

## Методика испытания на сдвиг контактной зоны с использованием разрывной и сжимающей нагрузки

*В.В. Кочерженко, П.В. Сапожников, В.В. Кузнецов*

*В.С. Никулин Д.А. Богачев*

*Белгородский Государственный Технологический Университет им. В.Г. Шухова*

**Аннотация:** В статье рассматриваются вопросы особенности целей изучения и методики испытаний для определения характеристик различных зон контактов, организованных различными способами и требующих разного методологического подхода для изготовления и испытания образцов. Зона контакта стальной пластины и бетона, организованная выштамповкой на стальном листе, требует применения стальных форм для запрета горизонтального перемещения. Зона контакта двух деревянных брусков, организованная эпоксидным клеем с армирующим полотном, помещенным между слоями клея, испытывается на сдвиг без организации запрета горизонтального перемещения. Зона контакта, образовавшаяся при соединении стальной пластины и не полностью набравшего прочность бетона, с объединением стальными стержнями, имеет особенности фиксации фактической прочности бетонной части образца. Рассмотренные методики обладают рядом как общих особенностей, так и различий, которые учитываются в предложенных методиках изготовления и испытания.

**Ключевые слова:** контактная зона, характеристики контакта, методика испытания, испытания сдвиг, выштамповка, составная конструкция.

### Введение

В настоящее время отмечается тенденция к расширению применения композитных конструкций, что актуализирует научные исследования, направленные на развитие методик расчета многослойных конструкций. При всем многообразии существующих расчетных методик, они являются достаточно сложными для использования в инженерной практике. Выгодно выделяется среди них теория составных стержней и пластин А.Р. Ржаницына [1]. В контексте этой теории, слои, составляющие поперечное сечение конструкции, объединяются в пакет, посредством абсолютно жестких поперечных и упруго-податливых продольных связей. Благодаря абсолютной жесткости поперечных связей, все слои обладают одинаковой формой изогнутой оси при деформировании конструкции. Способность продольных связей, заполняющих шов между слоями, сопротивляться взаимному сдвигу слоев, определяется коэффициентом жесткости шва на сдвиг.

---

Примером научных исследований деревянных составных конструкций является работа Краснощекова Ю.В. [2], посвященная вопросу применения модели составного стержня для расчета конструкции из склеенных досок. Другим примером научных исследований в контексте составных деревянных конструкций являются работа Линькова Н.В. [3], посвященная вопросу расчету деревянных балок составного сечения с различными особенностями соединения слоев.

Примером применения составных конструкций перекрытий с внешним армированием профилированным настилом в отечественной практике является строительство Лахта-центра в г. Санкт-Петербург и реконструкция исторических зданий в г. Новосибирск [4]. Примером научных исследований составных железобетонных стержней является работа коллектива авторов под руководством Колчунова В.И. [5], где рассмотрены вопросы определения жесткости составных конструкций при сейсмических нагрузках. Также примером научных исследований может служить работа Фардиева Р.Ф. [6], где рассмотрен вопрос определения напряжений в поперечных сечениях составных усиленных стержней, находящихся в условиях внецентренного сжатия. Как отмечалось в статье [7], при расчете составных балок с внешним армированием профилированным настилом и сплошной (или дискретной) затяжкой поперек гофры, обнаружен пробел в понимании механических характеристик профилированного настила поперек гофра с затяжкой, из-за чего неясны предпосылки расчета. В СП 266.1325800.2016. «Конструкции сталежелезобетонные» отмечается, что жесткость контактной зоны стального профилированного настила и бетона, организованного выштамповкой на внутренней стороне гофра и стат-болтов в опорной зоне, не является абсолютной, соединение должно иметь расчетное максимальное смещение бетона и стали до 0,3 мм. Возникает потребность в экспериментальном исследовании характеристик контактной зоны стальной пластины и бетона,

---

организованной выштамповкой на стальном листе. При этом, в СП 266.1325800.2016. «Конструкции сталежелезобетонные», отсутствует четкое описание методики испытания железобетонных образцов, объединённых со стальным профилированным настилом с помощью выштамповки.

Аналогично, при расчете составных деревянных балок с соединением эпоксидным клеем двух и более слоев деревянных досок с армированием композитным материалом между ними, отсутствует понимание механических характеристик данного слоя, из-за чего неясны предпосылки расчета. Возникает потребность в экспериментальном исследовании характеристик контактной зоны, организованной эпоксидным клеем с армирующим волокном, помещенным между слоями клея. При этом, в ГОСТ Р 57157-2016 «Конструкции деревянные», есть описание методики испытания деревянных образцов, объединённых стальными пластинами с зубчатыми креплениями. Имеющиеся методики для испытания рационально учитывать в качестве базовых.

При разработке методики экспериментальных исследований характеристик контактной зоны, образовавшейся между слоями конструкции, разумно также учитывать существующий опыт испытаний образцов на сдвиг и срез, описанный в ГОСТ 10922-2012 «Арматурные и закладные изделия». В контексте испытаний закладных деталей, образцы подразделяются на односрезные и двусрезные (по количеству задействованных при испытаниях зон контакта). Очевидно, что в ходе исследований, чрезвычайно важно получить достоверные и отражающие характер работы контактной зоны под нагрузкой, данные. При испытаниях односрезных образцов необходимо специальными устройствами исключить возможность поворотов образца вокруг своей оси, при возникновении которых изменяется расчетная схема и искажаются данные, для исключения подобных проблем требуется применение дополнительной оснастки.

---

При испытаниях закладных деталей с учетом неполного твердения бетона возникают отдельные специфические проблемы прочности и деформативности соединения стальной пластины и не полностью набравшего прочность бетона, объединённых стальными зенкерованными в бетон стержнями.

В контексте данной статьи будут рассмотрены:

- методика экспериментального исследования характеристик контактной зоны стальной пластины и бетона, организованной выштамповкой на стальном листе;

- основные положения методики экспериментального исследования характеристик контактной зоны, организованной эпоксидным клеем с армирующим полотном;

- основные положения методики экспериментального исследования характеристик контактной зоны, организованной стальными стержнями.

Данные методики базируются на имеющейся широкой методологической базе и разрабатываются с применением зарубежных и отечественных рекомендаций, таких, как RILEM/CEB/FIB. «Recommendation on reinforcement steel for reinforced concrete» и RILEM/CEB/FIP «Bond test for reinforcing steel», описанных в государственных стандартах и сводах правил, при этом учитываются существующая патентная [8, 9] и экспериментальная базы [10], а также особенности и цели исследований.

### **1. Цели изучения и методика испытаний для определения характеристик контактной зоны стальной пластины и бетона, организованной выштамповкой на стальном листе**

Поставлены следующие цели исследования контактной зоны стальной пластины и бетона, организованной выштамповкой на стальном листе:

- определить силу сцепления между бетоном и стальной пластиной, при организации контакта выштамповкой расположенной перпендикулярно направлению действия растягивающей нагрузки;

- определить напряжения в стальной пластине, возникающие в процессе перераспределения внешней растягивающей нагрузки от захватного устройства на бетон через зону контакта;

- оценить величины упругих деформаций и подтвердить отсутствие неупругих деформаций в стальной пластине, возникающих в процессе испытания;

- оценить равномерность и симметричность упругих деформаций в стальной пластине, возникающих в процессе растяжения;

- зафиксировать на каждом этапе передачи растягивающей нагрузки величину смещения стальной пластины относительно бетона, вследствие упругих и пластических деформаций, происходящих в контактной зоне бетона и стальной пластины, имеющей выштамповку;

- оценить равномерность и симметричность величин смещения стальной пластины относительно бетона, возникающих в процессе ступенчатого нагружения;

- зафиксировать величину внешней растягивающей нагрузки при величине смещения стальной пластины относительно бетонной части образца 0,3 мм;

- оценить равномерность и симметричность смещения стальной пластины и бетонной части образца при величинах смещения, близких к 0,3 мм;

- оценить равномерность и симметричность упругих деформаций в стальной пластине при величинах смещения стальной пластины относительно бетонной части образца, близких к 0,3 мм;

- определить характер разрушения контактной зоны бетона и стальной пластины, имеющей выштамповку;

- определить характер зависимости «выдерживающая нагрузка - смещение» стальной пластины до и после величины смещения стальной пластины и бетонной части образца 0,3 мм.

В контексте данной статьи предполагается следующая методика изготовления образцов:

1) Сверление отверстия для захватного стержня в стальной обойме (форме ФК2-100);

2) Установка захватного стержня в проектное положение с контролем вертикальности;

3) Изготовление стальной полосы;

3.1) Раскрой стального листа стандартного размера на отдельные пластины с контролем отклонения от геометрических размеров относительно стальной формы ФК2-100, нанесение отверстия в центре стальной пластины под захватное устройство;

3.2) Нанесение рисунка выштамповки с контролем отклонения от геометрических размеров относительно ГОСТ Р 58389-2019. «Профили стальные листовые гнутые с трапециевидными гофрами для сталежелезобетонных конструкций»;

4) Сгибание пластины и установка ее в проектное положение;

5) Укладка бетонной смеси в форму с послойным уплотнением и контролем величины анкеровки образца.

В конечном итоге, образец изготавливается в стальной обойме, по двум граням которого между формой и бетоном проложена тонкая согнутая по П-форме стальная пластина с выштамповкой, нанесенной на внутренней стороне.

Испытания предполагается производить на разрывной машине с ориентировочной разрушающей нагрузкой 2-3 тс. с шаговым нагружением по 50-100 кгс. Схема испытания для выдергивания стального листа с использованием стальной обоймы показана на рис. 1.

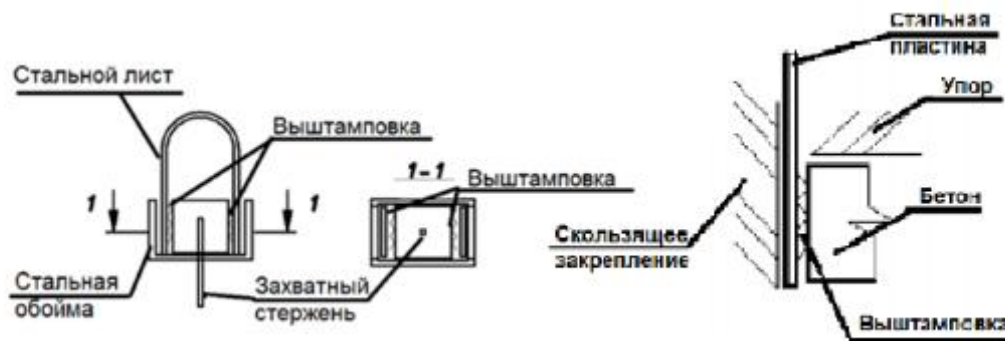


Рис. 1. – Схема испытания для выдергивания стального листа с использованием стальной обоймы

В контексте данной статьи предполагается следующая методика испытания образцов:

1) После изготовления образцов и набора бетоном проектной прочности определить прочность бетона на осевое сжатие, определить класс бетона, по определенному классу бетона получить нормированное значение прочности бетона на осевое растяжение. Для этого может использоваться как неразрушающий метод (приборы типа «ОНИКС»), так и при испытании кубов и/или призм на одноосное сжатие, изготовленных одновременно с основными образцами, один замес. Выполняется для корректировки величины ступеней нагружения и предполагаемой разрушающей нагрузки;

2) Визуальная оценка и нумерация образцов до испытания. Так как стальная форма ФК2-100 является одновременно опалубкой и запретом горизонтального перемещения и поворота, при этом не препятствует вертикальному перемещению в расчетной схеме испытания, положение пластины следует проконтролировать до испытания.



Если на момент испытания между стальной пластиной и формой образовался нежелательный зазор, в процессе изготовления возможно использование специальной прокладки из 2-3 слоев промасленной бумаги, которая по задумке должна препятствовать горизонтальному смещению образца. Величина зазора оценивается визуально или измерительным прибором. Удовлетворительным считается суммарный зазор с двух сторон образца не более 10-15% от глубины выштамповки. Так, для выштамповки глубиной 2,5 мм, удовлетворительным можно принять зазор до 0,3-0,4 мм. Выполняется для уменьшения влияния различных погрешностей и уменьшения вариативности результатов экспериментальных данных;

3) Установка тензодатчиков на стальные полосы с каждой стороны. Выполняется для определения напряжений в стальную пластину, в частности, для проверки предположения о том, что величины напряжений в стальной пластине не достигают предела пропорциональности в процессе испытания.

Схема установки тензодатчиков с базой 5-10 мм для определения напряжений в стальной пластине и индикаторов часового типа с точностью измерения 0,01 мм для контроля смещения стальной и бетонной частей образца показана на рис. 2.

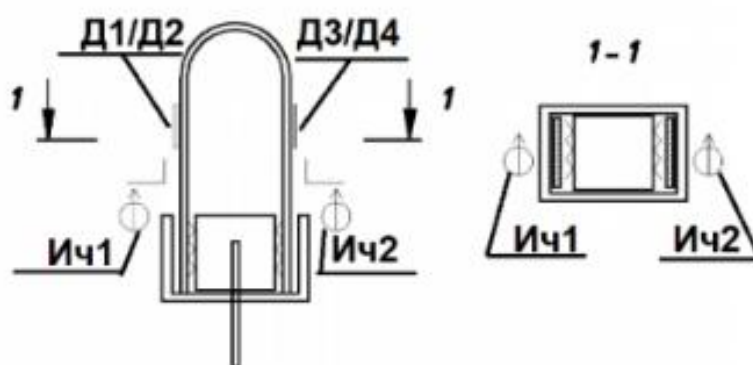


Рис. 2. – Схема установки тензодатчиков и индикаторов часового типа

4) Установка индикаторов часового типа с каждой стороны. Схема установки индикаторов часового типа с точностью измерения 0,01 мм для



контроля смещения стальной и бетонной частей образца показана на рис. 3. Выполняется для фиксации на каждом этапе передачи выдергивающей нагрузки на величину смещения стальной пластины относительно бетона. Позволяет оценить равномерность и симметричность величин.

5) Установка и выверка образца в захватные устройства. Выполняется для равномерной передачи растягивающей нагрузки на образец, препятствует появлению нерасчетных эксцентриситетов приложения выдергивающей нагрузки на образец. В конечном итоге уменьшает вариативность результатов экспериментальных данных.

6) Ступенчатое нагружение образца и выверка образца в захватные устройства. Выполняется для фиксации на каждом этапе передачи растягивающей нагрузки величины смещения стальной пластины относительно бетона, вследствие упругих и пластических деформаций, происходящих в контактной зоне бетона и стальной пластины, имеющей выштамповку.

7) Построение графика «выдергивающая нагрузка-смещение» по полученным величинам в процессе испытания. Выполняется для архивирования и последующего анализа экспериментальных данных.

### **1.1 Оценка вовлекаемых параметров при применении предлагаемой методики испытаний для определения характеристик контактной зоны стальной пластины и бетона, организованной выштамповкой на стальном листе**

В процессе измерения смещений необходимо учитывать одновременно происходящие процессы, которые могут повлиять на измеряемые параметры. На измеряемые величины смещения стальной пластины относительно бетона, возникающие в процессе ступенчатого нагружения, влияют несколько групп параметров:

---

- упругие и пластические деформации в стальной пластине, возникающие в процессе перераспределения внешней выдергивающей нагрузки от захватного устройства до зоны непосредственного контакта;

- упругие и пластические деформации в стальной пластине, возникающие в процессе передачи напряжения в непосредственной зоне контакта с бетоном;

- упругие и пластические деформации, происходящие в результате процессов разрушения бетона в зоне смятия;

- пластические и необратимые деформации, происходящие в результате нарушения адгезионной связи бетона и стальной пластины;

- упругие и пластические деформации, происходящие в результате процессов смещения и попытки «выскальзывания» в горизонтальном направлении при наличии зазоров между стальной формой и пластиной;

- упругие и пластические деформации, происходящие в зоне анкеровки стального захватного стержня в бетонную часть образца;

- упругие и пластические деформации, происходящие в результате консольного изгиба бетонной части образца от места установки захватного стержня до зоны контакта.

По результатам численных оценок наибольшее влияние на смещения стальной пластины относительно бетонной части образца должно иметь механическое сцепление, возникающее при сопротивлении бетона усилиям смятия и среза и обусловленное возможными неровностями стального профиля. Прочие группы параметров по предположению будут иметь величину до 10-12% в окончательных результатах.

## 2. Цели изучения и методика испытаний для определения характеристик контактной зоны, организованной эпоксидным клеем с армирующим полотном, помещенной между слоями клея

Цели исследования контактной зоны, организованной эпоксидным клеем с армирующим полотном, частично совпадают с уже озвученными в предыдущем разделе. Основной целью является определение характера зависимости «вдавливающая нагрузка - смещение» и на основании этой зависимости необходимо сделать вывод о прочностных и деформативных свойствах контактной зоны.

Схема испытания на сдвиг с использованием сжатия показана на рис. 3.

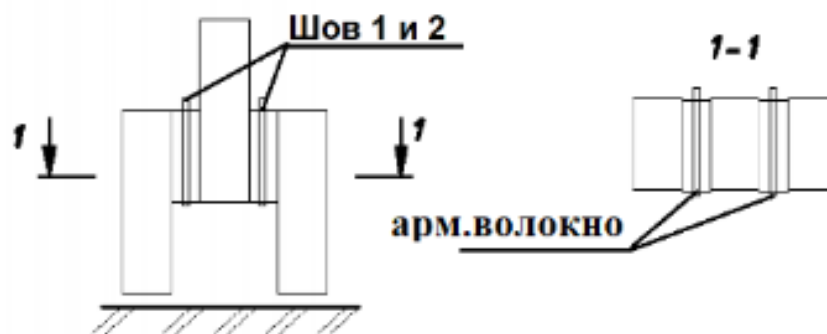


Рис. 3. – Схема испытания образца для вдавливания бруска

В контексте данной статьи предполагается следующая методика изготовления образцов:

- 1) Изготовление брусков;
  - 1.1) Раскрой деревянной доски стандартного размера с расположением наибольшего размера вдоль волокон древесины с контролем отклонения от геометрических размеров;
  - 1.2) Нанесение разметки с отметкой будущей зоны склейки;
- 2) Первичная примерка образцов и черновое выравнивание склеиваемых поверхностей с установкой в проектное положение и временной фиксацией быстросъемными зажимами;
- 3) Раскрой армирующего полотна;

3.1) Раскрой армирующей полотна из рулона стандартного размера на отдельные детали с контролем отклонения от геометрических размеров относительно изготовленных деревянных брусков с учетом выступа сетки за пределы зоны склеивания на 5 мм с каждой стороны;

3.2) Нанесение разметки с отметкой будущей зоны склейки;

4) Вторичная примерка образцов и черновое выравнивание поверхностей для соприкосновения с частями пресса с установкой в проектное положение и временной фиксацией быстросъемными зажимами;

5) Склеивание деталей образца;

5.1) Нанесение эпоксидного клея на армирующий материал с контролем проникновения клея между волокнами армирующего материала;

5.2) Нанесение эпоксидного клея на поверхность деревянных брусков;

6) Фиксация образцов в проектном горизонтальном положении.

Схема установки индикаторов часового типа точностью измерения 0,01 мм для контроля смещения частей образца показана на рис. 4.

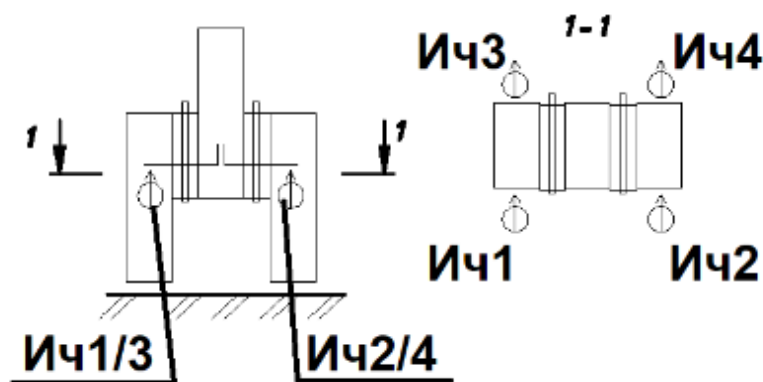


Рис. 4. – Схема установки индикаторов часового типа для измерения смещений

Основной особенностью образцов, которая должна быть учтена при их изготовлении, является необходимость раскроя армирующего волокна с учетом выступа за пределы зоны склеивания на 5 мм с каждой стороны. Это

необходимо для визуального контроля наличия армирующего материала в шве.

Испытания предполагается производить вдавливающей нагрузкой с ориентировочной разрушающей нагрузкой 2-3 тс и шаговым нагружением по 50-100 кгс.

Основной особенностью образцов, которая должна быть учтена при их испытании, является контроль симметричности деформаций.

При построении графика «вдавливающая нагрузка-смещение» по полученным величинам в процессе испытания следует проводить фото - и видеофиксацию для контроля возможных горизонтальных перемещений составных частей образца, вызванных неравномерным «отлипанием» по длине контактной зоны.

## **2.1 Оценка вовлекаемых параметров при применении предлагаемой методики испытаний**

Одновременно происходящие процессы, которые могут повлиять на измеряемые параметры исследования контактной зоны, организованной эпоксидным клеем с армирующим полотном, частично совпадают с уже озвученными в предыдущем разделе. Одной из основных групп параметров является смятие торцов брусков в зонах контакта с частями прессы, возникающее в процессе перераспределения внешней вдавливающей нагрузки до зоны непосредственного контакта.

По оценкам, наибольшее влияние на смещения центрального деревянного бруска относительно крайних должны иметь деформативные характеристики клеевого соединения брусков. Прочие группы параметров по предположению будут иметь величину до 9-10% в окончательных результатах.

### 3. Цели изучения и методика испытаний для определения характеристик соединения стальной пластины и не полностью набравшего прочность бетона, объединённых стальными стержнями

Цели исследования контактной зоны, а именно - характеристик соединения стальной пластины и не полностью набравшего прочность бетона, объединённых стальными стержнями, частично совпадают с уже озвученными в предыдущем разделе. Основной целью является определение характера зависимости «вдавливающая нагрузка - смещение» и на основании зависимости необходимо сделать вывод о прочностных и деформативных свойствах контактной зоны. Схема испытания образца для вдавливания показана на рис. 6.

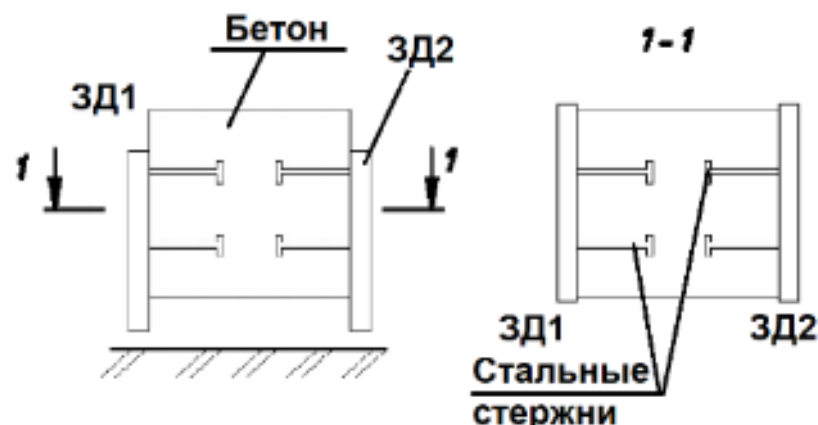


Рис. 6. – Схема испытания для вдавливания бетонного массива между закладными деталями

Основной особенностью образцов, которая должна быть учтена при их изготовлении, является изготовление вместе с образцами стандартных кубов и призм для анализа процесса набора прочности бетона в совокупности с применением неразрушающих методов контроля прочности бетона. Так, для определения набора прочности бетона в 75%, необходимо изготовление не менее 6 образцов для определения прочности, три из которых предполагается испытать для первичного определения прочности, которая производится до испытания основных образцов. Оставшиеся три куба или призмы

предполагается испытать одновременно с основными образцами. Это осуществляется для контроля процесса набора прочности бетонной частью образца. В конечном итоге образец изготавливается в индивидуальной опалубке, по двум граням которой между опалубкой и бетоном расположены закладные детали.

Испытания предполагается производить на разрывной машине с ориентировочной разрушающей нагрузкой 5-10 тс с шаговым нагружением по 150-400 кгс. В контексте данной статьи предполагается следующая методика испытания образцов:

1) После изготовления образцов и набора бетоном 75% прочности нужно определить прочность бетона на осевое сжатие, определить класс бетона, затем по классу бетона вывести нормированное значение его прочности на осевое растяжение. Используется как в целях неразрушающего метода (приборы типа «ОНИКС»), так и при испытании кубов и/или призм на одноосное сжатие, изготовленных одновременно с основными образцами при задействовании одного замеса;

2) Визуальная оценка и нумерация образцов до испытания. Если на момент испытания между стальными пластинами и бетоном образовался нежелательный зазор, величина зазора оценивается визуально или измерительным прибором. Удовлетворительным считается отсутствие зазора с двух сторон образца;

3) Установка индикаторов часового типа в каждом углу;

4) Установка и выверка образца;

6) Ступенчатое нагружение образца и выверка образца в захватных устройствах;

7) Построение графика «вдавливающая нагрузка - смещение» по полученным величинам в процессе испытания.



Основной особенностью образцов, которая должна быть учтена при их испытаниях, также является контроль симметричности деформаций. Схема установки индикаторов часового типа точностью измерения 0,01 мм для контроля смещения стальной и бетонной частей образца идентична представленной в предыдущем разделе и показана на рис. 5.

При построении графика «вдавливающая нагрузка - смещение» по полученным величинам в процессе испытания следует проводить фото - и видеофиксацию для контроля возможных горизонтальных перемещений составных частей образца, вызванных неравномерным «отлипанием» по длине контактной зоны бетона и стальной пластины.

### **3.1 Оценка вовлекаемых параметров при применении предлагаемой методики испытаний**

Одновременно происходящие процессы, которые могут повлиять на измеряемые параметры исследования контактной зоны, и характеристики соединения стальной пластины и не полностью набравшего прочность бетона, частично совпадают с уже озвученными в предыдущем разделе. Одной из основных групп параметров является упругие и пластические деформации, происходящие в результате процессов смещения и попытки «выскальзывания» в горизонтальном направлении стальных стержней из не полностью набравшего прочность бетона.

По оценкам, наибольшее влияние на смещения стальных пластин относительно не полностью набравшего прочность бетона должно иметь механическое сцепление, возникающее при сопротивлении бетона усилиям смятия и среза. Прочие группы параметров в окончательных результатах предположительно будут иметь величину до 10-12%.

### **Заключение**

Основываясь на вышеизложенном, можно сделать следующие выводы:

---

1. Сформулирована актуальность, предпосылки и проблемы расчета составных конструкций;
2. Разработана методика и сформулированы цели экспериментального исследования характеристик контактной зоны стальной пластины и бетона, организованной выштамповкой на стальном листе;
3. Сформулированы основные особенности экспериментального исследования характеристик контактной зоны, организованной эпоксидным клеем с армирующей сеткой, помещенной между слоями клея;
4. Сформулированы основные особенности экспериментального исследования характеристик контактной зоны стальной пластины и не полностью набравшего прочность бетона, объединённых стальными стержнями;
5. Освещены особенности каждой методики испытаний, представлена оценка параметров, вовлекаемых при применении предлагаемых методик испытаний.

### Литература

1. Ржаницын А.Р. Составные стержни и пластинки. М., Стройиздат, 1986. -316с.
2. Краснощеков Ю.В. Применение модели составного стержня для расчета деревоплиты из склеенных досок // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2009. № 4 (14). С. 28–32.
3. Линьков Н.В. Расчет деревянных балок составного сечения на соединениях с применением композиционного материала по теории составных стержней А.Р. Ржаницына // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 4. С. 20–22.
4. Шафрай С.Д. Архитектурно-конструктивные приемы в реконструкции старых зданий г. Новосибирска // Вестник ТГАСУ. 2015. №2. С. 49-53.

5. Колчунов В.И., Марьенков Н.Г., Омельченко Е.В., Тугай Т.В., Бухтиярова А.С. Методика определения жесткости плосконапряженных и стержневых железобетонных составных конструкций при сейсмических воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 2. С. 12–15.

6. Фардиев Р.Ф., Ашрапов А.Х. Применение теории составных стержней к определению характера распределения напряжений в поперечном сечении усиленного внецентренно сжатого элемента // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 4 (34). С. 363–369.

7. Кочерженко В.В., Сапожников П.В., Кузнецов В.В. Планирование эксперимента испытания выштамповки на сдвиг в перпендикулярном направлении // Инженерный вестник Дона, 2023, №11. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8796](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8796).

8. Анпилов С.М., Гейдт И.Р., Сахаров Г.С., Римшин В.И., Сорочайкин А.Н. Атомная электрическая станция. Патент № 2767308. Бюл. 2022 г. № 8 URL: [patents.s3.yandex.net/RU2767308C1\\_20220317.pdf](http://patents.s3.yandex.net/RU2767308C1_20220317.pdf)

9. Сапожников П.В. Способ возведения многоэтажного каркасно-монолитного здания методом подъема этажей. Патент № 2656633. Бюл. 2017 г. № 16. URL: [patents.s3.yandex.net/RU2656633C1\\_20180606.pdf](http://patents.s3.yandex.net/RU2656633C1_20180606.pdf)

10. Румянцева И. А. Работы разных видов выштамповок на сдвиг // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2014. №5. С. 74-79.

### References

1. Rzhanicyn A.R. Sostavnye sterzhni i plastinki [Composite rods and plates]. М., Strojizdat, 1986. 316 p.

2. Krasnoshchekov Yu.V. Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. 2009. № 4. pp. 28-32.



3. Lin'kov N.V. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2013. № 4. pp. 20-22.
4. SHafraj S.D. Vestnik TGASU. 2015. №2, pp. 49-53.
5. Kolchunov V.I., Marienkov N.G., Omelchenko E.V., Tugai T.V., Bukhtiyarova A.S. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2014. № 2. pp. 12-15.
6. Fardiev R.F., Ashrapov A.H. Izvestija Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2015. № 4. p. 363-369.
7. Kocherzhenko V.V., Sapozhnikov P.V., Kuznetsov V.V. IVD. 2023, №11. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8796](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8796).
8. Anpilov S.M., Gejdt I.R., Saharov G.S., Rimshin V.I., Soročajkin A.N. Atomnaya elektricheskaya stanciya [Nuclear power plant]. Patent № 2767308. Byul. 2022 g. № 8 URL: [patents.s3.yandex.net/RU2767308C1\\_20220317.pdf](http://patents.s3.yandex.net/RU2767308C1_20220317.pdf)
9. Sapozhnikov P.V. [Method of erecting buildings]. Patent № 2656633. Bul. 2017 g. № 16 URL: [patents.s3.yandex.net/RU2656633C1\\_20180606.pdf](http://patents.s3.yandex.net/RU2656633C1_20180606.pdf)
10. Romyanceva I. A. Stroitel'naja mehanika inženernyh konstrukcij i sooruzhenij. 2014. №5. p. 74-79.

**Дата поступления: 19.02.2024**

**Дата публикации: 27.03.2024**