

УДК 691.17, 694.143, 69.003.13

ДОСЛІДЖЕННЯ БАЛКИ З ДЕФЕКТАМИ В РОЗТЯГНУТІЙ ЗОНІ, ПОСИЛЕНОЮ ТКАНИНИ НА ОСНОВІ ВУГЛЕЦЕВИХ ВОЛОКОН

ИССЛЕДОВАНИЯ БАЛКИ С ДЕФЕКТОМ В РАСТЯНУТОЙ ЗОНЕ, УСИЛЕННОЙ ТКАНЬЮ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН

INVESTIGATION OF THE BEAM WITH A DEFECT IN A WIDTH ZONE STRONGERATED BY FABRIC TISSUE BASED ON CARBON FIBERS

Стоянов В.О. аспірант (АТ «НДЦ «Будівництво»)

Коршак О.М. к.т.н., доц., **Чучмай С.М.** к.т.н., доц., **Стоянов В.В.** д.т.н., проф.
(Одеська державна академія будівництва та архітектури)

Стоянов В.О. аспирант (АО «НИЦ «Строительство»)

Коршак О.М. к.т.н., доц., **Чучмай С.М.** к.т.н., доц., **Стоянов В.В.** д.т.н., проф.
(Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

Stoyanov V.O. post graduate, (NJSC "SRC" Construction")

Korshak O. M. Cand. Sc. (Eng.), Assist. Prof., **Chuchmay S.M.** Cand. Sc. (Eng.), Assist. Prof.,
Stoyanov V.V. Dr.Sc. (Eng.), Prof. (Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture)

Анотація. У статті розглянуті альтернативні методи локального посилення елементів, що згинаються, чисельно і експериментально досліджена можливість локального посилення дерев'яної балки композитом на основі тканини з вуглецевих волокон.

Чисельні дослідження конструкції проводилися з урахуванням ортотропії деревини в ПК «Ansys» і були розділені на три етапи. Для досліджень була прийнята шарнірно оперта балка з клеєної деревини II сорту. Розміри балки склали 100 × 350 × 3500 мм. Для створення зони чистого вигину балка навантажувати двома зосередженими силами в третинах прольоту. На першому етапі в межах розрахункового навантаження була досліджена робота балки без дефектів. При такому навантаженні напруги в розтягнутій і стиснутій зоні склали ~ 13 МПа, що не перевищує розрахункового опору клеєної деревини вигину. На другому етапі досліджень в балці був створений штучний дефект прямокутної форми. Дефект прямокутної форми глибиною 20 мм. На даному етапі при навантаженні 50 кН слід зазначити концентрацію нормальних напружень в зоні над дефектом, величина напруг, що розтягують досягає 21 МПа, що майже в два рази перевищує розрахунковий опір деревини, напруги в стислій зоні досягали 15 МПа. На третьому етапі в зоні дефекту моделювався полімерний композит на основі шести шарів вуглецевої тканини. Таке локальне посилення дозволило усунути концентрацію напружень над зоною дефекту і знизити нормальні напруги в деревині балки до розрахункових значень. Слід зазначити рівномірний розподіл напруг, що розтягують поперек волокон після посилення. У конструкціях з дефектами дані напруги можуть викликати відколювання нижніх ламелей балки, сприяючи раннього руйнування балки.

Експериментальні дослідження проводилися відповідно до рекомендацій по випробуванню дерев'яних конструкцій. Методика передбачала також три етапи, аналогічно чисельним дослідженням

Аннотация. В статье рассмотрены альтернативные методы локального усиления изгибаемых элементов, численно и экспериментально исследована возможность локального усиления деревянной балки композитом на основе ткани из углеродных волокон.

Численные исследования конструкции проводились с учетом ортотропии древесины в ПК «Ansys» и были разделены на три этапа. Для исследований была принята шарнирно опертая балка из клееной древесины II сорта. Размеры балки составили 100×350×3500 мм. Для создания зоны чистого изгиба балка нагружалась двумя сосредоточенными силами в третях пролета. На первом этапе в пределах расчетной нагрузки была исследована работа балки без дефектов. При такой нагрузке напряжения в растянутой и сжатой зоне составили ~13МПа, что не превышает расчетного сопротивления клееной древесины изгибу. На втором этапе исследований в балке был создан искусственный дефект прямоугольной формы. дефект прямоугольной формы глубиной 20 мм. На данном этапе при нагрузке 50 кН следует отметить концентрацию нормальных напряжений в зоне над дефектом, величина растягивающих напряжений достигает 21 МПа, что почти в два раза превышает расчетное сопротивление древесины, напряжения в сжатой зоне достигали 15 МПа. На третьем этапе в зоне дефекта моделировался полимерный композит на основе шести слоев углеродной ткани. Такое локальное усиление позволило устранить концентрацию напряжений над зоной дефекта и снизить нормальные напряжения в древесине балки до расчетных значений. Следует отметить равномерное распределение растягивающих напряжений поперек волокон после усиления. В конструкциях с дефектами данные напряжения могут вызывать откалывание нижних ламелей балки, способствуя раннему разрушению балки.

Экспериментальные исследования проводились согласно рекомендациям по испытанию деревянных конструкций. Методика предусматривала также три этапа, аналогично численным исследованиям.

Anotation. The article discusses alternative methods of local strengthening of bending elements, numerically and experimentally investigated the possibility of local strengthening of a wooden beam with a composite based on a fabric of carbon fibers.

The numerical studies of the structure were carried out taking into account the orthotropy of wood in the Ansys PK and were divided into three stages. For research, a hingedly supported beam of laminated wood of the II grade was adopted. The dimensions of the beam were 100 × 350 × 3500 mm. To create a zone of pure bending, the beam was loaded with two concentrated forces in the thirds of the span. At the first stage, the work of the beam without defects was investigated within the limits of the design load. With such a load, the stresses in the stretched and compressed zone amounted to ~ 13 MPa, which does not exceed the calculated resistance of laminated wood to bending. At the second stage of research, an artificial rectangular defect was created in the beam. rectangular defect with a depth of 20 mm. At this stage, with a load of 50 kN, the concentration of normal stresses in the zone above the defect should be noted, the magnitude of tensile stresses reaches 21 MPa, which is almost twice the design resistance of wood, the stresses in the compressed zone reach 15 MPa. At the third stage, a polymer composite based on six layers of carbon fabric was modeled in the defect zone. At the third stage, a polymer composite based on six layers of carbon fabric was modeled in the defect zone. Such local strengthening allowed to eliminate the stress concentration above the defect zone and reduce the normal stresses in the wood of the beam to the calculated values. The uniform distribution of tensile stresses across the fibers after reinforcement should be noted. In structures with defects, these stresses can cause chipping of the lower lamella of the beam, contributing to the early destruction of the beam.

Experimental studies were carried out according to the recommendations for testing wooden structures. The technique also included three stages, similar to numerical studies

Наиболее опасными дефектами для изгибаемых конструкций являются дефекты в растянутой зоне, которые характерны для конструкций как из цельной древесины, так и из клееной. В ходе обследований зданий и сооружений различного назначения установлено, что наиболее частыми дефектами в балках являются сучки, локальные загнивания, соединения «мини шип» и внепроектные врезки в конструкции под инженерное оборудование [1].

Часто при проведении реконструкции здания замена поврежденной балки не представляется возможной, либо требует значительных трудовых затрат. Традиционным способом усиления в таких случаях является установка дублирующей стальной балки или рамы, однако при таком усилении существенно изменяется внешний вид конструкции и интерьер помещения, уменьшается полезное пространство.

Альтернативным способом усиления является локальное усиление изгибаемого элемента в растянутой зоне полимерным композитом. Широкий спектр изделий из полимерных композитов позволяет использовать для этих целей стеклопластиковые, углеродные и арамидные стержни, углепластиковые ламели, а также полимерные композиты на основе тканых материалов [2].

В данной статье численно и экспериментально исследована возможность локального усиления балки композитом на основе ткани из углеродных волокон. Для исследований была принята шарнирно опертая балка из клееной древесины II сорта. Размеры балки составили 100×350×3500 мм. Для создания зоны чистого изгиба балка нагружалась двумя сосредоточенными силами в третях пролета, расчетная схема приведена на рисунке 1.

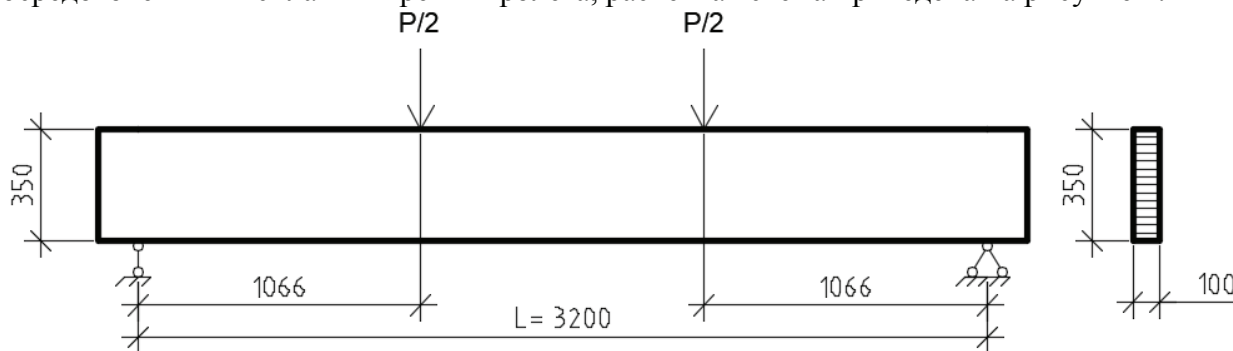


Рисунок 1 – Расчетная схема испытания

Численные исследования конструкции проводились с учетом ортотропии древесины в ПК «Ansys» и были разделены на три этапа [3]. На первом этапе в пределах расчетной нагрузки 50 кН была исследована работа балки без дефектов. При такой нагрузке напряжения в растянутой и сжатой зоне составили ~ 13 МПа, что не превышает расчетного сопротивления клееной древесины изгибу. Изополя нормальных напряжений в балке для первого этапа приведены на рисунке 2.

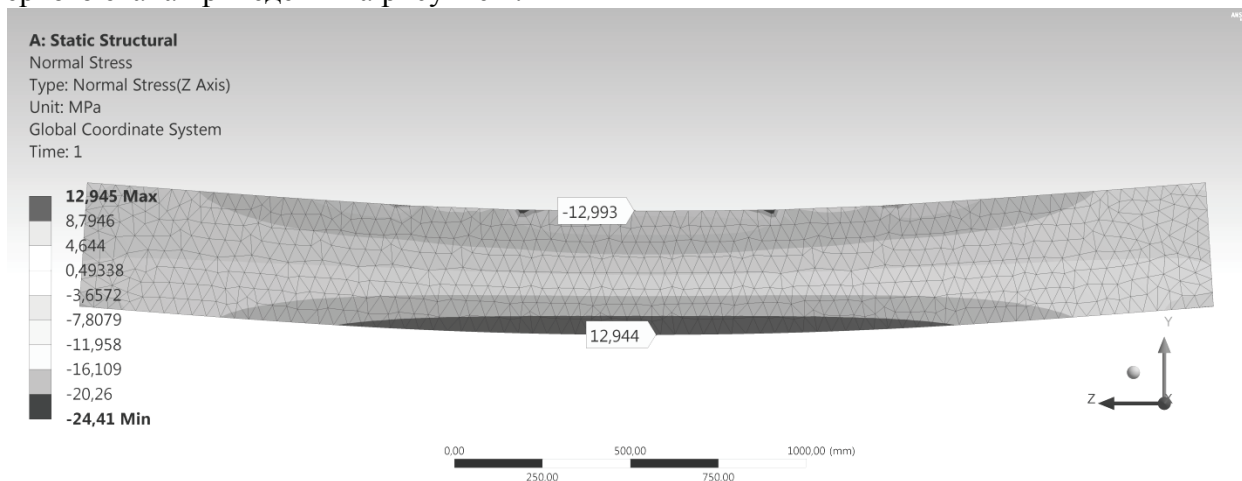


Рисунок 2 – Изополя нормальных напряжений на первом этапе

На втором этапе исследований в балке был создан искусственный дефект прямоугольной формы глубиной 20 мм. На данном этапе при нагрузке 50 кН следует отметить концентрацию нормальных напряжений в зоне над дефектом, величина растягивающих напряжений достигает 21 МПа, что почти в два раза превышает расчетное сопротивление древесины, напряжения в сжатой зоне достигали 15 МПа. Изополя нормальных напряжений изображены на рисунке 3.

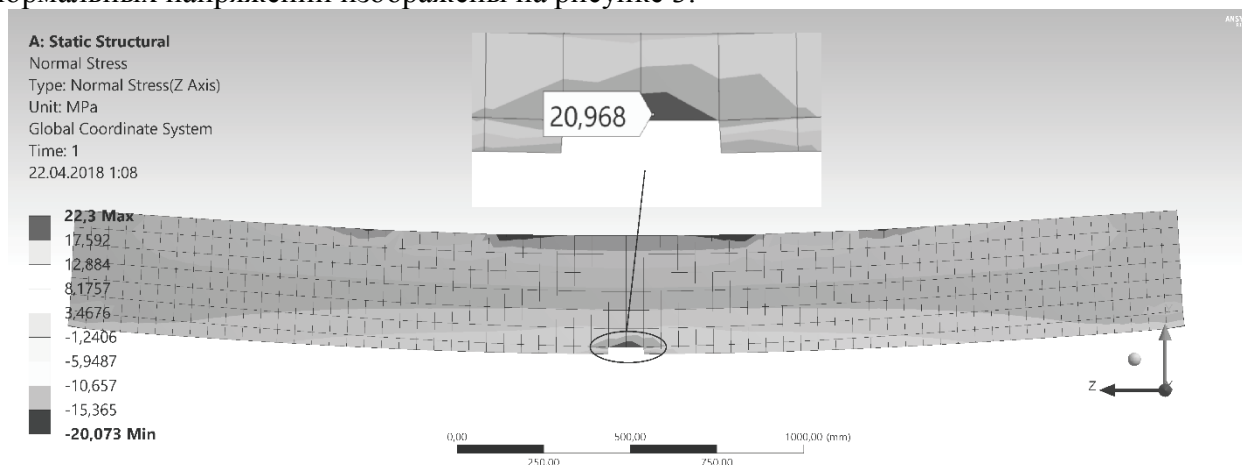


Рисунок 3 – Изополя нормальных напряжений на втором этапе

На третьем этапе в зоне дефекта моделировался полимерный композит на основе шести слоев углеродной ткани. Такое локальное усиление позволило устранить концентрацию напряжений над зоной дефекта и снизить нормальные напряжения в древесине балки до расчетных значений. Изополя нормальных напряжений приведены на рисунке 4.

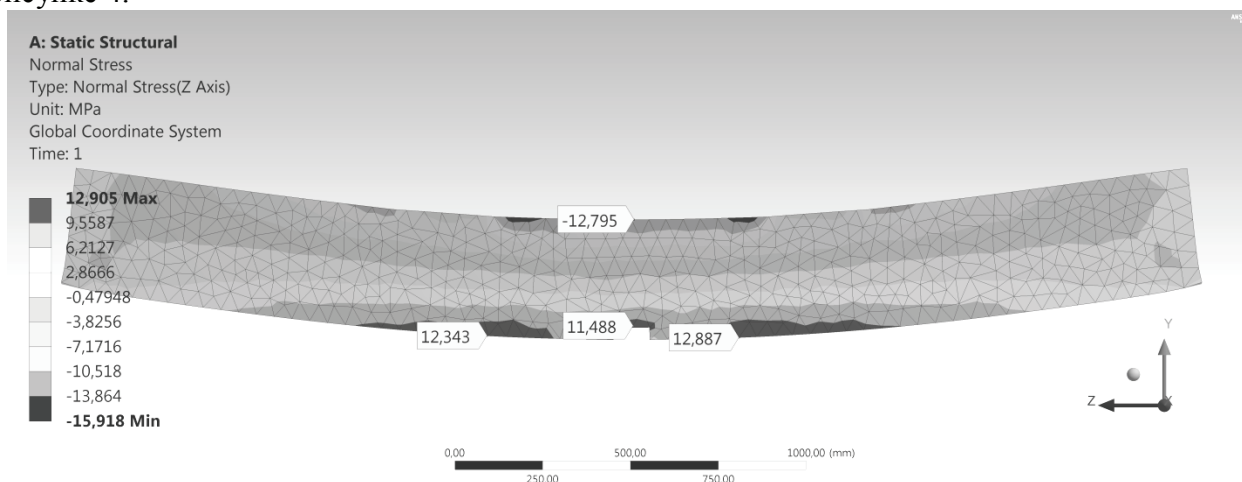


Рисунок 4 – Изополя нормальных напряжений на третьем этапе

Дополнительно следует отметить равномерное распределение растягивающих напряжений поперек волокон после усиления. В конструкциях с дефектами данные напряжения могут вызывать откалывание нижних ламелей балки, способствуя раннему разрушению балки.

Экспериментальные исследования проводились согласно рекомендациям по испытанию деревянных конструкций [4,5]. Методика предусматривала также три этапа, аналогично численным исследованиям. Нагружение балки производилось гидравлическим домкратом грузоподъемностью 200 кН. Нагрузка передавалась на балку с помощью стальной распределительной траверсы. Прогобы в середине пролета балки измерялись с помощью прогибомера Максимова с точностью 0.1мм, относительные деформации в зоне чистого изгиба измерялись при помощи АИД-4. Общий вид испытаний приведен на рисунке 5.

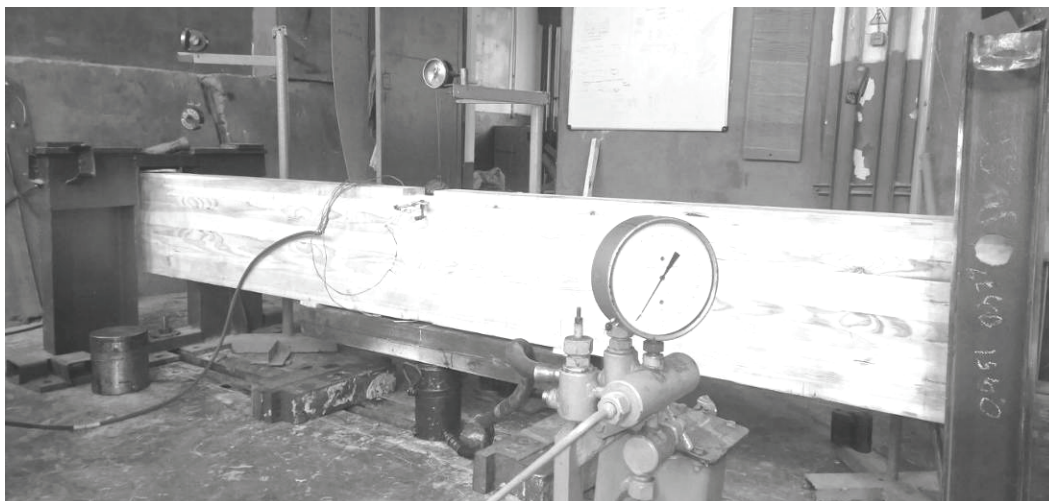


Рисунок 5 - Общий вид испытания балки Б2

На первом этапе (контрольный для балки без дефекта) нагрузка прикладывалась ступенями по 5кН с замером прогибов и относительных деформаций для каждой ступени. Нагружение производилось до значения 40 кН для того чтобы избежать перехода напряженно-деформированного состояния конструкции в пластическую стадию. В ходе испытания отмечена линейная зависимость прогибов от величины прикладываемой нагрузки.

На втором этапе в балке был создан искусственный дефект в виде внепроектной врезки, глубина дефекта составила 20 мм. На данном этапе конструкция нагружалась до 30 кН для предотвращения раннего разрушения конструкции. Прогибы на данном этапе увеличились на 20% в сравнении с балкой без дефекта.

Перед проведением третьего этапа зона дефекта была усилена шестью слоями углеродной ткани SikaWrap®-530C/105. Ткань наклеивалась послойно с пропиткой каждого слоя клеем на основе эпоксидной смолы ЭД-20. После проведения работ по усилению, для набора прочности клеевого соединения, конструкция выдерживалась 14 суток в помещении с температурой воздуха выше 18°C.

На третьем этапе конструкция нагружалась ступенями по 5 кН до нагрузки 75 кН. Конструкция не доводилась до разрушения с целью дальнейших исследований зоны с локальным усилением. На всех ступенях нагружения отмечена линейная зависимость прогибов от нагрузки. Прогибы в середине пролета уменьшились до показателей балки без дефекта. На рисунке 6 приведен сравнительный график зависимости прогибов балки от нагрузки на различных этапах эксперимента.

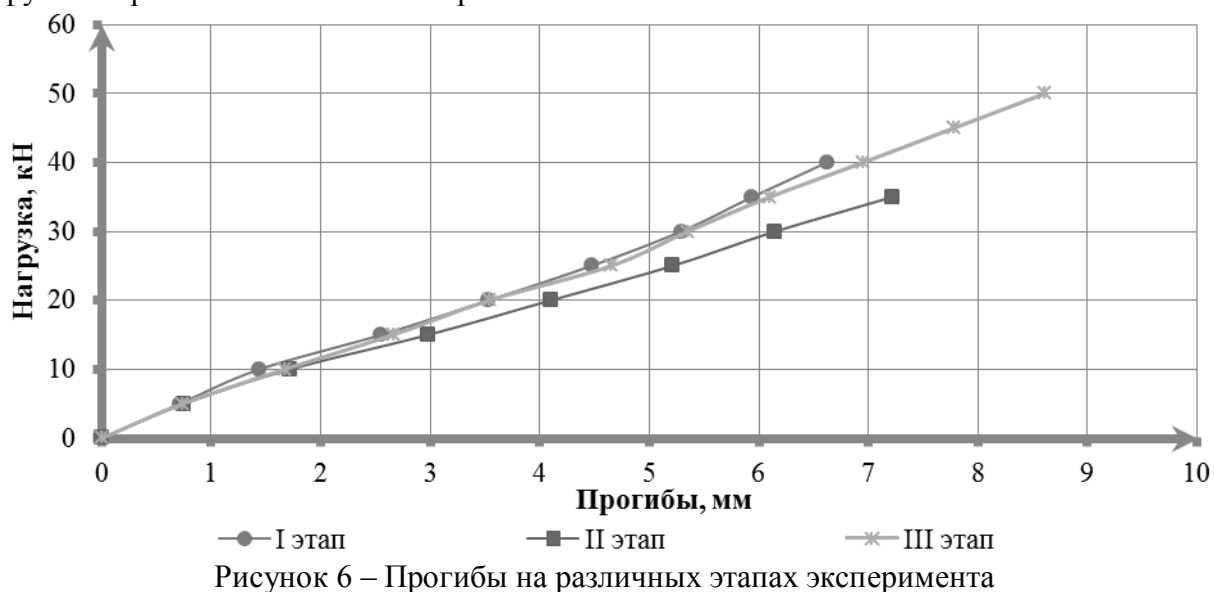
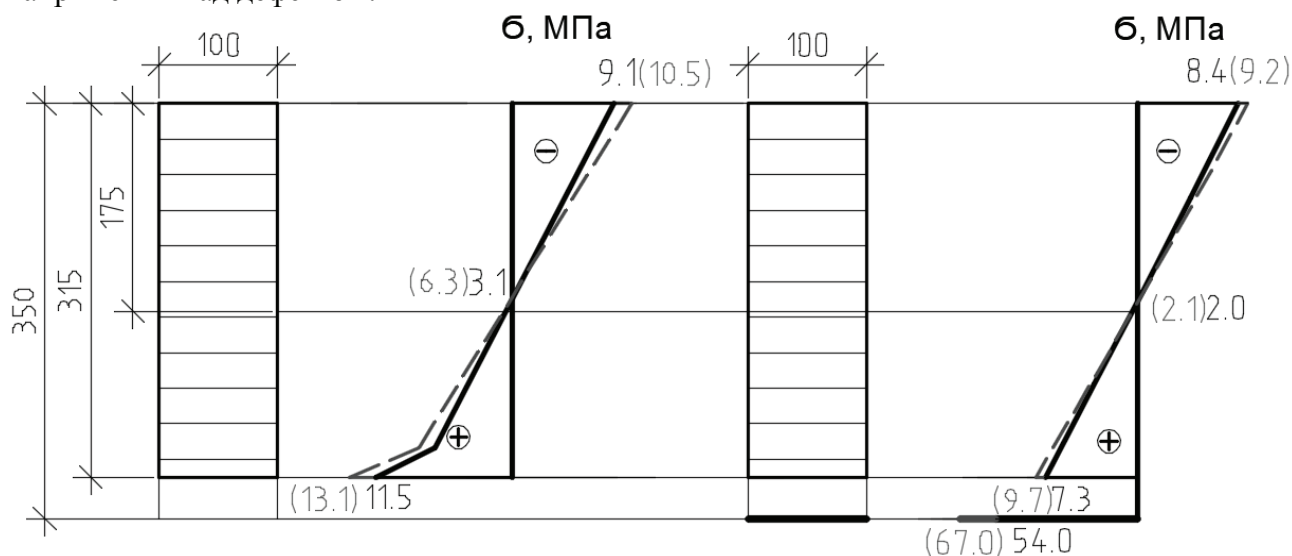


Рисунок 6 – Прогибы на различных этапах эксперимента

Из анализа рисунка 6 следует, что локальное усиление балки в зоне дефекта позволило практически полностью восстановить исходную жесткость балки. На всех этапах испытания отмечена линейная зависимость прогибов от нагрузки.

По результатам обработки данных тензометрии на рисунке 7 приведены эпюры нормальных напряжений в зоне чистого изгиба балки при нагрузке 35 кН. Из анализа рисунка следует, что в усиленной конструкции снижается концентрация нормальных напряжений над дефектом.



а – до усиления; б – после усиления;

пунктирной линией и значения в скобках – результаты расчета в ПК «Ansys»

Рисунок 7 – Эпюры нормальных напряжений в ослабленном сечении

Анализ полученных результатов численных и экспериментальных исследований позволяет сделать вывод о том, что полимерные композитные материалы могут эффективно использоваться для восстановления прочности и жесткости изгибаемых деревянных элементов. Высокая стоимость армирующего волокна и эпоксидного клея при данном способе усиления компенсируется малой продолжительностью и простотой производства работ.

Литература

1. Турковский С.Б., Ломакин А.Д., Погорельцев А.А. Зависимость состояния клеёных деревянных конструкций от влажности окружающего воздуха // Промышленное и гражданское строительство. - 2012, - №3. – С. 30 – 32.
2. Апостолова А. Изменение на механические и деформационные свойства на древесина через приложение на композитные материалы. Диссертационный труд, Апостолова А.К., УАСГ, София, 2016
3. Огородникова О.М. Конструкционный анализ в среде Ansys, учебное пособие//ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет - УПИ», Екатеринбург 2004
4. Рекомендации по испытанию деревянных конструкций, ЦНИИСК, Москва Стройиздат, 1976
5. Рекомендации по испытанию соединений деревянных конструкций, ЦНИИСК, Москва Стройиздат, 1981