и изменяются в широких пределах.

В силу того, что модуль упругости и прочность волокон (фибры) много больше модуля упругости и прочности отверждающего полимера, то механические свойства композитного материала определяются свойствами волокон и площадью поперечного сечения не всего материала, а только площадью в сечении одних

волокон. Когда свойства композитного материала основаны на его полной площади поперечного сечения, включая волокна и полимер, то по сравнению со свойствами самих волокон, модуль упругости и прочность всего материала будут меньше. Механические свойства композитного материала не изменяются из-за увеличения площади его поперечного сечения по сравнению с сечением входящих в его состав волокон. Существует строгое соотношение между количеством волокон в композитном материале и его механическими свойствами. Это представлено в таблице 3.5 и проиллюстрировано на рисунке 3.5.

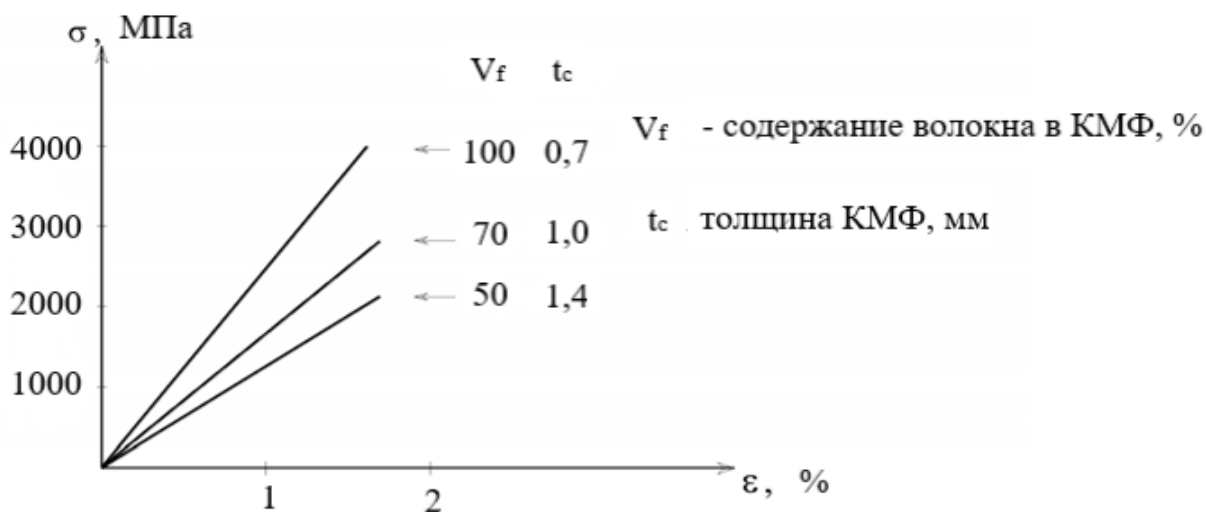


Рисунок 3.5 – Диаграмма «напряжение-деформация» при различном процентном содержании волокон в КМФ

Таблица 3.5 – Механические свойства композитного материала в зависимости от процентного содержание волокон (фибры)

Физико-механические свойства входящих в композитный материал компонентов: $E_f = 220$ ГПа, $R_f = 4000$ МПа, $E_m = 3$ ГПа, $R_m = 80$ МПа								
Площадь поперечного сечения			Свойства КМФ				Разрушающая нагрузка	
$A_f$ , мм <sup>2</sup>	$A_m$ , мм <sup>2</sup>	$A_c^*$ , мм <sup>2</sup>	$V_f$ , %	$E_c$ [1.1], МПа	$R_c$ [1.2], МПа	Предельная деформация, %	кН	%
70	0	70	100	220000	4000	1,818	280,0	100
70	30	100	70	154900	2844	1,823	282,4	100,9
70	70	140	50	111500	2040	1,830	285,6	102,0

Примечание – \* При использовании ленты шириной 100 мм её толщина составляет соответственно 0,7 мм; 1,0 мм и 1,4 мм

При постоянном количестве волокна в композитном материале (в данном случае площадь его поперечного сечения остаётся неизменной  $A_f = 70 \text{ мм}^2$ ) разрушающая нагрузка и предельная деформация отличаются всего на несколько процентов из-за возрастания площади поперечного сечения отверждающего полимера (таблица 3.5). Это обстоятельство особенно важно учитывать при проектировании усиления композитными материалами непосредственно на месте производства работ. При расчёте параметров усиления принимаются во внимание только площадь поперечного сечения и механические свойства волокон, а не всей системы в целом.

Выбор типа композитного материала для усиления определяется условиями эксплуатации и назначением усиливаемой конструкции. Прочностные и деформационные свойства холстовых композитных материалов определяются типом применяемого волокна и его расположением в материале – одно- или двунаправленным. При двунаправленном расположении обычно 70 % волокон располагаются в направлении, в котором предполагается действие основного внешнего усилия, и 30 % – в поперечном направлении. При этом прочность такого материала в основном направлении значительно снижается. Толщина холстового материала составляет около 0,1 мм, а ширина 300 мм и более. Сравнительная характеристика холстовых материалов различных фирм-производителей приведена в таблице 3.6.

В продольном направлении достигаются высокие прочность и жёсткость композитного материала, примерно, до 65 % от величин, приведённых в таблице 3.5. В ламинатах подавляющее количество волокон располагается в продольном направлении, а в поперечном направлении прочность материала значительно меньше. Полосы изготавливаются толщиной 1-2 мм и шириной обычно 50-150 мм. Сравнительная характеристика ламинатов приведена в таблице 3.7.

Так как отверждение волокон в полимере является длительным процессом, то возможно изготовление ламината большой длины. Они формируются в бухты диаметром около 1 м и в таком виде доставляются на строительную площадку, где легко режутся на полосы небольшой длины. Полосы могут изготавливаться и из

полуфабрикатов композиционных материалов. Этот способ широко распространён в аэрокосмической и автомобильной промышленности.

Таблица 3.6 – Сравнительные характеристики холстовых материалов

Торговая марка	Тип волокна	Прочность на растяжение, МПа	Модуль упругости, ГПа	Вес, г/м <sup>2</sup>	Толщина*, мм	Ширина, мм
S&P C Sheet 240	углерод	3800	240	200, 300	0,117; 0,176	150, 300
S&P C Sheet 640	углерод	2650	640	400	0,19; 0,235	300
S&P A Sheet 120	арамид	2900	120	300	0,2	-
S&P G Sheet AR	стекло	1700	65	350	0,135	320
Sika Wrap Hex 230C	углерод	3500	230	230	0,13	610
Sika Wrap Hex 100G	стекло	2250	70	840	-	1270
Torayca UT70-20	углерод	4090	230	200	0,111	100, 250, 500, 1000
Torayca UT70-30	углерод	4220	235	300	0,167	100, 250, 500, 1000
Replark	углерод	3400	230	200	0,111; 0,167	250, 330, 500
Replark	углерод	2900	390	300	0,165	250, 330, 500
Replark	углерод	1900	640	300	0,143	250, 330, 500
Mbrace Tow Sheet	углерод	3550	235	300	0,11; 0,165	500
Mbrace Tow Sheet	углерод	3000	380	300	0,165	500
Mbrace Tow Sheet	стекло	1550	74	915	0,118	500
DML Composites	углерод	4900	230	150, 300, 900	-	300, 500, 1500
DML Composites	стекло	3400	70	200, 250, 1200	-	350, 500
DML Composites	арамид	2800	115	200, 300	-	340
Kevral SRS	арамид	2100	120	280, 420	0,193; 0,286	100, 300, 500
Fosroc C 120	углерод	2300	230	200	0,111	-
Fosroc C 530	углерод	2300	375	300	0,166	-
Tyfo SCH-41	углерод	3803	227,7	750	0,417	-

Таблица 3.7 – Сравнительные характеристики углеродных композитных материалов (ламинатов)

Торговая марка	Прочность на растяжение, МПа	Модуль упругости, ГПа	Толщина, мм	Ширина, мм
S&P Clever Reinforcement	2600	150	1,2; 1,4	50, 80, 100
S&P Clever Reinforcement	2600	200	1,4	10, 50, 80, 100, 120
Sika Carbodur S	3050	165	1,2; 1,4	50, 60, 80, 90, 100, 120, 150
Sika Carbodur M	2900	210	1,4	60, 90, 100
Sika Carbodur H	1450	300	1,4	50
Enforce	2200-2500	165	1,2; 1,4; 2,1	10, 50, 80, 90, 100, 120
Enforce	2200-2500	210	1,2; 1,4; 2,1	50, 80, 90, 100, 120, 150
Tyfo CH	2281	200	1,4	-
DML Composites	2100	140	до 30	до 1400
DML Composites	1400	360	до 30	до 1400
Mepsi Carboplate E 170	3100	170	1,4	50, 100, 150
Mepsi Carboplate E 250	2500	250	1,4	50, 100, 150

Такие полосы обычно содержат около 55 % волокон в продольном направлении и 10 % волокон, расположенных под углом 45 градусов к продольной оси. Полосы изготавливаются длиной до 12 м, шириной до 1,25 м и толщиной до 30 мм.

В Германии и Дании изготавливаются полосы композитного материала L-образной формы для повышения несущей способности железобетонных конструкций на действие поперечной силы и для анкеровки усиливающих элементов.

В композиционных материалах наполнители используются для снижения стоимости материала, придания специальных свойств композитам. Известно более 10000 марок наполненных полимеров. Впервые наполненный полимер начал производить Л. Бакеланд, открывший в начале XX века способ синтеза фенолформальдегидной (бакелитовой) смолы. Созданный материал – бакелит приобрёл большую популярность. Для изготовления композита смесь частично отверждённого полимера и наполнителя, так называемый, пресс-порошок (пресс-



масса) под давлением необратимо затвердевает в форме. Наполненные терморезактивные полимеры широко используются в самых разных областях техники. В качестве наполнителя для терморезактивных и термопластичных полимеров может применяться слюда, сажа, древесная мука, каолин, мел, тальк, стекловолокно, базальтоволлокло и др.

В 70-х годах в СССР при выполнении монолитных бетонных и железобетонных конструкций для опалубки в больших объёмах применялась так называемая бакелизированная фанера с оборачиваемостью 100 циклов.

В 1920 году была разработана технология получения слоистого пластика, армированного тканями из различных волокон на основе фенолформальдегидной смолы-текстолита. В качестве наполнителя используются ткани из стеклянных, углеродных, асбестовых, хлопковых, синтетических, базальтовых волокон. Полотна ткани, пропитанные смолой, прессуют при повышенной температуре, получая текстолитовые пластины или изделия. Связующие в текстолите – широкий круг терморезактивных и термопластичных полимеров или неорганические связующие на основе силикатов или фосфатов.

Композитные материалы с металлической матрицей отличаются повышенной прочностью, жёсткостью, сопротивлением износу, сопротивлением ползучести. В качестве матрицы используется магний, алюминий, никель, медь и др. Наполнителем могут быть высокопрочные волокна, тугоплавкие частицы различной дисперсности, нитевидные монокристаллы оксида алюминия, оксидов бериллия, карбидов бора и кремния, нитридов алюминия и кремния длиной 0,3-15 мм и диаметром 1-30 мкм.

Армирование керамических материалов волокнами, а также металлическими и керамическими дисперсными частицами позволяет получать высокопрочные композиты. Вид материала волокон, пригодных для армирования керамики, ограничен свойствами этого материала. Наибольшее применение получили металлические волокна, дающие незначительный рост сопротивления растяжению, но повышается сопротивление тепловым ударом. Армирование керамики дисперсными металлическими частицами привело к образованию нового материала

(кермета) с повышенной стойкостью, устойчивостью относительно тепловых ударов, повышенной теплопроводностью. Из высокотемпературных керметов делают детали для ракетной и реактивной техники, детали газовых турбин и др.

### **3.4 Композитная, стержневая арматура для армирования бетонных конструкций**

Бетон и железобетон распространённые в практике строительства материалы. Обладая множеством положительных качеств железобетон имеет и недостатки, которые снижают долговечность, ограничивают область его применения. Большое количество зданий и сооружений промышленных объектов в технологических процессах используют или выделяют агрессивные по отношению к железобетону вещества, вызывающие коррозию бетона и арматуры. Эксплуатационные расходы на содержание в надлежащем состоянии зданий и сооружений возрастает из-за незначительных межремонтных сроков железобетонных конструкций. Состояние большинства отремонтированных сооружений из железобетона существенно ухудшается через несколько лет, примерно 75 % отремонтированных железобетонных конструкций требует повторного ремонта через 5 лет, что связано с качеством ремонта и применяемыми ремонтными материалами.

Проблемы в значительной мере решаются при использовании коррозионностойких материалов. Современные технологии позволяют получить полимербетоны с заданными свойствами на основе фурфурол-ацетоновых, полиэфирных, эпоксидных, акриловых и других смол. Традиционная стальная арматура заменяется композитной арматурой. Согласно ГОСТ [20] в качестве упрочняющих волокон могут использоваться четыре вида непрерывных или штапельных нитей:

- арамидные из полиамидных материалов;
- стеклянные, производимые из расплавов неорганического стекла;
- базальтовые, изготавливаемые из вулканических пород;

- углеродные, полученные методом пиролиза (термообработки органических волокон специальных веществ – прекурсоров. Их выбирают из-за того, что они содержат от 90 % и более массы углерода.

Волокна дополняются терморезактивными связующими смолами группы эпоксидов или полиэфиров. Именно из-за этого готовая продукция относится к категории «неметаллическая композитная арматура». Композитная арматура изготавливается на основе стекловолокна АСК, базальтового волокна АБК, углеродного волокна АУК, арамидного волокна ААК, комбинированные АКК. Арматуру композитную наномодифицированную, имеющую низкую адгезию с бетоном, модифицируют добавлением углеродных наноконпонентов в состав арматуры, что увеличивает её сцепление с бетоном.

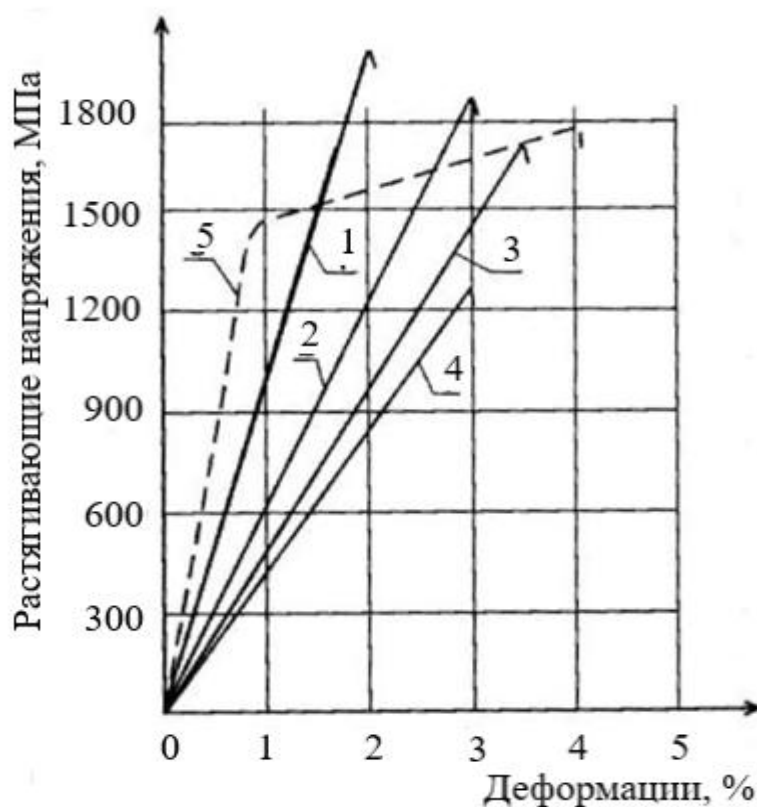
Композитная арматура утвердилась на строительном рынке благодаря доказанному сопротивлению коррозии, высокой прочности и др. Перечисленные виды композитной арматуры по сравнению с металлической имеют свои достоинства и недостатки (рисунок 3.6, таблица 3.8).

Постоянный рост числа публикаций в мировой научно-технической литературе и активная деятельность ФИБ по этой тематике подтверждает перспективность этого материала для предварительно напряженного железобетона.

Физико-механические характеристики АКП различных видов должны соответствовать требованиям, приведённым в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Физико-механические свойства АКП

Наименование показателей	АСК	АБК	АУК	ААК	АКК
Предел прочности при растяжении, $\sigma_b$ , МПа, не менее	800	800	1400	1400	1000
Модуль упругости при растяжении $E_f$ , ГПа, не менее	50	50	130	70	100
Предел прочности при сжатии $\sigma_{bc}$ , МПа, не менее	300	300	300	300	300
Предел прочности при поперечном срезе, $T_{sh}$ , МПа, не менее	150	150	350	190	190



1 – углепластик (АУК); 2 – арамидопластик; 3 – стеклопластик; 4 – базальтопластик;  
 5 – семипроволочный стальной канат диаметром 15 мм

Рисунок 3.6 – Рабочие диаграммы деформаций различных типов арматуры одного сечения

В современном строительстве наблюдается рост применения стеклопластиковой арматуры в связи с рядом положительных качеств: коррозионная стойкость; высокая удельная прочность (отношение прочности к удельной массе); морозостойкость; низкая теплопроводность; не электропроводна; сравнительно (по отношению к углепластиковой, арамидной, базальтовой) недорогая.

Стеклопластиковая арматура превышает по прочности в 3-4 раза обычную стальную арматуру, превосходит её по коррозионной стойкости. Наибольшую прочность и начальный модуль упругости имеет арматура, изготовленная из первичной нити. Арматура, выработанная из обычного жгута-ровинга, в котором устранена неоднородность нитей, будет выше. Коррозионная стойкость стеклопластиковой арматуры в основном зависит от вида полимерного связующего и волокна, современные технологии позволяют изменять свойства путём выбора

конкретных волокон, их ориентации и применения различных связующих материалов.

В агрессивной среде целесообразно использовать арматуру больших диаметров с менее развитой относительной поверхностью, химическая стойкость её будет выше, чем тонкой и долговечность её тоже будет выше. Испытания показали, что стеклопластиковая арматура имеет стойкость в кислой среде более чем в 10 раз, а в растворах солей более чем в 5 раз выше стойкости стальной арматуры. Наиболее опасной агрессивной средой для стеклопластиковой арматуры является щелочная среда, в которой происходит снижение прочности в результате проникновения жидкой фазы к стекловолокну через открытые дефекты в связующем, а также при диффузии через связующее.

Впервые в мире стеклопластиковая арматура была разработана в 60-х годах XX века в СССР, изготовление стержней арматуры диаметром 6 мм была освоена в начале 70-х годов и с этого периода началось её медленное внедрение в практику строительства. В странах Западной Европы, Америке, Японии стеклопластиковую арматуру применяли при строительстве мостов, дорог, фундаментов и других важных объектов. В России вновь занялись исследованием и внедрением стеклопластиковой арматуры в 2008-2010 годах. Являясь первооткрывателями этой арматуры, мы сейчас оказались далеко не на первом месте по её внедрению. Инновационный процесс оказался заторможенным из-за недостаточности финансирования, недоверия к новому продукту и ряду других причин.

При сравнении цены стеклопластиковой и металлической арматуры одинакового диаметра существенная разница не выявляется, но при равнопрочной замене получается существенная экономия.

Область применения стеклопластиковой арматуры ограничена в связи с низким модулем упругости, почти в четыре раза меньшим, чем модуль упругости стали (таблица 3.9).

Это предопределяет её использование только в предварительно напряженных конструкциях, так как при использовании её в конструкциях без преднапряжения полное использование прочности арматуры невозможно. Тем не менее применение

стеклопластиковой арматуры в практике строительства растёт год от года. Серьёзная проблема стеклопластиковой арматуры АСК – анизотропия, которая приводит к изменению механизмов, отвечающих за сцепление арматуры с бетоном. Сцепление с бетоном гладкой арматуры АСК слабее, чем с металлической. Для увеличения прочности сцепления на поверхности АСК создают искусственные неровности или покрывают её песком. Проведённые в механической лаборатории имени профессора Н.А. Белелюбского ПГУПС исследования сцепления бетона со стеклопластиковой арматурой с модифицированной плоской навивкой стекловолокном в соответствии с ТУ 2296-001-30604955-2012 методом выдергивания арматуры из бетонного куба показали, что сцепление АСК с бетоном выше, чем со стальной арматурой и аналогичной АСК с одинарной и двойной навивкой.

Стеклопластиковая арматура применяется для армирования фундаментов, дорожных плит и др.; для армирования обычных ненапряжённых бетонных конструкций, пористых и крупнопористых бетонов, лёгких и ячеистых, в том числе монолитных; для изготовления анкеров крепления наружной теплоизоляции стен к конструкционному слою; для изготовления сеток и стержней, армированных каменных конструкций; для армирования автомобильного дорожного полотна; для армирования конструкции и эксплуатируемых в агрессивной среде; для армирования горных пород и грунтов при горнопроходческих работах, прокладки тоннелей и др.; для армирования бетонов на шлакопортландцементе, пуццолановом цементе, смешанных вяжущих с высоким содержанием активных минеральных добавок и др.; для армирования монолитных бетонов с хлорсодержащими противоморозными добавками (хлорид кальция, нитрид-хлорид и др.). Потенциальные возможности использования стеклопластиковой арматуры ещё в полной мере не определены и не изучены.

Базальтопластиковая арматура появилась значительно позже стеклопластиковой, этим вероятно можно объяснить её меньшее применение в строительстве, однако, в последние годы растёт применение базальтопластиковой арматуры в нашей стране и в мире. Базальтопластиковая арматура изготавливается

из базальтовых волокон. Отечественной разработкой базальтопластиковой арматуры «ROCKBAR», запатентованная фирмой «Гален» является инновационной, при изготовлении с 2009 года в полимер стали добавлять наночастицы, что позволило получить композиты прочнее и долговечнее, с улучшенными физико-механическими характеристиками. Базальтопластиковая арматура характеризуется высокими прочностными качествами, прочность при растяжении  $R_p = 1200$  МПа, прочность при сжатии  $R = 300$  МПа, корозионностойкая, работает в диапазоне температур от минус 70 °С до плюс 100 °С. Базальтопластиковая арматура имеет ряд отрицательных качеств: отличается своей низкой пластичностью, площадка текучести практически отсутствует и поэтому она не поддается холодной гибке. Изгибать арматуру можно только при нагреве, что значительно усложняет технологию арматурных работ, жесткость АБП в четыре раза ниже чем у стали, при нагреве выше 300 °С АБП теряет свои прочностные свойства, при распиле стержней образуются мельчайшие пылинки с открытыми концами, причиняющие опасные травмы.

Углепластиковая (карбонпластиковая) арматура – это композитный материал на основе графитовых волокон, пропитанных различными полимерами. Внешне арматура из углеродных волокон похожа на металлическую – стержни круглого сечения диаметром от 4 до 32 мм с периодическим профилем. Рифление получается в результате намотки углеволоконного жгута вокруг стержня. Сверху продукт покрывается слоем термореактивных смол для защиты нитей от разрушающих факторов. Некоторые заводы (Гален, ТДКМ) предлагают варианты с гладкой или рифлёной поверхностью и песчаной обсыпкой для улучшения адгезии. Углепластиковая арматура более чем в 2 раза прочнее стеклопластиковой и в 5-6 раз прочнее обычной стальной. Модуль упругости углепластиковой арматуры почти такой же как у стальной арматуры. Да достоинствам углепластиковой арматуры относятся также: устойчивость к коррозии, кислотам, щелочам, низкая теплопроводность, широкий температурный диапазон эксплуатации от минус 70 °С до плюс 400 °С, в случае пожара связующий компонент разрушается при нагреве до 200 °С, неэлектропроводна, радио-, магнитопрозрачна, не создаёт помех и

искажений для радиоволн, долговечна, арматура имеет удельный вес на порядок меньше, чем стальная. Углепластиковая арматура лучше металлической подходит для армирования дорожного полотна, мостов, конструкций химических складов, системы канализации, водоочистки, ливневой канализации и др. Стоимость углепластиковой арматуры превышает стоимость стальной арматуры в 25-30 раз, что является одним из препятствий в её применение. Другим недостатком углепластиковой арматуры является её хрупкость, особенно ударная. Отдельные информационные сведения о физико-механических свойствах углепластиковой арматуры требуют дополнительных экспериментальных подтверждений. В отличие от стальных изделий в композитной арматуре сечение волокна не равно диаметру стержня, не менее 25-50 % объёма приходится на синтетическую смолу или полимеризованный пластик. Реальные данные по процентному соотношению отсутствуют как и соответствующие нормативы ТУ, всё это вызывает сомнения при замене металлического стержня на углекомпозитный того же диаметра (Stroitellist.ru) <http://stroitellist.ru/>. Температурный диапазон эксплуатации (по ряду публикаций) вызывает сомнения в связи с тем, что при температуре ниже минус 10 °C любой пластик становится хрупким, а при температуре ниже минус 30 °C арматурный каркас может раскашиваться при малейшем увеличении нагрузки. При температуре выше плюс 120 °C синтетические полимеры начинают плавиться и стержни теряют форму. Арматура из карбопластиковой смеси в настоящее время недостаточно изучена и точный эксплуатационный период неизвестен.

Объёмы применения композитной арматуры в строительстве в развитых странах возрастают год от года. Каждый вид композиционной арматуры (АСК, АБК, АУК, ААК, АКК) имеет свои ограничительные рамки в области применения, связанные с взаимодействием с контактируемой средой, температурными условиями эксплуатации, информативными и прочностными характеристиками арматуры, экономическими затратами. Проводимые в ряде стран исследования постепенно устраняют помехи в области применения композиционных материалов. Так, проведённый эксперимент учёными США и Канады на одном пролёте предварительно напряженного бетона автодорожного моста, армированного



проволокой и канатами из углепластика с применением современных измерительных приборов с фиксацией данных вплоть до разрушения, позволил получить обширную информацию, необходимую для положительной оценки мостовых сооружений, армированных углепластиковыми арматурами. Проблемных вопросов в области совершенствования композитной арматуры с целью расширения области её применения множество и они требуют проведения исследований.

Таблица 3.9 – Композитная арматура. Сравнение с аналогами

Техническая характеристика	Композитная арматура Rockbar	Арматура из углеродистой стали 600	Углепластиковая арматура	Стеклопластиковая арматура	Арматура из нержавеющей стали
1 Прочность на растяжение, МПа	1200	550	2000-3000	1000	550
2 Теплопроводность	менее 1,0	56,0	более 1,0	менее 1,0	17,0
3 Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,10	7,85	1,60	2,10	7,85
4 Модуль упругости, ГПа	50	200	150-350	45	200
5 Электропроводность	устанавливается в широком диапазоне	проводит электричество	проводит электричество	проводит электричество	проводит электричество
6 Магнитная характеристика	не намагничивается	намагничивается	не намагничивается	не намагничивается	не намагничивается
7 Огнестойкость, еС	до 300 (600)	до 600	нет данных	до 150 (300)	до 600
8 Показатели надёжности	коррозионная и химическая стойкость очень высокая	коррозионная и химическая стойкость низкая	коррозионная и химическая стойкость очень высокая	коррозионная и химическая стойкость высокая	коррозионная и химическая стойкость высокая

### 3.5 Основные положения проектирования конструкций с композитной арматурой

#### 3.5.1 Общие сведения об армировании бетонных конструкций композитными стержнями

Арматура композиционная полимерная (АКП), обладающая рядом положительных свойств, отсутствующих у металлической арматуры, с каждым годом увеличивает объёмы применения в строительной индустрии. Применение

инновационных композитных материалов при проектировании бетонных конструкций способствует повышению их эффективности и долговечности. Нормативно-техническая база проектирования бетонных конструкций из композитной арматуры представлена ГОСТ 31938-2012 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия», ГОСТ 32492-2015 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения физико-механических характеристик», СП 295.1325800.2017 «Конструкции бетонные, армированные полимерной композитной арматурой. Правил проектирования». Разработка нормативов по расчёту конструкция с АКП выполнена с учётом анализа рекомендаций, принятых в существующих отечественных и зарубежных технических документах для расчёта таких конструкций, технических отчетах, публикациях.

АКП рекомендуется применять для армированных конструкций, эксплуатируемых в условиях агрессивного воздействия окружающей среды. Конструкции бетонные армированные АКП проектируют без преднапряжения и с преднапряжением. Учитывая сравнительно невысокий модуль упругости, наибольшая эффективность АКП достигается при применении её в качестве предварительно напряженной арматуры.

Для армирования конструкций следует применять АКП отвечающую требованиям ГОСТ 31938-2012 следующих видов:

- стеклокомпозитную (АСК);
- базальтокомпозитную (АБС);
- углекомпозитную (АУК);
- арамидокомпозитную (ААК);
- комбинированную (АКК).

Вид АКП следует выбирать с учётом условий эксплуатации конструкции, характера их нагружения и экономических показателей.

В своде правил [16] числовые значения прочностных и деформативных характеристик АКП не представлены, так как у разных производителей они разные, указаны лишь минимально допустимые их значения (таблица 1 [16]). Нормативные

значения сопротивления растяжению  $R_{f, n}$  и значение модуля упругости  $E_f$  АКП определяются с обеспеченностью 0,95 по результатам испытаний образцов в соответствии с ГОСТ 31938. В связи с незначительным сопротивлением АКП сжатию эта характеристика в СП не нормируется и в расчётах на сжатие не учитывается.

Расчетное сопротивление растяжению  $R_f$  АКП принимается равным:

$$R_f = \frac{\gamma_{fi} \cdot R_{f,n}}{\gamma_f} \quad (3.3)$$

где  $\gamma_f$  - коэффициент надёжности по материалу, при расчёте по предельным состоянием первой группы в зависимости от значения коэффициента варианта  $\nu$ : при  $\nu \leq 0,1$  равным 1,2; при  $0,1 < \nu \leq 0,15$  равным 1,5. При расчёте по второй группе предельных состояний равным 1.

Коэффициент  $\gamma_{fi}$ , учитывающий условия эксплуатации принимается по таблице 2 [16] в зависимости от вида арматуры.

При расчёте по предельным состояниям первой группы на действие только постоянных и временных нагрузок расчётное сопротивление растяжению АКП определяют по формуле:

$$R_f = \gamma_{fi} \cdot R_{fn}, \quad (3.4)$$

где  $\gamma_{fi}$  – коэффициент снижения сопротивления растяжению при длительном действии нагрузок определяется по таблице 3 [16].

Расчётное сопротивление АКП растяжению при расчёте наклонных сечений принято с учётом рекомендаций зарубежных норм с учётом радиуса загиба хомутов  $> 6d_{f0}$ , где  $d_{f0}$  – диаметр стержней.

$$R_{f0} = 0,004 \cdot E_f \leq 0,5R_f, \quad (3.5)$$

$$R_{f0} \leq 300 \text{ МПа}$$

Существующие зарубежные нормы и рекомендации по расчёту конструкций с АКП в основном являются модификацией норм по расчёту железобетонных конструкций из стальной арматуры. Изменения связаны лишь с нормированием физико-механических свойств арматуры и ряда эмпирических соотношений, основанных на экспериментальных данных.

Принципы расчёта и расчетные модели для экспериментов с АКП также сохранены такими же, какие приняты для расчёта конструкций со стальной арматурой.

Расчёт по прочности нормальных сечений конструкций рекомендовано производить на основе нелинейной деформационной модели.

Как и для конструкций со стальной арматурой расчёт по прочности нормальных сечений конструкций прямоугольного, таврового и двутаврового сечений с АКП, расположенной у верхней и нижней граней сечения, а также сжатых конструкций прямоугольного, круглого и кольцевого поперечных сечений допускается производить по предельным усилиям.

### 3.5.2 Расчёт по прочности нормальных сечений по предельным усилиям

Основные положения, заложенные в основу расчёта по методу предельных усилий, приняты такими же, что и для стальной арматуры. Дополнительно принято положение об отсутствии сопротивления АКП сжатию.

Значение граничной относительной высоты сжатой зоны сечения  $\varepsilon_R$  установлено, как и для стальной арматуры, исходя из гипотезы плоских сечений и коэффициента полноты эпюры напряжений в сжатой зоне сечения и определяется по формуле:

$$\varepsilon_R = \frac{x_R}{h_0} = \frac{\omega}{1 + \frac{\varepsilon_f}{\varepsilon_{b2}}} \quad (3.6)$$

где  $\omega$  – характеристика сжатой зоны бетона, принимаемые для тяжёлого бетона классов до В60 включительно равной 0,8, а для тяжёлого бетона классов В70-В100 и для мелкозернистого, лёгкого и ячеистого бетонов – равной 0,7;

$\varepsilon_f$  – расчётное значение предельных относительных деформаций АКП, соответствующих расчётному сопротивлению АКП осевому растяжению;

$\varepsilon_{b2}$  – относительные деформации сжатого бетона, принимаемые по СП 63.133030.

Расчёт по прочности нормальных сечение изгибаемых, внецентренно сжатых, центрально и внецентренно растянутых конструкций по предельным усилиям производят по расчётным зависимостям конструкций со стальной арматурой, представленных в СП 63.133030. При этом в расчётные зависимости вместо параметров стальной арматуры  $E_s$ ,  $R_s$ ,  $A_s$  подставляют соответствующие параметры АКП  $E_f$ ,  $R_f$  и  $A_f$  и принимают  $A_s = 0$ .

Для изгибаемых конструкция с АКП для случая  $\xi > \xi_R$  правило определение высоты сжатой зоны сечения принято иным, чем для конструкций со стальной арматурой.

Обработка результатов испытаний на изгиб опытных образцов с АКП показала, что для случая  $\xi > \xi_R$  результаты расчёта, выполненные с расчётным значением высоты зоны сечения  $\xi = \xi_R$  (аналогично стальной арматуры) существенно расходятся с результатами экспериментов.

В связи с этим для изгибаемых элементов при  $\xi > \xi_R$  высоту сжатой зоны рекомендовано определять по формуле:

$$x = \frac{(0,5\mu_f \cdot \alpha_2 \cdot h_0)^2 + \mu_f \cdot \alpha_2 \cdot h_0^2 \cdot \omega - 0,5\mu_f \cdot \alpha_2 \cdot h_0}{2 \cdot \mu_f \cdot \alpha_2} \quad (3.7)$$

$$\text{где } \mu_f = \frac{A_f}{b \cdot h_0}; \alpha_2 = \frac{E_f}{E_{b2}}; E_{b2} = \frac{R_b}{\varepsilon_{b2}}$$

$\varepsilon_{b2}$  – предельное значение относительной деформации бетона при сжатии, определяемое по п.6.1.20 СП 63.13330;

$\omega$  – характеристика сжатой зоны п.6.1.6 СП 63.13330;

$E_f$ ,  $E_{b2}$  – модуль упругости композитной арматуры и бетона соответственно;

$A_f$  – площадь АКП;

$R_b$  – призматическая прочность бетона.

Расчёт по прочности сечений изгибаемых элементов производится из условия:

$$M \leq M_{ult}, \quad (3.8)$$

где  $M$  – момент от внешней нагрузки,

$M_{ult}$  – предельный изгибающий момент, который может быть воспринят сечением элемента.

Значение  $M_{ult}$  для элементов прямоугольного сечения при  $\xi = \frac{x}{h_0} < \xi_R$  определяют по формуле:

$$M_{ult} = R_b \cdot b \cdot x \cdot \left(h_0 - \frac{x}{2}\right), \quad (3.9)$$

где  $x$  – высота сжатой зоны бетона.

$$x = \frac{R_f \cdot A_f}{R_b \cdot b} \quad (3.10)$$

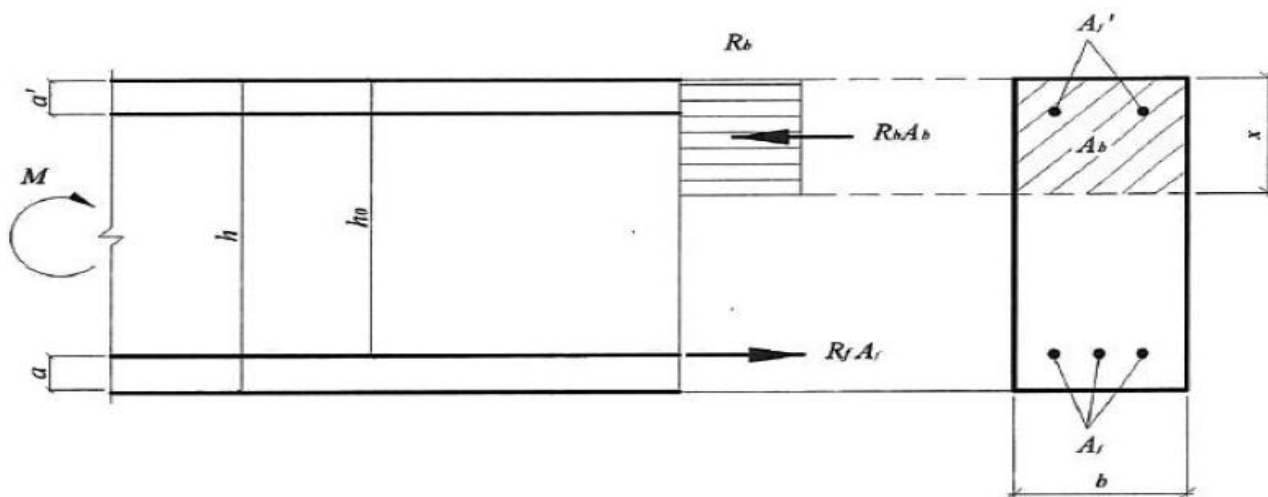


Рисунок 3.7 – Схема усилий в поперечном прямоугольном сечении изгибаемого элемента

Значение  $M_{ult}$  для изгибаемых элементов таврового и двутаврового профиля с полкой в сжатой зоне, при  $\xi \leq \xi_R$  определяют в зависимости от положения границы сжатой зоны (рисунок 3.8).

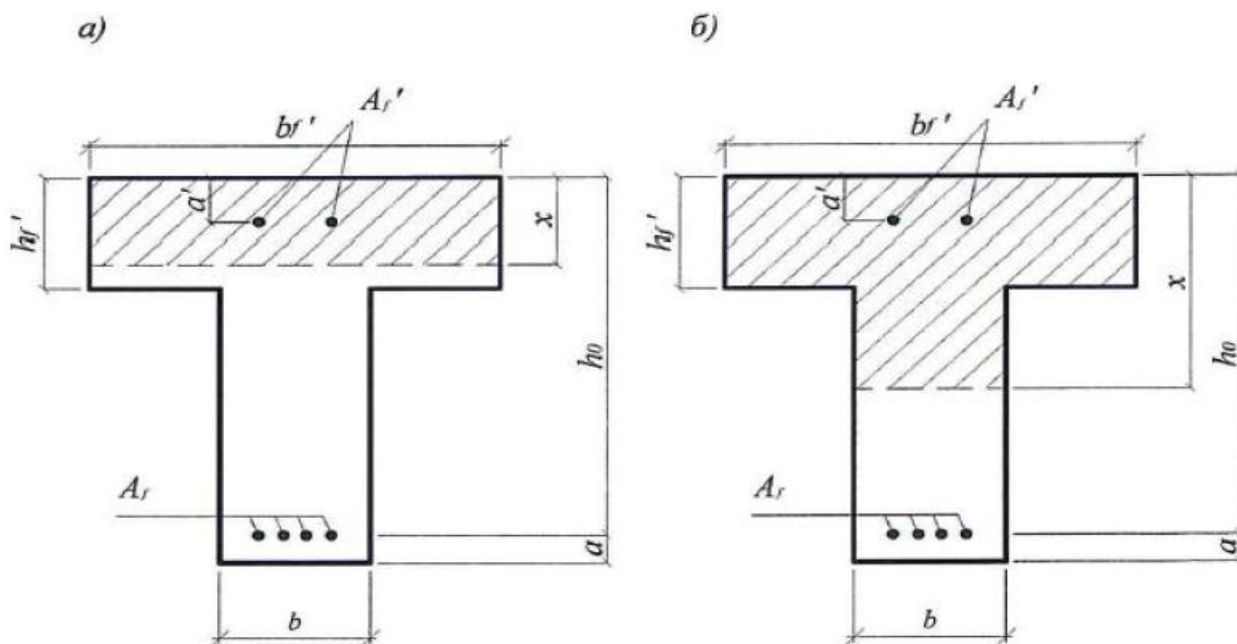


Рисунок 3.8 – Положение границы сжатой зоны в тавровом сечении изгибаемого элемента

Если граница сжатой зоны проходит в полке ( $x < h_f'$ ), то  $M_{ult}$  определяют как для прямоугольного сечения, принимая  $b = b_f'$ , если граница сжатой зоны проходит в ребре ( $x > h_f'$ )

$$M_{ult} = R_b \cdot b \cdot x \cdot h_0 - 0,5 \cdot x^2 + R_b \cdot (b_f' - b) \cdot h_f' \cdot (h_0 - 0,5 \cdot h_f'), \quad (3.11)$$

$$x = \frac{(R_b \cdot A_f - R_b \cdot (b_f' - b) \cdot h_f')}{R_b \cdot b} \quad (3.12)$$

Расчёт внецентренно сжатых элементов производят с использованием представленных в СП 63.13330 расчётных зависимостей, подставляя соответствующие параметры АКП и принимая в расчётных зависимостях  $A_s' = 0$ . Расчёт центрально и внецентренно растянутых элементов производят по указаниям и расчётным зависимостям СП 163.130330, подставляя соответствующие параметры

АКП и принимая в расчётных зависимостях  $A'_s = 0$ . Высота сжатой зоны при  $\xi \leq \xi_R$  определяется из условия:

$$x = \frac{N + R_f \cdot A_f}{R_b \cdot b}, \quad (3.13)$$

при  $\xi > \xi_R$

$$x = \frac{N + R_f \cdot A_f \cdot \frac{1 + \xi_R}{1 - \xi_R}}{R_b \cdot b + \frac{2 \cdot R_f \cdot A_f}{h_0 \cdot (1 - \xi_R)}}, \quad (3.14)$$

Расчёт прочности наклонных сечений производят исходя из общих положений, указаний и расчётной марки модели СП 63.130330, установленные для конструкций со стальной арматурой, подставляя в расчётные зависимости вместо характеристик стальной арматуры характеристики композитной арматуры.

### 3.5.3 Расчёт по предельным состояниям второй группы

Для расчёта конструкций с АКП по предельным состояниям второй группы приняты общие положения, указания и расчётные модели СП 63.13330, установленные для конструкций со стальной арматурой и введены определённые ограничения. Предельно допустимое значение ширины раскрытия трещин  $a_{\text{orc,ult}}$ :

0,7 мм – непродолжительное раскрытие трещин;

0,5 мм – при продолжительном раскрытии трещин.

Предварительное напряжение арматуры  $\sigma_{fp}$  установлены:

0,5 $R_{fn}$  – для арамидокомпозитной арматуры ААК;

0,65 $R_{fn}$  – для углепластиковой арматуры АУК;

0,45 $R_{fn}$  – для стеклопластиковой арматуры.

При расчёте преднапряжённых конструкций с АКП учитываются первые и вторые потери. Предварительные напряжения в бетоне не должны превышать:

0,6 $R_{bp}$  – при передаче усилия предварительного обжатия  $P_{(1)}$ , определяемого с учётом первых потерь



$0,45R_{bp}$  – в эксплуатационной стадии при действии усилия предварительного обжатия  $P$  с учётом полных потерь и нормативной длительной нагрузки;

$0,6R_{bp}$  – в эксплуатационной стадии при действии усилия предварительного обжатия  $P_{(2)}$  с учётом всех потерь и полной нормативной нагрузки.

### 3.5.4 Расчёт прочности нормальных сечений

Расчёт прочности нормальных сечений предварительно напряжённых конструкций по предельным усилиям производят по указаниям для расчёта без предварительного напряжения АКП, при этом значение относительной деформации растянутой зоны  $\xi_f$  при вычислении относительной граничной высоты сжатой зоны  $\xi_R$  определяют по формуле:

$$\xi_f = \frac{R_f - \sigma_{fp}}{E_f}, \quad (3.15)$$

где  $\sigma_{fp}$  – преднапряжение в арматуре с учётом всех потерь и  $\gamma_{fp} = 0,9$ .

## 3.6 Примеры расчёта

3.6.1 Пример расчёта изгибаемого бетонного элемента, армированного композитной арматурой

Сечение однопролётной балки статически определимой, прямоугольной формы с размерами  $b \times h = 25 \text{ см} \times 55 \text{ см}$ .

Толщина защитного слоя  $a_3 = 20 \text{ мм}$  (п.8.2.2 [16]).

Класс бетона В20.

Расчётное сопротивление бетона сжатию  $R_b = 11,5 \text{ МПа}$ , растяжению  $R_{bt} = 0,9 \text{ МПа}$ ,  $E_b = 27,5 \cdot 10^3 \text{ МПа}$ .

Момент от внешней нагрузки  $M = 143,75 \text{ КНм}$ .

Композитная арматура АСК стеклопластиковая.

Минимальное нормативное значение предела прочности при растяжении т.1 [16]  $R_{f,n} = 800 \text{ МПа}$ .

Модуль упругости  $E_{fn} = 50 \text{ ГПа} = 50000 \text{ МПа}$ .

Расчётное значение сопротивления растяжению (п.5.2.6 [16]):

$$R_f = \frac{\gamma_{f1} \cdot R_{fn}}{\gamma_f} = \frac{0,8 \cdot 800}{1,5} = 426,6 \text{ МПа},$$

где  $\gamma_f = 1,5$  при коэффициенте вариации  $\nu = 0,135$ ;

$\gamma_{f1} = 0,8$  при эксплуатации внутри помещения (т.2. [16]).

$$\text{Коэффициент } \alpha_m = \frac{M}{\gamma_{b1} \cdot R_b \cdot b \cdot h_0^2} = \frac{143,75 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 11,5 \cdot 25 \cdot 10^2} = 0,221.$$

$\gamma_{b1} = 0,9$  (п.6.1.12 [СП 63]).

$h_0 = h - a_3 - a_f = 55 - 2 - 3 = 50 \text{ см}$ .

Из решения уравнения  $\alpha_m = \xi \cdot (1 - \frac{\xi}{2})$  определяется значение  $\xi = 0,254$ .

Значение граничной высоты сжатой зоны по п.6.1.6 [16]

$$\xi_R = \frac{x_R}{h_0} = \frac{\omega}{1 + \frac{\xi_f}{\xi_{b2}}} = \frac{0,8}{1 + \frac{8,5 \cdot 10^{-3}}{4,8 \cdot 10^{-3}}} = 0,288$$

$\xi < \xi_R$

где  $\omega = 0,8$ ;  $\varepsilon_f = \frac{R_f}{E_f} = \frac{426,6}{50 \cdot 10^3} = 8,5 \cdot 10^{-3}$ ;

$\varepsilon_{b2} = 4,8 \cdot 10^{-3}$  (т.6.10 [12]).

$\xi < \xi_R$

$$A_f = \frac{R_b \cdot b \cdot h_0 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \alpha_m})}{R_f} = \frac{11,5 \cdot 25 \cdot 50 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,221})}{426,6} = 8,52 \text{ см}^2$$

Варианты армирования:

- 4d18 АСК,  $A_f = 10,18 \text{ см}^2$ ;
- 6d14 АСК,  $A_f = 9,33 \text{ см}^2$ ;
- 8d12 АСК,  $A_f = 9,6 \text{ см}^2$ .

### 3.6.2 Пример расчёта балки покрытия склада удобрений, армированной базальтопластиковой арматурой

Сечение балки тавровое с полкой в сжатой зоне (рисунок 3.9).

Высота балки  $h = 45 \text{ см}$ .

Ширина ребра  $b = 20$  см.

Высота полки  $h'_f = 10$  см.

Ширина верхней полки  $b'_f = 40$  см.

Класс бетона В25.

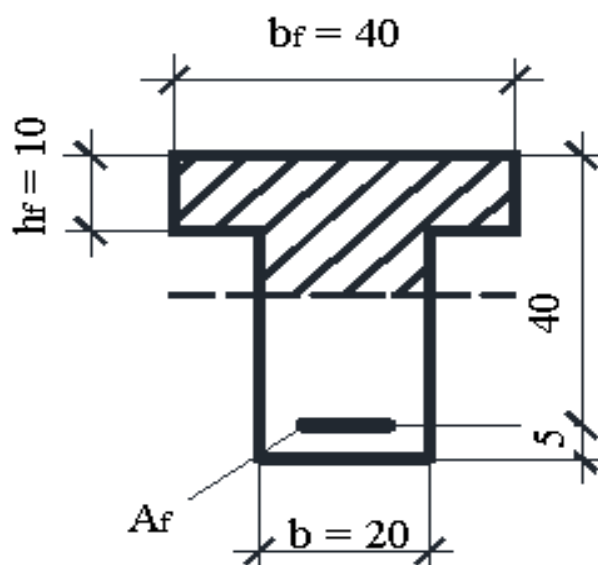


Рисунок 3.9 – Поперечное сечение балки для примера расчета

Расчётное сопротивление сжатию  $R_b = 14,5$  МПа, расчётное сопротивление бетона растяжению  $R_{bt} = 1,05$  МПа.

Момент внешней нагрузки  $M = 210$  кНм.

Композитная арматура АБК базальтопластиковая.

Нормативная прочность при растяжении т.1 [16]  $R_{fn} = 800$  МПа.

Модуль упругости  $E_f = 50$  ГПа = 50000 МПа.

Расчётное значение сопротивления растяжению (п.5.2.6 [16]):

$$R_f = \frac{\gamma_{f1} \cdot R_{fn}}{\gamma_f} = \frac{0,9 \cdot 800}{1,5} = 480 \text{ МПа,}$$

где  $\gamma_f = 1,5$  при коэффициенте вариации  $v = 0,13$ ;

$$\gamma_{f1} = 0,9 \text{ (т.2. [16]).}$$

Положение границы сжатой зоны из условия п.6.6 [16]

$$M > R_b \cdot b'_f \cdot h'_f \cdot h_0 - \frac{h_f}{2} = 210 \text{ кНм} > 14,5 \cdot 40 \cdot 10 \cdot 40 - \frac{10}{2} \cdot 10^{-3} ==$$

203 кНм

$$x > h'_f$$

Граница сжатой зоны проходит в ребре.

$$\begin{aligned}\sigma_m &= \frac{M - R_b \cdot (b'_f - b) \cdot h'_f \cdot (h_0 - \frac{h'_f}{2})}{R_b \cdot b \cdot h_0^2} = \\ &= \frac{210 - 14,5 \cdot (40 - 20) \cdot 10 \cdot (40 - \frac{10}{2}) \cdot 10^{-3}}{14,5 \cdot 20 \cdot 40^2 \cdot 10^{-3}} = \frac{210 - 101,5}{464} = 0,233\end{aligned}$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\alpha = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \sigma_m}) = 1 - \sqrt{1 - 0,466} = 0,269$$

$\xi_{R} = 0,288$  (из примера 1).

Площадь рабочей продольной арматуры:

$$A_f = \frac{R_b \cdot b \cdot h_0 \cdot \alpha + R_b \cdot (b'_f - b) \cdot h'_f}{R_f} = \frac{14,5 \cdot 20 \cdot 40 \cdot 0,288 + 14,5 \cdot (40 - 20) \cdot 10}{480} = \frac{3340,8 + 2900}{480} = 13,0 \text{ см}^2.$$

Принято армирование 4 стержнями: 2 диаметром 20 мм ( $A_f = 6,28 \text{ см}^2$ ); 2 диаметром 22 мм ( $A_f = 7,6 \text{ см}^2$ ).

Площадь арматуры:

$$A_f = A_{f1} + A_{f2} = 6,28 + 7,6 = 13,88 \text{ см}^2.$$

Расчёт изгибаемых элементов, армированных композитной арматурой, выполняется на образование трещин в соответствии с положениями СП 63.13330 (п.8.2.8-8.2.14 и п.6.2.8-6.2.13) [16].

3.6.3 Пример расчёта изгибаемого элемента, армированного стеклопластиковой арматурой без предварительного напряжения на образование трещин

$$A_f = 10,18 \text{ см}^2 (4d18), E_f = 50 \text{ ГПа} = 50 \cdot 10^3 \text{ МПа}$$

Момент от нормативной нагрузки:

$$M^n = 126654 \text{ кНм.}$$

Класс бетона В20.

$$R_{bt,ser} = 1,35 \text{ МПа} = 1350 \text{ кН/м}^2.$$

$$E_b = 27,5 \cdot 10^3 \text{ МПа.}$$

$$W_{pl} = 1,3 \cdot W_{red} = 1,3 \cdot 6050 = 7865 \text{ см}^3$$

$$W_{red} = \frac{J_{red}}{y_t} = \frac{166375}{27,5} = 6050 \text{ см}^3$$

$$J_{red} = J + J_f \cdot \sigma_f = \frac{b \cdot h^3}{12} + n \cdot \frac{p \cdot a^3}{64} \cdot \frac{E_f}{E_b} = \frac{10 \cdot 55^3}{12} + 4 \cdot \frac{3,14 \cdot 1,8^4}{64} \cdot \frac{50}{27,5} =$$

$$= 166375 + 0,9 = 166375 \text{ см}^4$$

$$\sigma_f = \frac{E_f}{E_b} = \frac{50 \cdot 10^3}{27,5 \cdot 10^3} = 1,8$$

$$y_t = \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = \frac{b \cdot h \cdot \frac{h}{2}}{b \cdot h} = \frac{25 \cdot 55 \cdot \frac{55}{2}}{25 \cdot 55} = 27,5 \text{ см}$$

Момент образования трещин:

$$M_{crc} = R_{bt,ser} \cdot W_{pl} \pm N \cdot e_x = 13,5 \cdot 7865 \cdot 10^{-3} = 106,17 \text{ кНм} <$$

$$< M = 126,54 \text{ кНм}$$

Трещины образуются.

3.6.4 Пример расчёта пустотной армированной композитной арматурой панели на образование трещин

Приведённое сечение пустотной панели при расчёте по второй группе предельных состояний двутавровое (рисунок 3.10).

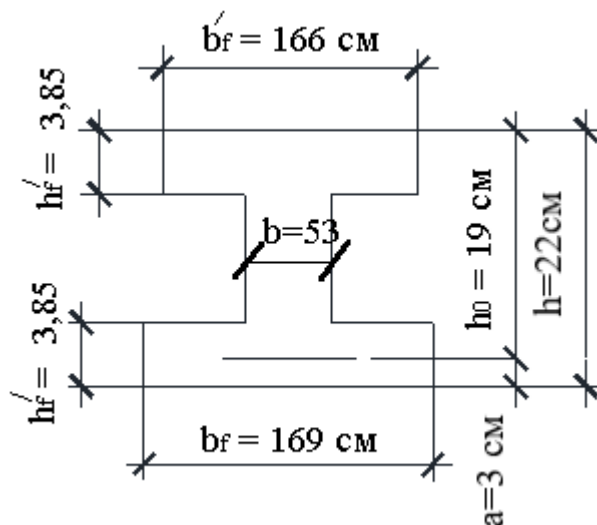


Рисунок 3.10 – Схема приведенного сечения пустотной панели для примера расчета

Бетон класса В30;

$$R_b = 17 \text{ МПа};$$

$$R_{b,ser} = 22 \text{ МПа};$$

$$E_b = 32,5 \cdot 10^3 \text{ МПа}$$

$$R_{bt} = 1,15 \text{ МПа};$$

$$R_{bt,ser} = 1,75 \text{ МПа};$$

$$b'_f = 166 \text{ см};$$

$$b_f = 169 \text{ см};$$

$$h_f = h'_f = 3,85 \text{ см};$$

$$b = 53 \text{ см};$$

$$h = 22 \text{ см};$$

$$a = 3 \text{ см};$$

$$h_0 = 19 \text{ см};$$

$$h'_f = 3,05 \text{ см (при расчёте по первой группе предельных состояний);}$$

$$h'_f = 3,85 \text{ см (при расчёте по второй группе предельных состояний);}$$

$$M = 61,4 \text{ кНм};$$

$$M^T = 52,43 \text{ кНм};$$

$$M_{дл}^n = 46,2 \text{ кНм};$$

$$Q = 44,25 \text{ кН};$$

Арматура АСК

$$A_f = 9,05 \text{ см}^2 \text{ (8d12);}$$

$$R_{f,n} = 800 \text{ МПа};$$

$$E_{f,n} = 50 \text{ ГПа};$$

$$R_f = 426,6 \text{ МПа (из примера 1).}$$

Положение границы сжатой зоны

$$R_b \cdot b'_f \cdot h'_f \cdot h_0 - \frac{h_f}{f} = 17 \cdot 10 \cdot 166 \cdot 3,0 \cdot 19 - \frac{3}{2} \cdot 10^{-3} = 150,62 \text{ кНм} >$$
$$> 61,4 \text{ кНм}$$

$$x < h'_f$$

Расчёт как элемента прямоугольного профиля при  $b = b'_f = 166$  см.

$$\sigma_m = \frac{M}{R_b \cdot b \cdot h_0^2} = \frac{61,4 \cdot 10^3}{17 \cdot 166 \cdot 19^2} = 0,06$$

$$\sigma_m = \sigma \cdot (1 - 0,5 \cdot \sigma); \sigma = 1 - \frac{\sigma_m}{1 - 2 \cdot \sigma_m} = 1 - \frac{0,06}{1 - 0,12} = 0,062$$

$$A_f = \frac{R_b \cdot b \cdot h_0 \cdot \sigma}{R_f} = \frac{17 \cdot 166 \cdot 19 \cdot 0,06}{426,6} = 7,54 \text{ см}^2$$

Принято 8d12 АСК,  $A_f = 9,05 \text{ см}^2$ .

$$\sigma = \frac{E_f}{E_b} = \frac{50000}{32500} = 1,538$$

$$A = 2047,6 \text{ см}^2$$

$$A_{red} = 639,1 + 757,9 + 650,6 + 9,05 \cdot 1,538 = 2061,5 \text{ см}^2$$

$$S_{red} = A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2 + A_3 \cdot y_3 + \sigma \cdot A_f \cdot a = 22418 + 1,538 \cdot 9,05 \cdot 3 = 22460$$

$$y_c = \frac{S_{red}}{A_{red}} = 10,88 \text{ см}$$

где  $A_1, A_2, A_3$  – площади верхней и нижней полки и ребра приведённого сечения.

Момент инерции пустотной плиты:

$$J_{red} = J_1 + A_1 \cdot y_{c1}^2 + J_2 + A_2 \cdot y_{c2}^2 + J_3 + A_3 \cdot y_{c3}^2 + \sigma \cdot A_f \cdot y_c - a = 122946,35 \text{ см}^4 \text{ (вычисления округлены).}$$

$$W_{1,red} = \frac{J_{red}}{y_c} = 11383,92 \text{ см}^3$$

$$W_{2,red} = \frac{J_{red}}{(h-y_c)} = 10977,32 \text{ см}^3$$

Предварительное напряжение стеклопластиковой арматуры п.7.1.1 [16]:

$$y_{fp} = 0,45 \cdot R_{fn} = 0,45 \cdot 800 = 360 \text{ МПа}$$

Потери предварительного напряжения:

1) от релаксации напряжения

$$\Delta y_{fp1} = 0,2 \cdot y_{fp} \text{ п.7.1.3 [16]}$$

$$\Delta y_{fp1} = 72 \text{ МПа}$$

2) от перепада температур

$$\Delta u_{fp2} = 0$$

3) от деформации стальной формы

$$\Delta u_{fp3} = 0$$

4) от деформации анкеров натяжных устройств

$$\Delta u_{fp4} = 0$$

Полные первые потери  $\Delta u_{fp(1)} = 72$  МПа.

Усилия обжатия с учётом первых потерь п.7.1.5 [16] принимают равным:

$$P_1 = A_{fpi} \cdot u_{fp1i} = 9,05 \cdot 360 - 72 \cdot 10^{-1} = 260,6 \text{ кН}$$

Максимальное сжимающее напряжение бетона  $\sigma_{вр}$  от действия усилия  $P_{(1)}$

п.7.1.6 [16]:

$$\begin{aligned} u_{вр} &= \frac{P_{(1)}}{A_{red}} + \frac{P_1 \cdot l_{ор} \cdot y}{J_{red}} = \frac{260,610}{2061,5} + \frac{260,6 \cdot 7,89 \cdot 10,89 \cdot 10}{122946,35} = 1,26 + 1,82 \\ &= 3,08 \text{ МПа} \end{aligned}$$

где  $l_{ор}$  – эксцентриситет усилия  $P_{(1)}$  относительно центра тяжести приведённого сечения до рассматриваемого волокна;

$$y = 10,89 \text{ см}$$

$$\text{п.7.1.6 [16]} \quad \sigma_{вр} = 3,08 \text{ МПа} < 0,6 \cdot \sigma_{вр} = 0,6 \cdot 15 = 9 \text{ МПа}$$

$$R_{вр} \geq 15 \text{ МПа} \geq 0,5 B$$

Вторые потери:

1) от усадки бетона

$$\Delta u_{fp5} = e_{b,sh} \cdot E_s = 0,0002 \cdot 50000 = 10 \text{ МПа}$$

2) потери от ползучести бетона п.9.1.9 [16]

$$\begin{aligned} \Delta u_{fp6} &= \frac{0,82 \cdot \zeta_{b,c2} \cdot u_{bpi}}{1 + 2 \cdot m_{spi} \cdot \left(1 + \frac{y_{fi}^2 \cdot A_{red}}{J_{red}}\right) \cdot (1 + 0,8 \cdot \zeta_{bcr})} = \\ &= \frac{0,8 \cdot 1,538 \cdot 2,3 \cdot 3,08}{1 + 1,538 \cdot 0,0044 \cdot \left(1 + \frac{10,89^2 \cdot 2061,5}{122346,35}\right) \cdot (1 + 0,8 \cdot 2,3)} = \frac{8,7}{1,024} \\ &= 8,5 \text{ МПа} \end{aligned}$$

$\varphi_{b,cr} = 2,3$  – коэффициент ползучести бетона по т.12 [16]



$\sigma_{bpi} = 3,08$  МПа – напряжения в бетоне на уровне центра тяжести рассматриваемой группы стержней.

$$y_{fi} = y_c = 10,89 \text{ см}$$

$$A_{red} = 2061,5 \text{ см}^4; J_{red} = 122946,35 \text{ см}^3; \alpha = 1,538;$$

$$m = \frac{A_f}{A} = \frac{9,05}{2047,6} = 0,0044$$

Полные значения первых и вторых потерь в арматуре:

$$\Delta u_{fp(2)} = \Delta u_{fp(1)} + u_{fp5} + u_{fp0} = 72 + 10 + 8,5 = 90,5 \text{ МПа}$$

$$\text{Принято (п.9.10 [16]) } u_{fp2} = 100 \text{ МПа}$$

Предварительное напряжение с учётом всех потерь:

$$u_{fp(2)} = u_{fp} - u_{fp2} = 360 - 100 = 260 \text{ МПа}$$

Усилие обжатия с учётом всех потерь:

$$P = A_f \cdot u_{fp2} = 9,05 \cdot 260 = 2353 \text{ МПа}$$

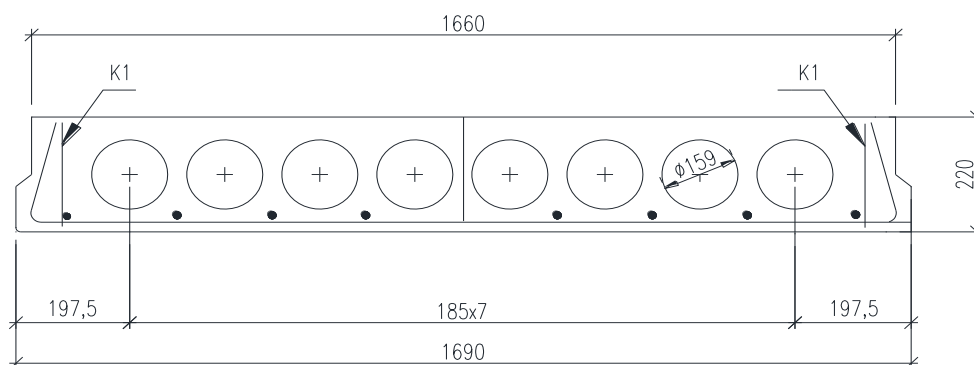


Рисунок 3.11 – Схема армирования плиты

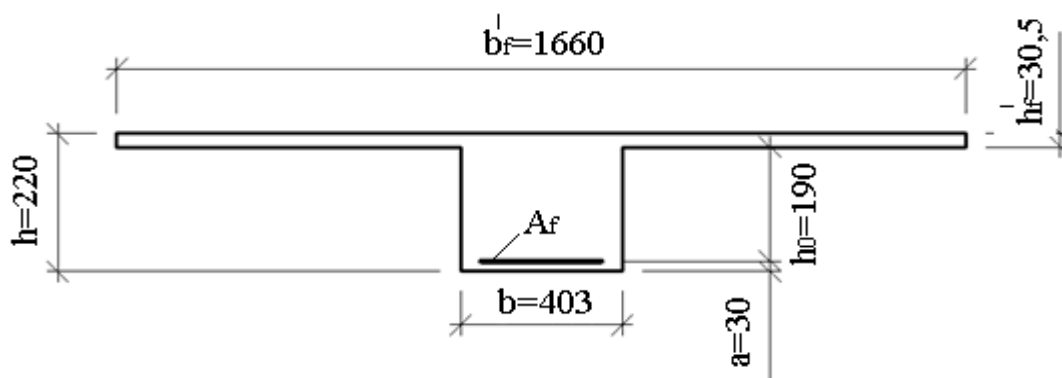


Рисунок 3.12 – Расчётное сечение плиты по первой группе предельных состояний

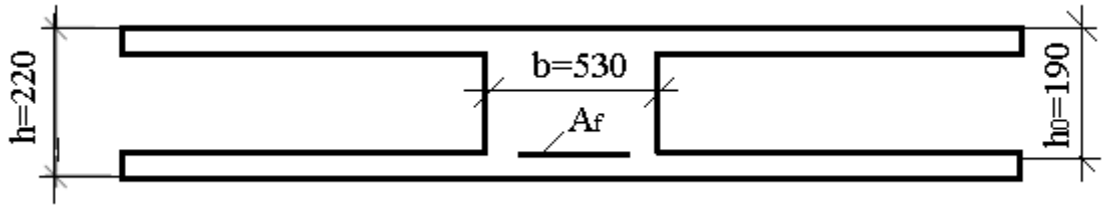


Рисунок 3.13 – Расчётное сечение плиты по второй группе предельных состояний

Определение момента образования трещин:

$$M_{crc} = R_{bt,ser} \cdot W_{pe} \pm P \cdot e_{яp} \text{ (п.7.3.6 [16])}$$

$$W_{pl} = 1,3 \cdot W_{red} = 1,3 \cdot 11383,92 = 14800 \text{ см}^3$$

$e_{яp} = l_{op} + r$  – расстояние от точки приложения усилия обжатия  $P$  до ядровой точки наиболее удалённой от растянутой зоны.

$e_{op}$  – то же до центра тяжести приведённого сечения

$$l_{op} = y_c = 10,89 \text{ см}$$

$$r = \frac{W_{red}}{A_{red}} = \frac{11383,92}{2061,5} = 5,52 \text{ см}$$

$$e_{яp} = 10,89 + 5,52 = 16,41 \text{ см}$$

$$M_{crc} = \frac{1,75 \cdot 14800}{1000} + \frac{2353 \cdot 16,41}{1000} = 89,8 + 38,61 = 128,41 \text{ кНм} > M_n = 52,43 \text{ кН}$$

Трещины не образуются.

### 3.7 Вопросы для самопроверки

- 1 Определение современных композиционных материалов.
- 2 Матрица композиционных материалов, виды, назначение.
- 3 Армирующие элементы композиционного материала, виды, назначение.
- 4 Достоинства композиционных материалов.
- 5 Недостатки композиционных материалов.
- 6 Отличительные признаки композитов.

- 7 Виды строительных композиционных материалов (ламинат, холсты, ленты).
- 8 Композиты на основе стекловолокна. Их достоинства.
- 9 Области применения композитов на основе стекловолокна.
- 10 Достоинства композиционных материалов на основе арамидных волокон.
- 11 Композиты на основе углеродных волокон, достоинства.
- 12 Механические свойства углеродных волокон.
- 13 Основные свойства композитов на основе углеволокна.
- 14 Наполненные полимеры.
- 15 Композитная стержневая арматура. Виды АСК, АБК, ААК, АУК.
- 16 Стеклопластиковая арматура, достоинства и недостатки.
- 17 Области применения стеклопластиковой арматуры.
- 18 Базальтопластиковая пластиковая арматура. Достоинства и недостатки.
- 19 Углепластиковая арматура. Достоинства и недостатки.
- 20 Проектирование бетонных конструкций армированных композитными стержнями. Нормативные база.
- 21 Особенности расчёта бетонных конструкций, армированных композитной арматурой.
- 22 Принцип расчёта и расчётные модели для бетонных элементов с АКП.
- 23 Особенности расчёта прочности изгибаемых элементов с АКП без преднапряжения.
- 24 Особенности расчёта прочности изгибаемых элементов с АКП таврового и двутаврового профиля.
- 25 Особенности расчёта прочности внецентренно сжатых элементов с АКП.
- 26 Особенности расчёта элементов с АКП по предельным состояниям второй группы.

## Список использованных источников

- 1 Войтович, В. А. Строительные наноматериалы / В. А. Войтович // Руководитель строительной организации. - 2011. - № 2.
- 2 Габрусенко, В. В. Особенности проектирования конструкций из бетона с композитной арматурой / В. В. Габрусенко // Проектирование и строительство в Сибири. - 2013. - № 6 (77).
- 3 Дергунова, А. В. Инновационная деятельность в капитальном строительстве [Текст] / А.В. Дергунова // Вестник Мордовского госуниверситета. - 2008. - N 4. - С. 183-186. - ISSN 0236-2910.
- 4 Елизаров, С. В. Композиционные материалы, их механико-структурный анализ и некоторые новые области применения / С. В. Елизаров / Автореферат диссертации на соискание ученой степени д-ра техн. наук: 05.23.05. - 2000.
- 5 Иванова, С. А. Основные проблемы инновационного развития России (компаративный анализ) // Современные научные исследования и инновации. 2014. № 4. Ч. 1 [Электронный ресурс] URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/04/33127>
- 6 Инновационные строительные материалы и технологии: их влияние на развитие градостроительства и городской среды. Мировой опыт, российский взгляд: НИУ Высшая школа экономики институт менеджмента инноваций. М.: 2013. Режим доступа: <http://sibfrontier.ru/wp-content/uploads/2014/06/Doklad-Innovatsionnyie-stroitelnyie-materialyi-i-tehnologii-ih-vliyanie-na-razvitie-gradostroitelstva-i-gorodskoy-sredyi.-Mirovoy-opyt-rossiyskiy-vzglyad.pdf>
- 7 Кондратьев, Н. Д. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения. М.: ЗАО "Издательство "Экономика", - 2002. - 767 с. ISBN: 5-282-02181-1
- 8 Колосова, А. С. Современные полимерные композиционные материалы и их применение / А. С. Колосова, М. К. Сокольская, И. А. Виткалова, А. С. Торлова, Е. С. Пикалова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2018. - № 5-1. - С. 245-256.
- 9 <https://e-plastic.ru/specialistam/composite/kompozicionnye-materialy/> -  
Композиционные материалы.

10 Модифицированные высококачественные бетоны [Текст] / Ю. М. Баженов, В. С. Демьянова, В. И. Калашников. - Москва : Изд-во Ассоц. строительных вузов, 2006. - 368 с. ISBN 5-93093-422-3.

11 Мюллер, Р. У. Сущность и классификация инноваций // Фундаментальные исследования. - 2012. - № 6 (часть 1) - С. 244-248. Режим доступа: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=29974>

12 Наноструктуры и наноматериалы. Синтез, свойства и применение / Гочжун Цао, Ин Ван Перевод с англ. / А. И. Ефимова, С. И. Каргов, науч. ред. - В. Б. Зайцев - 2012. - 520 с. ISBN 978-5-91522-224-2.

13 Окольников, Г. Э. Анализ свойств различных видов фибробетонов / Г. Э. Окольников, А. П. Белов, Е. В. Слинкова // Системные технологии. - 2018. - № 26. - С. 206-210.

14 <https://docplayer.ru/61622059-Vvedenie-otlichitelnye-priznaki-kompozitsionnyh-materialov.html> – Отличительные признаки композиционных материалов

15 <https://vseoarmature.ru/vidy/stekloplastikovaya-armatura> - Преимущества и недостатки, технические характеристики и применение стеклопластиковой арматуры (СПА).

16 Пригожин, А. И. Нововведения: стимулы и препятствия (социальные проблемы инноватики). / А. И. Пригожин - М.: Политиздат, 1989, С.270-275.

17 Ремпель, А. А. Материалы и методы нанотехнологий : Учеб. пособие / А. А. Ремпель, А. А. Валеева. - Екатеринбург: Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2015. - 279 с.

18 Соболев, К. Современные достижения нанотехнологии в области цемента и бетона // Цемент и его применение, Университет Висконсин-Милуоки, США. - 2019. - № 3. Режим доступа : <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27340342>

19 <http://stroystategy.ru/> Стратегия развития строительной отрасли российской Федерации до 2030 года.

20 <https://fundamentt.com/ugleplastikovaya-armatura-osnovnye-xarakteristiki-i-primeneniye/> - Углепластиковая арматура: основные характеристики и применение.

21 Строительные композиционные материалы : коллективная научная монография; [под ред. Р. М. Ахмеднабиева]. Новосибирск: Изд. «СибАК», 2014. - 232 с. ISBN 978-5-4379-0398-8.

22 <https://dom-fundament.ru/ugleplastikovaya-armatura-izgotovlenie-i-svoystva.html> – Углепластиковая арматура: изготовление и свойства.

23 Фадеева, Г. Д. Рентабельное использование нанотехнологий в строительных материалах / Г. Д. Фадеева, К. С. Паршина, И. В. Маркелова // Молодой ученый. - 2013. - №12. - С. 187-188.

24 Фаликман, В. Р. Наноматериалы и нанотехнологии в современных бетонах / В. Р. Фаликман // Промышленное и гражданское строительство. - 2013. - № 1. - С. 31-34.

25 Фиговский, О. Л., Успехи применения нанотехнологий в строительных материалах / О. Л. Фиговский, Д. А. Бейлин, А. Н. Пономарев // Нанотехнологии в строительстве, М.: ЦНТ «Наностроительство». - 2012. - № 3. С. 6-21.

26 <https://kladembeton.ru/vidy/drugie/fibrobeton.html> – Фибробетон: состав, характеристики и технология изготовления.

27 Худяков, В. А. Современные композиционные строительные материалы : учебное пособие для вузов / В.А. Худяков, А.П. Прошин, С.Н. Кислицына. - Ростов на Дону : Феникс, 2007. - 220 с. ISBN 5222105547.

28 Шишакина, О. А. Полимерные композиционные материалы в строительстве / О. А. Шишакина, А. А. Паламарчук // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2019. - № 12-2.

29 Шумпетер Й. А. Теория экономического развития. М.: Прогресс, 1982. - 455с.

30 ГОСТ Р 2019 Сетка композитная полимерная для армирования кирпичной кладки. Технические условия (проект). М.: Стандартинформ, 2018 – 35 с.

31 ГОСТ Р 54923-2012 Композитные гибкие связи для многослойных ограждающих конструкций. Технические условия. - Введ. 2014-01-01. М.: Стандартинформ, 2014. - 62 с.

32 ГОСТ 32492-2015 Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения физико-механических характеристик. - Введ. 2017-01-01. М.: Стандартинформ, 2016. - 25 с.

33 ГОСТ 31938-2012 Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия (с Поправкой). - Введ. 2014-01-01. М.: Стандартинформ, 2014 - 33 с.

34 СП 295.1325800.2017 Конструкции бетонные, армированные полимерной композитной арматурой. Правила проектирования. - Введ. 2018-01-12. М.: Стандартинформ, 2017. - 65 с.

35 СП 405.1325800.2018 Конструкции бетонные с неметаллической фиброй и полимерной арматурой. Правила проектирования. - Введ. 2019-06-25. М.: Стандартинформ, 2019. - 46 с.

36 СП 164.1325800.2014 Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования. - Введ. 2014-09-01. М.: Минстрой России, 2015. - 67 с.

37 СТО 83269053-001-2010 Применение в транспортном строительстве неметаллической композитной арматуры периодического профиля. - Введ. 2010-03.29. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200084541>.