

кальной силы в середину штампа с соответствующим дополнительным моментом M_1 , на величину которого увеличивается момент, входящий в выражение (7).

Если расчетной схемой каркаса является, например, стойка с жестким закреплением в нижней части и шарнирно-неподвижным закреплением сверху в соответствии с рассуждениями, приведенными выше, то для определения усилий в сечениях стойки — этой сравнительно простой статически неопределимой системы — при расчете на различные воздействия, в том числе на воздействие угла поворота φ в «жестком» закреплении внизу, имеются таблицы [2]. Угол поворота φ предлагается определять по выражению (7).

ЛИТЕРАТУРА

1. Жемочкин Б. Н., Сеницын А. П. Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании. Госстройиздат, М., 1962.
2. Справочник проектировщика промышленных жилых и общественных зданий и сооружений. Расчетно-теоретический. Под редакцией Уманского А. А. М., Госстройиздат, 1960.
3. Яголковский Р. Н. Применение метода сил к расчету балок, лежащих на основании, представленном моделью Фусса-Винклера. Научная сессия, посвященная 50-летию БССР и КПБ. Тезисы докладов. Минск, ИСиА Госстроя БССР, 1968.

УДК 624.011.1;674.028.9

Р. Б. ОРЛОВИЧ, И. С. ФИЛИМОНОВ, В. В. ЖУК

НАИБОЛЕЕ СУЩЕСТВЕННЫЕ ПРИЧИНЫ РАССЛОЕНИЯ И РАСТРЕСКИВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ НЕСУЩИХ КЛЕЕННЫХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В последние годы при эксплуатации ряда объектов сельскохозяйственного назначения стали обнаруживаться случаи расслоения клееных деревянных конструкций (КДК) по клеевым швам, а также растрескивание по кромкам досок с нарушением зубчатых клеевых соединений. Многочисленные причины, отрицательно влияющие на прочность и длительную надежность работы КДК, могут суммироваться и при их изготовлении, хранении, транспортировке, монтаже и эксплуатации, вследствие чего резко повышается опасность нарушения цельности клееных конструкций. Среди наиболее вероятных и главных причин разрушения можно перечислить следующие. Во-первых, использование для КДК низкосортного пиловочника, из которого часто получают сердцевинно-ядровые доски радиальной распиловки с непрочной хрупкой древесиной. Таким же дефектом обладает и материал из отпада, отбракованного от экспортлеса. По физико-механическим свойствам он резко отличается от заболонных досок тангентальной распиловки. Во-вторых, из-за отсутствия предварительной есте-

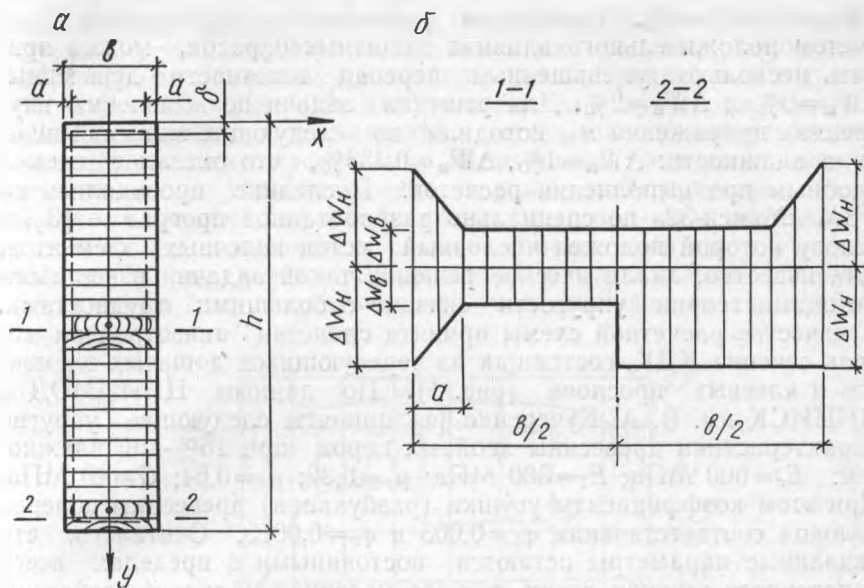


Рис. 1.

a—расчетная модель клееного сечения; *b*—эпюры распределения перепадов влажности по сечениям.

ственной нормализующей сушки пиломатериалов [4] их высушивают в камерах при жестком режиме, в результате чего появляются остаточные напряжения и усушечные трещины. В-третьих, склеивание досок радиальной и тангентальной распиловки, а также их стыковка на клеевой шип приводит к появлению опасных внутренних напряжений (в результате вынужденных деформаций от усушки или разбухания). Это наблюдается в несущих КДК, используемых в животноводческих комплексах с высокими уровнями ежегодных циклических перепадов влажности, а также эксплуатируемых без эффективных влагозащитных окрасок и нормальной вентиляции помещений.

К отрицательным факторам относится и ряд других нарушений технических требований и правил по изготовлению и эксплуатации.

Натурными наблюдениями ЦНИИЭПсельстроя [2] установлено, что в животноводческих помещениях относительная влажность воздуха изменяется в течение года циклически от 100% зимой и до 50% летом, а влажность древесины в несущих КДК изменяется приблизительно от 22 до 13% в наружных слоях и от 15 до 12% во внутренних. Под наружными слоями здесь подразумевается участок сечения КДК, ограниченный по боковому периметру глубиной *a*, равной примерно 2 см; под внутренними слоями — остальная часть сечения (рис. 1). Тогда перепад влажности древесины между зимним и летним ее состоянием составит: для наружных слоев — $\Delta W_H = 22 - 13 = 9\%$, для внутренних

$\Delta W_{\text{в}} = 15 - 12 = 3\%$. В реальных условиях эксплуатации КДК, с учетом положительного влияния защитных окрасок, можно принять несколько уменьшенный перепад влажности древесины: $\Delta W_{\text{н}} = 6\%$ и $\Delta W_{\text{в}} = 2\%$. Для решения задачи по выявлению внутренних напряжений мы исходили из следующих значений перепада влажности: $\Delta W_{\text{н}} = 1\%$, $\Delta W_{\text{в}} = 0,333\%$, что оказалось весьма удобным при выполнении расчетов. Последние проводились на ЭВМ «Минск-32» по специально разработанной программе [3], в основу которой положен численный метод конечных элементов. Как известно, аналитическое решение такой задачи известными методами теории упругости связано с большими трудностями. В качестве расчетной схемы принята слоистая анизотропная модель сечения КДК, состоящая из чередующихся дощатых элементов и клеевых прослоек (рис. 1). По данным ЦНИИМОД и ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко [1] приняты следующие упругие характеристики древесины хвойных пород при 15%-ной влажности: $E_r = 600$ МПа; $E_t = 300$ МПа; $\mu_r = 0,32$; $\mu_t = 0,64$; $G = 40$ МПа. При этом коэффициенты усушки (разбухания) древесины поперек волокон соответствовали $\varphi_t = 0,003$ и $\varphi_r = 0,0015$. Считалось, что указанные параметры остаются постоянными в пределах всего поперечного сечения доски, т. е. ее материал обладает свойством однородности и ортотропности.

Клеевая прослойка (КБ-3) толщиной 0,3 мм моделировалась как однородный изотропный материал с упругими постоянными $E = 2700$ МПа; $\mu = 0,3$; $G = 1080$ МПа.

На данном этапе исследований не учитывались такие факторы, как изменение величин модуля упругости и прочности древесины поперек волокон при отклонении ее влажности от 15%. В качестве допущения принята прямо пропорциональная зависимость интенсивности внутренних напряжений от величины циклических перепадов влажности древесины. Тогда переход от величины внутренних напряжений при $\Delta W_{\text{н}} = 1\%$ к реальному значению осуществляется их умножением на действующую величину перепада влажности.

В процессе исследований варьировались ширина досок $B = 80 - 240$ мм и их толщина $\delta = 20 - 40$ мм (при постоянном значении перечисленных выше параметров). В результате расчетов в первом приближении были установлены уровни всех компонентов внутреннего напряженного состояния сечения: касательные (скалывающие) и нормальные напряжения в древесине, а также нормальные напряжения в клеевой прослойке $\sigma_{\text{кл}}$. Заметим, что в исследованиях других авторов по этой проблеме [5] экспериментально были выявлены лишь напряжения, нормальные к плоскости клевого шва. В них не учитывалось взаимное сочетание досок радиальной и тангентальной распиловки.

В результате теоретических исследований установлено, что наиболее неблагоприятным в отношении внутренних напряжений является чередование досок тангентальной и радиальной распиловки. Иллюстрирующие этот случай эпюры напряжений приве-

дены на рис. 2 и получены при следующих параметрах клееного сечения: $h=800$ мм; $b=160$ мм; $\delta=30$ мм. Данные относятся к пограничным с клеевым швом слоям досок радиальной и тангентальной распиловки. Их анализ свидетельствует о сложном характере напряженного состояния, особо опасной составляющей которого являются касательные напряжения. Последние вызваны «торможением» горизонтальных перемещений древесины более жесткими клеевыми прослойками, которые при этом оказываются растянутыми, а древесина сжатой (эпюры σ_x и $\sigma_{кл}$). Различие величин σ_x и τ_{xy} для досок радиальной и тангентальной распиловки вызвано их неодинаковыми коэффициентами поперечных

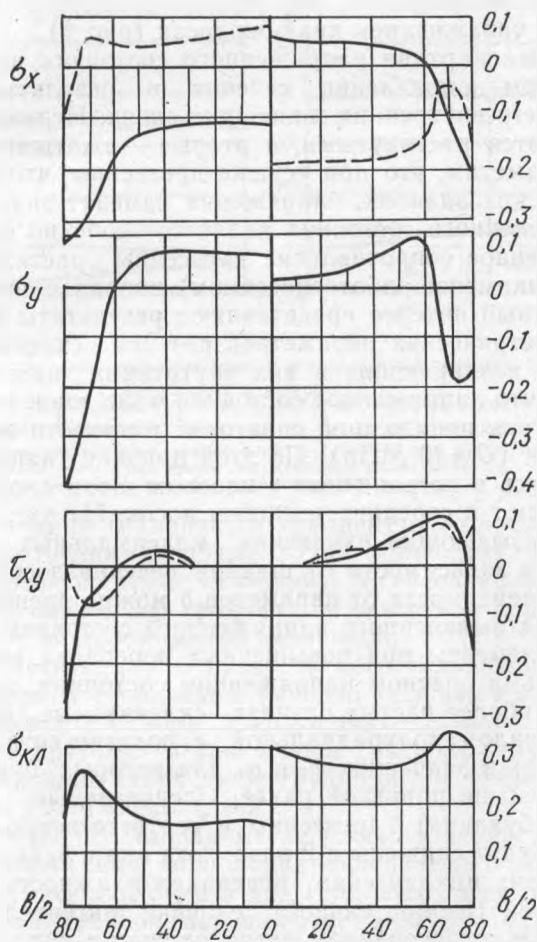


Рис. 2. Эпюры нормальных σ_x , σ_y , $\sigma_{кл}$ и касательных τ_{xy} напряжений (в МПа) в сечениях 1—1 (слева) и 2—2 (справа):
 — для досок тангентальной распиловки;
 - - - для досок радиальной распиловки.

влажностных деформаций. Из эпюр видно, что пики напряжений σ_x и τ_{xy} наиболее резко выражены в наружных зонах древесины, подверженных максимальным перепадам влажности. Так, при $\Delta W_{\text{н}} = 1\%$ напряжения достигают $\tau_{xy} = 0,275$ МПа и $\sigma_x = 0,345$ МПа. Заметим, что в не защищенных от увлажнения КДК животноводческих комплексов поверхность древесины может увлажняться зимой на глубину 5 мм до 30%, вызывая перепад влажности $\Delta W_{\text{н}} = 30 - 13 = 17\%$. В связи с этим поверхностные слои становятся разрушающими концентраторами внутренних напряжений, особенно опасными на границе с клеевой прослойкой. Между напряженным состоянием в сечениях 1—1 и 2—2 нет принципиальных различий (рис. 2). Последние касаются лишь величины составляющих напряжений, что связано с более интенсивным и равномерным увлажнением крайних досок (рис. 1).

Аналогичная картина напряженного состояния наблюдается и в вертикальном направлении сечения в результате перепада влажности в его внутренних и внешних слоях. Первые в этом случае оказываются растянутыми, а вторые — сжатыми (эпюры σ_y на рис. 2). Заметим, что при усушке древесины, что наблюдается в птицеводческих зданиях, напряжения изменят знак. Такой характер напряженного состояния является особенно опасным, учитывая пониженное сопротивление древесины растяжению в тангентальном (наименее работоспособном) направлении волокон.

Существенный интерес представляют результаты исследований влияния геометрических параметров сечения склеиваемых досок на величину возникающих в них внутренних напряжений. Из рис. 3 видно, что напряженное состояние мало зависит от толщины досок вследствие пониженной сдвиговой жесткости древесины поперек волокон ($G = 40$ МПа). По этой причине напряжения σ_x и τ_{xy} , локализуясь в пограничных с клеевым швом слоях древесины, быстро затухают к середине толщины досок. На рис. 3 приведены графики, показывающие изменения максимальных значений напряжений σ_y в зависимости от ширины сечения досок. Напряжениями $\sigma_{\text{кл}}$ в зависимости от параметра b можно пренебречь.

Из анализа выявленного напряженного состояния следует, что деревянные элементы при повышенных перепадах влажности находятся в весьма опасном напряженном состоянии. Следует отметить, что в наиболее частых случаях склеиваемые доски являются пиломатериалом полурadiaльной и полутангентальной распиловки, разность в значениях φ_t и φ_r для которых будет примерно в два раза меньше принятой ранее. Следовательно, деформации усушки (разбухания) древесины и соответственно внутренние напряжения будут снижены в 2 раза, хотя они и останутся опасными при больших циклических перепадах влажности древесины. При раздельной (избирательной) склейке тангентальных и радиальных досок и согласованном расположении в них годичных слоев разность деформаций усушки (разбухания), а следовательно, и величины σ_x и τ_{xy} будут практически равны нулю; что касается напряжений σ_y , то их характер и значения останутся прежними,

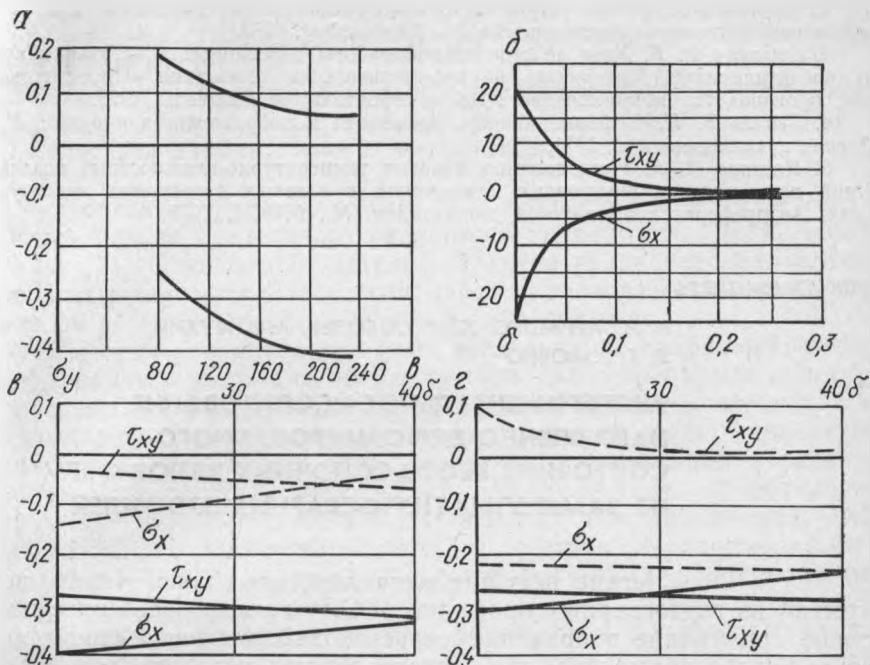


Рис. 3

а—зависимость максимальных положительных и отрицательных значений σ_y (в МПа) от ширины досок в сечении 1—1;

б—распределение напряжений τ_{xy} и σ_x (в МПа) по толщине досок в сечении 2—2;

в и г—изменение максимальных значений τ_{xy} и σ_x (в МПа) в зависимости от толщины досок соответственно для сечений 1—1 и 2—2 при $b=160$ мм.

— — — для досок тангентальной распиловки;

— — — для досок радиальной распиловки.

поскольку в сечении сохраняется градиент влажности между наружными и внутренними слоями. При одинаково равномерном увлажнении досок по всему сечению и согласованном расположении в них годовичных слоев градиент влажности и нормальные напряжения будут ничтожно малой величиной.

Следует отметить, что из низкосортного пиловочника с кривизной и асимметрией сердцевины нередко получают доски радиальной распиловки с одного конца и тангентальной или полутангентальной — с другого. Согласованное расположение годовичных слоев при склеивании таких досок трудно осуществимо и возможно лишь в досках сорта экспортлеса.

В приведенных исследованиях не рассматривалось влияние на внутренние напряжения коробления склеиваемых досок при несогласованном расположении в них годовичных слоев. По этому вопросу можно найти исчерпывающий ответ в работе [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Древесина. Показатели физико-механических свойств. Руководящие технические материалы. М., ЦНИИМОД, 1962.

2. *Мартинец Д. В.* Индустриальные конструкции из дерева и пластмасс для сельскохозяйственного строительства. М., Стройиздат, 1973.

3. *Орлович Р. Б.* Учет действительной работы деревянных конструкций при их проектировании. Материалы научно-технического совещания «Проектирование, производство и применение КДК в строительстве». Гомель, 1977.

4. *Уголев Б. Н.* Деформативность древесины и напряжения при сушке. М., Лесная промышленность, 1971.

5. *Цветков А. К.* Исследования влияния температурно-влажностных воздействий на изменение внутренних напряжений в клееных деревянных конструкциях. Автореферат кандидатской диссертации. М., МИСИ, 1978.

УДК 624.014:728.96

Н. Н. МУРАШКО, Ю. В. СОБОЛЕВ, А. В. МУХИН,
Л. Г. ГОЛОВКО

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БЕСФАСОНОЧНЫХ УЗЛОВ ФЕРМ ИЗ ЗАМКНУТЫХ ГНУТОСВАРНЫХ ПРОФИЛЕЙ

Легкие несущие металлические конструкции покрытий из гнутосварных профилей (ГСП) находят все более широкое применение в практике сельскохозяйственного строительства. Гнутосварные профили изготавливают методом холодного профилирования из тонкого стального листа на автоматической поточной линии. Эффективность применения ферм из ГСП определяется как относительной их легкостью и технологичностью, так и агрессивным характером среды производственных сельскохозяйственных зданий, а также санитарно-гигиеническими требованиями к помещениям.

Решение узлов ферм без фасонок, т. е. с непосредственным примыканием элементов, позволяет снизить строительный коэффициент, уменьшить количество деталей и объем сварки, а также повысить коррозионную стойкость. При этом облегчаются процессы очистки и окраски металлоконструкций, отпадают технологические трудности, связанные с необходимостью фигурной резки концов замкнутых элементов решетки конструкций (в отличие от элементов из круглых труб).

Таким образом, стальные фермы из ГСП являются экономически выгодными конструкциями для сельскохозяйственных зданий.

При проектировании ферм из ГСП с непосредственным примыканием элементов решетки необходимо учитывать влияние геометрических и механических факторов на несущую способность бесфасоночного узла, которая может определять несущую способность всей трубчатой конструкции. При этом следует учитывать влияние условий закрепления сжатых элементов в узле на их устойчивость, а также податливость стенок поясного элемента узла на жесткость конструкции в целом.