

УДК 62-21

**СОЗДАНИЕ И ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ
КОНСТРУКЦИИ КРЕПЛЕНИЯ
СОЛНЕЧНОГО МОДУЛЯ ФСМ 200П
В СИСТЕМЕ КОМПАС 3D.***И. Д. Кукаркин, К. А. Тимолянов*

Донской государственной технической
университет, Ростов-на-Дону,
Российская Федерация
ilya.kukarkin@yandex.ru
ka300790@gmail.com

Предложен вариант конструкции крепления солнечной батареи ФСМ-200П к фасаду главного корпуса ДГТУ. Приведены формулы и расчеты нагрузок, возникающих в процессе эксплуатации солнечного модуля, а также прочностной расчет предложенной конструкции крепления.

Ключевые слова: солнечная батарея ФСМ-200П, конструкция крепления, расчет нагрузок, расчет на прочность.

Введение. В современном мире активно развиваются технологии, помогающие использовать альтернативные источники энергии. Устройством, помогающим использовать солнечную энергию, является солнечная электростанция. Получение энергии с помощью солнечной электростанции является экологически чистым. Кроме того, получение дополнительной энергии позволяет сократить финансовые расходы на электроэнергию. Этим объясняется популярность солнечных радиостанций во многих сферах — промышленной, муниципальной, частной.

Для установки солнечного модуля необходима конструкция, которая обеспечит надежное закрепление с учетом климатических условий. Существует множество вариантов исполнения таких приспособлений, но многие из них имеют недостатки — сложность изготовления, большая стоимость.

Основная часть. Для устранения вышеуказанных недостатков было принято решение разработать бюджетный вариант крепления солнечной батареи, отвечающий прочностным характеристикам в выбранной климатической зоне (г. Ростов-на-Дону). В качестве солнечной панели был использован солнечный модуль ФСМ-200П, обладающий пиковой мощностью 200Вт при напряжении 24В. Габаритные размеры установки — 1324x992x45мм, вес — 19,5 кг.

При проектировании данной конструкции необходимо учитывать нагрузки, возникающие из-за погодных условий. Расчет был выполнен в соответствии с СНиП 2.01.07–85 для снеговой, ветровой и гололедной нагрузок.

UDC 62-21

**CREATION AND STRENGTH
CALCULATION OF FSM 200P SOLAR
MODULE STRUCTURE MOUNTING IN
KOMPAS 3D CAD SYSTEM.***I. D. Kukarkin, K. A. Timolyanov*

Don State Technical University, Rostov-on-Don,
Russian Federation

ilya.kukarkin@yandex.ru
ka300790@gmail.com

This article proposes a FSM-200P solar battery structure mounting to the front of the Don State Technical University main building. The paper provides formulas and load calculations that arise during the operation of the solar module, as well as the strength calculation of the proposed mounting structure.

Keywords: FSM-200P solar battery, mounting structure, load calculation, strength calculation.

Снеговая нагрузка

Полная нормативная масса снега m определяется по формуле:

$$m = m_0 \cdot \mu,$$

где m_0 — масса снегового покрова на 1 м^2 горизонтальной поверхности земли (по справочным данным для Ростовской области $m_0 = 120 \text{ кг}[1]$),

μ — коэффициент перехода от массы снега на горизонтальной поверхности к массе снега на наклонную поверхность (по данным приложения СНиП [1], для угла уклона 25–60 градусов $\mu=0,7$). Масса снега на 1 м^2 : $m=120 \text{ (кг/м}^2) \cdot 0,7 = 84 \text{ (кг/м}^2)$

Найдем полную массу снегового покрова M , находящегося на поверхности солнечного модуля:

$$M = m \cdot S,$$

где S — площадь модуля ФСМ-200П (м^2).

$$M = 84 \text{ (кг/м}^2) \cdot 1324 \text{ (мм)} \cdot 992 \text{ (мм)} \cdot 10^{-6} = 106,4 \text{ (кг)}$$

Затем определим силу $F_{\text{снег}}$ с которой снеговой покров действует на модуль (вес):

$$F_{\text{снег}} = M \cdot g,$$

$$F_{\text{снег}} = 106,4 \text{ (кг)} \cdot 9,81 \text{ (м/с}^2) = 1042,7 \text{ (Н)},$$

где g — ускорение свободного падения (м/с^2).

Ветровая нагрузка

Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки ω (Па) на высоте z над поверхностью земли определяется по формуле:

$$\omega = \omega_0 \cdot k \cdot c,$$

где ω_0 — нормативное значение ветрового давления (п. 6.4 Строительных норм и правил (СНиП), для Ростова-на-Дону $\omega_0 = 0,38 \text{ кПа [1]}$).

k — коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте (п. 6.5 СНиП, для высоты 15м городской местности $k=0,75 [1]$).

c — аэродинамический коэффициент (п. 6.6 СНиП, $C=2 [1]$).

$$\omega = 0,38 \cdot 10^3 \text{ (Па)} \cdot 0,75 \cdot 2 = 570 \text{ (Па)}.$$

Полная ветровая нагрузка $F_{\text{ветр}}$ на солнечный модуль определяется по формуле:

$$F_{\text{ветр}} = \omega \cdot S,$$

$$F_{\text{ветр}} = 570 \text{ (Па)} \cdot 1324 \text{ (мм)} \cdot 992 \text{ (мм)} \cdot 10^{-6} = 748,4 \text{ (Н)}.$$

Гололедная нагрузка

Нормативное значение поверхностной гололедной нагрузки i (Па) будет определено:

$$i = b \cdot k \cdot \mu_2 \cdot q \cdot g,$$

где b — толщина стенки льда на элементах круглого сечения диаметром 10 мм, расположенного на высоте 10 м (п. 7.2 СНиП $b=10$ мм [1]).

k — коэффициент, учитывающий изменение толщины стенки льда по высоте (п. 7.2 СНиП, в соответствии с таблицей 13 принимаем $k=1,1$ [1])

μ_2 — коэффициент, учитывающий отношение площади поверхности элемента подверженной обледенению к полной площади поверхности элемента (в соответствии со СНиП [1] $\mu_2=0,6$)

q — плотность льда (принимаем $q=900$ кг/м³)

g — ускорение свободного падения ($g=9,8$ м/с²).

$$i = 10 \text{ (мм)} \cdot 1,1 \cdot 0,6 \cdot 900 \text{ (кг/м}^3\text{)} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 = 58,212 \text{ (Па)}.$$

Чтобы найти значение силы гололедной нагрузки $F_{\text{гололед}}$ (Н), нужно умножить нормативное значение поверхностной гололедной нагрузки на площадь поверхности, на которую он будет действовать:

$$F_{\text{гололед}} = i \cdot S,$$

$$F_{\text{гололед}} = 58,212 \text{ (Па)} \cdot 1324 \text{ (мм)} \cdot 992 \text{ (мм)} \cdot 10^{-6} = 76,46 \text{ (Н)}.$$

После нахождения сил атмосферных нагрузок находим суммарное значение силы F (Н), действующей на крепление модуля.

$$F = F_{\text{снег}} + F_{\text{ветр}} + F_{\text{гололед}} + F_{\text{тяж}},$$

где $F_{\text{тяж}}$ — сила тяжести модуля ФСМ-200П.

$$F = 1042,7 \text{ (Н)} + 748,4 \text{ (Н)} + 76,46 \text{ (Н)} + 16 \text{ (кг)} \cdot 9,8 \text{ (м/с}^2\text{)} = 2024 \text{ (Н)}$$

Прочностной расчет в системе АРМ FEM Компас v16

Для проведения расчета была построена модель конструкции крепления в системе Компас 3D (рис.1).

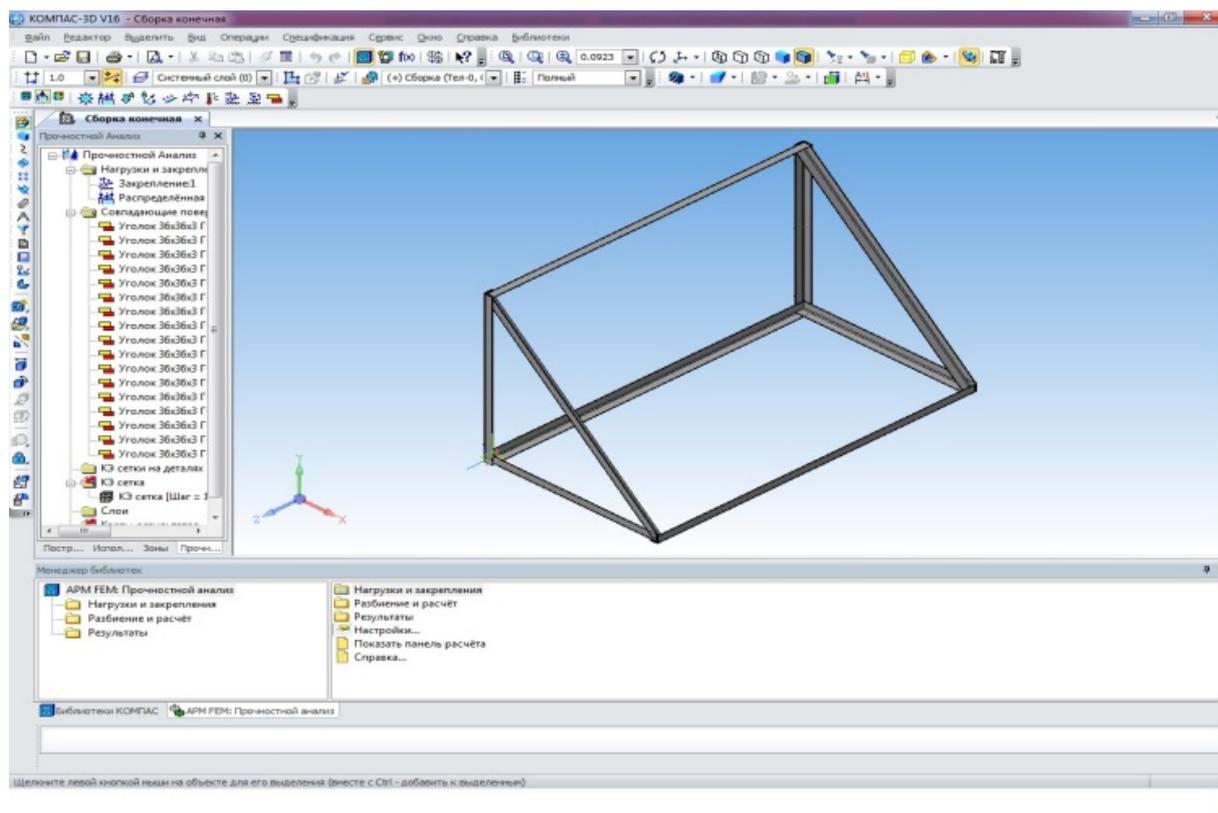


Рис.1. Исходная модель крепления

В качестве материала были использованы стальные равнополочные уголки 36х36х3 (мм) по ГОСТ 19771–93. Уголки были соединены с помощью винтовых соединений. В системе Компас 3D был выполнен статистический расчет, расчет на устойчивость и на собственные частоты с помощью библиотеки прочностного конечно-элементного анализа АРМ FEM, опираясь на ранее рассчитанные значения силы $F(H)$, действующей на крепление модуля. Были получены следующие результаты (Табл. 1).

Таблица 1

Инерционные характеристики модели

Наименование	Значение
Масса модели [кг]	13,370854
Центр тяжести модели [м]	(0,256768 ; 0,260018 ; -0,642402)
Абсолютное значение реакции [Н]	2024,600016
Абсолютное значение момента [Н·м]	268,108364

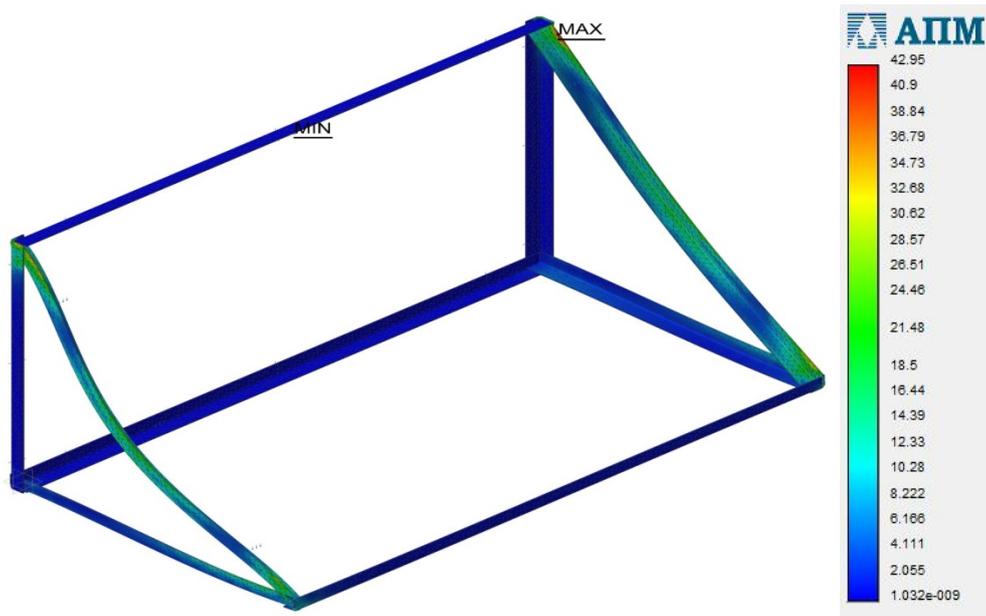


Рис. 2. Эквивалентное напряжение по Мизесу.
Максимальное SVM=42.95Мпа

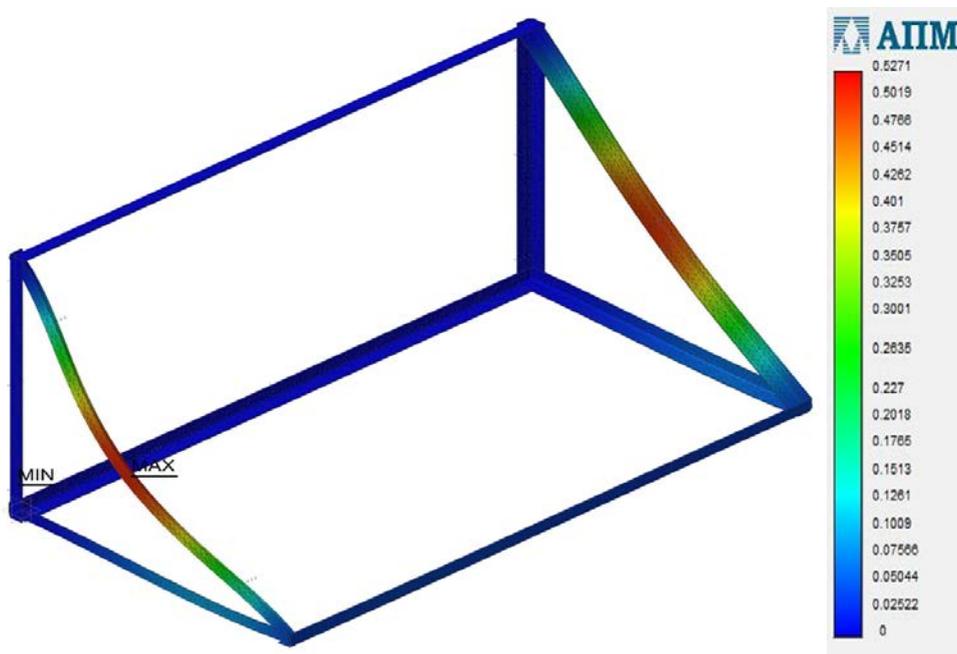


Рис. 3. Суммарное линейное перемещение.
Максимальное USUM=0,52мм

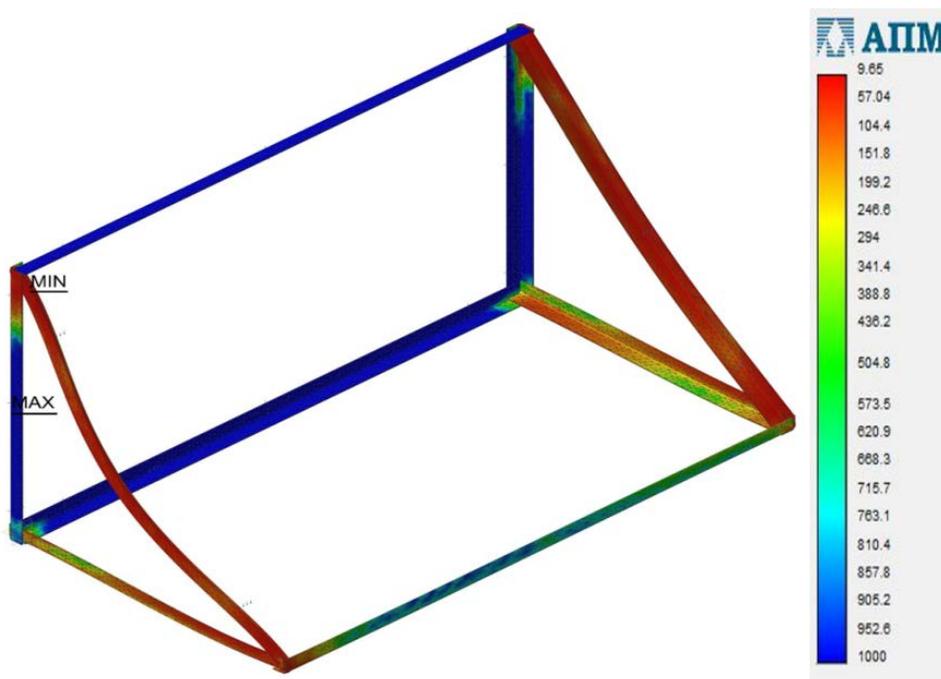


Рис. 4. Коэффициент запаса по прочности
(минимальное значение 9,65, по текучести 5,53)

Моды собственных частот предлагаемой конструкции — 54,8Гц; 85,7 Гц; 131,9 Гц; 161,75 Гц; 167,75 Гц.

Предварительные расчеты показали, что предложенная конструкция обладает коэффициентом запаса по прочности 9,65.

Экономический расчет конструкции

Стоимость изготовления конструкции изложена в таблице 2.

Таблица 2

Стоимость изготовления крепления для солнечной батареи

Материалы	Количество	Стоимость	Сумма (руб)
уголок 36x36x3 ГОСТ 19771-93	9 м	70 руб/м	630
анкер-болт с шестигранной головкой 10x120	8 шт	16,2 руб/шт	130
			Итого: 760 руб

Заключение:

В работе предложена конструкция крепления солнечной панели ФСМ-200П на фасад здания. Конструкция удовлетворяет расчетным прочностным требованиям, выполнена из доступных материалов, проста в изготовлении, экономична. Она может быть усовершенствована путем создания возможности изменения угла наклона солнечной панели.

Библиографический список

1. Строительные нормы и правила. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07-85 / Министерство регионального развития Российской Федерации. — Москва: Минрегион России, 2011. — 96 с.
2. Компас-3D V16 / Руководство пользователя. Служба технической поддержки компании Аскон. — Режим доступа: <http://support.ascon.ru/download/> (дата обращения: 11.11.2016).