

УДК 330.44, 519.868

DOI:10.25686/2542-114X.2019.3.69

## РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЛАСТИН ДЛЯ СОЕДИНЕНИЯ ДОЩАТЫХ ФЕРМ

**В. Г. Котлов, Ю. А. Кузнецова**

*Поволжский государственный технологический университет (г. Йошкар-Ола)*

Произведено технико-экономическое сравнение эффективности использования дощатых ферм строительных конструкций с механическими соединениями элементов на болтах и металлических зубчатых пластинах (МЗП). Выполнен автоматизированный расчет экономической эффективности применения дощатых ферм строительных конструкций и покрытий с узловыми соединениями на МЗП. Особенностью расчета является необходимость получения данных о трудоемкости изготовления и монтажа расчетным путем в связи с отсутствием оптовых цен централизованного характера на подобные конструкции.

В качестве примера выбрана дощатая ферма типа ФТД-9. При расчете учитываются расход пластин на одну ферму, издержки, связанные с изготовлением дощатых конструкций, коэффициенты отходов пиломатериалов и их реализации, затраты на сушку древесины, расход краски и прочих материалов. Приняты во внимание трудозатраты на основные технологические операции, учтены цеховые и общезаводские расходы, затраты на транспортировку ферм от завода-изготовителя до строительной площадки и погрузочно-разгрузочные работы. В результате вычислены стоимости конструкций с учетом накладных расходов, плановых накоплений и монтажных работ. Приняты эксплуатационные расходы с учетом физического срока службы конструкций и затраты на капитальный и текущий ремонт. Установлена трудоемкость монтажа в расчете на одну конструкцию. В информационно-технологической среде Mathcad вычислены капитальные затраты, условные годовые экономические эффекты и сроки окупаемости капитальных вложений по сравниваемым вариантам.

Оценка экономической эффективности применения соединений на металлических зубчатых пластинах показала преимущество их использования по сравнению с соединениями на болтах. На основе средневзвешенной оценки несущей способности расширен диапазон применения автоматизированной методики расчета технико-экономических показателей дощатых ферм. Построенные в автоматизированном режиме расчетные зависимости показали, что динамика дисконтированного дохода за период эксплуатации металлических зубчатых пластин линейно возрастает при малых значениях ставки дисконта, а при ее возрастании наблюдается эффект насыщения и стабилизации уровня доходности.

*Ключевые слова:* капитальные вложения; деревянные строительные конструкции; дощатые фермы; соединения; болты; металлические зубчатые пластины (МЗП); технико-экономические показатели; трудоемкость технологических операций; экономический эффект; капитальные затраты; срок окупаемости; дисконтированный доход.

**Введение.** Строительство зданий гражданского назначения и возведение сооружений производственного назначения связано с применением в качестве строительного материала древесины, традиционных и новых материалов на ее основе. В последнее время применение конструкций из древесных материалов особенно увеличилось в связи с ростом масштабов одноэтажного строительства. К наиболее востребованным строительным объектам, использующим деревянные конструк-

ции в большом объеме, относятся индивидуальные коттеджи, сборные жилые дома и сооружения сельскохозяйственного назначения.

Деревянные конструкции обеспечивают снижение металлоемкости, стоимости и трудоемкости строительства, веса зданий и повышения их теплозащиты [1, 9, 16].

Наиболее распространенными конструкциями, применяемыми для строительства таких объектов, являются дощатые фермы с узловыми соединениями элементов на болтах и

металлических зубчатых пластинах (МЗП). Большое число типоразмеров конструкций с механическими соединениями подобного типа требует автоматизации не только процессов вычисления их прочностных параметров, но и показателей экономической эффективности их использования.

Длительное время в экспериментальном строительстве используются дощатые фермы и покрытия с узловыми соединениями на металлических зубчатых пластинах (МЗП) [5, 6], разработанные специалистами Поволжского государственного технологического университета.

На дощатые фермы с соединениями на МЗП отсутствуют утвержденные в централизованном порядке оптовые цены. Данные о себестоимости новых конструкций, трудоемкости их изготовления и монтажа можно получить расчетным путем с использованием основных положений существующих методик по технико-экономической оценке эффективности применения конструкций для сельскохозяйственных зданий и сооружений с учетом региональных условий [2, 10].

В связи с этим расчет эффективности изготовления металлических зубчатых пластин для соединения дощатых ферм с применением информационных технологий является актуальной задачей.

**Цель работы** – создание информационно-технологической методики расчета сравнительной экономической эффективности изготовления и использования дощатых ферм с узловыми соединениями, выполненных на основе металлических нагельных и зубчатых элементов.

**Решаемые задачи:**

- 1) разработка автоматизированной методики расчета технико-экономических показателей на примере дощатой фермы марки ФТД-9;
- 2) сравнение вариантов применения соединений на болтах и МЗП для оценки эффективности использования МЗП в качестве основы соединения элементов дощатых строительных конструкций;
- 3) вычисление чистого дисконтированного дохода при использовании МЗП;

4) автоматизированное построение кривых динамики чистого дисконтированного дохода при использовании МЗП при различных ставках дисконта.

**Предмет исследования** заключается в разработке усовершенствованной методики автоматизированного расчета экономической эффективности изготовления и использования дощатых ферм с узловыми металлическими соединениями.

**Практическая значимость** работы состоит в автоматизации расчета технико-экономических показателей изготовления и использования дощатых ферм с узловыми механическими соединениями при большом числе типоразмеров конструкций.

**Математическое моделирование** технико-экономических показателей изготовления и использования дощатых ферм с узловыми механическими соединениями выполнено в среде Mathcad [4, 11].

Ниже приводится автоматизированная методика расчета технико-экономических показателей на примере дощатой фермы марки ФТД-9.

Масса конструкции  $G_{\phi}:=120$  кг.

Расход краски ХВ-124  $G_{к}:=2,0$  кг.

Соединение фермы ФТД-9 производится МЗП размером  $230 \times 90 \times 1,2$  из стали марки Ст.10 КП (ГОСТ 16523-70).

На одну ферму расходуется металлических зубчатых пластин  $N_{МЗП}:=38$  шт.

Масса МЗП  $G_{н}:=0,21$  кг.

Показатели стоимости конструкций определяются с учетом цен на материалы, характерные для условий строительства в Республике Марий Эл.

Среднее расстояние перевозки от завода-изготовителя до стройплощадки  $L_{ср}:=60$  км.

Цена деревянной доски первого сорта без учета транспортно-заготовительных расходов (для местных материалов при сечении  $60 \times 130$  ( $60 \times 180$ ) мм)  $C_{mat} = 8700$  р./м<sup>3</sup>.

Объем использованной древесины  $V_{\phi}:=0,222$  м<sup>3</sup>.

Коэффициент отходов на острожку  $K' := 1,13$ .

Коэффициент на технологические отходы  $K'' := 1,13$ .

Коэффициент образования отходов

$$K_{отх} := K' \cdot K'' = 1,277.$$

Стоимость пиломатериалов с учетом отходов по цене франко-завод-изготовитель

$$C_{mat} := C_{mat} \cdot V_d \cdot K_{отх} = 2,466 \cdot 10^3 \text{ р./м}^3.$$

Стоимость реализуемых отходов:

- для обрезков  $C_{обр} := 435,2 \text{ р./м}^3$ ;
- для опилок и стружки  $C_{о.с} := 136 \text{ р./м}^3$ .

Коэффициент объема реализации отходов

$$K_{р.отх} := 0,8 \text{ (80 \%)}.$$

Доход от реализации отходов

$$C_{отх} := (C_{обр} + C_{о.с}) \cdot V_d \cdot K_{р.отх} = 101,45 \text{ р.}$$

Затраты на сушку кубометра пиломатериалов  $C_{суш} = 1700 \text{ р./м}^3$ .

Стоимость сушки пиломатериалов

$$C_{суш} := V_d \cdot K_{отх} \cdot C_{суш} = 481,90 \text{ р.}$$

Стоимость краски ХВ-124  $C_k := 125 \text{ р./кг}$ .

Стоимость прочих материалов

$$C_{пр.м} := 250 \text{ р.}$$

Средняя часовая расценка труда рабочих деревообрабатывающих предприятий

$$\alpha := 156 \text{ р./чел.-ч.}$$

Трудоемкость основных технологических операций (без затрат на сушку пиломатериалов)  $T_{изг} := 6,97$ , чел.-ч.

Коэффициент на вспомогательные и неучтенные работы  $K := 1,08$ .

Затраты на основную и дополнительную зарплату  $C_{зп} := \alpha \cdot T_{изг} \cdot K = 1174 \text{ р.}$

Коэффициент, учитывающий цеховые и общезаводские расходы (для прямолинейных конструкций),  $K := 2,4$ .

Коэффициент, учитывающий внезаводские расходы,  $K_{кн.зав} := 1,025$ .

Себестоимость изготовления деревянных элементов фермы

$$C_{д.изг} := (C_{mat} - C_{отх} - C_{суш} - C_{пр.м} \cdot K_n) \cdot K_{вн.зав} = 3,533 \cdot 10^3 \text{ р.}$$

Оптовая цена стальных элементов с учетом транспортных расходов и стоимости погрузочно-разгрузочных работ. Стоимость МЗП принимается применительно к стоимости закладных деталей сборных железобетонных конструкций.

Стоимость МЗП при массе одной закладной детали до одного килограмма  $C_{ст} := 70 \text{ р./кг}$ .

Расход стали с учетом 5 % отходов при изготовлении МЗП и 10 % отходов пластинок при сборке ферм (по данным ДОЗа Марстройтреста)  $Q_{ст} := 9,18 \text{ кг}$ .

Стоимость металлизации МЗП антикоррозийным покрытием  $C_m := 19,4 \text{ р./кг}$ .

Стоимость изготовления МЗП

$$C_{ст.изг} := C_{ст} \cdot Q_{ст} + C_m Q_{ст} = 820,69 \text{ р.}$$

Коэффициент плановых накоплений в размере 10 % себестоимости  $K_{пл} := 1,1$ .

Затраты по транспортировке ферм от завода-изготовителя до строительной площадки принимаются для Республики Марий Эл в расчете на одну ферму  $C_{тр} := 20 \text{ р./шт.}$  [14].

Заготовительно-складские расходы, принимаемые в размере 2 % от стоимости деревянных конструкций,  $K_{з.скл.д} := 1,02$ .

Заготовительно-складские расходы, принимаемые в размере 0,75 % от стоимости стальных конструкций,  $K_{з.скл.с} := 1,0075$ .

Стоимость фермы франко-строительная площадка

$$C_{т.п} := (C_{д.изг} \cdot K_{пл} + C_{тр}) \cdot K_{з.скл.д} + C_{ст.изг} \cdot K_{з.скл.с} = 4810 \text{ р.}$$

Ввиду отсутствия нормативов стоимости легких ферм затраты на установку фермы массой 120 кг определены расчетным путем с учетом трудоемкости возведения (при составе звена монтажников 5 человек) с помощью автокрана грузоподъемностью 5 т и затрат на вспомогательные материалы по стоимости монтажа ферм пролетом до 24 м с массой материала 2040 кг.

Ниже приведены коэффициенты, определенные решением системы уравнений с двумя неизвестными методом наименьших квадратов [10].

Коэффициент накладных расходов  $A := 0,65 \text{ р./кг}$ .

Коэффициент плановых накоплений  $B := 3,59$ .

Стоимость монтажных работ

$$C_m := A \cdot C_{ф} + B = 81,35 \text{ р.}$$

Коэффициент накладных расходов

$$K_{н.р} := 1,198.$$

Коэффициент дополнительных затрат на производство работ в зимнее время для

условий Республики Марий Эл при монтаже деревянных конструкций,  $K_{з.у.} = 1,011$ .

Стоимость конструкций «в деле»  
 $C_d = (C_{ст.н} + C_m) \cdot K_{н.р} \cdot K_{пл} \cdot K_{з.у.} = 6518$  р.

Коэффициент приведения единовременных затрат к исходному уровню для деревянных ферм при сравнении их с железобетонными конструкциями, срок службы которых составляет 60 лет. Срок службы металлодеревянных ферм сельскохозяйственных зданий в нормальной среде с антикоррозийной защитой МЗП оцинкованием принимается равным 40 лет  $\mu = 1,109$ .

Коэффициент приведения предстоящих эксплуатационных затрат к исходному уровню  $\rho = 11,158$ .

В данном случае капитальные вложения в базовый объект не учитываются, так как при определении стоимости изготовления ферм уже учтены плановые прибыли деревообрабатывающих предприятий и плановые накопления в строительстве [3].

Коэффициент, учитывающий отчисления на капитальный и текущий ремонты при сроке службы 40 лет  $K = 1,6$ .

Эксплуатационные расходы принимаются с учетом физического срока службы конструкций и затрат на капитальный и текущий ремонт  $\mathcal{E}_3 := \frac{C_d \cdot K}{100} = 104,29$  р.

Показатели приведенных затрат  
 $C_{пр} := \mu \cdot C_d + \rho \cdot \mathcal{E}_3 = 8392$  р.

Трудоемкость изготовления и сборки элементов МЗП в конструкцию  
 $T = 3,9$  чел.-ч.

Трудоемкость сушки пиломатериалов  
 $C_{суш.} = 1,0$  чел.-ч.

Трудоемкость антисептирования деревянных элементов  $T_{ант.} = 1,57$  чел.-ч.

Трудоемкость изготовления металлических зубчатых пластин  $T_d = 0,37$  чел.-ч.

Трудоемкость металлизации металлических зубчатых пластин  $T_a = 0,64$  чел.-ч.

Трудоемкость затрат времени на транспортные операции  $T_{тр.} = 0,506$ , чел.-ч.

Общая трудоемкость изготовления дощатых ферм на МЗП

$$T_{общ.} := T + T_{суш.} + T_{ант.} + T_d + T_a + T_{тр.},$$

$$T_{общ.} = 7,986 \text{ чел.-ч.}$$

В связи с отсутствием нормативов на монтаж новых типов конструкций следует построить график трудоемкости монтажа в человеко-часах в расчете на 1 тонну для ряда индустриальных деревянных конструкций в функции их массы (выполнить функциональную средневзвешенную оценку трудозатрат) [10].

Зависимость трудоемкости монтажа обратно пропорциональна массе конструкции, поэтому кривая связи между этими параметрами является гиперболической.

Составляющие величин трудозатрат при монтаже деревянных конструкций не зависят от их массы  $A' = 10,915$  и  $B' = 0,583$ .

Числовые значения составляющих  $A'$  и  $B'$  были найдены в результате обработки калькуляций на монтаж дощатых ферм с МЗП, использования нормативных данных по трудозатратам на монтаж деревянных конструкций и решения системы уравнений с двумя неизвестными [10].

Трудоемкость монтажа в расчете на конструкцию может быть определена формулой  
 $T_M := A' \cdot G_{\phi} \cdot 10^{-3} + B' = 1,9$  чел.-ч. шт.

Для оценки эффективности использования МЗП в качестве основы соединения элементов дощатых строительных конструкций выполнено технико-экономическое сравнение вариантов применения соединений на болтах и МЗП [8, 15, 16].

Сравнение вариантов произведено в табличной форме методом калькуляции затрат, включающих капитальные затраты на деревянные конструкции, затраты, связанные с огнестойкостью и защитой древесины от загнивания, и затраты на соединительные элементы [7]. Эксплуатационная составляющая включает затраты на сушку [12], антисептическую обработку, основные технологические операции и переместительные операции, включая автотранспортные расходы на доставку ферм от мест изготовления к местам строительства [9]. При расчете показателей статьи «Материалы» учитываются необходимые отчисления, включая, в частности, отчисления на текущий ремонт [13].

На основе средневзвешенной оценки несущей способности определены технико-экономические показатели использования двух типоразмеров дощатых ферм при сохранении конструктивных решений и геометрических характеристик сечений. Для обоснования надежности эксплуатации подобных конструкций были рассчитаны несущие способности ферм с пролетами 12 и 18 м. При линейной зависимости технико-экономических показателей от конструктивных решений ферм в расчет вводится параметр связи расчетных показателей с величиной пролета.

Более точные результаты могут быть получены при построении нелинейной многофакторной зависимости технико-экономических показателей для типовых пролетов ферм 6, 9, 12, 15, 18 м при обеспечении предельных несущих способностей и допустимых величинах прогибов [20].

Разумеется, в состав варьируемых факторов могут быть включены, помимо величины пролета, высота пояса фермы, форма и площадь сечения деревянных балок и т.п.

Расчеты подобного рода связаны с применением прикладных программных пакетов для статических расчетов дощатых ферм и многофакторного статистического анализа вариантов критериальной оценки технико-экономических показателей их использования [18, 19].

В процессе расчета, выполненного в прикладной программной среде MathCad, вычисляются капитальные затраты по вариантам с учетом нормативных коэффициентов окупаемости базовых и проектных объектов. Затем рассчитываются условные годовые экономические эффекты по вариантам и находятся сроки окупаемости капитальных вложений.

При введении нескольких значений ставки дисконта рассчитываются чистый дисконтированный доход при использовании МЗП и сроки окупаемости капитальных вложений от применения МЗП с учетом дисконтирования. Кроме того, вычислен бездисконтный срок окупаемости капитальных вложений при использовании МЗП. На основе информаци-

онно-технологической модели построены зависимости динамики чистого дисконтированного дохода при различных ставках дисконта.

Далее приводится расчет экономической эффективности использования фермы пролетом 18000 мм с металлическими зубчатыми соединениями по сравнению с соединениями на болтах с фанерными прокладками [17]. В качестве базовой величины пролета дощатой фермы использована ферма пролетом 12000 мм.

Ниже представлен листинг расчета в прикладной программной среде MathCad [4, 8, 11].

Базовая длина пролета дощатой фермы  $L_{\delta}:=12000$  мм.

Расчетная длина пролета дощатой фермы  $L_p:=18000$  мм.

Параметр связи расчетных показателей с величиной пролета  $P_n := \frac{L_p}{L_{\delta}}$ ,  $P_n := 1,5$ .

Таблица 1

Расчет затрат по базовому объекту по статье «Материалы», р

Показатели	Величина
Затраты на брус калиброванный $\sum C_{\delta}$	2352
Затраты на доску обрешечную $\sum C_{\delta}$	882
Затраты на плиту ОСБ-3 $\sum C_n$	970
Затраты на пропитку «Пирилакс» $\sum C_{nn}$	1475,59
Затраты на болты двух типоразмеров $\sum C_{\delta 12}$	624,08
Затраты на гайки $\sum C_e$	109,48
Затраты на шайбы $\sum C_{ш}$	94,50

Всего по статье «Материалы»  
 $\sum C_{cm,\delta} := P_n \cdot (2352 + 882 + 970 + 1475,59 + 624,08 + 109,48 + 94,50) = 9761,48$  р.

Отчисления на текущий ремонт  $k_p:=0,45$  %.  
 Итого затраты на ремонт базового объекта  
 $\sum C_{p\delta} := 0,01 \cdot k_p \cdot \sum C_{cm,\delta} = 43,93$  р.

Общая сумма капитальных вложений  
 $K_{\delta} := \sum C_{cm,\delta} + \sum C_{p\delta}$ ,  $K_{\delta} = 9805,40$  р.

Всего по статье «Прочие расходы», р.  
 $C_{\delta} := P_n \cdot (487,69 + 303,34 + 1634,94 + 1200) = 5438,96$ .

Таблица 2

Расчет затрат по статье «Прочие расходы»

Показатели	Величина
Затраты на сушку древесины $\sum C_c$	487,69
Затраты на антисептическую обработку составами «Пирилакс» $\sum C_{co}$	303,34
Затраты на основные технологические операции (без учета сушки) $\sum C_{oo}$	1634,94
Затраты на перевозку автотранспортом $\sum C_{oo}$	1200

Нормативный период эксплуатации базового объекта  $T_{нб} := 25$  лет.

Нормативный коэффициент окупаемости базового объекта  $E_{нб} := \frac{1}{T_{нб}} = 0,041$  1/лет.

Годовые затраты по базовому варианту  $З_б := C_б + E_{нб} \cdot K_б$ ,  $З_б = 5831,17$  р.

Масса фермы с базовой величиной пролета  $m_б := 200$  кг.

Масса фермы с расчетной величиной пролета  $m_p := P_n m_б = 300$  кг.

Для проведения сравнения вариантов произведена оценка экономической эффективности замены болтовых соединений на металлические зубчатые пластины.

Таблица 3

Расчет затрат по проектному объекту по статье «Материалы»

Показатели	Величина
Затраты на брус калиброванный $\sum C_б$	2352
Затраты на доску обрешную $\sum C_д$	882
Затраты на пропитку «Пирилакс» $\sum C_{mn}$	1038,36
Затраты на МЗП двух типоразмеров $\sum C_m$	960

Всего по статье «Материалы»

$$\sum C_{ст.мн} := P_n \cdot (2352 + 882 + 1038,36 + 960),$$

$$\sum C_{ст.мн} = 7848,54 \text{ р.}$$

Отчисления на текущий ремонт будут  $k_{pn} := 0,45\%$ .

Итого затраты на ремонт проектного объекта  $\sum C_{pn} := 0,01 k_{pn} \cdot \sum C_{ст.мн} = 35,32$  р.

Общая сумма капитальных вложений  $K_n := \sum C_{ст.мн} + \sum C_{pn}$ ,  $K_n = 7883,86$  р.

Таблица 4

Расчет затрат по проектному варианту по статье «Прочие расходы»

Показатели	Величина
Затраты на сушку древесины $\sum C_c$	408
Затраты на антисептическую обработку составами «Пирилакс» $\sum C_{co}$	215,46
Затраты на основные технологические операции (без учета сушки) $\sum C_{oo}$	1401,67
Затраты на перевозку автотранспортом $\sum C_{oo}$	1200

Всего по статье «Прочие расходы»

$$C_n := P_n \cdot (480 + 215,46 + 1401,67 + 1200),$$

$$C_n = 4837,70 \text{ р.}$$

Нормативный период эксплуатации проектного объекта  $T_{nn} := 40$  лет.

Нормативный коэффициент окупаемости проектного объекта

$$E_{nn} := \frac{1}{T_{nn}}, E_{nn} = 0,025 \text{ /лет.}$$

Годовые затраты по проектному варианту

$$З_n := C_n + E_{nn} \cdot K_n = 5034,79 \text{ р.}$$

Для приведения к сравнимым условиям эксплуатации введем коэффициент удлинения срока эксплуатации проектного объекта по сравнению с базовым  $k_y := \frac{T_{nn}}{T_{нб}}$ ,  $k_y = 2$ .

Годовые затраты по проектному объекту

$$З_n := C_n + k_y E_{nn} K_n, З_n = 4960,88 \text{ р.}$$

Условный годовой экономический эффект по проектному варианту

$$\mathcal{E}_{yn} := З_б - З_n = 870,29 \text{ р.}$$

Срок окупаемости капитальных вложений

$$T_{on} := \frac{З_n}{\mathcal{E}_{yn}}, T_{on} = 5,7 \text{ года.}$$

Период эксплуатации объекта  $t := 0..T_{nn}$  лет.

Ставка дисконта  $r := 0,1$ .

Годовое сокращение затрат на эксплуатацию после применения МЗП  $\Delta C := C_б - C_n$ ,  $\Delta C = 601,26$  р.

Годовое сокращение капитальных затрат после применения МЗП

$$\Delta K := E_{нб} \cdot K_б - E_{nn} \cdot K_n = 195,12 \text{ р.}$$

Чистый дисконтированный доход при использовании МЗП

$$ЧДД(t) := \Delta C \cdot \left[ \frac{1 - (1+r)^{-T_m}}{r} \right] + \Delta K = 6075 \text{ р.}$$

Срок окупаемости капитальных вложений при использовании МЗП с учетом дисконтирования

$$T_{ок} := \frac{\ln\left(\left(1 - \frac{\Delta K \cdot r}{\Delta C}\right)\right)}{\ln(1+r)} = 0,34 \text{ лет.}$$

Бездисконтный срок окупаемости капитальных вложений при использовании МЗП

$$T := \frac{\Delta K \cdot r}{\Delta C} = 0,03 \text{ года.}$$

$$r := 0..1$$

Динамика чистого дисконтированного дохода при использовании МЗП определена при различных ставках дисконта по зависимости

$$ЧДД_e(t,r) := \Delta C \cdot \left[ \frac{1 - (1+r)^{-t}}{r} \right] + \Delta K \text{ (рис. 1-6).}$$

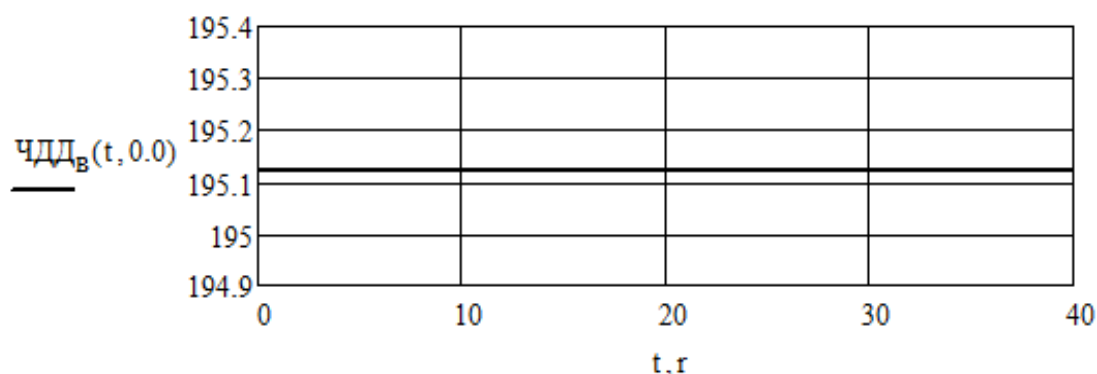


Рисунок 1. Динамика дисконтированного дохода за период применения МЗП при ставке дисконта  $r = 0$

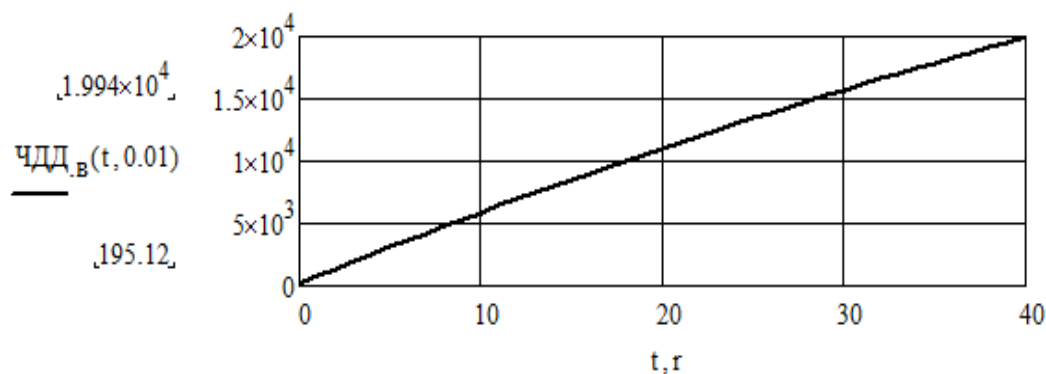


Рисунок 2. Динамика дисконтированного дохода за период применения МЗП при ставке дисконта  $r = 0,01$

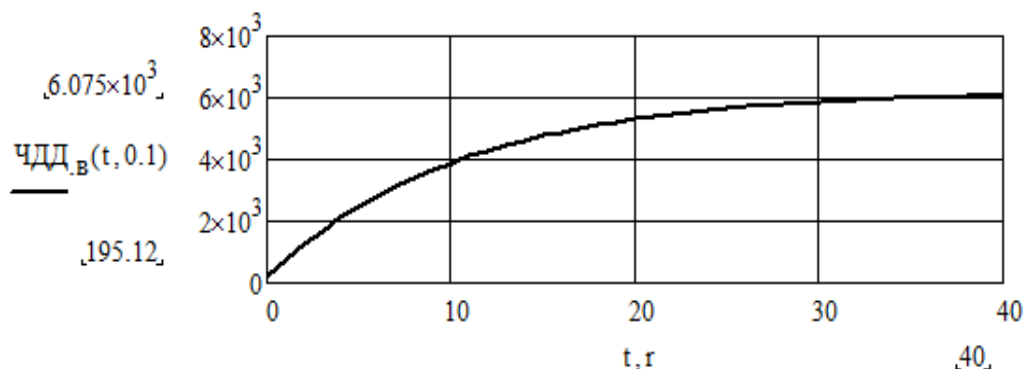


Рисунок 3. Динамика дисконтированного дохода за период применения МЗП при ставке дисконта  $r = 0,1$

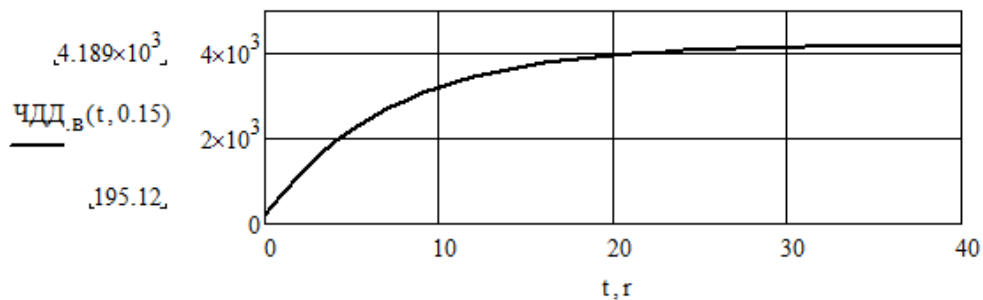


Рисунок 4. Динамика дисконтированного дохода за период применения МЗП при ставке дисконта  $r = 0,15$

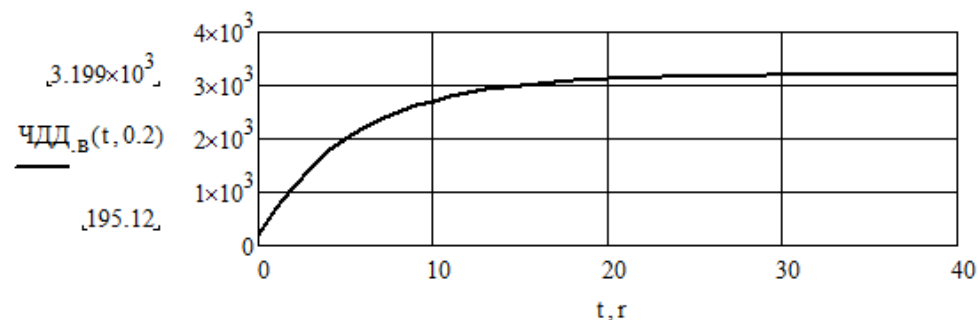


Рисунок 5. Динамика дисконтированного дохода за период применения МЗП при ставке дисконта  $r = 0,2$

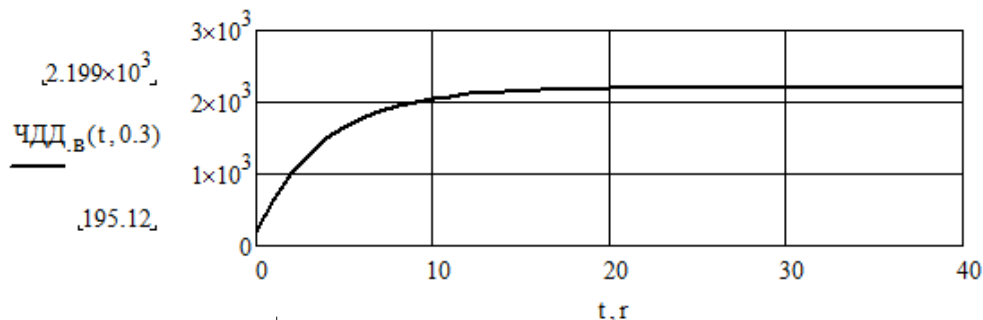


Рисунок 6. Динамика дисконтированного дохода за период применения МЗП при ставке дисконта  $r = 0,3$

### Выводы

1. На основе калькуляции затрат на изготовление дощатых ферм и покрытий с узловыми соединениями на металлических зубчатых пластинах в автоматизированном режиме установлены себестоимости изготовления деревянных элементов конструкций. В процессе расчетов найдены стоимости металлических зубчатых пластин с учетом применения антикоррозионных покрытий. Определены сопутствующие затраты на основе известных из литературных источников коэффициентов накладных расходов и плановых накоплений.

2. С учетом специфики затрат при работе конструкций в зимнее время вычислена вели-

чина показателя стоимости конструкций «в деле», которая составила 6281 р.

3. За счет коэффициента приведения единовременных затрат к исходному уровню для деревянных ферм при сравнении их с железобетонными конструкциями установлен срок службы метало-деревянных ферм зданий сельскохозяйственного назначения, равный тридцати годам.

4. В процессе расчета учтены трудоемкости изготовления деревянных конструкций, металлических зубчатых пластин и сборки с их помощью дощатых ферм, антисептирования древесины, транспортных и иных операций.



5. В результате расчетов установлена трудоемкость монтажа в расчете на одну конструкцию – около 1,9 чел.-ч./шт.

6. На основе табличного метода калькуляции затрат по вариантам соединения элементов деревянных ферм строительных конструкций определены капитальные вложения и эксплуатационные затраты.

7. Рассчитана общая сумма капитальных вложений, которая для конструкции фермы, выполненной на болтах, составила  $K_6 = 9761,48$  р. С учетом затрат на ремонт базового объекта общая сумма капитальных вложений равна 9805,40 р. С учетом нормативного коэффициента окупаемости базового объекта  $E_{нб} = 0,04$  затраты  $Z_6$  составили 5831,17 р.

8. Применение МЗП привело к изменению капитальных затрат, которые в этом случае составляют с учетом отчислений на ремонт

7883,86 р. Эксплуатационные затраты при этом составляют 4837,70 р. Годовые затраты с учетом нормативного коэффициента окупаемости проектного объекта равны 5034,79 р.

9. Условный годовой экономический эффект относительно указанных базового и проектного варианта равен 870,29 р. при сроке окупаемости капитальных вложений  $T_{он} = 5,7$  года.

10. При расчете дохода от использования МЗП установлено, что динамика чистого дисконтированного дохода за сорокалетний срок применения МЗП возрастает почти линейно при малых значениях ставки дисконта, а при ее возрастании наблюдается эффект насыщения и стабилизации уровня доходности. Рассмотрение кривых динамики чистого дисконтированного дохода показывает снижение осредненной за период его величины при возрастании дисконтной ставки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Деревянное домостроение / под общ. ред. проф. А. Г. Черных. СПб.: Ассоциация деревянного домостроения, 2007. 348 с.
2. Ковальчук Л. М., Пискунов Ю. В. Деревянные конструкции в строительстве. Москва: Строиздат, 1995. 248 с.
3. Калугин А. В. Деревянные конструкции. Москва: АСВ., 2003. 224 с.
4. Кирьянов Д. В. Mathcad 14. Санкт-Петербург, 2007. 682 с.
5. Котлов В. Г., Муратова С. С. Влияние конструктивных особенностей металлических зубчатых пластин на их несущую способность // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 2014. № 17. С. 267-269.
6. Котлов В. Г., Машинова С. Л. Деревянные конструкции с узловыми соединениями на металлических зубчатых пластинах // Промышленное и гражданское строительство. 2003. № 3. С. 53-54.
7. Котлов В. Г., Петухов Б. Ю. К определению предела огнестойкости деревянных конструкций с узловыми соединениями на металлических зубчатых пластинах (МЗП) // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: материалы Пятой Всероссийской конференции. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2005. С. 77-80.
8. Котлов В. Г., Шарынин Б. Э. Разработка модели древесины как ортотропного материала для конечно-элементного анализа строительных конструкций (Часть 1) // Вестник поволжского технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. 2018. № 2(6). С. 58-63.
9. Котлов В. Г., Иванова М. А. Влияние степени агрессивности среды эксплуатации на работу деревянных конструкций с узловыми соединениями на металлических зубчатых пластинах // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: материалы III Международной (IX Всероссийской) конференции. Чебоксары, 2016. С. 250-254.
10. Некрасов А. С., Якушева В. А. Снижение материалоемкости и трудозатрат в сельскохозяйственном строительстве. Москва: Строиздат, 1980. 193 с.
11. Плис А. И., Сливина Н. А., Mathcad 2000: математический практикум для экономистов и инженеров. Москва: Финансы и статистика, 2000. 656 с.
12. Поздеев А. Г., Котлов В. Г., Кузнецова Ю. А. Автоматизация расчетов процесса сушки древесины: монография. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2017. 140 с.
13. СНиП П-25-80 Деревянные конструкции. Нормы проектирования. Москва: ГУП ЦПП, 2000. 30 с.

14. Федосов С. В., Котлов В. Г., Актуганов А. А. Индустриальные деревянные конструкции на металлических зубчатых пластинах // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2013. № 11-12 (659-660). С. 39-43.
15. Федосов С. В., Котлов В. Г., Иванова М. А. Некоторые особенности методов расчета стропильных конструкций с соединениями на металлических зубчатых пластинах с учетом явлений тепломассопереноса // Строительные материалы. 2016. № 5. С. 52-58.
16. Федосов С. В., Котлов В. Г., Алоян Р. М., Бочков М. В., Макаров Р. А., Иванова М. А. Технико-экономическое обоснование применения конструктивного решения здания из смешанного каркаса в отделочном производстве текстильного предприятия // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2017. № 1 (367). С. 143-146.
17. Федосов С. В., Котлов В. Г., Иванова М. А. Причины снижения работоспособности деревянных конструкций при эксплуатации в среде с циклически изменяющимися температурно-влажностными условиями // Жилищное строительство. 2017. № 12. С. 20-25.
18. Котлов В. Г., Шестакова А. Н. Экономическая эффективность применения деревянных конструкций в Республике Марий Эл // Творчество студентов – экономике России: сборник статей региональной научной студенческой конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. С. 164.
19. Bodig J. Linearized deformation at failure a proposed design tool // Wood science and technologies. 1979. No. 3. P. 129-138.
20. Hoadley R. B. Understanding wood a craftsman's guide to wood technology. Hoadley, The taunton press. Lnc, 2000. 280 p.

#### Информация об авторах

*КОТЛОВ Виталий Геннадьевич* – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры строительных конструкций и водоснабжения, директор института строительства и архитектуры Поволжского государственного технологического университета, советник РААСН. Область научных интересов – соединения элементов деревянных конструкций, тепломассоперенос. Автор 128 научно-методических работ, в том числе 1 монографии, 6 учебных пособий и 8 авторских свидетельств и патентов РФ и 13 патентов на полезную модель. E-mail: isa@volgatech.net, KotlovVG@volgatech.net.

*КУЗНЕЦОВА Юлия Анатольевна* – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций и водоснабжения, Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола. Область научных интересов – исследование и моделирование русловых процессов в нижних бьефах гидроузлов, математическое моделирование в гидродинамике и экологии. Автор 86 научно-методических работ, в том числе 5 монографий, 12 учебных пособий и 1 патента РФ. E-mail: KuznetsovaYA@volgatech.net.

---

UDC 330.44, 519.868

DOI:10.25686/2542-114X.2019.3.69

### **CALCULATION OF THE EFFECTIVENESS OF TOOTHED TIMBER CONNECTORS FOR PLANK TRUSSES**

**V. G. Kotlov, Iu. A. Kuznetsova**

*Volga State University of Technology (Yoshkar-Ola)*

The authors carried out technical and economic comparative analysis of using plank trusses in building structures with bolt connections and toothed metal plate connections. An automated calculation of economic effectiveness of application of plank trusses in building structures and roofing with toothed metal plate connections was performed. The specific feature of this calculation was the need to obtain data on labor costs of manufacturing and production in the conditions of unavailability of wholesale prices for such structures.

A plank truss FTD-9 was selected as an example. The calculation took into account a number of plates per truss, cost of manufacture of plank trusses, waste coefficients of lumber and their

implementation, costs of timber drying, consumption of paint and other materials. Labor costs of main technological operations were taken into account, as well as shop and all-factory costs, costs of transportation of trusses from the manufacturer to the construction site, and handling operations. As a result, the cost of structures was calculated, taking into account overhead expenses, planned savings and installation works. Operating costs were calculated, taking into account physical life of structures, and the cost of overhaul and maintenance. Labor costs of installation of one structure were determined. The authors used Mathcad to calculate capital costs, conditional annual economic effects and payback periods of capital investments for the compared variants.

Toothed metal plate connections proved their economic effectiveness over bolt connections. On the basis of weighted average evaluation of bearing capacity, the authors expanded the range of application of the automated calculation of technical and economic indicators of plank trusses. The dependences calculated in the automated mode showed that the dynamics of discounted income for the operating lifecycle of toothed metal plates increases linearly at low values of discount rate, while with its increase, the profitability saturates and stabilizes.

*Keywords:* capital investment, wooden building structures, plank trusses, connections, bolts, toothed metal plates, technical and economic indicators, labor costs of technological operations, economic effect, capital costs, payback period, discounted earnings.

#### REFERENCES

1. Derevyannoe domostroenie [Wooden house building], edited by prof. A. G. Chernykh, Sankt-Peterburg, Assotsiatsiya derevyannogo domostroeniya [Association of wooden housing], 2007, 348 p.
2. Kovalchuk L. M., Piskunov Iu. V. Derevyannye konstruksii v stroitelstve [Wooden structures in construction], Moscow, Stroizdat, 1995, 248 p.
3. Kalugin A. B. Derevyannye konstruksii [Wooden structures], Moscow, ASV, 2003, 224 p.
4. Kiryanov D. V. Mathcad 14. Sankt-Peterburg, 2007. 682 p.
5. Kotlov V. G., Muratova S. S. Vliyaniye konstruktivnykh osobennostei metallicheskih zubchatykh plastin na ikh nesushchuyu sposobnost' [Impact of design features of toothed metal plates on their bearing capacity], *Vestnik Volzhskogo regionalnogo otdeleniya Rossiiskoi akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk* [Volga Regional Branch of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences], 2014, No 17, pp. 267-269.
6. Kotlov V. G., Mashinova S.L. Derevyannye konstruksii s uzlovymi soedineniyami na metallicheskih zubchatykh plastinakh [Wooden structures with toothed metal plate connections], *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil engineering], 2003, No 3, pp. 53-54.
7. Kotlov V. G., Petukhov B. Yu. K opredeleniyu predela ognestoikosti derevyannykh konstruksii s uzlovymi soedineniyami na metallicheskih zubchatykh plastinakh (MZP) [To the determination of fire-resistance rating of wooden structures with toothed metal plate connections], *Novoe v arkhitekture, proektirovanii stroitel'nykh konstruksii i rekonstruksii: materialy Pyatoi Vserossiiskoi konferentsii* [New in architecture, design of building structures and reconstruction: materials of the Fifth All-Russian Conference], Cheboksary, Izd-vo Chuvash. un-ta [Chuvash University Publishing House], 2005, pp. 77-80.
8. Kotlov V. G. Sharynin B. E. Razrabotka modeli drevesiny kak ortotropnogo materiala dlya konechno-elementnogo analiza stroitel'nykh konstruksii (Chast 1) [Development of wood material model for the finite element analysis of building structures (Part 1)], *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Materialy. Konstruksii. Tekhnologii* [Bulletin of Volga State University of Technology. Series: Materials. Constructions. Technologies], 2018, No. 2(6), pp. 58-63.
9. Kotlov V. G., Ivanova M. A. Vliyaniye stepeni agressivnosti sredy ekspluatatsii na rabotu derevyannykh konstruksii s uzlovymi soedineniyami na metallicheskih zubchatykh plastinakh [Impact of the operating environment aggressiveness on the operation of wooden structures with toothed metal plate connections], *Novoe v arkhitekture, proektirovanii stroitel'nykh konstruksii i rekonstruksii* [New in architecture, design of building structures and reconstruction] materialy III Mezhdunarodnoi (IX Vserossiiskoi) konferentsii [Materials of the III International (IX all-Russian) conference], Cheboksary, 2016, pp. 250-254.
10. Nekrasov A. S., Iakusheva V. A. Snizhenie materialoemkosti i trudozatrata v sel'skokhozyaistvennom stroitel'stve [Reduction of material consumption and labor costs in agricultural construction], Moscow, Stroizdat, 1980, 193 p.
11. Plis A. I., Slivina N. A. Mathcad 2000: matematicheskij praktikum dlja jekonomistov i inzhenerov. Finansy i statistika [Mathcad 2000: mathematical workshop for economists and engineers], Moscow, Finansy i statistika [Finance and statistics], 2000, 656 p.

12. Pozdeev A. G., Kotlov V. G., Kuznetsova Yu. A. Avtomatizatsiya raschetov protsessa sushki drevesiny [Automated calculations of drying of timber], monograph, Yoshkar-Ola, Povolzhskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet [Volga State University of Technology], 2017, 140 p.
13. SNiP P-25-80 Derevyannye konstruksii. Normy proektirovaniya [SNiP P-25-80 Wooden structures. Construction Standards and Regulations]. Moscow, GUP TsPP, 2000, 30 p.
14. Fedosov S. V., Kotlov V. G., Aktuganov A. A. Industrialnye derevyannye konstruksii na metallicheskih zubchatykh plastinakh [Industrial wooden structures with toothed metal plates], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitelstvo* [Proceedings of higher educational institutions. Construction], 2013, No. 11-12 (659-660), pp. 39-43.
15. Fedosov S. V., Kotlov V. G., Ivanova M. A. Nekotorye osobennosti metodov rascheta stropilnykh konstruksii s soedineniyami na metallicheskih zubchatykh plastinakh s uchedom yavlenii teplomassoperenosa [Specifics of methods of calculation of trusses with toothed metal plate connections taking into account the heat and mass transfer], *Stroitelnye materialy* [Building materials], 2016, No. 5, pp. 52-58.
16. Fedosov S. V., Kotlov V. G., Aloyan R. M., Bochkov M. V., Makarov R. A., Ivanova M. A. Tekhniko-ekonomicheskoe obosnovanie primeneniya konstruktivnogo resheniya zdaniya iz smeshannogo karkasa v otdelochnom proizvodstve tekstil'nogo predpriyatiya [Feasibility study of the use of a composite frame in a finishing department of a textile enterprise], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tekhnologiya tekstilnoi promyshlennosti* [Proceedings of higher educational institutions. Technology of textile industry], 2017, No. 1, (367), pp. 143-146.
17. Fedosov S. V., Kotlov V. G., Ivanova M. A. Prichiny snizheniya rabotosposobnosti derevyannykh konstruksii pri ekspluatatsii v srede s tsiklicheski izmenyayushchimisya temperaturno-vlazhnostnymi usloviyami [Reasons for reducing the efficiency of wooden structures under cyclically changing temperature and humidity conditions], *Zhilishchnoe stroitelstvo* [Housing], 2017, No. 12, pp. 20-25.
18. Kotlov V. G., Shestakova A. N. Ekonomicheskaya effektivnost primeneniya derevyannykh konstruksii v Respublike Mary El [Economic efficiency of the use of wooden structures in the Republic of Mary El], *Tvorchestvo studentov – ekonomike Rossii: [Creativity of students – economics of Russia]*, collection of papers of the Regional Scientific Student Conference on Natural Science and Engineering Disciplines, Yoshkar-Ola, MarGTU, 2006, 164 p.
19. Bodig J. Linearized deformation at failure a proposed design tool, *Wood science and technologies*, 1979, No. 3, pp. 129-138.
20. Hoadley R. V. Understanding wood a craftsman's guide to wood technology, Hoadley, The taunton press. Lnc, 2000, 280 p.

#### Information on authors

*KOTLOV Vitaliy Gennadevich* – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Professor of the Civil Engineering and Water Supply Department of Volga State University of Technology, Director of the Institute of Construction and Architecture of Volga State University of Technology, Advisor of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Yoshkar-Ola. Research interests – timber connectors, heat and mass transfer. Author of 128 scientific and methodical works, including 1 monograph, 6 learning aids and 8 author's certificates and patents of the Russian Federation and 13 useful model patents. E-mail: isa@volgatech.net, KotlovVG@volgatech.net

*KUZNETSOVA Iuliia Anatolevna* – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Civil Engineering and Water Supply Department, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola. Research interests – modeling of channel processes in hydrosystem tailraces, mathematical modeling in hydrodynamics and ecology. Author of 86 scientific and methodical works, including 5 monographs, 12 learning aids and 1 patent of the Russian Federation. E-mail: KuznetsovaYA@volgatech.net.

#### Библиографическая ссылка

Котлов В. Г., Кузнецова Ю.А. Расчет эффективности использования металлических зубчатых пластин для соединения дощатых ферм // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2019. – № 3(11). – С. 69-80. – DOI:10.25686/2542-114X.2019.3.69