

## СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ УЗЛОВ СОПРЯЖЕНИЯ АРКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ AUTODESK INVENTOR

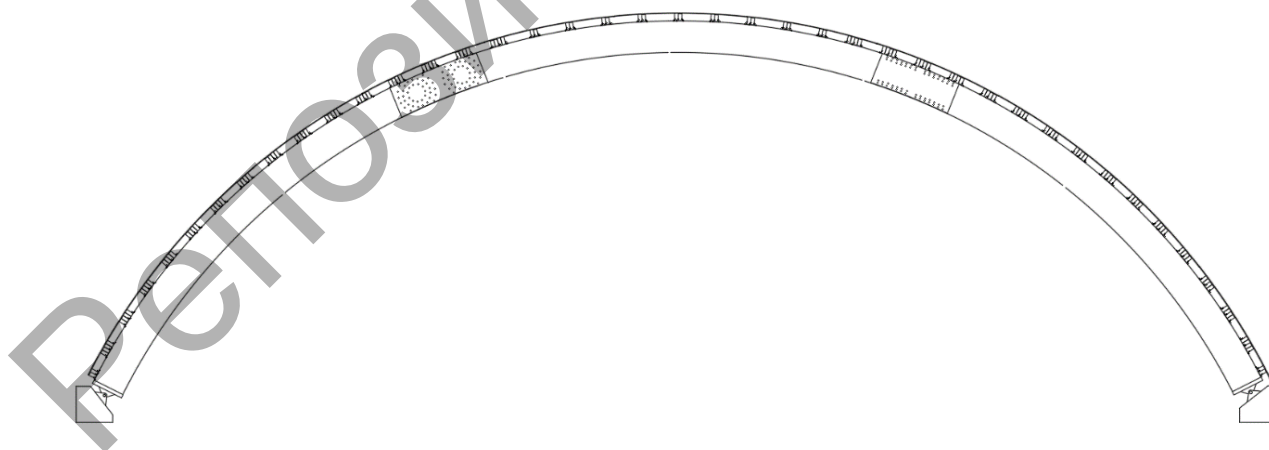
Згировский А. И., Ванюк С. А.

Деревянные клееные арки имеют широкую область применения. Наиболее часто их используют при возведении складов, например, для калийных удобрений, так как древесина слабо подвержена действию агрессивных сред. Однако одной из проблем при возведении арочных конструкций является устройство узловых соединений. Но современные технологии моделирования открывают новые возможности в исследовании данной проблемы. В статье рассмотрены два варианта решения пролетного узлового соединения арок на металлических нагелях, а также проанализирована работа каждого из соединений на примере 3D-модели.

*Ключевые слова:* строительство, древесина, арка, узлы сопряжения, 3D-модель.

Wooden glued arches have a wide range of applications. Most often they are used in the construction of warehouses, for example, for potash fertilizers, as wood is weakly exposed to aggressive environments. However, one of the problems in the construction of arch structures is the design of node connections. But modern modeling technologies open up new opportunities in the study of this problem. Two variants of designing of span joints of the arches on the metal pins are considered in the article, and also the work of each of the connections on the example of the 3D model is analyzed.

*Key words:* construction, wood, arch, junctions, 3D-model.

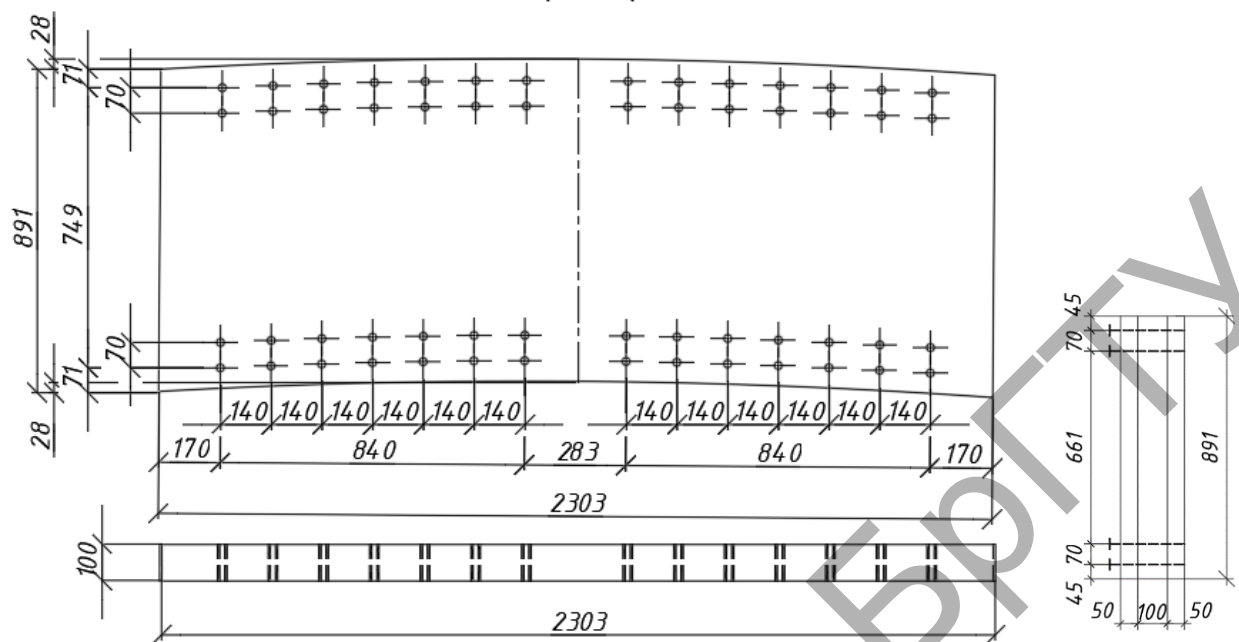


*Рисунок 1 – Расположение узлов в арке*

В качестве основы при моделировании жестких узлов сопряжения принята арка кругового очертания пролетом 39,0 м, сечением 891x100 мм.

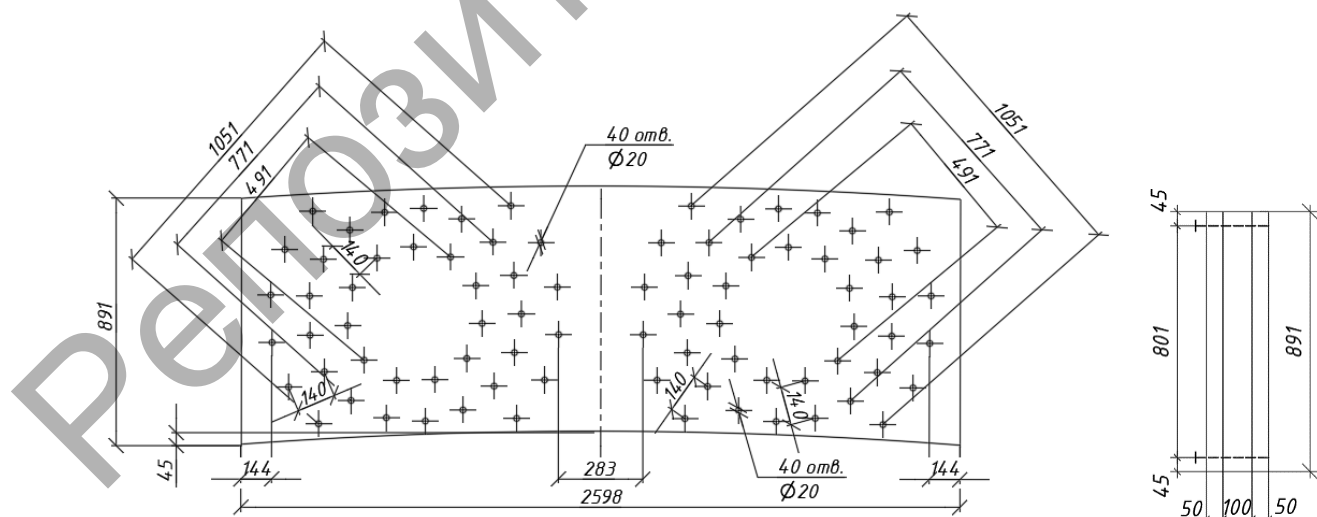
Первый вариант соединения жесткого узла представляет собой 2 части полуарки, соединяемых с помощью двух деревянных накладок и стальных цилиндрических нагелей [3-6]. Нагели расположены симметрично в два ряда относи-

тельно оси арки соответственно сверху и снизу соединения. Диаметр стальных нагелей 20 мм, толщина накладок 100 мм.



**Рисунок 2 – Первый вариант конструирования жесткого узла**

Конструктивно второй вариант соединения жесткого сопряжения представляет собой две части полуарок, соединяемых посредством стальных цилиндрических нагелей и двух деревянных накладок. Нагели расставлены по двум концентрическим окружностям симметрично на левой и правой части полуарок. Для увеличения несущей способности соединения имеются дополнительные нагели, расположенные на концентрических дугах. Диаметр стальных нагелей 20 мм, толщина накладок 100 мм.



**Рисунок 3 – Второй вариант конструирования жесткого узла**

Данные узловые соединения согласно нормативной документации [1] проверяются на смятие древесины среднего и крайних элементов, а также на изгиб нагеля. В узле действуют момент на каждую из полуарок и продольная сила.

Рассмотрим сначала первый вариант. В первом приближении принимаем диаметр нагелей. Расстояние между ними принимаем согласно нормативной документации [1,2]. Так как полуарки состоят из пакета досок, то принимаем расстояния от кромки до нагеля и между нагелями как для элементов, располагаемых поперек волокон. Ориентировочно располагаем нагели в два ряда сверху и снизу накладки.

Разложим момент на пару сил, где первая из сил прикладывается по центру верхних рядов, а вторая соответственно по центру нижних рядов. Усилие, воспринимаемое узлом, определяем по наименьшему из трёх значений: смятию древесины крайних и среднего элементов, а также изгибу нагеля. Тогда окончательно усилие, воспринимаемое одним нагелем, будет равно: наименьшему из трех значений, умноженному на количество площадок среза. Количество нагелей по одну сторону узла вычислим путем деления силы, полученной при разложении момента на пару сил, на окончательное усилие, воспринимаемое одним нагелем. Полученное число округляем в большую сторону кратно двум, так как нагели располагаем в два ряда. Путем сравнения усилий, возникающих в узле и полученных в результате расчета, делаем выводы о несущей способности соединения.

Соответственно из условия размещения нагелей находим длину накладок и конструируем узел, исходя из конструктивных требований.

Для второго варианта также в первом приближении принимаем диаметр нагеля, равный 20 мм. Диаметр окружностей принимаем из требования размещения нагелей – минимального расстояния между нагелями. Диаметр первой окружности соответственно равен разнице высоты полуарки и расстояния поперек волокон от края элемента до нагеля, умноженному на два. Расстояние между нагелями вдоль окружности принимаем как расстояние между нагелями вдоль волокон. Если согласно расчету количества нагелей, расположенных на первой окружности недостаточно, то располагаем их по второй концентрической окружности с диаметром, равным разнице диаметра первой окружности и расстояния между нагелями вдоль волокон. Дальнейшее увеличение окружностей нерационально, так как при увеличении металлоемкости узла, общее усилие, воспринимаемое всеми нагелями окружности, вносит незначительный вклад в обеспечении несущей способности узла. Более рациональным будет размещение дополнительных нагелей по дугам окружности большей, чем первая, на величину, равную расстоянию между нагелями вдоль волокон с левой и правой сторон узла.

Эквивалентный диаметр концентрической окружности определяется как деление суммы произведений диаметра окружности и количества нагелей, находящихся на окружности, на общее количество нагелей на всех окружностях по одну сторону узла. Тогда усилие, которое должны воспринять нагели, находим из разложения момента на пару сил. Для окружности усилие, воспринимаемое одним нагелем, равно частному удвоенного момента в узле на произведение эквивалентного диаметра окружности и общего количества нагелей по одну сторону соединения. Для нашего соединения усилие, воспринимаемое узлом, вычисляется по наименьшему из трёх значений: смятию древесины крайних и

среднего элементов, а также изгибу нагеля. Тогда окончательно усилие, воспринимаемое одним нагелем, будет равно: наименьшему из трех значений, умноженному на количество площадок среза. Количество нагелей по одну сторону узла вычисляем путем деления силы, полученной при разложении момента на пару сил, на окончательное усилие, воспринимаемое одним нагелем. Путем сравнения усилий, возникающих в узле и полученных в результате расчета, делаем выводы о несущей способности соединения.

Соответственно из условия размещения нагелей находим длину накладок и конструируем узел.

В результате расчета недонапряжения в обоих вариантах узлов не превышают 10%.

В связи с тем, что вычисление прогибов полуарок и деформаций нагелей в результате действия нагрузки достаточно трудные и громоздкие, то в данном случае использование 3D-модели более целесообразно, так как позволяет уменьшить время расчета и получить более точный результат. 3D-модель составляем на основе имеющихся данных о расчете и конструировании узла. Особенностью составления модели в Autodesk Inventor является разбиение процесса расчета на составляющие.

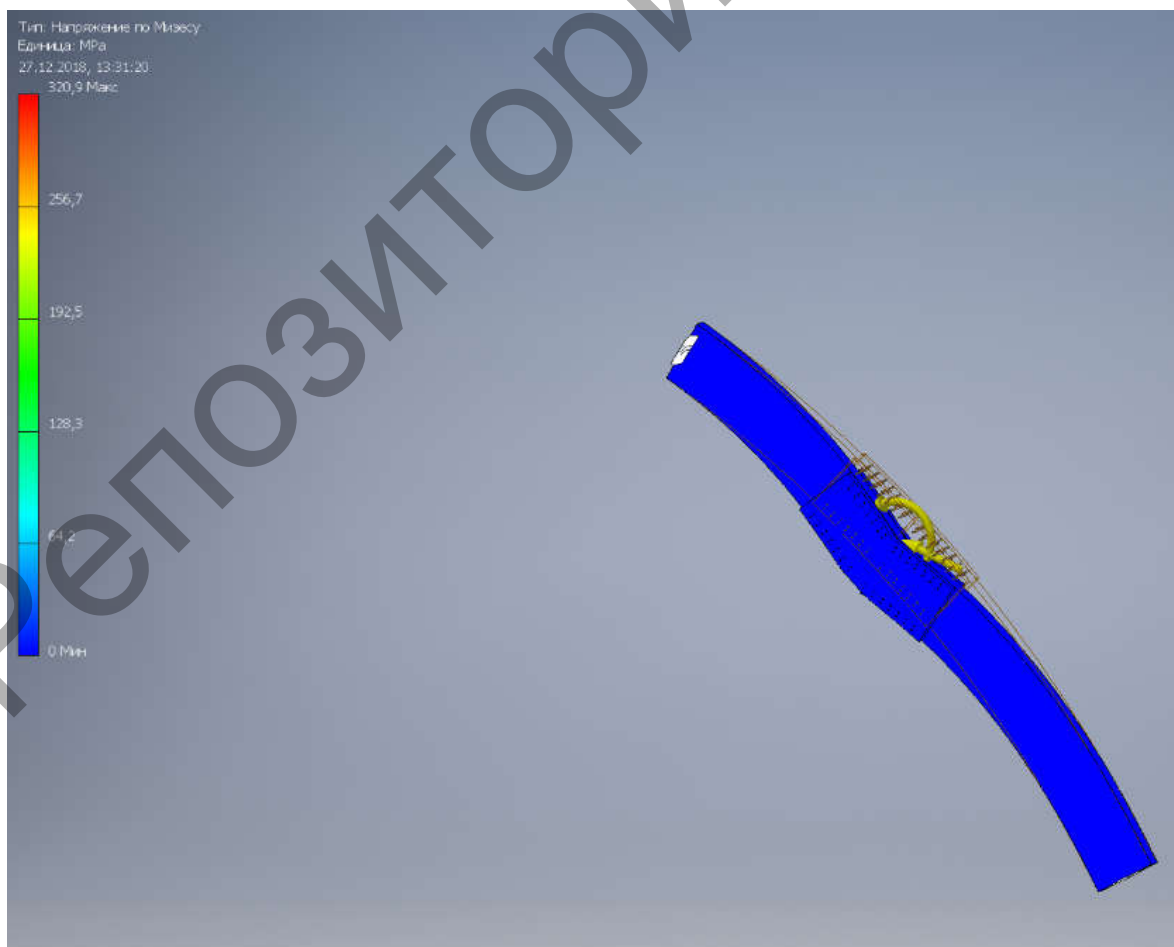
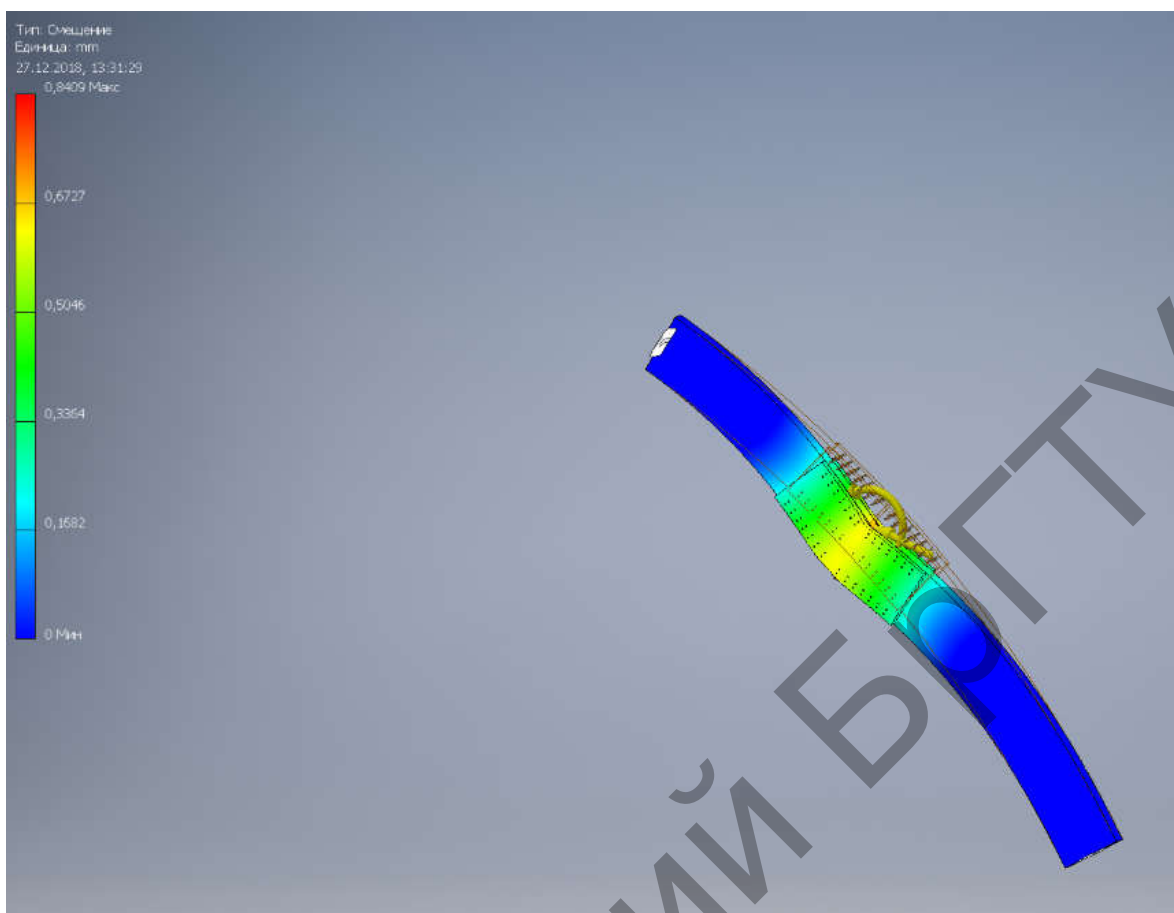
В-первую очередь моделируются отдельные детали сборки, а затем происходит сама сборка узла. Это является более удобным вариантом по сравнению с другими программами, так как при наличии большого количества деталей изменение исходной детали приведет к изменению всех этих деталей в сборке. Также узел автоматически перерисовывается, что не требует конструирования узла заново. При конструировании модели следует также учесть наличие контактов между поверхностями: древесина-древесина и древесина-металл. Autodesk Inventor позволяет выполнять автоматическое генерирование контактов, что сокращает время расчета, так как нет необходимости задавать их вручную. Желательно задать свойства материала непосредственно при моделировании самой детали, так как при составлении сборки не нужно отдельно задавать свойства каждому элементу.

После конструирования узла переходим к его расчету: задаем закрепления и прикладываем нагрузку. После процесса расчета сравниваем результаты двух вариантов узлов.

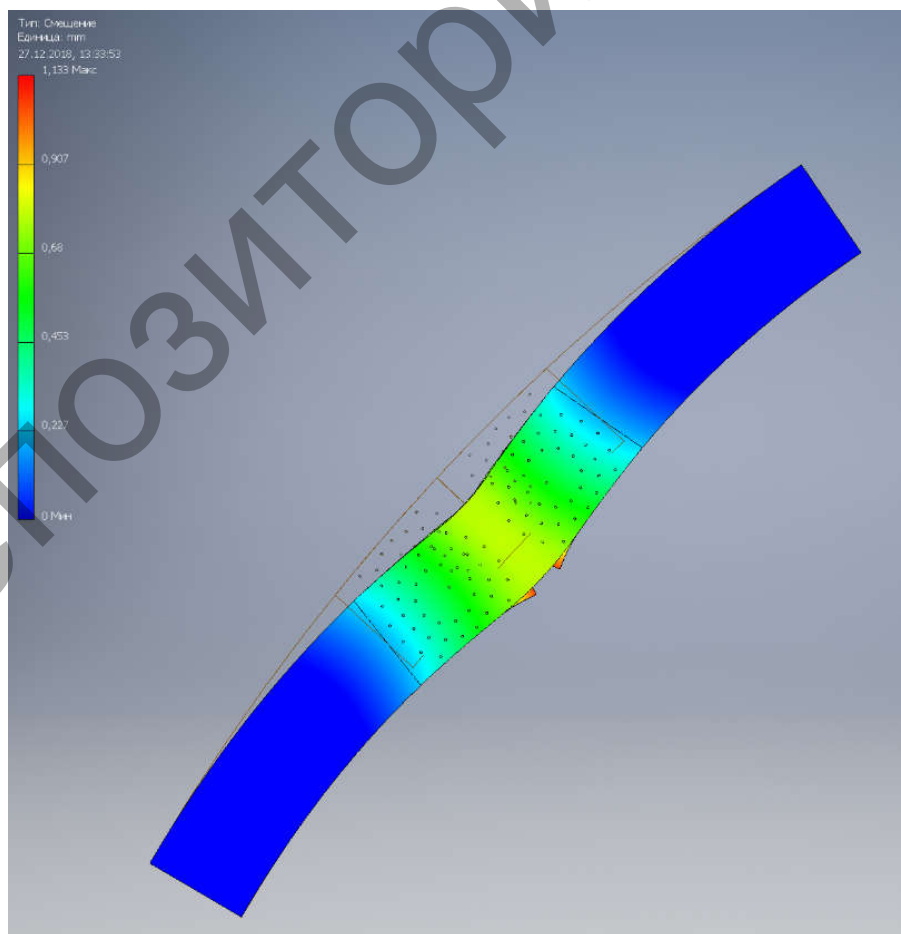
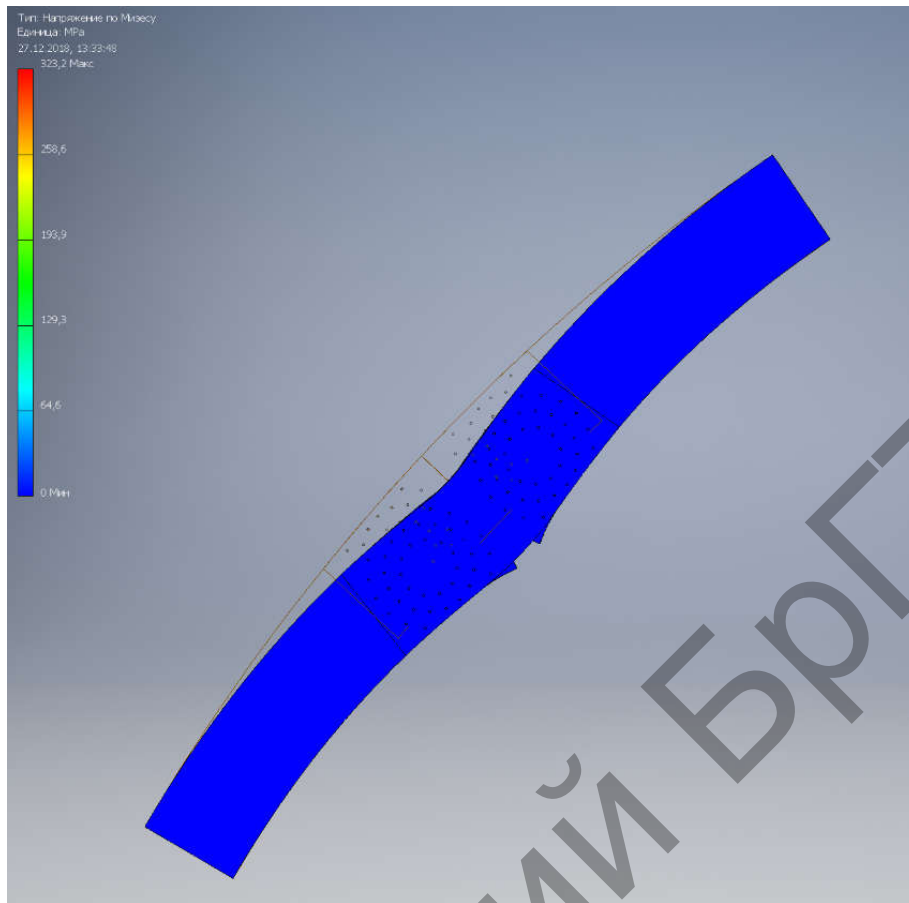
При задании одинаковых параметров к двум видам узлов получается, что для первого узла количество нагелей на 40% больше, чем для второго. Это связано с тем, что в первом соединении часть нагелей располагается достаточно близко к нейтральной оси узла, поэтому усилия в них меньше, чем усилия, возникающие в нагелях, находящихся на достаточном удалении от нейтральной оси.

Смещение узла при моделировании для первого варианта на 35% больше, чем для второго. Но так как значения смещений достаточно маленькие (порядка 1 мм), то этот параметр можно не учитывать при принятии целесообразности использования одного из узлов.

Анализ напряженно-деформированного состояния узлов показал, что напряжения в нагелях для первого варианта на 15 % больше, чем для второго.



*Рисунок 4 – Деформированное состояние и напряжения в первом узле*



*Рисунок 5 – Деформированное состояние и напряжения во втором узле*

## **Выводы**

1. Более экономичным является второй узел по сравнению с первым. Это выражается в первую очередь меньшей металлоемкостью, так как количество нагелей меньше для второго варианта. Во-вторых, меньшей трудоемкостью в устройстве, потому что проще устроить отверстия, находящиеся на одной линии, чем для окружности. В-третьих, в элементах второго узла возникают меньшие напряжения, чем в элементах первого.

2. Первый узел является архитектурно выразительным, поэтому его можно использовать при возведении зданий для культурно-массовых и зрелищных мероприятий и спортивных сооружений, так как он может лучше вписаться в эстетичный вид сооружения.

## **Список цитированных источников**

1. Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-5.05-146-2009 / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск: РУП «Минсктиппроект», 2009. – 63 с.

2. Деревянные конструкции. Правила расчета: ТКП 45-5.05-275-2012 / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск: РУП «Минсктиппроект» 2012. – 111 с.

3. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП П-25-80) / ЦНИИСК им. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1986. – 216 с.

4. Фомичев, В.Ф. «Методические указания по расчету и конструированию узловых соединений по курсу «Конструкции из дерева и пластмасс» / В.Ф. Фомичев, В.В. Саяпин, А.В. Оковитый, В.А. Иванов. БГПА – Минск: 1993. – 63 с.

5. Кормаков, Л.И. Проектирование клееных деревянных конструкций / Л.И. Кормаков, А.Ю. Валентинавичюс. – Киев: Будивельник. – 1983. – 152 с.

6. Проектирование деревянных конструкций: учебное пособие / Е.Н. Серов, Ю.Д. Санников, А.Е. Серов; под ред. Е.Н. Серова. – М.: Издательство АСВ, 2011. – 536 с.

УДК 69.04+624.151.5:519.673

## **ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ДИНАМИЧЕСКОГО УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА SIMULIA ABAQUS**

Клебанюк Д. Н., Пойта П. С., Шведовский П. В.

**Введение.** Интенсивное ударное уплотнение грунтов основано на использовании энергии ударных воздействий, прикладываемых к поверхности грунтового массива сбрасыванием трамбовок массой от 7,0 до 200,0 тс с высоты 10,0...40,0 м. При этом глубина уплотняемой толщи может достигать от двух-трех до нескольких десятков метров. Таким способом могут быть уплотнены многие материалы – от гравийно-галечниковой массы, каменной наброски и строительного мусора до иловатых глин и торфов.

Можно выделить два основных метода интенсивного глубинного уплотнения: метод ударного разрушения и метод динамической консолидации [1, 2].

Метод ударного разрушения применим для различных видов грунтов с относительно небольшим водонасыщением. Уплотнение происходит под воздействием передающейся на поверхность массива энергии удара, обуславливающим взаимное перемещение частиц грунта. При этом в зависимости от вида и