

## **ДЕФОРМАТИВНОСТЬ МЕТАЛЛОДЕРЕВЯННОЙ ФЕРМЫ С ЭЛЕМЕНТАМИ ИЗ ЦЕЛЬНОЙ ДРЕВЕСИНЫ, УСИЛЕННЫМИ СТАЛЬНЫМИ ТОНКОСТЕННЫМИ ПРОФИЛЯМИ**

**Гаврилов Вадим Борисович**

*ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г.Магнитогорск, доцент*

**Варламов Андрей Аркадьевич**

*Профессор ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г.Магнитогорск, кандидат технических наук, доцент*

**Шишлонов Евгений Александрович**

*Генеральный директор ООО «ТехноГарант», г.Магнитогорск*

**Сахипов Марат Сагитович**

*Ведущий эксперт отдела безопасности зданий и сооружений ООО «ТехноГарант», г.Магнитогорск*

**Ткач Евгений Николаевич**

*Эксперт отдела безопасности зданий и сооружений ООО «ТехноГарант», г.Магнитогорск*

**Шумилин Максим Сергеевич**

*Эксперт отдела безопасности зданий и сооружений ООО «ТехноГарант», г.Магнитогорск*

**Дмитрий Алексеевич Афанасьев**

*Эксперт отдела экспертизы промышленной безопасности ООО «ТехноГарант», г.Магнитогорск*

Испытание металлодеревянной фермы в лаборатории института Архитектуры, строительства и искусств ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» проводятся как на полномасштабных конструкциях пролетом 6,0 м, так и на отдельных элементах из древесины прямоугольного сечения, усиленных с трех сторон стальными тонкостенными листами. Основной идеей данных экспериментов является получение надежной конструкции с большой несущей способностью и возможностью изготовления ее непосредственно на строительной площадке. Последнее обстоятельство позволяет существенно снизить себестоимость конструкции, так как достаточно лишь одного специализированного помещения на строительной площадке вместо целого цикла зданий и сооружений (помещений), предусмотренных заводскими условиями изготовления. Исключается также процесс транспортировки конструкций.

В проводимых экспериментах усиление древесины заключается в приклеивании стальных листов к боковым граням по всей длине элементов. Согласно СП63.13330-2011 для приклеивания стальных элементов и деталей к древесине необходимо применять эпоксидные составы. Использование эпоксидного клея в соединении стальных листов с древесиной требует меньших нормативных ограничений при производстве работ и получении качественных клеевых швов.

В процессе подготовки плана экспериментальных исследований была предложена конструкция фермы с параллельными поясами, в которой все деревянные элементы (стержни) с трех сторон обклеиваются тонким стальным П-образным профилем. Подобный профиль используется в отделочных работах и имеется в свободной продаже. Для экспериментов было использовано два наиболее распространенных профиля  $40 \times 100 \times 0,45$  мм и  $40 \times 100 \times 0,6$  мм. Конструкция фермы представлена на рис. 1. Стальным профилем толщиной 0,6 мм усилены опорные раскосы и пояса, так как в них возникают наибольшие напряжения.

Сечение всех элементов фермы прямоугольное  $40 \times 98$  мм. Древесина – сосна первого и второго сорта.

Узлы сопряжения элементов выполнены с применением стальных накладок толщиной 3 мм. Соединение элементов фермы с пластинами выполнено при помощи стальных шпилек диаметром 10 мм. Стойки и наименее напряженные раскосы были закреплены при помощи одной шпильки в каждом узле сопряжения. Опорные раскосы и элементы поясов были закреплены на две шпильки в каждом узле сопряжения с пластинами.

Нагружение фермы осуществлялось в узлы, причем верхний пояс был раскреплен в каждом узле для предотвращения потери общей устойчивости фермы из плоскости (рис. 2). Для контроля общей деформации фермы к центральному узлу нижнего пояса был закреплен фиксатор прогибомера.

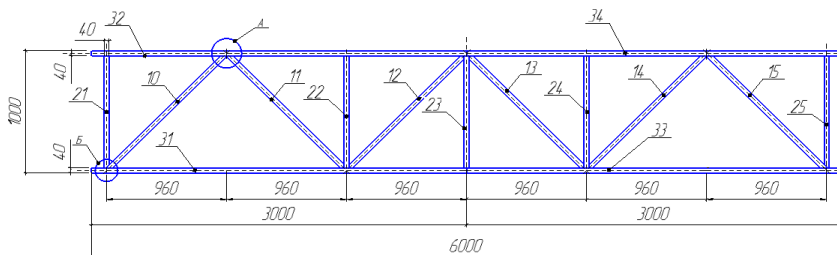


Рис.1. Геометрическая схема металлодеревянной фермы



Рис. 2. Приложение нагрузки в узлы верхнего и нижнего поясов

Нагрузка прикладывалась ступенчато по 100 кг в каждый узел. До достижения нагрузки 500 кг в каждый узел фермы ферма периодически разгружалась, фиксировались остаточные деформации, а затем вновь происходило нагружение, но уже с нагрузкой увеличенной на 100 кг для каждого узла. Результаты зафиксированных прогибов фермы приведены на рис. 3. Затем разгружение не выполнялось, а при достижении нагрузки в 800 кг в каждый узел, шаг увеличения нагрузки был снижен до 50 кг.

Разрушение фермы наступило при нагрузке в 950 кг (в каждый узел фермы) вследствие разрушения древесины опорного раскоса и элемента сжатого пояса. Первоначально произошло отслоение металлических пластин (тонкостенного профиля) от древесины, т.е. разрушение клеевых швов. Затем в местах дефектов в древесине стали появляться трещины и расслоения между волокнами.

Для сравнения полученного графика деформаций фермы с теоретическим был выполнен расчет фермы с учетом приведенных (по модулю упругости) геометрических характеристик элементов. За основной элемент была принята древесина, так как ее объем в сечении существенно больший по сравнению с тонкостенным профилем.

Дополнительно был выполнен теоретический расчет аналогичной фермы из цельнодеревянных элементов, сечением 40×100 мм и расчет аналогичной по несущей способности стальной фермы. В стальной ферме приняты парные уголки с минимальным рекомендуемым сечением уголков для подобных конструкций 50×5мм. Расчет выполнялся с примени-

ем программного комплекса ЛИРА. В результате расчетов были получены предельные узловые нагрузки для деревянной и металлической ферм, которые отображены на графиках (рис. 4). Для каждой условной ступени загрузки был рассчитан прогиб фермы (вертикальные деформации центрального узла).

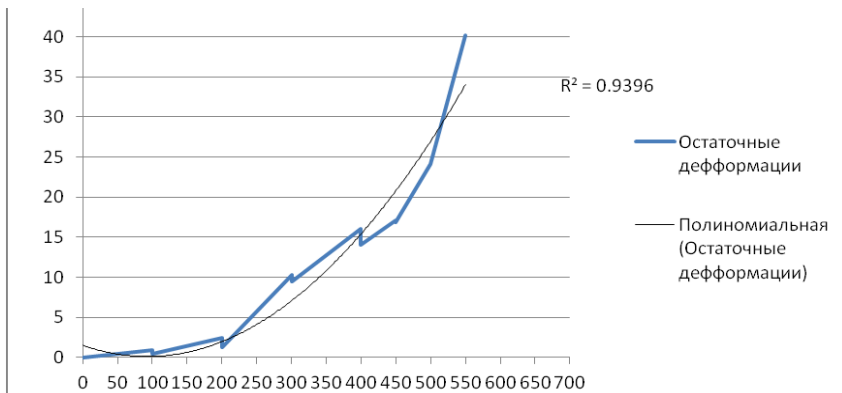


Рис. 3. Прогиб центрального узла с учетом остаточных деформаций

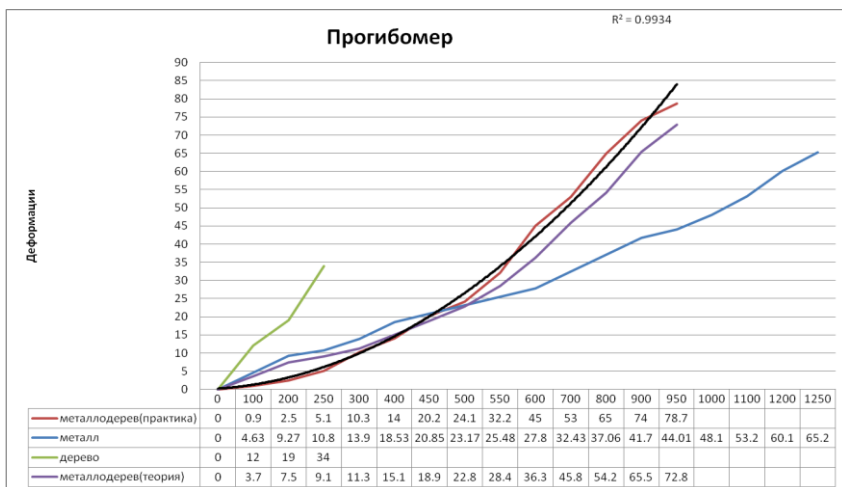


Рис. 4. Прогибы во всех видах ферм с учетом практических данных (деформации в мм, нагрузка в кг в каждый узел фермы)

Установлено, что деформации фермы (общий прогиб) существенно ниже деформаций фермы из цельной древесины, что определено теоретическим расчетом, и уступают стальной ферме с близкой несущей способностью. Теоретический расчет экспериментальной фермы с приведенными геометрическими характеристиками показал близкое совпадение с экспериментальными данными. Однако первоначально деформации были ниже теоретических, что обусловлено более жестким сопряжением элементов в узлах, в которых первоначально поверхности были склеены эпоксидным клеем.

После разрушения клеевых швов в узлах (при нагрузке 300-400 кг в каждый узел) сопряжения элементов фермы между собой становятся практически шарнирными, деформации в этом случае нарастают более интенсивно.

Деформативность предлагаемой конструкции в 2,5 раза ниже по сравнению с аналогичной деревянной фермой. Несущая способность выше примерно в 3 раза по сравнению с деревянной фермой и на 30% ниже несущей способности стальной фермы из парных прокатных уголков (50×5 мм).

На основании проведенных испытаний можно сделать общий вывод о том, что стальные тонкостенные профили безусловно способствуют увеличению несущей способности элементов. Предполагается, что металлические листы способствуют более равномерной работе древесины, содержащей множественные пороки. Пороки в древесине, как правило, имеются даже в 1-ом сорте. Несмотря на очевидность полученных результатов, эксперименты необходимо повторять вновь, используя другие толщины листов, проводя сравнительный анализ стоимости данных конструкций, и переходя на длительные испытания.

Известно, что при проектировании металлодеревянных конструкций необходимо учитывать перераспределение усилий между металлом и древесиной [6], которое происходит в процессе эксплуатации вследствие изменения физико-механических свойств древесины (ползучести) и возникающих дополнительных сдвигающих усилий в зоне соединения металла с древесиной при постоянных и длительных нагрузках.

Иными словами с течением времени происходит разгружение более "слабого" и неоднородного материала – древесины и догружение более прочного и однородного материала – металла. Для более надежного проектирования металлодеревянных конструкций необходимо повторить аналогичные испытания, но уже с учетом длительных загрузений в течение двух лет.

### Библиографический список

1. Лукин М.В. Совершенствование конструкций и технологий производства деревоклееных композитных балок, Автореферат на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Архангельск, 2010. – 16 с.
2. Гаврилов В.Б., Емельянов О.В. Исследование прочности древесины и усиление несущих конструкций деревянного покрытия здания старой постройки в г. Троицк // Архитектура. Строительство. Образование. – 2014.– №1 (3). – С. 178-182.
3. Варламов А.А. К оценке долговечности зданий и конструкций // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 71-й межрегиональной научно-технической конференции. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. Т.2. С. 186-188.
4. Емельянов О.В., Емельянова О.О. Подходы к моделированию процесса нагружения при прогнозировании срока службы металлических конструкций // Архитектура. Строительство. Образование. – 2014. – № 1 (3). – С. 190-195.
5. Тойбаев С.Н., Дюсембаев И.Н. Математическое моделирование динамического изгиба балки на стержневом основании с учетом упруго-пластического деформированного основания при действии сосредоточенной силы // Архитектура. Строительство. Образование. – 2015. – №1 (5). – С. 64-69.
6. Щуко В.Ю., Рощина С.И. Клееные армированные деревянные конструкции: Учебное пособие. – Владимир: Владимирский государственный университет, 2007. – 68 с.