



УДК 624.011.1.072.32

А.Я. Найчук

Найчук Анатолий Яковлевич родился в 1953 г., окончил в 1979 г. Брестский инженерно-строительный институт, кандидат технических наук, директор филиала УП «Институт БелНИИС»–«Научно-технический центр», докторант ЦНИИпромзданий. Имеет более 40 печатных работ в области исследования деревянных конструкций.



О НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ УЗЛОВ ДЕРЕВЯНЫХ КЛЕЕННЫХ ТРЕХШАРНИРНЫХ АРОК

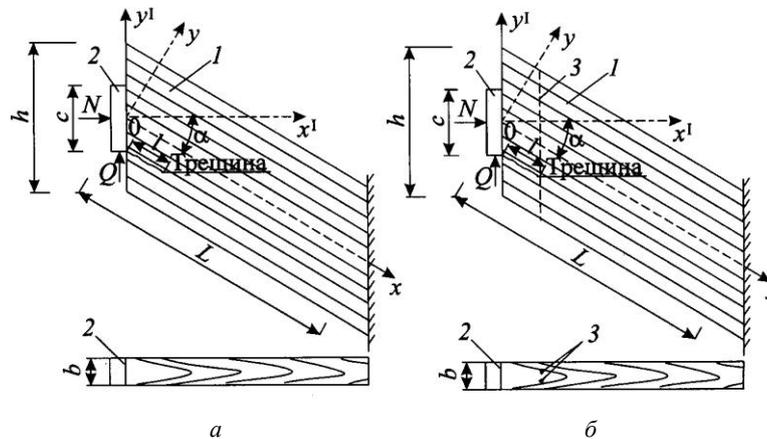
Разработана методика оценки прочности опорных и коньковых узлов деревянных трехшарнирных арок со сквозными трещинами и узлов, усиленных наклонно вклеенными стержнями.

Ключевые слова: стержень, вязкость разрушения, деревянная трехшарнирная арка, коэффициент интенсивности напряжений, прочность, трещина, разрушающая нагрузка.

Ранее [4, 6] было показано, что несущая способность узлов арок лимитируется не смятием древесины под плитой башмака, а уровнем концентрации напряжений в древесине, расположенной у его кромок. Конструктивными факторами, направленными на снижение концентрации напряжений и повышение несущей способности узлов арок, является устройство скосов ненагруженных торцовых участков и применение башмаков переменной изгибной жесткости [4–6]. Это не всегда возможно выполнить в эксплуатируемых конструкциях зданий и сооружений и, тем более, в узловых зонах с повреждениями в виде трещин. Наиболее перспективна, как при новом проектировании, так и при усилении опорных участков арок, установка вклеенных под углом к волокнам древесины металлических стержней периодического профиля. Вклеенные стержни должны препятствовать распространению трещин, т.е. несущая способность узлов должна определяться прочностью не только соединения на вклеенных стержнях, но и древесины на поперечный сдвиг и нормальный отрыв в вершине трещины. Таким образом, задача о несущей способности узлов арок с вклеенными стержнями должна решаться комплексно, исходя из прочности самого стержня, прочности соединения его с древесиной и прочности древесины в вершине трещины.

Для решения данной задачи нами проведены экспериментально-теоретические исследования узлов арок. Рассмотрено два варианта узлов: первый – для арок со сквозной трещиной длиной l , второй – для арок со сквозной трещиной, усиленных наклонно вклеенными металлическими стержнями. Целью данных исследований являлась оценка эффективности вклеенных стержней.

Теоретические исследования выполняли численным методом с использованием вычислительного программного комплекса STIZAR [3], позволяющего опре-



Общий вид расчетных схем узлов арок со сквозной трещиной (а) и со сквозной трещиной и арматурными стержнями (б): 1 – анизотропная полоса; 2 – штамп; 3 – арматурные стержни

делять напряженно-деформированное состояние и значения коэффициентов интенсивности напряжений (КИН): K_I и K_{II} – в вершине трещины, а также экспериментальные (испытанием фрагментов узлов арок).

Расчетная схема узлов арок приведена на рисунке, где древесину моделировали анизотропной полосой 1, трещину – разрезом длиной l , вклеенные параллельно торцу полуарки металлические стержни – линейными конечными элементами, которые работают на растяжение-сжатие и изгиб, башмак – стальным штампом 2.

Во всех расчетных случаях при $\alpha > 0^\circ$ трещину располагали у нижней кромки штампа и по направлению волокон древесины, а при $\alpha = 0^\circ$ – у его кромок. Длину трещины l принимали равной 45 и 145 мм. Арматурные стержни располагали в одном поперечном сечении (по два стержня диаметром 16 мм), отстоящем от вершины трещины (по направлению ее развития) на 5 мм. Поперечное сечение фрагментов узлов $b \times h = 140 \times 200$ мм; угол $\alpha = 0; 15; 30$ и 45° , а соотношение $c/h = 0,25; 0,50$ и $0,75$.

Все расчеты выполняли как на действие усилия N , так и на совместное действие усилий N и Q , при $Q/N = 0,2$. Величину сжимающего усилия N принимали из предположения, что значение средних сминающих напряжений $\sigma_{см}$ под штампом равно 10 МПа. Расчеты узлов арок сводили к решению плоской задачи теории упругости. Упругие характеристики материала штампа и древесины арки задавали в направлении осей Ox и Oy (см. рисунок). Для стального штампа 2 имеем $E_x = E_y = 210\,000$ МПа; $\mu_{xy} = \mu_{yx} = 0,3$; $G_{xy} = 81\,000$ МПа, а для древесины – $E_x = 10\,000$ МПа; $E_y = 400$ МПа; $\mu_{xy} = 0,5$; $\mu_{yx} = 0,02$; $G_{xy} = 500$ МПа. В результате расчетов определены K_I и K_{II} в вершине трещины и максимальные значения напряжений σ_{max} в арматурных стержнях.

По результатам расчетов установили, что в узлах без арматурных стержней при $\alpha = 0^\circ$ с увеличением длины трещины l при действии сжимающего N усилия $K_I = 0$, а K_{II} уменьшается. При одновременном действии в узле усилий N и Q в вершине трещины имеет место совместное действие нормального отрыва (растяжение поперек волокон древесины) и поперечного сдвига (скалывание вдоль волокон), т.е. $K_I > 0$ и $K_{II} > 0$. Следует отметить, что с увеличением длины трещины значения K_I

возрастают, а K_{II} уменьшаются. Наличие арматурных стержней при $\alpha = 0^\circ$ способствует снижению КИН. Так, для узлов без арматурных стержней с соотношением $c/h = 0,5$ при $l = 145$ мм и совместном действии усилий N и Q $K_I = 0,315$ МПа \cdot м^{1/2} и $K_{II} = 0,15$ МПа \cdot м^{1/2}; в узлах с арматурными стержнями – $K_I = 0,065$ МПа \cdot м^{1/2} и $K_{II} = 0,106$ МПа \cdot м^{1/2}, что соответственно в 4,8 и 1,4 раза меньше.

В узлах без арматурных стержней при $\alpha > 0^\circ$ значения КИН возрастают. В случае действия в узле только сжимающего усилия N максимальные значения $K_I = 1,7$ МПа \cdot м^{1/2} и $K_{II} = 3,28$ МПа \cdot м^{1/2} достигаются при $l = 145$ мм, $\alpha = 45^\circ$ и $c/h = 0,75$. Это характерно и для узлов с арматурными стержнями, где $K_I = 0,053$ МПа \cdot м^{1/2} и $K_{II} = 0,639$ МПа \cdot м^{1/2}.

Наибольший эффект от армирования наблюдали с увеличением длины трещины l , а также в случаях совместного действия усилий N и Q . Так, в узлах без арматурных стержней при $l = 45$ мм, $\alpha = 15^\circ$, $c/h = 0,25$ и действии сжимающего N усилия $K_I = 0,164$ МПа \cdot м^{1/2}, $K_{II} = 0,147$ МПа \cdot м^{1/2}; а для узлов с арматурными стержнями – $K_I = 0,02$ МПа \cdot м^{1/2}, $K_{II} = 0,067$ МПа \cdot м^{1/2}, что соответственно в 8,2 и 2,2 раза меньше. Для тех же узлов, но без арматурных стержней, при $l = 145$ мм и действии сжимающего усилия N , значения $K_I = 0,245$ МПа \cdot м^{1/2}, $K_{II} = 0,064$ МПа \cdot м^{1/2}, а с арматурными стержнями – $K_I = 0,0213$ МПа \cdot м^{1/2}, $K_{II} = 0,011$ МПа \cdot м^{1/2}, что соответственно в 11,5 и 5,8 раза меньше. В случае совместного действия усилий N и Q при $\alpha = 30^\circ$ и $c/h = 0,5$ для узла без арматурных стержней с трещиной $l = 145$ мм имеем $K_I = 1,428$ МПа \cdot м^{1/2}, $K_{II} = 1,626$ МПа \cdot м^{1/2}; с арматурными стержнями – $K_I = 0,031$ МПа \cdot м^{1/2}, $K_{II} = 0,562$ МПа \cdot м^{1/2}, что соответственно в 46,1 и 2,9 раза меньше. Аналогичная картина снижения КИН наблюдается и для других значений α и c/h .

Таким образом, установка вклеенных арматурных стержней существенно сказывается на величине КИН. Следует отметить, что наибольшее снижение КИН от армирования характерно для K_I .

На основании результатов теоретических исследований и выполненной автором работы [1] была разработана методика по оценке прочности узлов арок. Сущность ее состоит в том, что величину разрушающей нагрузки N_r определяют из двух условий:

а) условие прочности древесины от смятия под углом α к направлению волокон под плитой башмака:

$$N_{исм} = cbR_{см\alpha}^{вр}; \quad (1)$$

б) условие прочности древесины в вершине трещины по значениям K_I и K_{II} :

$$N_{ip} = \frac{N}{K_I / K_{IC} + (K_{II} / K_{IIC})^2}, \quad (2)$$

где c – длина опорной площадки (штампа);

b – толщина, равная 140 мм;

$R_{см\alpha}^{вр}$ – предел прочности древесины смятию под углом α к направлению волокон [7];

N – усилие, действующее в узле.

Вязкость разрушения древесины в вершине трещины при нормальном отрыве и поперечном сдвиге определены в соответствии с данными работ [1–3] для плотности древесины $\rho = 500$ кг/м³ и $K_{IC} = 0,392$ МПа \cdot м^{1/2} и $K_{IIC} = 1,075$ МПа \cdot м^{1/2}.

За величину разрушающей нагрузки N_t для узла арки принимали минимальное значение, полученное из (1) и (2). В ходе анализа значений $N_{тсм}$ и $N_{тп}$ было установлено, что они существенно отличаются. Для узлов арок с трещиной без арматурных стержней величина $N_{тсм}$ значительно больше $N_{тп}$, т.е. исчерпание прочности узлов будет происходить из-за разрушения древесины в вершине трещины. В узлах арок с арматурными стержнями (в рассмотренном диапазоне длин трещин и принятом армировании) $N_{тп}$ всегда больше $N_{тсм}$, т.е. разрушение таких узлов будет происходить от смятия древесины под штампом.

В целях экспериментальной проверки полученных результатов были проведены испытания фрагментов натуральных коньковых узлов деревянных клееных трехшарнирных арок со сквозными трещинами длиной $l = 145$ мм без арматурных стержней, а также усиленных двумя вертикальными арматурными стержнями диаметром 16 мм и установленных на расстоянии 150 мм от торца.

Эксперименты включали в себя испытания фрагментов узлов арок со сквозной трещиной для $\alpha = 15, 30$ и 45° при соотношениях $c/h = 0,25$ и $0,50$ на действие сжимающего усилия N (см. рисунок). Был испытан 21 образец: по 3 образца (с арматурными стержнями и без них) для $\alpha = 45^\circ$ при $c/h = 0,25$ и $0,50$; для $\alpha = 30^\circ$ при $c/h = 0,50$; 3 образца без арматурных стержней при $\alpha = 15^\circ$ и $c/h = 0,50$. Образцы имели сечение $b \times h = 135 \times 200$ мм и длину 1800 мм.

В ходе экспериментов было установлено, что в узлах с трещиной без арматурных стержней разрушение имело хрупкий характер и происходило в результате роста трещины по направлению волокон древесины, а величины разрушающей нагрузки N_t , соответствующие старту трещины, были на 4 ... 7 % выше значений $N_{тп}$, вычисленных по формуле (2). В узлах с арматурными стержнями разрушение носило пластический характер и происходило от смятия древесины под штампом, а разрушающие нагрузки N_t были близки к значениям $N_{тсм}$ (1).

На основании выполненных экспериментально-теоретических исследований можно сделать следующие выводы:

в опорных и коньковых узлах арок со сквозными трещинами несущая способность узла определяется прочностью древесины в вершине трещины;

в опорных и коньковых узлах арок с металлическими башмаками, усиленных наклонно клееными стержнями, несущая способность определяется прочностью смятия древесины под башмаком;

расчет и расстановку клеенных стержней необходимо выполнять в соответствии с [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Найчук, А.Я. Вязкость разрушения древесины сосны K_{IC} и K_{IIc} при совместном действии нормального отрыва и поперечного сдвига [Текст] / А.Я. Найчук // Строительная механика и расчет сооружений. – 2006. – № 1. – С. 7–14.

2. Найчук, А.Я. О вязкости разрушения древесины сосны K_{IC} при кратковременном действии статической нагрузки [Текст] / А.Я. Найчук, А.Н. Петрукович // Вестник БГТУ. Строительство и архитектура. – 2005. – №2(32). – С. 60–63.

3. Найчук, А.Я. О вязкости разрушения древесины сосны K_{DC} при кратковременном действии статической нагрузки [Текст] / А.Я. Найчук // Промышленное и гражданское стр-во. – 2006. – № 1. – С. 42–43.

4. Найчук, А.Я. Опорные и коньковые узлы деревянных клееных трехшарнирных арок [Текст]: автореф. дис. ... канд. тех. наук / А.Я. Найчук. – К., 1985. – 22 с.

5. Орлович, Р.Б. О напряженном состоянии опорных участков клееных деревянных арок [Текст] / Р.Б. Орлович, Г.И. Кореньков, А.Я. Найчук // Конструкции из дерева и пласт-масс. – Л., 1980. – С. 15–19. – (Межвуз. темат. сб. тр. /ЛИСИ).

6. Орлович Р.Б., Найчук А.Я., Никитин В.И. Экспериментальное исследование несущей способности клееных деревянных арок в зоне коньковых узлов [Текст] / Р.Б. Орлович, А.Я. Найчук, В.И. Никитин // Строительство и архитектура. – 1983. – № 4. – С. 19–22. – (Изв. высш. учеб. заведений).

7. СНиП II-25–80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования [Текст]. – М.: Стройиздат, 1982. – 31 с.

Научно-технический центр (г. Брест)

Поступила 26.05.06

A. Ya. Naychuk

On Bearing Capacity of Units for Wooden Glued Laminated Three-hinged Arches

Technique has been developed for strength evaluation of bearing and ridged units of wooden three-hinged arches with through-wall cracks and units reinforced by oblique glued-in rods.

