



Ю. В. Краснощеков

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕКРЫТИЙ И ПОКРЫТИЙ

УДК 624.046.5
ББК 38.54
К78

ФЗ №436-ФЗ	Издание не подлежит маркировке в соответствии с п. 1 ч. 2 ст. 1
---------------	--

Рецензенты:

канд. техн. наук *И.М. Ивасюк*;
канд. техн. наук *А.Р. Нелепов*

Краснощёков Ю. В.

К78 Проектирование конструктивных систем перекрытий и покрытий. Монография. / Ю.В. Краснощёков. – М.: Инфра-Инженерия, 2018. – 188 с.

ISBN 978-5-9729-0213-2

Изложены результаты длительных исследований взаимодействия элементов сборных железобетонных конструкций перекрытий и покрытий зданий. Представлены исследования конструктивных элементов перекрытий и покрытий. Проанализировано влияние опорных элементов на настил. Рассмотрены особенности взаимодействия несущих конструкций и совместная работа элементов покрытий.

Предназначена для сотрудников научно-исследовательских и проектных организаций, а также может быть полезна обучающимся в строительном направлении.

© Краснощёков Ю. В., автор, 2018
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2018

ISBN 978-5-9729-0213-2

ВВЕДЕНИЕ

На определенном этапе развития индустриального строительства возникла задача совместной работы сборных железобетонных элементов, объединяемых в пространственную систему здания. Применительно к несущим системам перекрытий и покрытий, для которых железобетон является основным материалом, проблема взаимодействия элементов не потеряла актуальности. Она существует как следствие различий в условиях работы: идеальных, которые задают при проектировании, и реальных, в которых конструкции реализуют и эксплуатируют. Поэтому её часто связывают с задачей выявления действительной работы железобетонных конструкций. Представляется, что существование проблемы обусловлено не столько сложностью соединения железобетонных элементов, сколько несовершенством теоретических моделей, многообразием условий практического применения и недостатками методологии исследования строительных конструкций.

В виде задачи обеспечения совместной работы арматуры с бетоном проблему взаимодействия элементов конструкций решают практически с начала применения железобетона, но наиболее остро она заявила о себе в процессе индустриального строительства зданий и сооружений из сборных изделий.

В процессе развития индустриального строительства вследствие усложнения и повышения требований к конструкциям вопросы совместной работы элементов возникают вновь и вновь. Многообразие сборных изделий и необходимость надёжной взаимосвязи их в составе здания способствовали выполнению большого объёма исследований, которые подтвердили зависимость совместной работы сборных элементов от многочисленных факторов.

При использовании системного подхода, рассматривая в качестве объекта исследования не отдельные элементы перекрытий и покрытий, а конструктивную (пространственную) систему в целом, возможно изучение влияния каждого фактора в отдельности. Но учесть одновременно влияние всех факторов даже в этом случае практически невозможно из-за неопределённости задачи, решение которой представляется только вероятностным путём.

Логика исследования от целого к частному предусматривает и обеспечивает решение проблемы совместной работы элементов перекрытий и покрытий через выполнение основных системных принципов: структурности, функционирования, расчёта, надёжности и эффективности. Издание данной монографии в какой-то степени должно помочь решению этой проблемы.

ГЛАВА 1.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕМЕНТОВ – ПРЕДМЕТ ТЕОРИИ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ

1.1. Системный подход к исследованию конструкций зданий и сооружений

В техническом прогрессе лидирующую роль выполняет наука. К строительной науке принято относить прежде всего теорию сооружений, строительную механику и механику грунтов. Частями теории сооружений являются теории расчета строительных конструкций. В рамках строительной науки ведутся исследования в области материаловедения, проектирования и технологии изготовления строительных конструкций, решаются вопросы технологии, организации и управления строительством, проблемы инженерно-технического оборудования городов, зданий и сооружений и экономические проблемы строительства. В результате научных исследований в области строительства появляются новые строительные материалы и изделия, совершенствуются конструктивные решения и методы расчёта конструкций, возводятся уникальные сооружения, повышается надёжность и эффективность зданий и сооружений.

Строительная наука не стоит на месте, а постоянно развивается. Примером развития строительной науки является постепенный переход к системному проектированию сооружений на основе достижений теории расчёта сооружений и программирования [24].

Научные исследования в области строительных конструкций направлены главным образом на развитие (совершенствование и обновление) конструкций для зданий и сооружений различного назначения. Ядром развития строительных конструкций являются исследования теории расчёта сооружений. Их цель – развитие теорий прочности и разрушения, разработка методов статического и динамического расчёта сооружений как пространственных систем, а также методов расчёта на вероятностной основе, базирующихся на использовании статистических методов обработки данных о нагрузках, их сочетаниях, свойствах материалов и конструктивных элементов. Достижения в области строительных конструкций являются основным источником повышения надёжности и эффективности сооружений. Результаты научных исследований строительных конструкций легли в основу методики расчёта по предельным состояниям, принятой на вооружение проектировщиками разных стран.

Одно из основных направлений в исследовании строительных конструкций – совместная работа, взаимодействие элементов конструктивных систем [59]. Любая конструкция – это система, поэтому при их исследовании следует применять системный подход.

Системный подход – это общее направление, в основе которого лежит исследование объектов как систем. Основная особенность системного подхода – изучение элементов с учётом целого. Считается, что системный подход способствует адекватной постановке проблем и выработке эффективной стратегии их изучения [31]. Методологическая специфика системного подхода определяется тем, что он ориентирует исследование на выявление многообразных типов связей сложного объекта и сведение их в единую теоретическую картину, он акцентирует исследование на изучение соединений элементов и их взаимодействие в пространственной системе сооружения [40].

Системный подход и общая теория систем являются основой системного анализа, к процедурам и методам которого обращаются при решении проблем в условиях неопределённости и отсутствии строгой количественной оценки. Таковы, например, проблемы, связанные с прогнозированием надёжности и долговечности конструкций.

В наиболее общем понимании система – это упорядоченная совокупность функционально взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, образующих единое функциональное целое, предназначенное для решения определённых задач.

Понятие «строительная конструкция» также связано с составом и взаимным расположением частей и элементов, а также со способом их соединения и взаимодействия. В этих понятиях много общего, очевидно поэтому термин «система» часто употребляется в смысле конструкции и наоборот, например, в понятиях пространственной системы или пространственной конструкции подразумевается одно и то же. К системам относят отдельные конструктивные части зданий и сооружений, например система перекрытия или здания в целом, в частности каркасная система здания. По выражению проф. В.В. Болотина, современные здания – это сложные системы, предназначенные для выполнения разнообразных функций [8]. Он считает, что понятия «конструкция» и «конструктивная система» тождественны.

Таким образом, если конструкция – это система, то имеются все предпосылки использования системного подхода для их исследования и построения теории. Системами при этом являются конструкции на всех этапах их развития: от проектной модели до реального изделия.

Чтобы разобраться с особенностями системного подхода, обратимся к методологическому инструментарию общей теории систем, основные принципы которой применимы к любым системам. Значение

общей теории систем неопределимо для развития теории конструкций, так как она вооружает исследователя конструкций общей (принципиальной) моделью и чёткой дедуктивно-диалектической логикой.

Частями общей теории систем могут быть специальные теории, в частности, специализированная теория конструктивных систем. Главная задача теории конструктивных систем – объединить, синтезировать научные знания на основе системного подхода.

Механическое (несистемное) соединение гипотез и законов различных теоретических дисциплин с эмпирическими данными, например о железобетонных конструкциях, будет малоуспешным, если все стороны знаний развивать независимо. Необходимо взаимопроникновение развивающихся наук, эффективность которого обеспечивается посредством специализированной теории конструктивных систем. В использовании системных принципов содержится механизм построения и развития знаний о строительных конструкциях (рис. 1).



Рис. 1. Схема взаимосвязи теорий в системе знаний о строительных конструкциях

Основная цель общей теории систем заключается в описании и объяснении сложных явлений, не заменяя, а дополняя другие науки и объединяя их посредством обобщённой модели. Иначе говоря, общая теория систем вооружает исследователя конструкций некоей обобщённой моделью конструктивной системы. Такой моделью может быть совокупность принципов, характеризующих основные стороны и свойства системы [96].

Наиболее общими принципами для любых систем являются:

- принцип структурности (возможность описания системы в виде структуры с устойчивыми связями), характеризующий состав, свойства и внутреннее строение системы;
- принцип целостности (отличие свойств и функций целого от свойств и функций частей целого – элементов, подсистем), ха-

рактизирующий общесистемные, интегральные свойства, поведение системы;

- принцип взаимозависимости системы и среды (проявление и формирование свойств системы в процессе взаимодействия с внешней средой), характеризующий внешние свойства, качество системы;
- принцип множественности описания каждой системы (потребность построения множества различных моделей, каждая из которых описывает лишь определённый аспект системы).

Отметим также принцип иерархичности (возможность рассмотрения каждой системы в качестве элемента более сложной системы и каждого элемента исходной системы в качестве системы другого уровня). Однако этот принцип не является общим и используется как признак систем с особой структурой. Конструктивные системы следует относить к иерархическим системам.

Общие принципы взаимосвязаны и при объединении образуют обобщённую, принципиальную модель, которую можно представить в виде схемы (рис. 2).

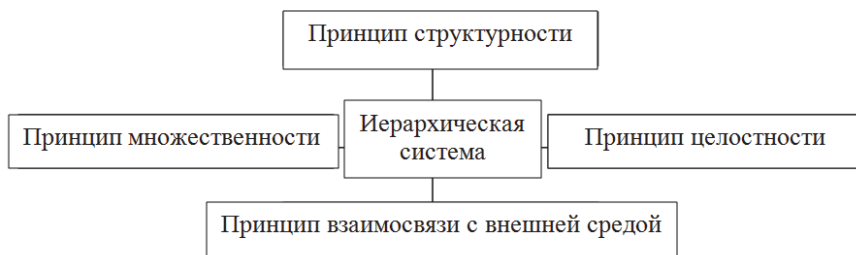


Рис. 2. Принципиальная схема иерархической системы

Использование принципов общей теории систем даёт возможность сформулировать общие требования к конструкциям и на их основе конкретизировать общую модель исследования, представленную на рис. 3.

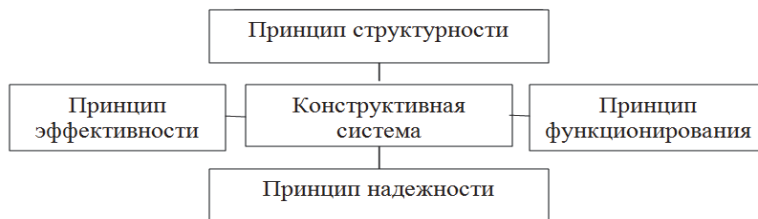


Рис. 3. Принципиальная модель конструктивной системы

Для построения общей модели конструктивной системы в качестве основной предпосылки принята гипотеза соответствия общесистемных принципов и общих признаков классификации конструкций. Вообще классификация как форма научного знания генетически предшествует теории, нередко сосуществует и взаимодействует с ней.

В наиболее общем определении классификация – это система понятий, классов, признаков объекта, используемая как средство для установления связей между разнообразными их типами и точной ориентации. Классификация способствует определению места объекта теории в системе и позволяет упорядочить процесс его изучения.

Наиболее общие признаки классификаций различных конструкций: конструктивный, расчётный, функциональный, надёжности и эффективности [59]. Рассмотрим, соответствуют ли эти признаки общесистемным принципам (см. рис. 2) и в какой степени.

Очевидно, что общесистемный принцип структурности полностью соответствует конструктивному признаку, характеризующему внутреннее строение и состав конструкции. Как структурное образование любая система рассматривается в виде целостного объекта, который допускает различные варианты декомпозиции (членения на составные части – элементы и подсистемы). Свойство членения на элементы характерно и для конструктивных систем, особенно при решении вопросов унификации и индустриализации. Из общей теории систем известно, что не всякое членение позволяет получить простые и достаточно доступные для изучения части. Эффективность решения этой задачи зависит от числа связей, объединяющих выделяемый элемент с остальными частями. С выявления необходимых и устойчивых связей системы начинается её познание, поэтому принцип структурности следует признать первичным при исследовании конструктивных систем. Понятие связи как части конструкции, объединяющей основные элементы в единое целое, играет важную конструктивную роль не только при исходном расчленении объекта изучения, но и в процессе его воспроизведения в целостной теоретической модели и в реальном виде.

Принцип целостности общей теории систем объединяет основные требования к функциональным свойствам, поведению системы, обусловленному взаимодействием элементов. Применительно к конструктивным системам действие принципа функционирования проявляется в том, что в результате (обратите внимание) **взаимодействия элементов** конструкция приобретает специфические (системные) свойства, отличающиеся в той или иной степени от свойств элементов. Например, плиты перекрытия, предусмотренные для работы на поперечный изгиб по балочной схеме, при объединении межплитными швами образуют

систему в виде диска, способную работать на горизонтальные воздействия. Свойства такого диска нельзя получить суммированием свойств отдельных плит, так как в диске, вследствие включения в работу межплитных связей (соединений), происходит взаимодействие плит.

Любая система должна быть способна к функционированию в той или иной среде, в результате чего происходит их взаимодействие. Взаимозависимость конструктивной системы со средой наиболее наглядно проявляется в условии прочности, которое обычно представляется в виде отношения случайных величин внешнего воздействия $\tilde{F}$ и сопротивления конструкции $\tilde{R}$:

$$\tilde{F} \leq \tilde{R}. \quad (1)$$

Условие (1) называют ещё условием надёжности, поскольку именно в таком виде рассматривается математическая модель надёжности конструктивной системы. Поэтому принцип взаимозависимости системы со средой применительно к конструктивным системам следует отождествлять с принципом надёжности.

Наконец, принцип множественности общих систем можно отождествить с принципом эффективности конструктивных систем, так как именно в многообразии вариантов мы находим наиболее приемлемое, оптимальное решение.

Таким образом, подтверждая соответствие общесистемных принципов и общих признаков классификации конструкций, преобразуем принципиальную схему иерархической системы (см. рис. 2) в общую (принципиальную) модель (см. рис. 3), которая может быть положена в основу специализированной теории конструктивных систем.

1.2. Теория конструктивных систем – инструмент исследования строительных конструкций

Основной объект теоретического исследования – конструктивные системы зданий, сооружений или их части, многообразие которых в определенной степени можно объяснить недостатком системных исследований и в связи с этим хаотичностью нормирования, проектирования и строительства. В результате строительства сооружений с неопределённой надёжностью и долговечностью увеличиваются затраты на содержание, снижается безопасность жизнедеятельности. Одной из причин этого является слабая теоретическая база дисциплин, изучающих строительные конструкции, недостаточная связь между ними и отсутствие единой модели конструктивных систем.

Проведению системных исследований способствует специализированная теория конструктивных систем. Для построения такой теории имеются все необходимые компоненты: эмпирическая и теоретическая основы, содержание и логика.

Исходная эмпирическая основа теории включает множество зафиксированных в области строительных конструкций фактов, полученных в ходе экспериментов, наблюдений, обследований и требующих теоретического объяснения. Эмпирическая основа – одна из сторон обобщённой модели конструктивной системы, без которой не реален полный анализ большого объёма эмпирической информации.

Исходную теоретическую основу составляют классификация конструктивных систем по критериям, соответствующим принципам обобщённой модели, и теоретическая модель в виде принципиальной схемы (см. рис. 3), иллюстрирующей процесс теоретического раскрытия конструкции. Принцип структурности раскрывает внутренние свойства, строение и состав конструкции; принцип функционирования – общесистемные свойства или поведение; принцип надёжности – внешние свойства, определяемые условиями эксплуатации, а принцип эффективности – качество системы, обуславливающее пригодность конструкции удовлетворять определённые потребности. Основным инструментом, обеспечивающим взаимодействие всех сторон обобщённой модели, является расчётный принцип. Теоретическая модель предусматривает возможность повторения циклов познания в зависимости от сложности решаемой проблемы и способа развития объекта исследования. Объект теоретического исследования – конструктивная система здания, сооружения или их части (элементы).

Системный подход определяет логику теории конструктивных систем, т.е. правила логических выводов и доказательств, которые должны допускаться в рамках теории. Логика вытекает из главного системного принципа – познание от общего к частному.

Основное содержание теории на данном этапе развития составляют основные понятия и принципы обобщённой модели конструктивной системы. Системные принципы – это различные стороны теоретической модели, требующие тщательного изучения и совершенствования. Каждый из принципов является предметом специальных теорий и дисциплин (теории расчёта сооружений, строительных конструкций, теории надёжности и эффективности). Главная задача теории конструктивных систем – объединить, синтезировать научные знания на основе системного подхода с целью познания конструкций и успешного решения их проблем.

Начинается исследование с определения целого (конструктивной системы) и частей (элементов), анализа их связей и формирования структурной модели в виде конструктивной схемы. Конструктивную схему целесообразно сопровождать описанием (анализом) конструкции по составу и структуре с разными комбинациями членения на части.

При оценке целого учитывают условия функционирования системы. Для этого конструкцию привязывают к внешней среде в пространстве и времени путём ограничения её габаритов, определения положения нагрузок, момента замыкания внутренних и наложения внешних связей. Привязка во времени необходима также для последующего учёта возможных изменений свойств элементов, параметров внешней среды и срока службы конструкции.

Для установления геометрических, физических и механических характеристик элементов целесообразно ориентироваться на их классификацию по наиболее важным признакам: взаимосвязи с внешней средой (нагружаемые или ненагружаемые), расчёта (рабочие или конструктивные), структурности (основные или связевые), состояния (с постоянными или изменяющимися свойствами) и др.

Особое внимание следует уделять связевым элементам (соединениям), которые должны обеспечивать целостность конструктивной системы.

Наиболее простой моделью функционирования конструктивной системы является описание механизма взаимодействия элементов. Знание механизма взаимодействия позволяет исследователю сформулировать требования к поведению, работе конструкции в различных условиях и обосновать расчётную схему.

Функциональные требования в первую очередь связывают с назначением конструкции по несущему или ограждающему признакам. Но зачастую такой подход условен, так как в общем случае все конструкции многофункциональны. Теория систем располагает следующим доказательством: для реализации технической системой любой её функции необходимо, чтобы хотя один элемент системы реализовал эту функцию. Это означает, если в конструкции имеются несущие элементы, то система способна выполнять несущие функции.

Комплексное представление о конструктивной системе можно получить из структурно-функционального анализа, способа системного исследования объектов как структурно-расчлнённой целостности, в которой каждый элемент имеет определённое функциональное назначение. Особенно полезен такой метод при моделировании конструктивных систем, в которых типы связей зависят от вида и величины усилий взаимодействия.

Результатом функционального анализа и расчёта несущей конструктивной системы могут быть схемы напряжённо-деформированных состояний отдельных элементов и системы в целом.

К исследованию надёжности, направленной на обеспечение безопасности конструкции, приступают после выбора структурной и расчётной моделей конструкции с учётом взаимодействия с внешней средой. Основными свойствами надёжности являются безотказность и долговечность, которые достигаются обоснованными запасами работоспособности, компенсирующими возможные разбросы нагрузок, несущей способности материалов и отклонениями от технологии изготовления и монтажа изделий.

Поскольку под надёжностью понимается прежде всего надёжность функционирования, то и основные модели надёжности связаны с расчётными схемами. Однако для подтверждения надёжности требуется проведение экспериментов, для которых часто необходимы значительные материальные и временные затраты. Если испытания элементов можно провести в количестве, необходимом для гарантированной оценки результатов, то испытания конструктивных систем в целом из-за их сложности обычно уникальны. Основная цель таких испытаний – обнаружение слабейших элементов и уточнение механизмов взаимодействия. С целью сокращения затрат на испытания всё большее внимание уделяется численным экспериментам и статистическому моделированию.

Практически все задачи по обеспечению надёжности систем могут быть решены методами теории надёжности. Особое место применительно к конструктивным системам имеет метод предельных состояний.

Для реализации принципа надёжности конструктивных систем применяют особые модели надёжности в виде структурных схем (рис. 4) с последовательным (*а*), параллельным (*б*) или смешанным (*в*) соединением элементов.



Рис. 4. Структурные схемы надёжности

В структурных моделях отражаются не все свойства элементов, да и членение на элементы зачастую условно. Главная цель таких моделей заключается в выявлении связей и степени влияния элементов на надёжность системы.

Эффективность – это степень выполнения требований (технических, экономических) или достижения цели. В общем случае исходным пунктом исследования эффективности является цель исследования. Операция по достижению цели включает стратегию, средства и объект исследования, а также способ измерения эффективности.

Различают три критерия эффективности: пригодность, оптимальность и адаптивность.

С системных позиций целесообразно использовать критерии, позволяющие проводить комплексную оценку решений с учётом временно-го фактора, например, в виде соотношения полезного эффекта конструкции при использовании её по назначению и затрат на создание и применение.

При сравнительной экономической оценке вариантов конструктивных решений обычно используют критерий сравнительной эффективности вариантов, например, в виде целевой функции

$$\sum_{i=1}^I C_i \rightarrow \min, \quad (2)$$

где C_i – стоимость i -го варианта в единицу времени.

Критерием эффективности сравниваемых вариантов может быть максимум прибыли или минимум издержек в виде суммы себестоимости продукции и различных платежей. Критериями оптимизации также могут быть технические или экономические показатели. Примерами оптимизации является максимизация количественной характеристики желательного свойства или минимизация нежелательных свойств.

Кроме решения сравнительных или оптимизационных задач принцип эффективности предполагает выполнение требований в направлениях:

- улучшения технико-эксплуатационных параметров и характеристик (надёжности функционирования, срока службы);
- применения прогрессивных материалов и технологий;
- применения средств исследования, проектирования и эксплуатации (усовершенствования методов расчёта, автоматизации проектирования, моделирования).

1.3. Состав и структура перекрытий и покрытий

При системном подходе одним из основных принципов проектирования и исследования конструкций перекрытий и покрытий является принцип структурности, реализация которого означает выполнение требований по составу и структуре. Состав определяется множеством

элементов, в том числе и соединительных, которые образуют конструкцию, а структура – способами взаимного размещения элементов и объединения их в единое целое. Действие принципа структурности начинается с определения целого и частей и формирования структурной модели в виде конструктивной схемы.

Структурные особенности конструкций широко используют при членении пространственных систем зданий, сооружений на части не только с целью изучения, но и изготовления. Поэтому основными элементами сборных железобетонных перекрытий и покрытий являются изделия заводского изготовления и соединительные элементы, обеспечивающие надёжное объединение всех частей в целое в процессе монтажа.

При исследовании совместной работы сборных элементов важно знать их геометрические, физические и механические характеристики, привязку в компоновочной схеме и способы соединения в пространственную конструкцию. Эксперименты показывают, что при качественном выполнении соединений сборных элементов можно получить конструкцию, во многом равноценную монолитной, особенно в случае замонамличивания выпусков арматуры и использования принципа самонапряжения. Однако в сборных системах объём монолитного бетона должен быть минимальным, и в этих условиях структуру сборных систем можно принять однородной только при весьма грубых допущениях.

Без унификации конструктивных решений массовое применение сборных конструкций трудно представить. Важный вопрос при проектировании конструкций из сборного железобетона – установление состава элементов унифицированных серий. Проблема состава лежит в основе типизации – комплексной деятельности, направленной на установление параметров, структуры, взаимосвязи и других существенных характеристик большого числа элементов, предназначенных для массового производства и строительства. Основными элементами перекрытий (покрытий) являются сборные плиты различных типов, которые вместе с ригелями входят в состав унифицированных каркасов зданий. Каждый тип элементов имеет ряд модификаций в зависимости от места в структуре сооружения, величины и характера допускаемых нагрузок, условий применения и т.п. Сборные элементы применяют в различных сочетаниях в пределах правил, обусловленных компоновочными схемами. Компоновку унифицированного сборного перекрытия (покрытия) производят из соображений: минимального числа типоразмеров и марок однотипных элементов; простоты и универсальности узлов сопряжения; благоприятных условий работы с обеспечением высоких технико-экономических показателей; простоты заводского изготовления, транспортировки и монтажа изделий; рационального использования подъёмно-транспортного оборудования и т.д.

1.4. Опыт исследований совместной работы элементов

Актуальность исследований совместной работы элементов железобетонных конструкций неоднократно подчеркивалась ведущими учеными и специалистами в области железобетона: А.А. Гвоздевым [21], В.Н. Байковым [5], С.М. Крыловым [71], В.А. Клевцовым [44], К.В. Михайловым [79], А.С. Семченковым [101] и др. Их общее мнение в том, что выявление и учёт взаимодействия элементов дают экономический эффект и указания для более правильного конструирования. Несмотря на значительный объём выполненных исследований, проблема не исчерпана и требует дальнейшей разработки [22].

К настоящему времени накоплен значительный опыт исследований взаимодействия элементов железобетонных конструкций. А.А. Гвоздев отмечал, что взаимодействие элементов, образующих железобетон, имеет важное значение, как для монолитных, так и сборных конструктивных систем. Элементами этих систем являются, прежде всего, бетон и стальная арматура. В составе бетона также можно выявить элементы цементного камня, заполнителя и других компонентов, часть которых рассматривают как основные, а часть как связевые. Неоднородную, но плотную структуру бетона несущих конструкций обычно представляют в виде пространственной системы взаимосвязанных элементов с большим числом микропор, капилляров и трещин.

При исследовании несущих систем железобетонных конструкций наиболее общей является проблема совместной работы основных элементов: бетона и арматуры. Механизм их взаимодействия обычно объясняют возникновением сдвигающих усилий по поверхности контакта элементов, которые уравниваются силами сцепления, склеивания и трения между арматурой и бетоном [43].

В комплексе исследований взаимодействия элементов пространственных систем с монолитными связями длительное время решали задачу по определению эффективной ширины плитных участков, включающихся в совместную работу с ребрами изгибаемых конструкций. Результаты отдельных решений, полученные почти 50 лет назад на основании опытных данных, используют до сих пор. Ограниченность размеров и числа опытных изделий, а также видов испытательных нагрузок не помешали обобщить результаты исследований на любые практические случаи и включить их в нормы. Например, при испытании широкополочных изгибаемых балок таврового сечения опытные образцы загружали только по ребрам, другие виды загрузки не учитывали. В целом совместную работу полки и ребер объясняли действием сдвигающих усилий в контактных плоскостях, разделяющих эти элементы

(рис. 5) [12, 78]. Недостатки исследования выявили еще в 1969 г. при попытках использования их результатов для изучения работы сборных железобетонных ребристых плит [103]. Трещиностойкость, деформативность и прочность опытных плит оказалась ниже, чем по расчету их как балок таврового сечения в соответствии с рекомендациями норм. При анализе опытных результатов был сделан вывод о работе ребристых плит как пространственных систем [104]. Исследование позволило уточнить роль полки в работе ребер и плиты в целом.

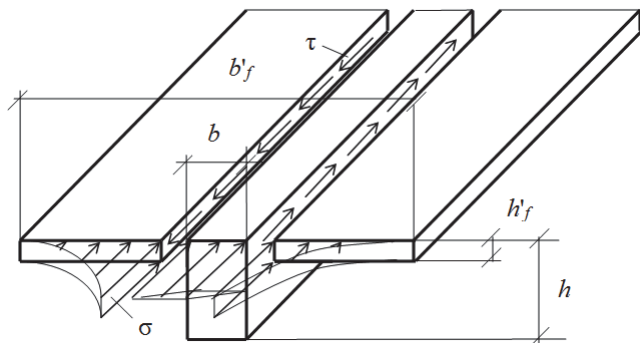


Рис. 5. Схема взаимодействия элементов ребристой системы

Предположения о пространственной работе ребристых плит высказывали и раньше, но несколько в ином ракурсе. Ребристую плиту рассматривали не как систему, а как элемент более сложной системы – здания, при действии горизонтальных и вертикальных нагрузок [51]. В результате исследования отмечена необходимость учета при проектировании особенностей работы плит покрытия в составе сооружения.

В дальнейшем исследовании ребристых плит как пространственных систем были продолжены. Детально изучали: работу ребристой полки с учетом взаимодействия ее с продольными ребрами [105]; влияние ребер на изгибаемые деформации плит с учетом распорного эффекта; работу крупноразмерных конструкций «на пролет» [12]; влияние трещин по контакту полки и ребер [93] и др.

При исследовании пространственных систем коробчатых изделий был сделан вывод о неравномерности обжатия полок и стенок в результате их взаимодействия от натяжения предварительно напряженной арматуры. Исследования показали, что образование трещин оказывает заметное влияние на пространственную работу коробчатых балок, в частности на снижение крутильной жесткости [9]. Дана количественная оценка снижения жесткости железобетонной конструкции по сравнению с упруго деформируемой системой.

Среди исследований совместной работы элементов сборных железобетонных конструкций значительное внимание уделено системам покрытий из балок и ребристых плит. Кроме упомянутого исследования В.Г. Крамаря и А.А. Светова, следует отметить разработки Н.Н. Чудновского, В.С. Мартемьянова [77], В.А. Селиванова [99], В.Н. Березова [13], А.Я. Глушанкова, Я.И. Гуревича [41] и др. Результаты этих исследований обобщены В.А. Клевцовым [44].

Исследования соединений в основном имеют эмпирическую направленность. Информативными оказались, например, испытания закладных штампованных деталей в составе фрагмента покрытия (рис. 6). Установлено, что перемещения плит в узлах со сварными связями достигали в среднем $0,00035$ м/кН при сдвигающих усилиях до 315 кН и отсутствии трещин [7].

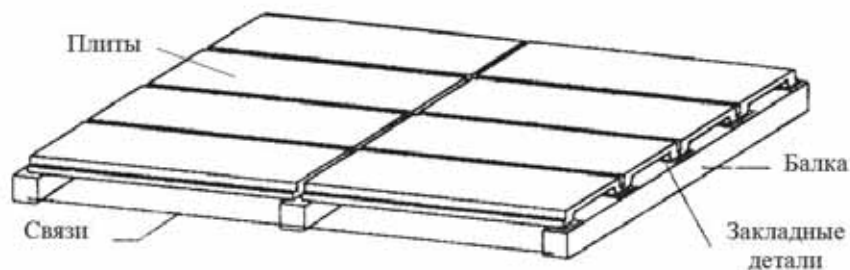


Рис. 6. Конструкция фрагмента покрытия для испытания закладных деталей

В совместную работу с плитами покрытия кроме стропильных элементов включаются также неразрезные балки подвесных крановых путей. Степень включения проверяли испытанием модели пространственного покрытия, выполненной в масштабе 1:2 [10].

В Хабаровске проведены экспериментально-теоретические исследования взаимодействия панелей КЖС с опорными балками [41]. Балки были приняты облегченными высотой 40 см вместо 60 см, требуемых расчетом по независимой схеме. Опытный фрагмент покрытия размером 6×12 м состоял из двух панелей и двух балок и загружался распределенной нагрузкой (рис. 7). Условия опирания панелей со сваркой закладных деталей обеспечивали передачу сдвигающих усилий взаимодействия на балки. Опытные прогибы балок по сравнению с результатами расчетов системы методом конечных элементов оказались на 10 – 16% больше. Предположено, что причина расхождения заключается в недостаточном учёте расчётом податливости связей.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1.	
Взаимодействие элементов – предмет теории конструктивных систем.....	4
1.1. Системный подход к исследованию конструкций зданий и сооружений	4
1.2. Теория конструктивных систем – инструмент исследования строительных конструкций	9
1.3. Состав и структура перекрытий и покрытий	13
1.4. Опыт исследований совместной работы элементов	15
ГЛАВА 2.	
Исследования конструктивных элементов перекрытий и покрытий	29
2.1. Вероятностный анализ сил трения	29
2.2. Вероятностный анализ прочности бетонных шпонок	34
2.3. Системная модель круглопустотной плиты	43
2.4. Работа ребристых плит при изгибном кручении	46
ГЛАВА 3.	
Совместная работа элементов железобетонных настилов	53
3.1. Принципы системного исследования настилов	53
3.2. Совершенствование расчета регулярных систем	60
3.3. Особенности статического расчета нерегулярных систем	68
3.4. Системное проектирование сборных нерегулярных настилов	72
3.5. Взаимодействие элементов настила при усилении перекрытия	82
3.6. Расчет экспериментального настила В.Н. Горнова	87
ГЛАВА 4.	
Взаимодействие настилов с опорными элементами перекрытий	99
4.1. Принципы исследования систем перекрытий	99
4.2. Влияние опорных элементов на настил	102
4.3. Конструкция и статический расчет перекрытия с промежуточными опорами	104
4.4. Влияние настила на балочные ригели перекрытия	107
4.5. Теоретические основы расчета балочных ригелей сборных перекрытий	113
4.6. Рекомендации по практическому расчету балок перекрытий	118
4.7. Экспериментальные исследования взаимодействия настила с балочными ригелями сборного перекрытия	120

ГЛАВА 5.

Некоторые особенности взаимодействия несущих конструкций и совместная работа элементов покрытий	136
5.1. Принципы системного исследования несущих конструкций здания	136
5.2. Исследования распорного взаимодействия элементов несущих систем	138
5.3. Распорность элементов конструктивных систем как случайное явление	145
5.4. Результаты экспериментального исследования покрытия одноэтажного промздания	148
5.5. Резервы прочности решетчатых балок, работающих совместно с плитами покрытия	151
5.6. Взаимодействие стальных ферм с железобетонным ребристым настилом	156
5.7. Живучесть многоэтажного здания со связевым каркасом	163
Список литературы.....	175