

УДК 624.011.14

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КЛЕЕДОЩАТИХ БАЛОК. СТАТИСТИЧНІ АСПЕКТИ У ВСТАНОВЛЕННІ ЇХ МЕЖІ МІЦНОСТІ

*к.т.н., ас. каф. МДіПК Бояджі А. О.,  
магістр Мудрих В. А.  
магістр Рябов В. А.,*

*Одеська державна академія будівництва та архітектури*

### **Анотація**

Проведено аналітичні, чисельні та експериментальні дослідження по визначенню напружено деформованого стану армованих і неармованих клеєдощатих балок, метою яких було визначити межу їх міцності на вигин. Межі міцності, певні експериментально з використанням апарату математичної статистики для клеєдощатих неармованих і армованих балок, склали відповідно:

$$\sigma_p^m = 2,57 \pm 0,36 \text{ кН / см}^2 \text{ та } \sigma_p^a = 3,21 \pm 0,87 \text{ кН / см}^2$$

Додатково досліджена робота клеєдощатих балок з дефектним клейовим з'єднанням. Інтерес представляло зміна картини розподілу напружень і деформацій в пошкодженій балці, зміна її несучої здатності, а також спосіб обліку таких можливих руйнувань при проектуванні конструкцій.

При проведенні серії дослідів з дослідження напружено-деформованого стану армованих клеєдощатих балок (АКБ), виявилось, що в одній з випробовуваних балок клейове з'єднання нижньої дошки з іншою частиною балки неякісно, внаслідок чого сталося руйнування балки при навантаженні, меншому передбачуваного навантаження руйнування. Цей же випадок граничного навантаження балки був розрахований чисельно. Несуча здатність балки в цьому випадку зменшується на 30%.

Також чисельно були досліджені випадки неспроможності інших клейових з'єднань різними навантаженнями. Форма епюр напружень залишається, в принципі, такою ж - на рівні недіючого клейового з'єднання спостерігається скачок напруги. Величина допустимої навантаження істотно знижується.

Проведені чисельні та експериментальні дослідження показали істотний вплив якості виконання клейових з'єднань на несучу здатність клеєдощатих конструкцій і необхідність врахування цієї обставини при проведенні проектних робіт. Одним з можливих варіантів такого обліку може бути імовірнісний підхід при призначенні розрахункових характеристик міцності клеєдощатих конструкцій.

### **Ключові слова**

Клеєдощаті балки, межа міцності, тензометрія, поперечний вигин.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КЛЕЕДОЩАТЫХ БАЛОК. СТАТИСТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ В УСТАНОВЛЕНИИ ИХ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ

*к.т.н., асс. каф. МДіПК Бояджи А. А.  
магистр Мудрых В. А.  
магистр Рябов В. А.*

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*

### **Аннотация**

Проведены аналитические, численные и экспериментальные исследования по определению напряженно деформированного состояния армированных и неармированных

клеодощатых балок, целью которых было определить предел их прочности на изгиб. Пределы прочности, определенные экспериментально с использованием аппарата математической статистики для клеодощатых неармированных и армированных балок, составили соответственно:

$$\sigma_p^m = 2,57 \pm 0,36 \text{ кН / см}^2 \text{ и } \sigma_p^a = 3,21 \pm 0,87 \text{ кН / см}^2$$

Дополнительно исследована работа клеодощатых балок с дефектным клеевым соединением. Интерес представляло изменение картины распределения напряжений и деформаций в поврежденной балке, изменение ее несущей способности, а также способ учета таких возможных разрушений при проектировании конструкций.

При проведении серии опытов по исследованию напряженно-деформированного состояния армированных клеодощатых балок (АКБ), оказалось, что в одной из испытываемых балок клеевое соединение нижней доски с остальной частью балки некачественно, вследствие чего произошло разрушение балки при нагрузке, меньшей предполагаемой нагрузки разрушения. Этот же случай предельного нагружения балки был рассчитан численно. Несущая способность балки в этом случае уменьшается на 30%.

Также численно были исследованы случаи несостоятельности других клеевых соединений различными нагрузками. Форма эпюр напряжений остается, в принципе, такой же – на уровне недействующего клеевого соединения наблюдается скачек напряжений. Величина допускаемой нагрузки существенно снижается.

Проведенные численные и экспериментальные исследования показали существенное влияние качества выполнения клеевых соединений на несущую способность клеодощатых конструкций и необходимость учета этого обстоятельства при проведении проектных работ. Одним из возможных вариантов такого учета может быть вероятностный подход при назначении расчетных прочностных характеристик клеодощатых конструкций.

#### **Ключевые слова**

Клеодощатые балки, предел прочности, тензометрия, поперечный изгиб.

## EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF GLUED BEAMS. STATISTICAL ASPECTS IN THE ESTABLISHMENT OF THEIR STRENGTH

Ph.D., asst. Boyadzhii A.A.

Master Mudrykh V.A.

Master Ryabov V.A.

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

#### **Abstract**

Analytical, numerical and experimental studies were carried out to determine the stress-strain state of reinforced and unreinforced glue-board beams, whose purpose was to determine the limit of their bending strength. Limits of strength, determined experimentally with the use of the apparatus of mathematical statistics for edged non-reinforced and reinforced beams, were, respectively:

$$\sigma_c^m = 2,57 \pm 0,36 \text{ kN / cm}^2 \text{ and } \sigma_c^a = 3,21 \pm 0,87 \text{ kN / cm}^2 .$$

The work of glued-board beams with defective glued joints was additionally investigated. The interest was represented by a change in the pattern of distribution of stresses and deformations in the damaged beam, a change of its load-bearing capacity, and a way of taking into account this possible destructions in the designing of structures.

During the carrying of a series of experiments to study the stressed-deformed state of reinforced glued beams (RGB), it turned out that in one of the tested beams the adhesive joint of the lower board and of the rest of the beam was bad-quality, and as a result the beam collapsed under a load less than the estimated destruction load. The same case also was calculated numerically. The bearing capacity of the beam in this case is reduced by 30%.

Numerous cases of insolvency of other glue joints with different loads were also investigated numerically. The shape of stress diagrams remains, in principle, the same - a jump in stress is observed at the level of the inactive adhesive bond. The amount of load allowed is significantly reduced.

Numerical and experimental studies have shown a significant effect of the quality of glue joints on the load-bearing capacity of glued beams and the need to take this into account when carrying out design work. One of the possible options for such an accounting may be a probabilistic approach in assigning the design strength characteristics of the glued structures.

Keywords

Glued beams, tensile strength, tensometry, transverse bending.

Геометрические и физико-механические характеристики строительных конструкций и сооружений, а также действующие нагрузки непостоянны. Поэтому, когда по данным испытаний прогнозируются эксплуатационные свойства конструкций, средством для решения таких задач служит аппарат теории вероятностей и математической статистики. Экспериментально-статистические методы занимают важное место при испытаниях строительных конструкций. Они позволяют построить математическую модель исследуемой конструкции, оптимизировать и стандартизировать ее на основе четких и достоверных статистических оценок с применением ЭВМ, что способствует ускорению научных исследований и повышению качества выпускаемых конструкций.

В рамках научной дипломной работы «Повышение несущей способности деревянных изгибаемых элементов» были проведены серии испытаний армированных и неармированных балок, целью которых было определить предел их прочности на изгиб. Предварительно убедившись, подчиняются ли распределения, найденные экспериментально (см. табл.1) нормальному закону – можем воспользоваться соответствующим аппаратом математической статистики для обработки полученных результатов.

Если число опытов ограничено ( $n < 25$ ), для выявления закона распределения вычисляют коэффициенты асимметрии  $S_i$  и эксцесса  $E_x$ , которые характеризуют скошенность и крутость экспериментальной кривой по сравнению с теоретической кривой нормального закона распределения (см. табл.2).

Данные для статистических вычислений Таблица 1

№ п.п.	Неармированные балки					Армированные балки				
	$\sigma_p$ , кН/см <sup>2</sup>	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(x_i - \bar{x})^3$	$(x_i - \bar{x})^4$	$\sigma_p$ , кН/см <sup>2</sup>	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(x_i - \bar{x})^3$	$(x_i - \bar{x})^4$
1	2,76	0,191	0,037	0,007	0,001	3,31	0,098	0,010	0,001	0,000
2	2,28	-0,287	0,082	-0,024	0,007	3,07	-0,146	0,021	-0,003	0,001
3	2,39	-0,181	0,033	-0,006	0,001	3,16	-0,049	0,002	0,000	0,000
4	2,44	-0,127	0,016	-0,002	0,001	3,94	0,73	0,533	0,389	0,284
5	2,97	0,404	0,163	0,066	0,027	2,58	-0,633	0,400	-0,253	0,160
$\Sigma$	$\bar{x}=2,57$	2,570	0,330	0,041	0,036	$\bar{x}=3,21$	3,212	0,966	0,134	0,445

Воспользовавшись распределением Стьюдента  $t_{\alpha}$  определим погрешность измерений и доверительный интервал для экспериментально полученных распределений при коэффициенте вариации  $v(x)$  (табл.2).

Таблица 2

Балки	$\bar{\sigma}_p$ , кН/см <sup>2</sup>	$v(x)$ , %	$S_{t_i}$	$E_x$	$\Delta x$ , кН/см <sup>2</sup>	Довер-й интервал, кН/см <sup>2</sup>
Неарм-е	2,57	11,18	0,347	- 1,95	0,357	2,9-2,2
Армир-е	3,21	15,3	0,22	- 1,47	0,87	4,1-2,4

При проведении серии опытов по исследованию напряженно-деформированного состояния армированных клеешчатых балок (АКБ), оказалось, что в одной из испытываемых балок одно из клеевых соединений некачественно, вследствие чего произошло разрушение балки при нагрузке, меньшей предполагаемой нагрузки разрушения (рис. 1). В связи с этим было решено дополнительно исследовать случаи, когда одно или несколько клеевых соединений в АКБ выполнены некачественно.

Интерес представляло изменение картины распределения напряжений и деформаций в поврежденной балке, изменение ее несущей способности, а также способ учета таких возможных разрушений при проектировании конструкций.

Этот же случай предельного нагружения балки, в которой клеевое соединение нижней доски (ламели) с остальной частью балки не работает, был рассчитан в ПК ANSYS R14.5 (рис. 2). При этом полная расчетная нагрузка (сумма двух сосредоточенных сил, приложенных к балке) для этого случая оказалась равной 1,6 кН. Расчетная нагрузка для балки, все клеевые соединения которой состоятельны, составляет 2,3 кН, т.е. несущая способность балки в этом случае уменьшается на 30%.

Отметим, что в эпюре напряжений, полученной при расчете в ПК ANSYS R14.5 для балки, в которой нижняя ламель работает отдельно, имеет место скачек напряжений при переходе через дефектное клеевое соединение, а напряжения в самой ламели распределяются как в отдельно работающей балке. Такого скачка в эпюре напряжений не наблюдается при экспериментальном исследовании балки с дефектным клеевым соединением, но с самого

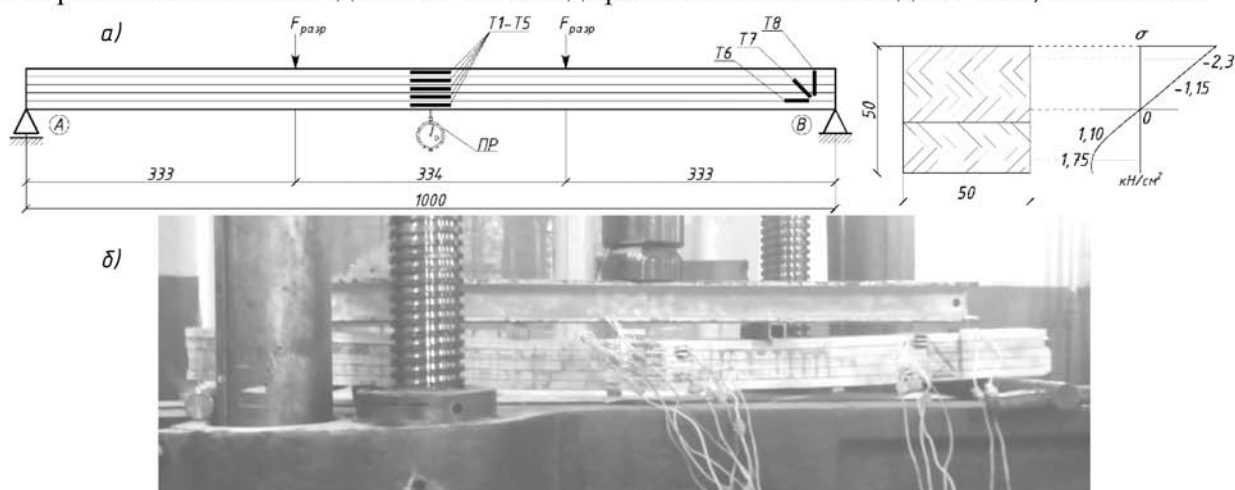


Рис. 1 а) схема нагружения балки до разрушения, б) эпюра нормальных напряжений, полученная при помощи тензометрических измерений, в) опытные исследования клеешчатой балки

начала нагружения становится заметным нарушение симметрии эпюры напряжений в нижней доске. Различие в картине распределения напряжений при численном расчете и эксперименте можно объяснить тем, что нарушение клеевого соединения в опытном случае, очевидно, происходило постепенно, по мере увеличения нагрузки, а в случае численного расчета с самого начала предполагалось несостоятельность клеевого соединения.

Также численно были исследованы случаи несостоятельности других клеевых соединений: верхнего, второго сверху и второго снизу при различных вариантах нагружения балки: двумя сосредоточенными силами, приложенными в третях пролета, а также равномерно распределенной нагрузкой по всему пролету. Форма эпюр напряжений остается, в принципе, такой же – на уровне недействующего клеевого соединения наблюдается скачек напряжений. Величина допускаемой нагрузки существенно снижается.

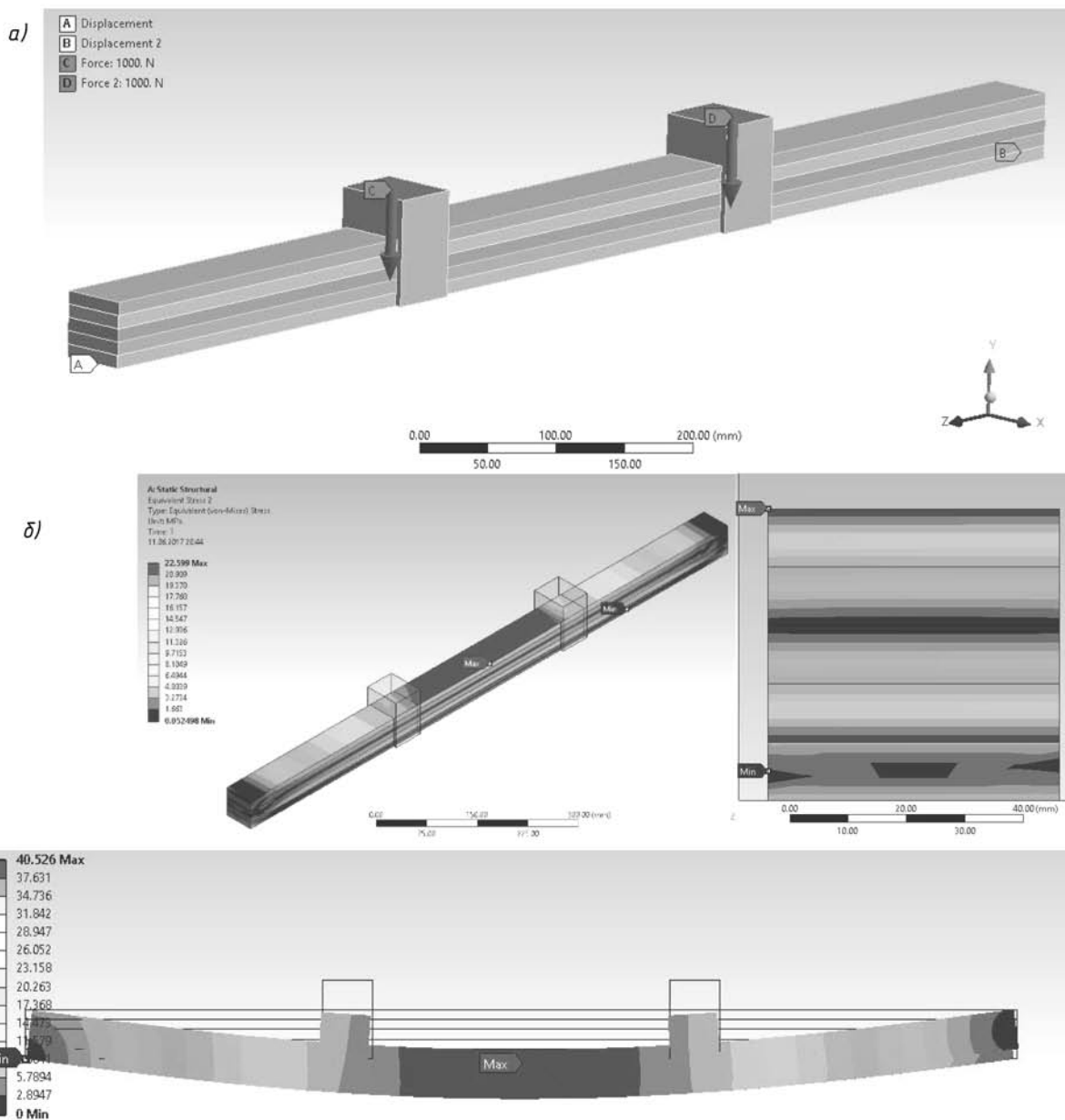


Рис. 2 Результаты расчета балки в ПК ANSYS R14.5  
 а) расчетная схема; б) изополя напряжений; в) деформации

## Выводы

Пределы прочности, определенные экспериментально с использованием аппарата математической статистики для клеодошчатых неармированных и армированных балок, составили соответственно:

$$\sigma_p^{na} = 2,57 \pm 0,36 \text{ кН / см}^2 \text{ и } \sigma_p^a = 3,21 \pm 0,87 \text{ кН / см}^2$$

Проведенные численные и экспериментальные исследования показали существенное влияние качества выполнения клеевых соединений на несущую способность клеодошчатых конструкций и необходимость учета этого обстоятельства при проведении проектных работ. Одним из возможных вариантов такого учета может быть вероятностный подход при назначении расчетных прочностных характеристик клеодошчатых конструкций.

## Литература

1. Бояджи А. О. Легкие надземные пешеходные переходы / А. О. Бояджи. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2012. – №46. – С. 26–32.
2. Стоянов В. В. Экспериментальное исследование прочности и деформативности комбинированной металлодеревянной арочной конструкции / В. В. Стоянов, А. А. Бояджи. // Лесной журнал (Архангельск, Российская федерация). – 2015. – №3 (345). – С. 93–104.
3. Стоянов В. В. Некоторые аспекты оптимального проектирования комбинированной арочной конструкции при наличии дополнительных конструктивных условий / В. В. Стоянов, А. А. Бояджи. // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – 2014. – №29. – С. 362–368.
4. Стоянов В.В. Конструкции из дерева и пластмасс. Курс лекций. / Владимир Стоянов. – О.: ВРС, 2005.
5. Щуко В.Ю., Рощина С.И. Экономическая эффективность применения армированных деревянных конструкций / В.Ю. Щуко, С.И. Рощина // В сб. Региональные и отраслевые проблемы. – Владимир, ВТУ, 2002.
6. Ковальчук Л.М. Производство деревянных клееных конструкций / Л.М. Ковальчук. – М., РИФ Стройматериалы, 2005.