

РАСЧЕТ РЕБРИСТО-КОЛЬЦЕВОГО КУПОЛА ИЗ ЛЕГКИХ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Бочарова Н. В., Самута М. В.

*Брестский государственный технический университет
г. Брест, Республика Беларусь*

Конструкции, выполненные из легких стальных тонкостенных профилей, получили широкое применение в несущих элементах зданий и сооружений различного назначения, так как их использование позволяет значительно уменьшить расход стали в сравнении со стандартными решениями. Инженерный расчет будет основываться на точном подходе – объемном моделировании конструкции купола. Ребристо-кольцевые купола образуются системой меридиональных и кольцевых ребер.

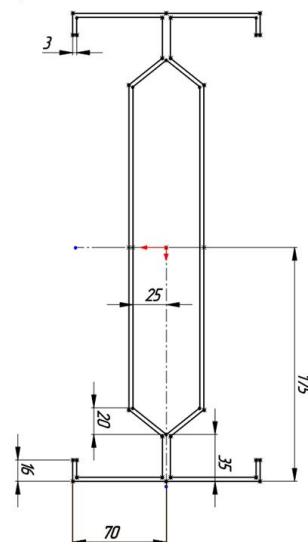
Объектом исследования является ребристо-кольцевой купол, размерами ($R = 6,07\text{м}$; $r = 0,5\text{м}$), с заданными конструктивными особенностями (рисунок 1), которые используется в современном строительстве в основном для перекрытия больших пролетов с целью уменьшения расхода применяемых материалов.

Цель работы – изучение современных и технологичных методов проектирования конструкций, оценка несущей способности конструкции (ребристо-кольцевого купола) в целом и ее элементов, используя системы инженерного анализа и компьютерное моделирование.

а)



б)



*а – твердотельная параметрическая модель купола,
б – эскиз поперечного сечения профиля несущего ребра*
Рисунок 1 – Ребристо-кольцевой купол

Моделируя конструкцию как твердое тело, можно более точно получить результат поведения сооружения под заданными нагрузками и выявить опасные места пространственной стержневой системы, где прогнозируется разрушение

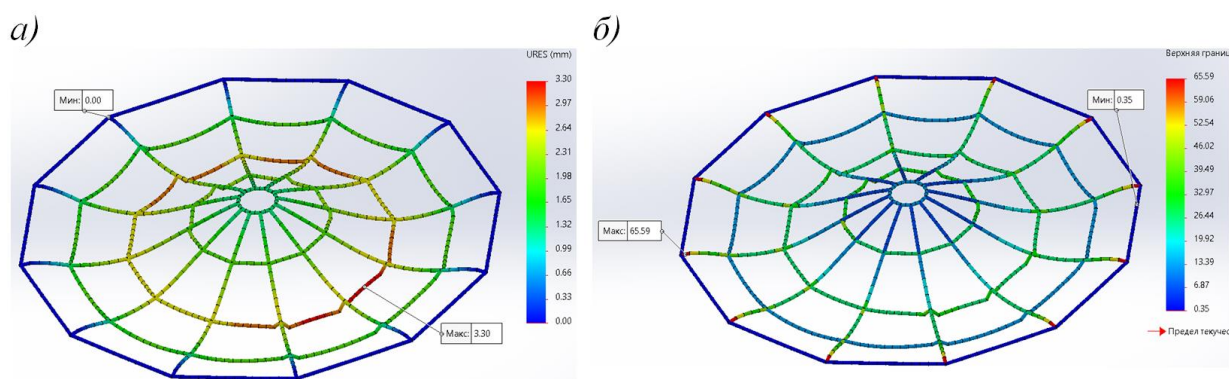
конструкции по материалу. Создание стержневой системы начинали с создания эскиза профилей для элементов конструкции. Сечение лучей выполняем из двух спаренных профилей, характеристики сечения взяты с сортамента тонкостенных элементов [1], эскиз профиля представлен на рисунке 1б. Между несущими ребрами есть промежуточные элементы, выполненные из одиночных профилей 140x3.2 мм. Опорное кольцо выполнено из труб прямоугольного сечения 160x80x5 мм ГОСТ 30245-2003, данное кольцо воспринимает максимальную нагрузку. Используя инструменты построения эскизов в *SolidWorks*: «3D-эскиз», «12-тиугольник», «автоматическое нанесение размеров», «вспомогательная плоскость», «круговой массив», по нужным размерам выполнили эскизы параметрической модели ребристо-кольцевого купола [2].

Далее с помощью функции «Конструкция» получили твердотельную параметрическую модель купола, которую выполнили с помощью разработанной автором базы стальных тонкостенных холодноформованных профилей типа «Σ» и стандартного прямоугольного профиля.

Для расчета на прочность в *Simulation* необходимо последовательное выполнение основных шагов – алгоритм статического расчета [3]:

- задается материал деталей профиля купола – «оцинкованная сталь»;
- определяются виды и места креплений купола (наложение связей на расчетную схему) – это узловые точки опорного кольца (рисунок 2);
- прикладывается внешняя нагрузка в узлы стержневой системы, которая была собрана по ТКП EN;

– рассчитывается сетка для исследования. Создание сетки зависит от активных параметров формирования сетки, в зависимости от того как твердое тело учитывается в расчете: «Балка» или «Стержень». Для твердотельного моделирования нужно устанавливать определение для элементов – «Балка». Результаты статического расчета представлены на рисунках 2, 3.



а) – эпюра перемещений ($max = 3,3$ мм), б) – эпюра напряжений ($max = 65,69$ МПа)

Рисунок 2 – Результаты расчетного модуля

В результате расчета получаем эпюру коэффициента запаса прочности (FOS), представленную на рисунке 3, по эпюре определили места, где есть запас и слабые места конструкции – нижний опорный узел.

Коэффициент запаса прочности – величина, показывающая способность конструкции выдерживать прилагаемые к ней нагрузки выше расчетных. Нали-

чие запаса прочности обеспечивает дополнительную надежность конструкции, чтобы избежать повреждений и разрушения в случае возможных ошибок проектирования, изготовления или эксплуатации. Строгих методов для выбора допустимых коэффициентов запаса не существует, поскольку коэффициент является мерой незнания всех факторов, влияющих на работу конструкции. Выбор производится на основе опыта эксплуатации аналогичных конструкций. В каждой отрасли промышленности существуют собственные нормативы, определяющие допустимые коэффициенты запаса. Наименьшие коэффициенты используются в аэрокосмической отрасли, в силу жестких требований к весу конструкции. Очень большие запасы (порядка 4...6) используются для грузоподъемного оборудования, в особенности для перевозящего людей (для троса пассажирского лифта коэффициент достигает 10).

Для расчета запаса прочности используется критерий максимального напряжения по Мизесу. Этот критерий точно определяет, что пластичный материал начинает растягиваться, когда эквивалентное напряжение (по Мизесу) достигает предела текучести материала.

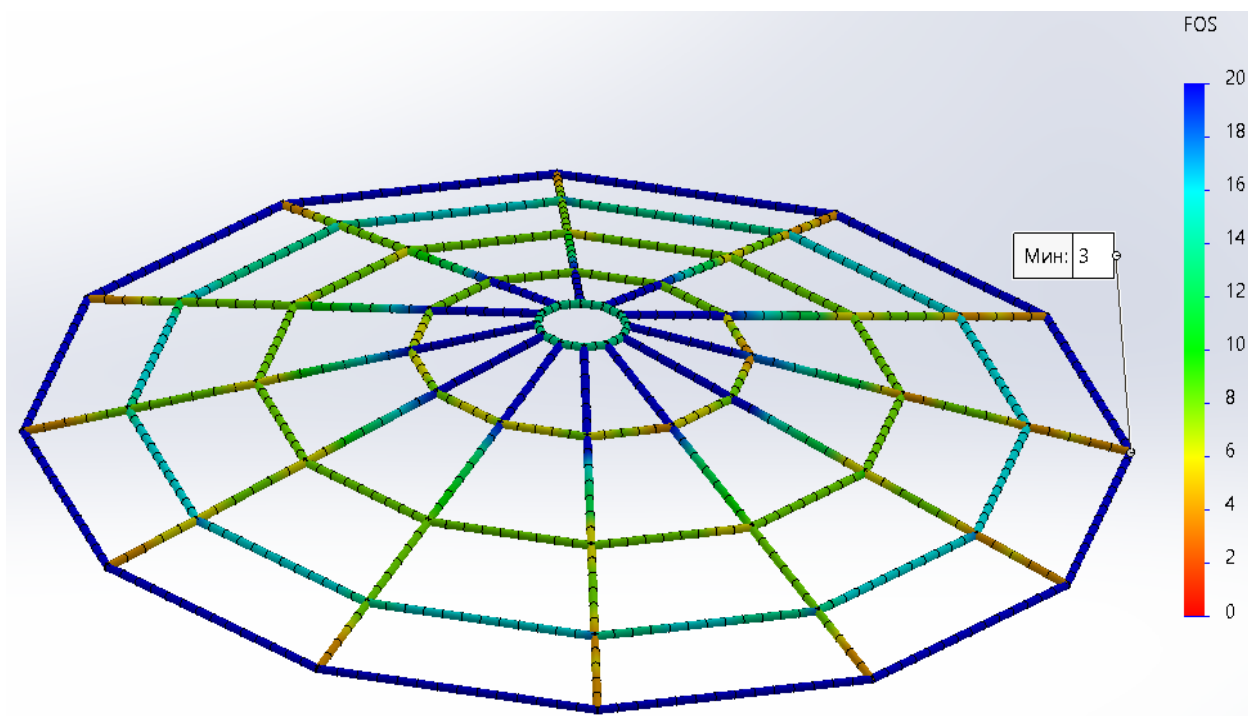
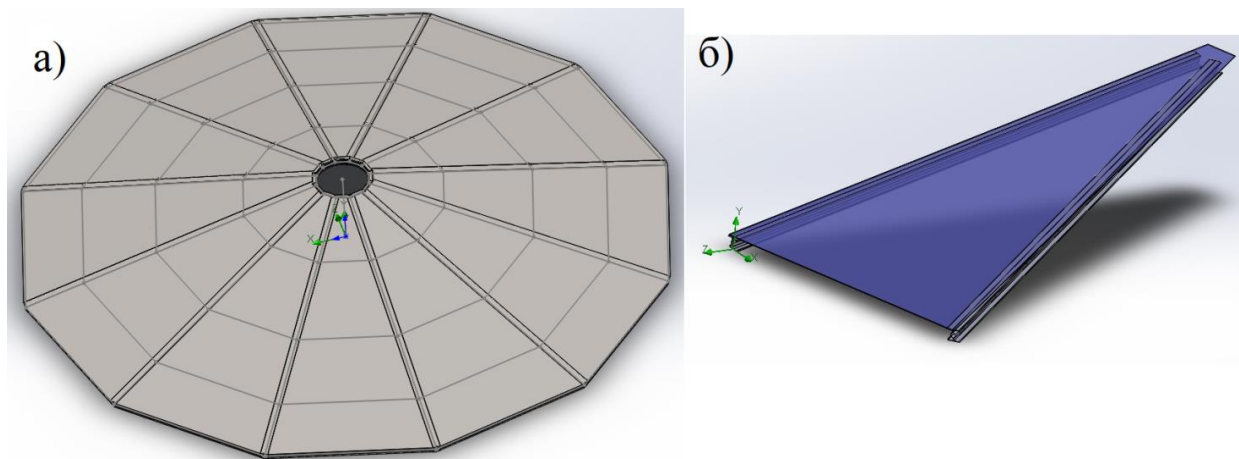


Рисунок 3 – Эпюра запаса прочности ($\max = 3$)

Для задания ветровой нагрузки использовался модуль *FlowSimulation* – это инструмент численного моделирования, основанный на методе конечных объемов. Сеточный алгоритм *FlowSimulation* обладает свойством адаптивности, согласовывая сетку с формой тел, поверхностей раздела, проходных сечений, а также позволяя автоматически перестраивать ее в процессе расчета. Возможности *FlowSimulation*, например, использование рассчитанных усилий и температур в качестве граничных условий в прочностном анализе *Simulation* позволяют более точно задать внешние нагрузки [4]. Для моделирования ветрового воздействия необходимо обшить систему плоским листом (рисунок 4).



а) – весь купол, б) – клинообразный элемент покрытия
Рисунок 4 – Ребристо-кольцевой купол с покрытием

Для расчета на ветровое воздействие стержневой системы в модуле *FlowSimulation* необходимо последовательное выполнение основных шагов:

- выбирается тип задачи для проекта – «Внешняя»;
- задается среда для анализа потока – воздух («Air»);
- начальные условия: скорость ветра (30м/с), давление (101325Па, температура 293,2К);
- устанавливается глобальная цель – «Определить полное максимальное давление».

Решение задачи – определить полное максимальное давление на обшитые грани купола от ветрового воздействия.

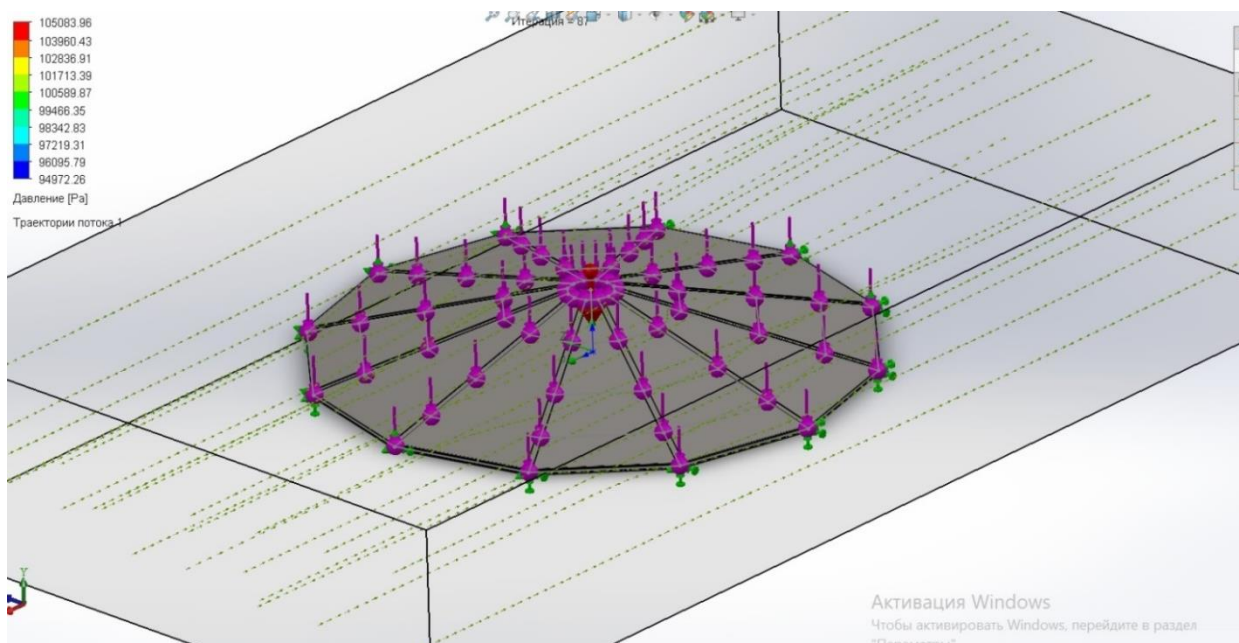


Рисунок 5 – Визуализация ветрового воздействия на купол

Результаты расчета модуля *FlowSimulation* – давление от потока воздуха (рисунок 5, 6), которые для дальнейшего расчета (как внешняя нагрузка) экс-

портируются в среду *Simulation* для определения несущей способности конструкции от ветрового воздействия, что позволяет получить напряженно-деформированное состояние конструкции при действии ветра в любом направлении в автоматическом режиме сразу на всю конструкцию. Эпюра перемещений для клинообразного элемента представлена на рисунке 7.

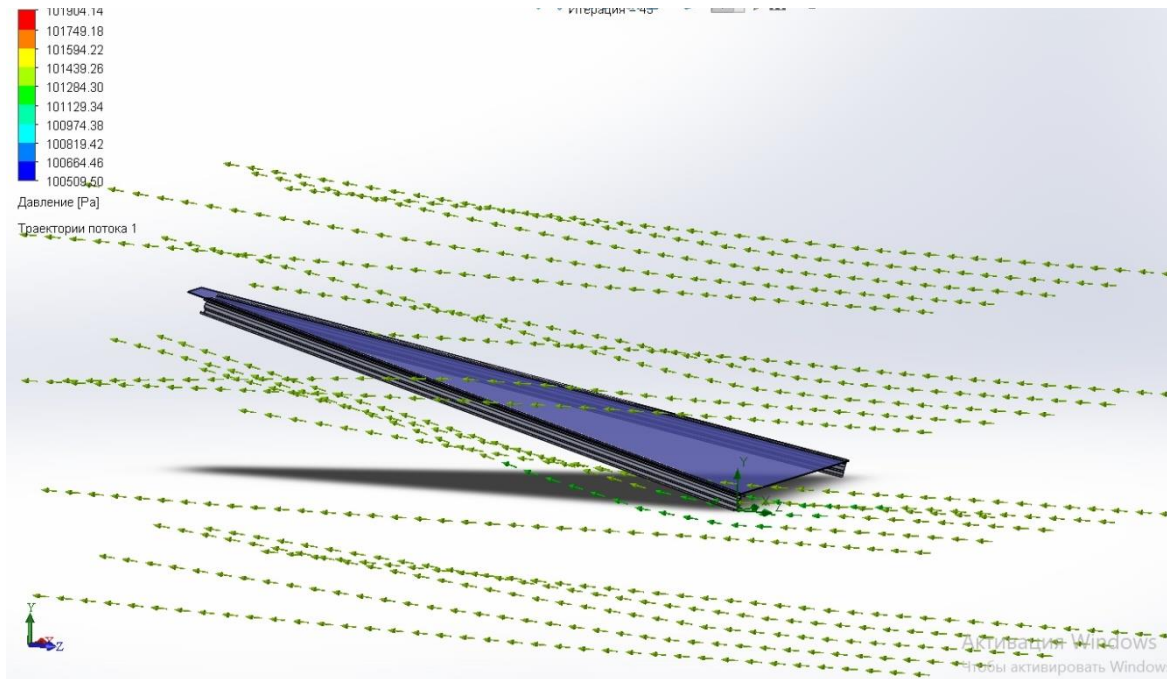


Рисунок 6 – Визуализация ветрового воздействия на элемент

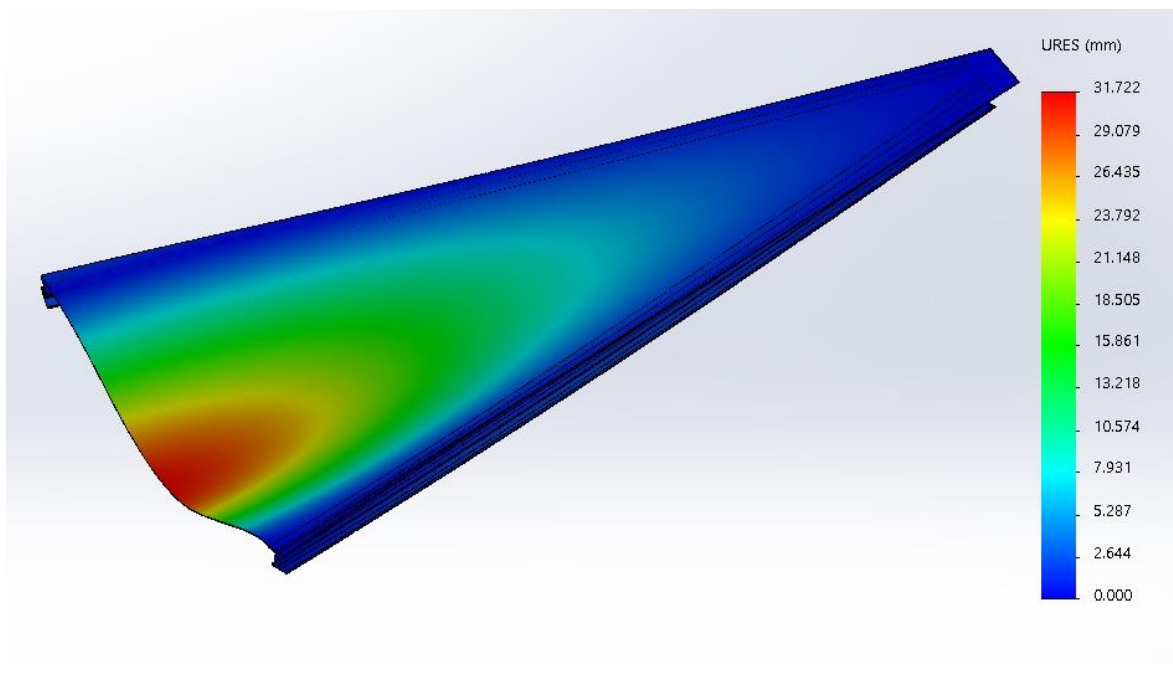


Рисунок 7 – Эпюра перемещений (max = 31,722 мм)

Для инженера нужно получить проектную документацию, которая получается в автоматическом режиме. Параметрическое моделирование конструкций

позволяет подбирать разные варианты конструктивных решений, не затрачивая время на создание чертежей, так как при изменении модели будет меняться и спецификация, и весь чертеж, что существенно экономит время инженера-проектировщика и минимизирует математические ошибки в спецификации. А также при проектировании похожей конструкции необходимо лишь изменить модель и вся проектная документация будет подготовлена в кратчайшие сроки, чертеж и спецификация (рисунок 8).

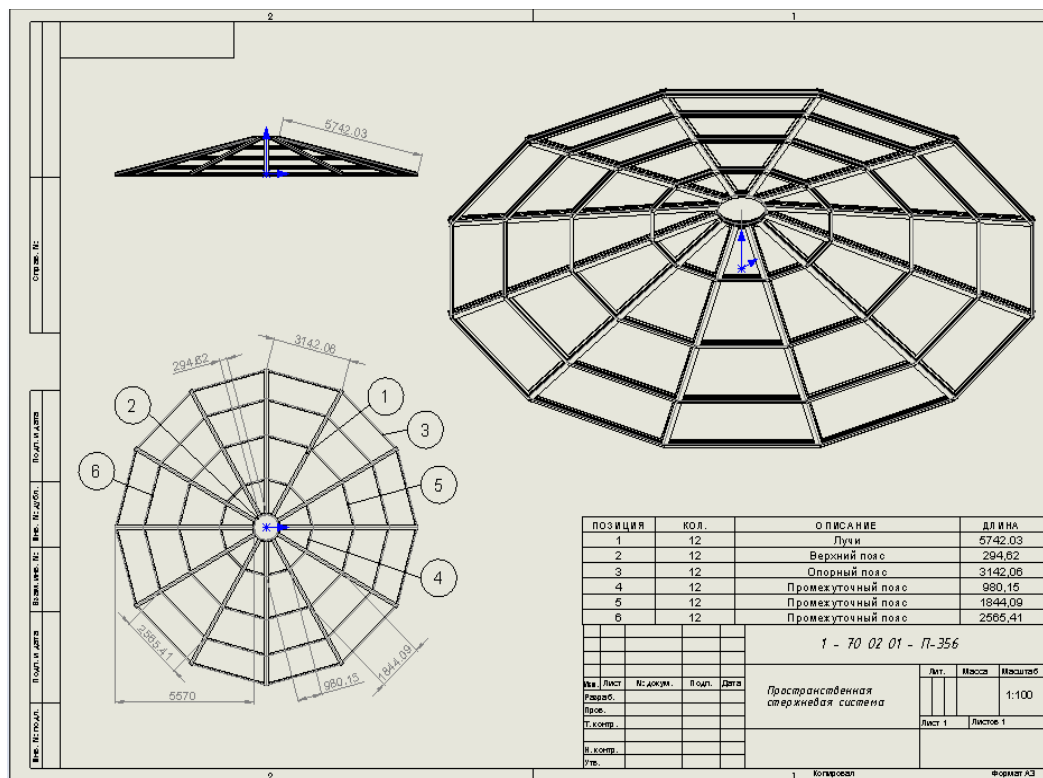


Рисунок 8 – Чертеж и спецификация купола

В ходе проведения данной исследовательской работы выполнена оценка несущей способности пространственной стержневой системы из оцинкованной стали, используя среду *SolidWorks*, реализована методика проектирования в модулях *Simulation*, *FlowSimulation*, Рассчитаны коэффициент запаса прочности, напряжение и перемещение для ребристо-кольцевого купола и клинообразного элемента, получен чертеж и спецификация для купола.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сортамент холодноформованных профилей для легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) производителей Украины. – Киев : Украинский Центр Стального Строительства, 2016. – 31 с.
2. Зиновьев, Д. В. Основы моделирования в *SolidWorks* / Д. В. Зиновьев. – М. : ДМК Пресс, 2017. – 240 с.
3. Лукинских, С. В. Компьютерное моделирование и инженерный анализ в конструкторско-технологической подготовке производства : учебное пособие / С. В. Лукинских ; М-во науки и высш. обр. РФ. – Екатеринбург : Изд-во Урал.ун-та, 2020. — 168 с.

УДК 621.785

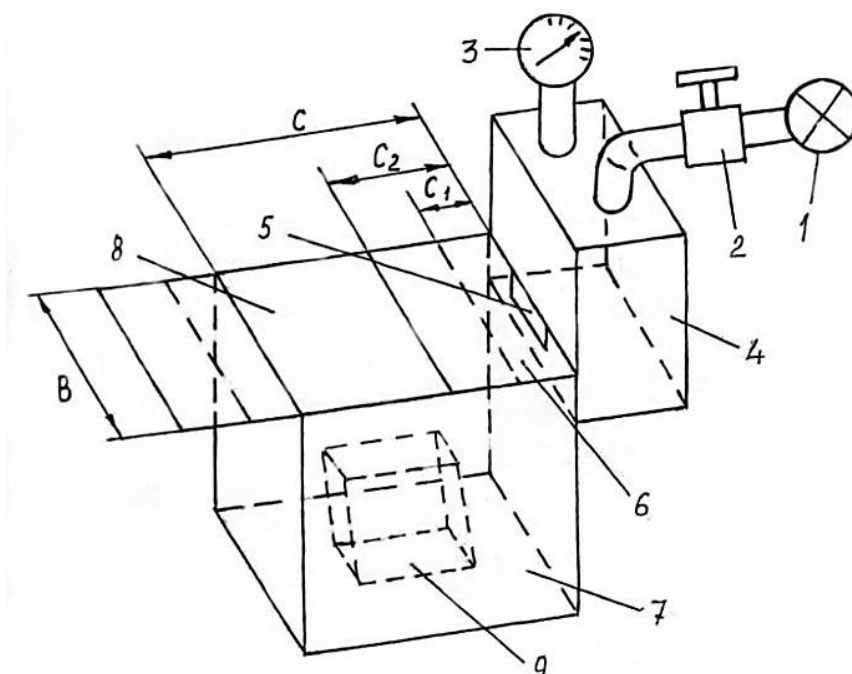
МЕТОДОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ИНСТРУМЕНТА ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ АЭРОДИНАМИЧЕСКИМ ЗВУКОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

Горавский¹ И. А., Жигалов^{1,2} А. Н., Дерман¹ Е. А.

*1) Барановичский государственный университет,
г. Барановичи, Республика Беларусь*

*2) Институт технологии металлов НАН Беларуси,
г. Могилев, Республика Беларусь*

Принципиальные особенности процесса аэродинамического звукового воздействия можно объяснить на следующей схеме установки для аэродинамического звукового воздействия (рисунок 1). Установка является разновидностью объемного резонатора, представляет собой замкнутый прямоугольный контур, где параллельные более длинные стороны выполнены из металлических листов, способных по своим параметрам осуществлять колебательные движения, в отличие от боковых сторон, выполненных более жесткими.



1 – источник генерации воздуха, 2 – регулирующий вентиль, 3 – манометр,

4 – камера сглаживания пульсации воздуха, 5 – целевое сопло,

6 – выходной канал, 7 – резонансная камера,

8 – регулирующая заслонка, 9 – упрочняемые изделия [1]

Рисунок 1 – Схема установки для аэродинамического звукового воздействия