

УДК 624.042:693.5

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОВЫХ И СНЕГОВЫХ НАГРУЗОК,  
ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ПРОГОНЫ ПОКРЫТИЯ ОДНОЭТАЖНЫХ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ  
КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНЫХ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ  
ПРОГРАММЫ SCAD**

***Викторов Валерий Васильевич,***

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,  
г.Пенза,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции».*

***Лазебная Виктория Валерьевна,***

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,  
г.Пенза,*

*ассистент кафедры «Начертательная геометрия и инженерная графика».*

***Голубев Иван Владимирович,***

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,  
г.Пенза,*

*аспирант.*

**Аннотация**

Предложена усовершенствованная методика разработки расчетных моделей для расчета одноэтажных каркасных зданий. Рассмотрен способ определения и назначения постоянных и временных нагрузок на конечные элементы прогонов вне зависимости от форм распределения нагрузок по кровле и схем расположения прогонов. Результаты определения снеговых и ветровых нагрузок на прогоны предложенным методом и назначения этих нагрузок на конечные элементы прогонов были использованы при расчете конструкций производственного корпуса АО "Молком".

**Ключевые слова:** постоянные и временные нагрузки, расчетные программы, конечно-элементные расчетные модели, нагрузки на конечные элементы.

**MODELING OF WIND AND SNOW LOADS ACTING ON THE  
COATING RUNS OF SINGLE-STOREY INDUSTRIAL BUILDINGS IN THE  
DEVELOPMENT OF FINITE ELEMENT CALCULATION MODELS USING  
THE EXAMPLE OF THE SCAD PROGRAM**

***Viktorov Valery Vasilyevich,***

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,*

*Candidate of Sciences, Associate Professor of the department "Building Structures"*

***Lazebnaya Victoria Valeryevna,***

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,*

*assistant of the Department "Descriptive Geometry and Graphics".*

***Golubev Ivan Vladimirovich,***

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,*

*postgraduate student.*

**Abstract**

An improved methodology for the development of computational models for the calculation of single-storey frame buildings is proposed. The method of determining and assigning permanent and temporary loads to the final elements of the girders, regardless of the forms of load distribution on the roof and the layout of the girders, is considered. The results of determining snow and wind loads on the girders by the proposed method and assigning these loads to the final elements of the girders were used in calculating the structures of the production building of JSC Molkom.

**Keywords:** permanent and temporary loads, calculation programs, finite element calculation models, loads on finite elements.

В настоящее время компьютерные программы по расчету несущих конструкций зданий и сооружений прочно внедрили в практику проектирования. Широкое распространение имеют расчетные программы основанные на методе конечных элементов такие, "Lira", "SCAD", "Stark".

Расчетные схемы строительных объектов должны отражать действительные условия их работы и соответствовать рассматриваемой расчетной ситуации [1]. Расчетные схемы должны включать в себя следующие расчетные модели:

- расчетные модели нагрузок и воздействий;
- расчетные модели, описывающие напряженно-деформированное состояние элементов конструкций и оснований;
- расчетные модели сопротивления.

Все три расчетные модели должны быть взаимоувязаны. Для создания расчетной модели нагрузок и воздействий, эти нагрузки и воздействия должны быть определены.

Величины и направление действия нагрузок зависят от района строительства, назначения и геометрических параметров проектируемого здания, технологических процессов, происходящих в здании. Значения нагрузок, действующих на несущие конструкции, заданы, как правило в технологическом задании, либо определяются по нормативным документам [2].

При разработке расчетных конечноэлементных моделей средствами указанных программ, расчетные модели нагрузок представляют собой совокупность распределенных или сосредоточенных нагрузок, приложенных непосредственно к конечным элементам или узлам конечных элементов.

Величины и направления этих нагрузок зависят от различных факторов, таких как структура конечноэлементной сетки, геометрического положения и размеров конкретного конечного элемента, поворота его осей и т.п.

Зачастую определение величин нагрузок, действующих на конечные элементы расчетной модели, представляет собой весьма сложную и трудоемкую задачу.

К таким задачам относится определение нагрузок на покрытие одноэтажных производственных зданий, не имеющих жесткого диска покрытия.

В таких зданиях конструкции покрытия представлены, как правило, прогонами. Вышележащие конструкции (например, кровельные панели типа "сэндвич") не моделируются, а их действие на прогоны заменяется

эквивалентной по значению нагрузкой. В бескрановых зданиях рассматривается, как правило четыре вида нагрузок – постоянные от веса конструкций кровли, постоянные или временные технологические нагрузки или нагрузки от инженерного оборудования; временные нагрузки от веса снега и временные нагрузки от действия ветра.

На первый взгляд определение величин нагрузок на прогоны не кажется сложным – нагрузки от действия кровельного покрытия, веса снега, да полезная инженерная нагрузки принимаются равномерно распределенными по площади покрытия. При равномерном шаге прогонов нагрузка как бы должна быть одинаковой по значению для рядовых средних прогонов и половинной для крайних прогонов. Но это утверждение справедливо только в случае разрезной конструкции покрытия, а этого практически никогда не бывает. Конструкция покрытия в направлении ската кровли представляет собой либо полностью неразрезную балочную конструкцию, либо частично разрезную конструкцию с шарнирами в местах продольного стыка элементов покрытия – обычно 1-2 шарнира по длине. Для определения нагрузок на прогоны в этом случае необходимо выполнять расчет неразрезной балки, опорными реакциями которой и будут численно равны нагрузке на прогоны.

Если прогоны расположены неравномерно, то решение данной задачи усложняется. Но если еще и сама нагрузка изменяется по площади кровли, то решение усложняется многократно.

Так, например, в некоторых случаях снеговая нагрузка может распределяться неравномерно по площади кровли (см. рисунок 1), а если говорить про ветровую нагрузку на покрытие, то она всегда является неравномерной нагрузкой и распределяется по скату кровли в виде двух-четырех участков. Размеры участков нагрузки зависят от размеров здания и габаритов кровли (см. рисунок 2)

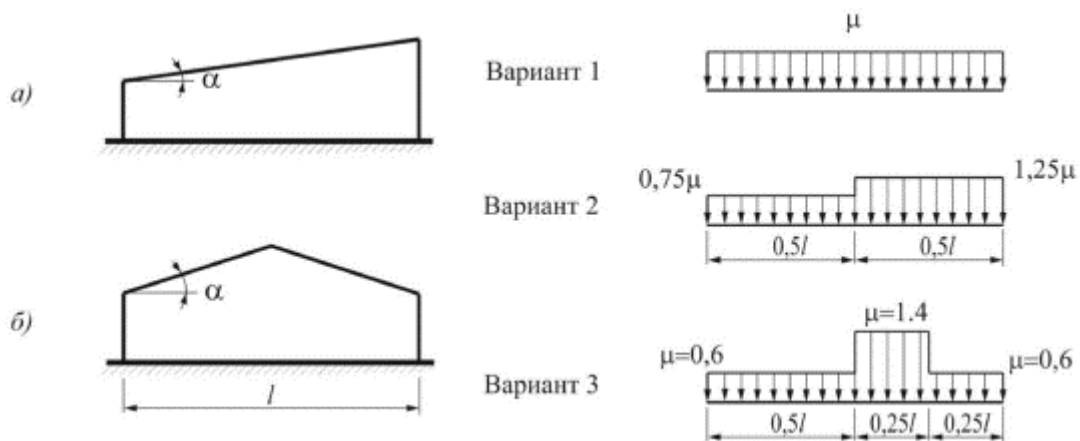


Рисунок 1 - Варианты распределения снеговых нагрузок на односкатную и двускатную кровлю

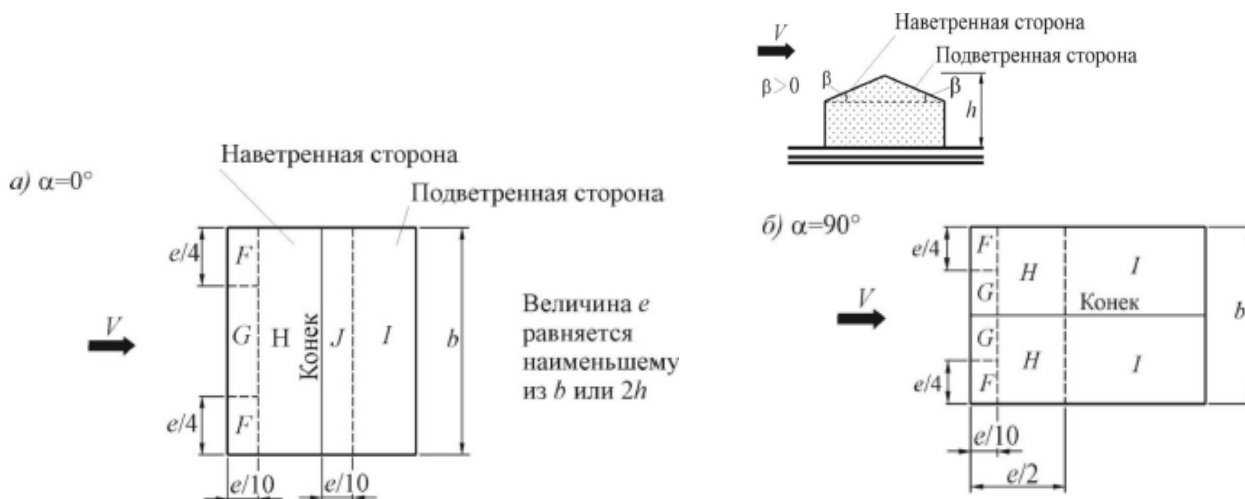


Рисунок 2 - Варианты распределения ветровых нагрузок на двускатную кровлю

В таких условиях определение нагрузок на отдельные прогоны покрытия является весьма непростой задачей. А назначение вычисленных нагрузок к конкретным конечным элементам превращается еще и в весьма трудоемкий процесс.

Для упрощения и частичной автоматизации данного процесса предлагается следующий алгоритм действий.

Предлагается следующий порядок задания нагрузок на покрытие.

В соответствии с требованиями Нормативных документов определяются нагрузки на покрытие и границы расположения для различных зон (например, для ветровых нагрузок зоны F, G, H, I, G). Границы этих зон отмечаются фиктивными дополнительными стержнями. Пример разбивки приведен на рис. 3. Выполняется пересечение фиктивных узлов с элементами прогонов. В результате этой операции в точках пересечения стержней образуются дополнительные узлы (см. рис 4). Средствами программы SCAD выполняется триангуляция поверхности кровли на прямоугольные плоские конечные элементы заданного размера. Результаты разбивки приведены на рис. 5 б.

На полученные пластинчатые конечные элементы прикладывается ветровая нагрузка в местной системе координат конечных элементов (см. рис. 6.). В процессе триангуляции конечные элементы прогонов разбиваются узлами пластинчатых элементов на несколько частей. Всем узлам прогонов назначаются связи по направлениям действия ветровой нагрузки (например, по оси "X" и по оси "Z"). Результат представлен на рисунке 7.

Конечным элементам пластин назначаются произвольные жесткостные характеристики. Фиктивные стержневые элементы удаляют. Модель запускается на расчет.

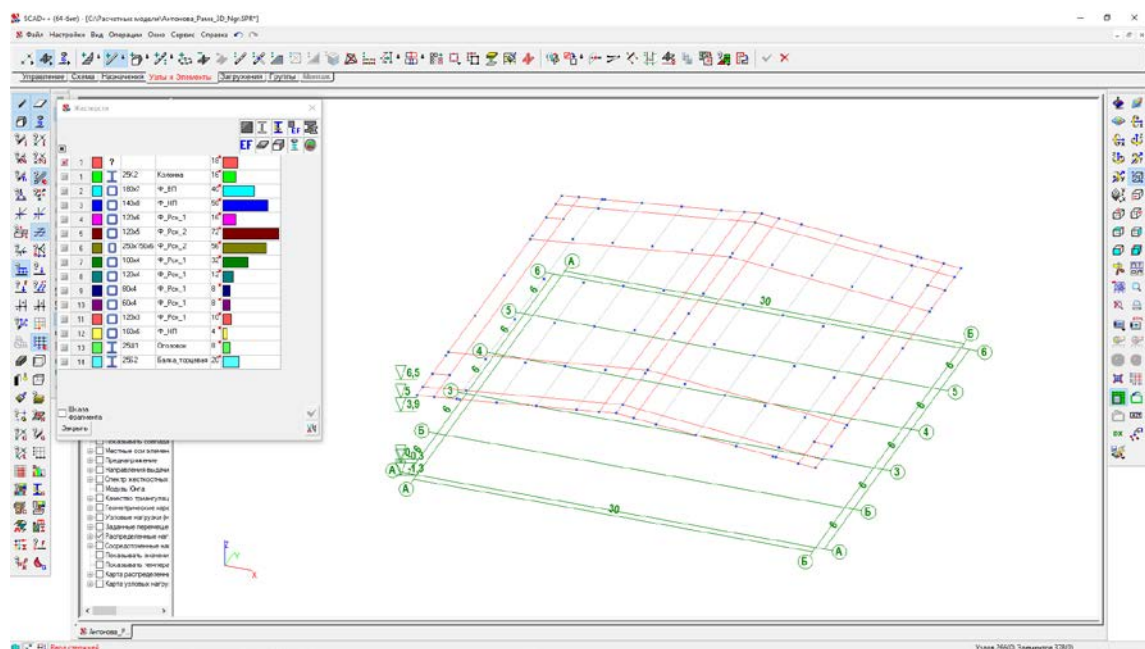


Рисунок 3 - Разметка зон действия ветровых нагрузок на двускатную кровлю

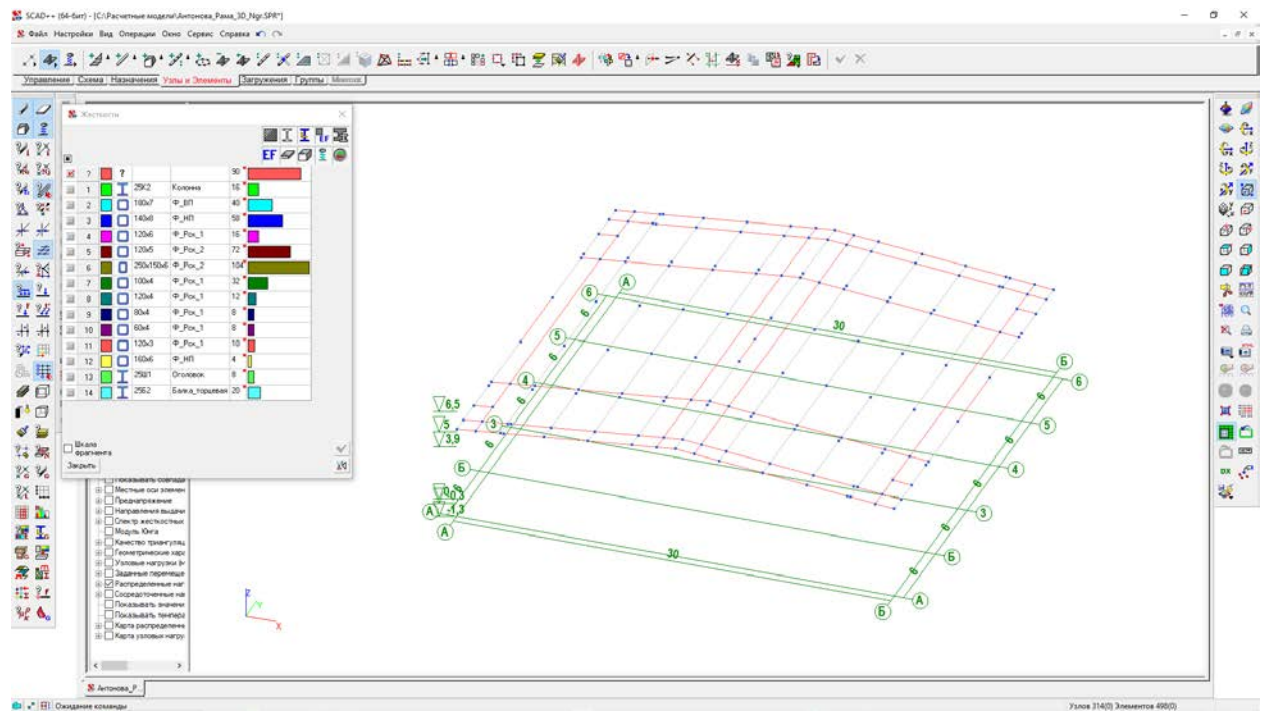


Рисунок 4 - Получение дополнительных узлов в местах пересечения стержней

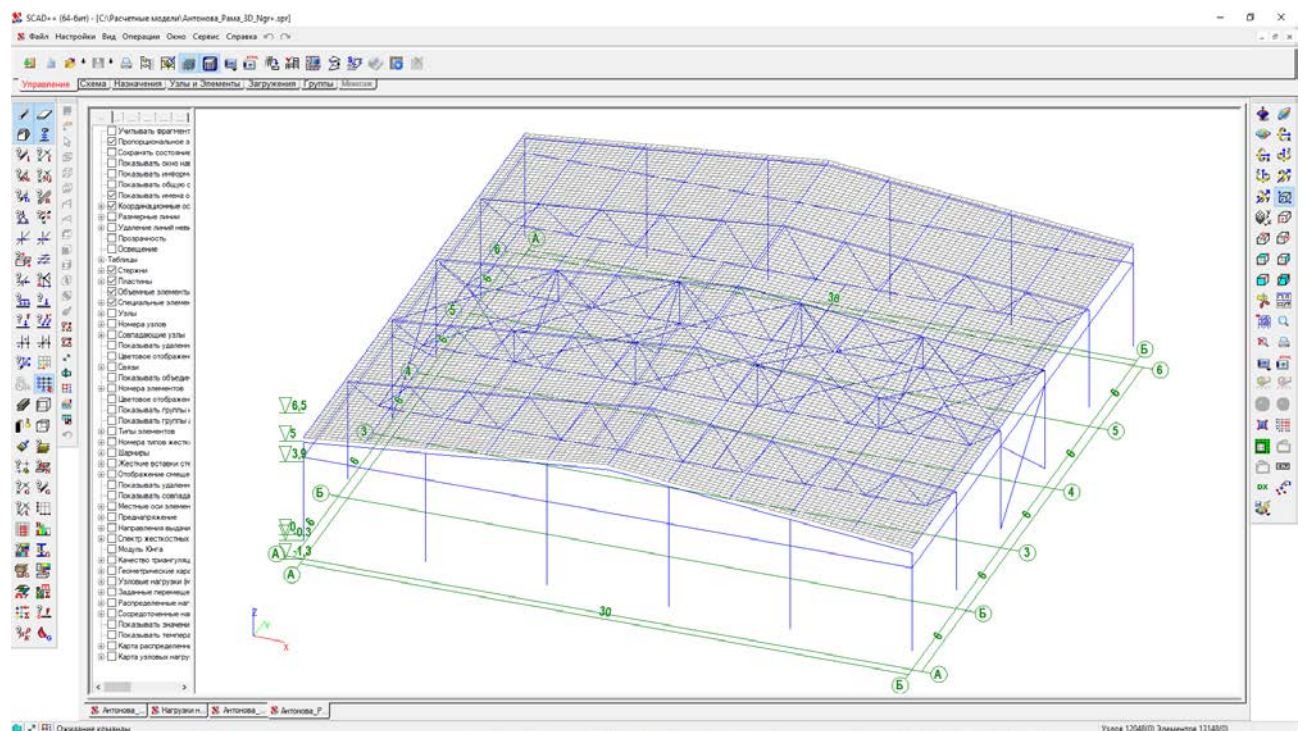


Рисунок 5 - Результаты триангуляции поверхности кровли

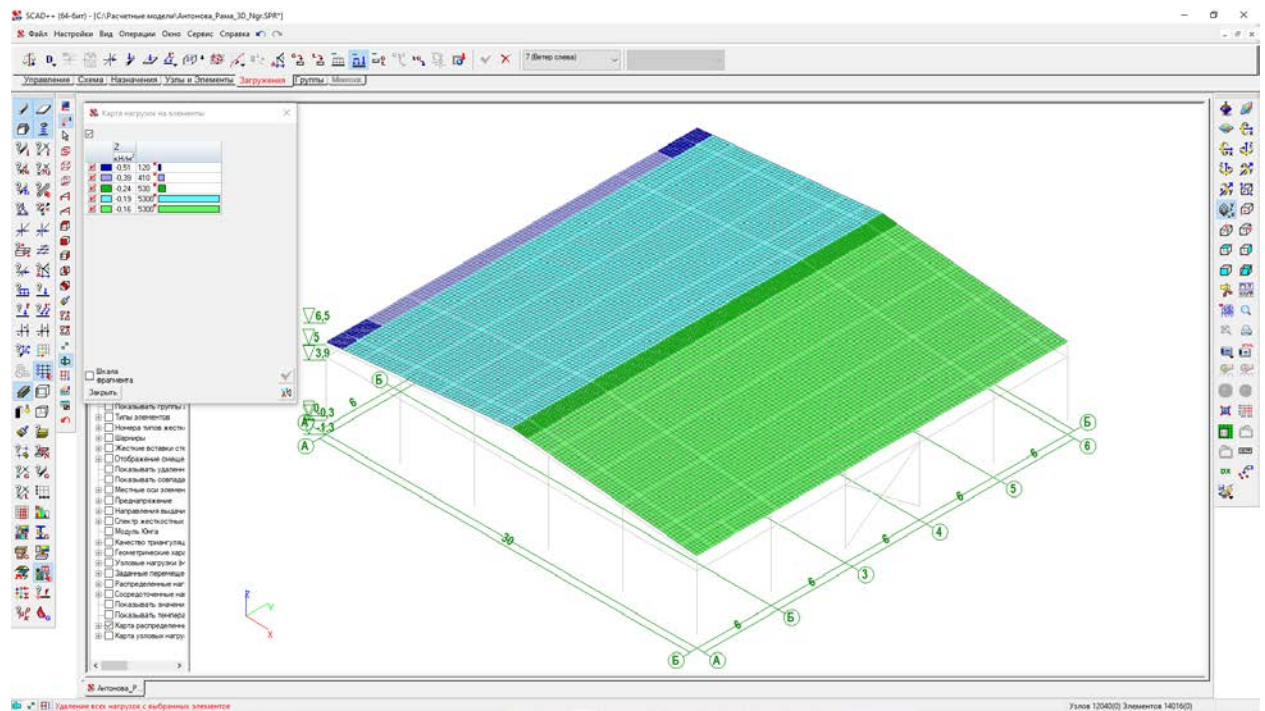


Рисунок 6 - Приложение ветровых нагрузок к поверхности кровли

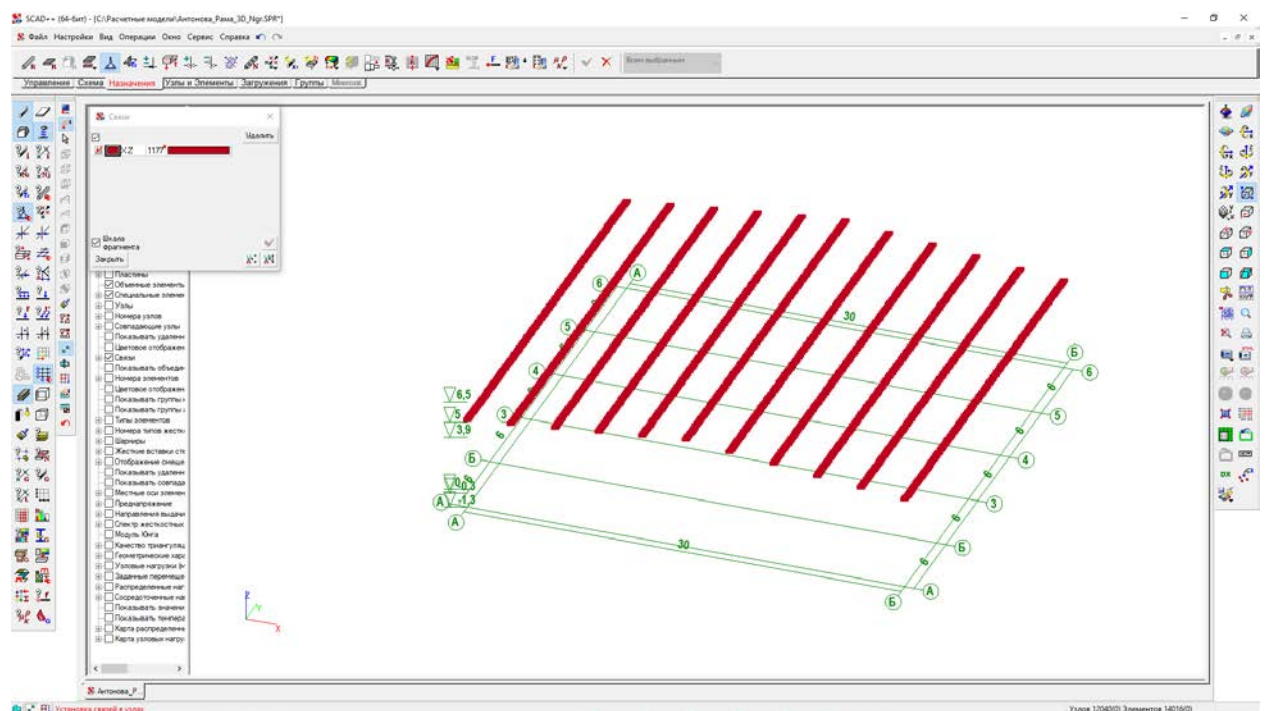


Рисунок 7 - Назначение временных связей узлам прогонов

В результате расчета получают опорные реакции в узлах прогонов со связями (см. рис. 8-9). Значения этих реакций и будут по своему значению равны нагрузкам от действия ветровой нагрузки.



Программа SCAD имеет возможность сохранить результаты расчета являться опорных реакций в файл виде новой расчетной схемы. В результате сохранения новый файл содержит узлы с узловыми нагрузками (см. рис. 10).

Для переноса этих нагрузок в исходную расчетную модель выполняется слияние двух файлов, в результате которого нагрузки из новой расчетной схемы переносят в исходную расчетную схему. Результат представлен на рис. 11.

После переноса нагрузок пластинчатые конечные элементы поверхности кровли удаляют. В результате модель становится готова к расчету.

В соответствии с требованиями нормативных документов [3-4] выполняется расчет модели – статический и конструктивный, по результатам которого оценивается корректность, безопасность, экономичность принятых проектных решений.

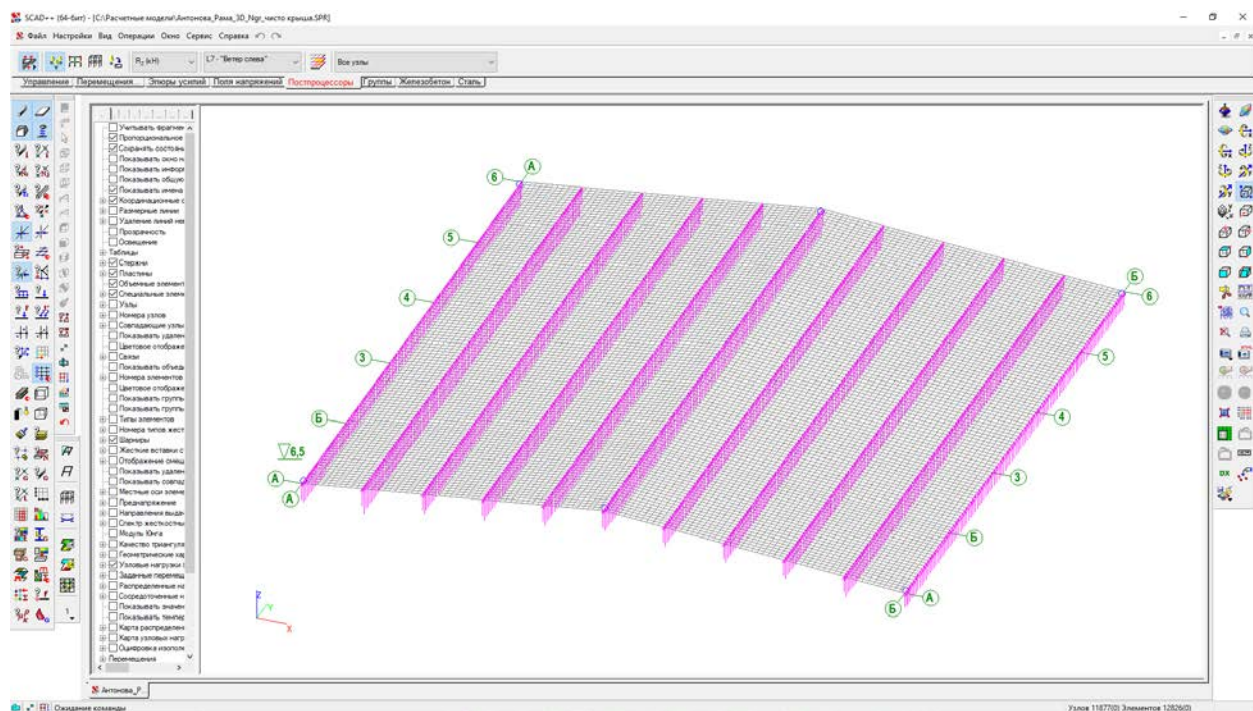


Рисунок 8 - Результаты определения вертикальной составляющей нагрузки на прогоны

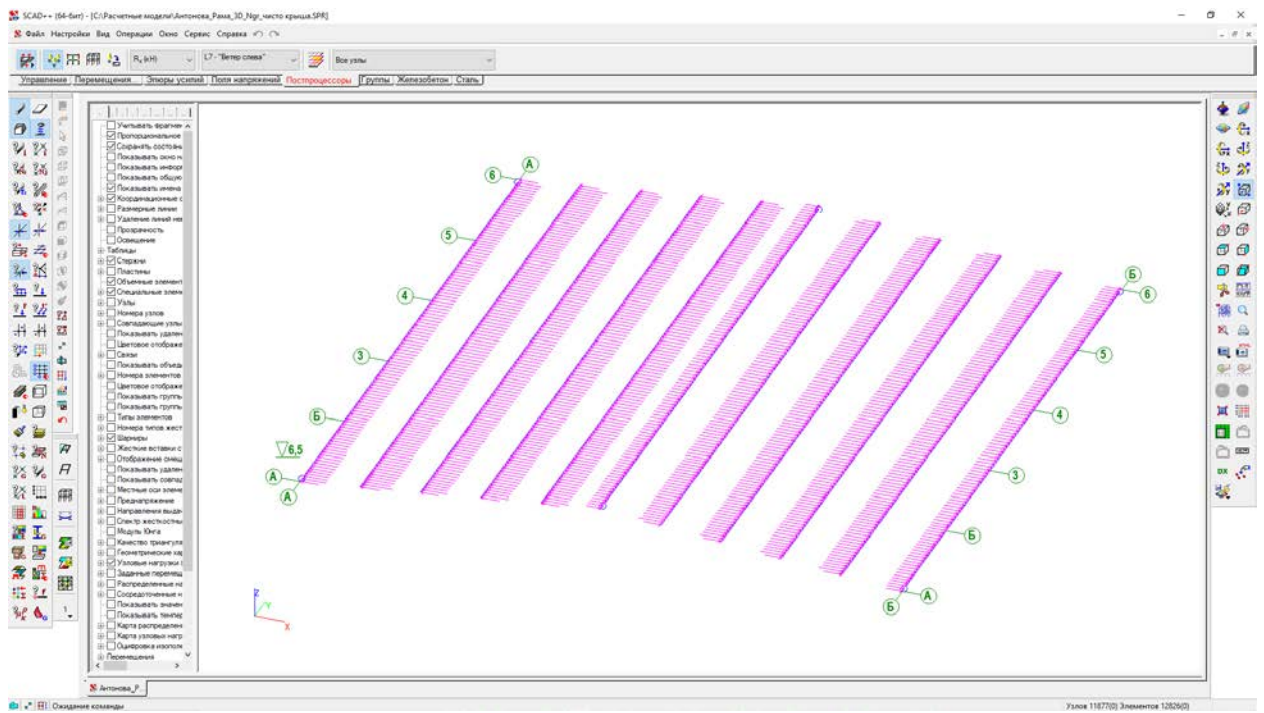


Рисунок 9 - Результаты определения горизонтальной составляющей нагрузки на прогоны

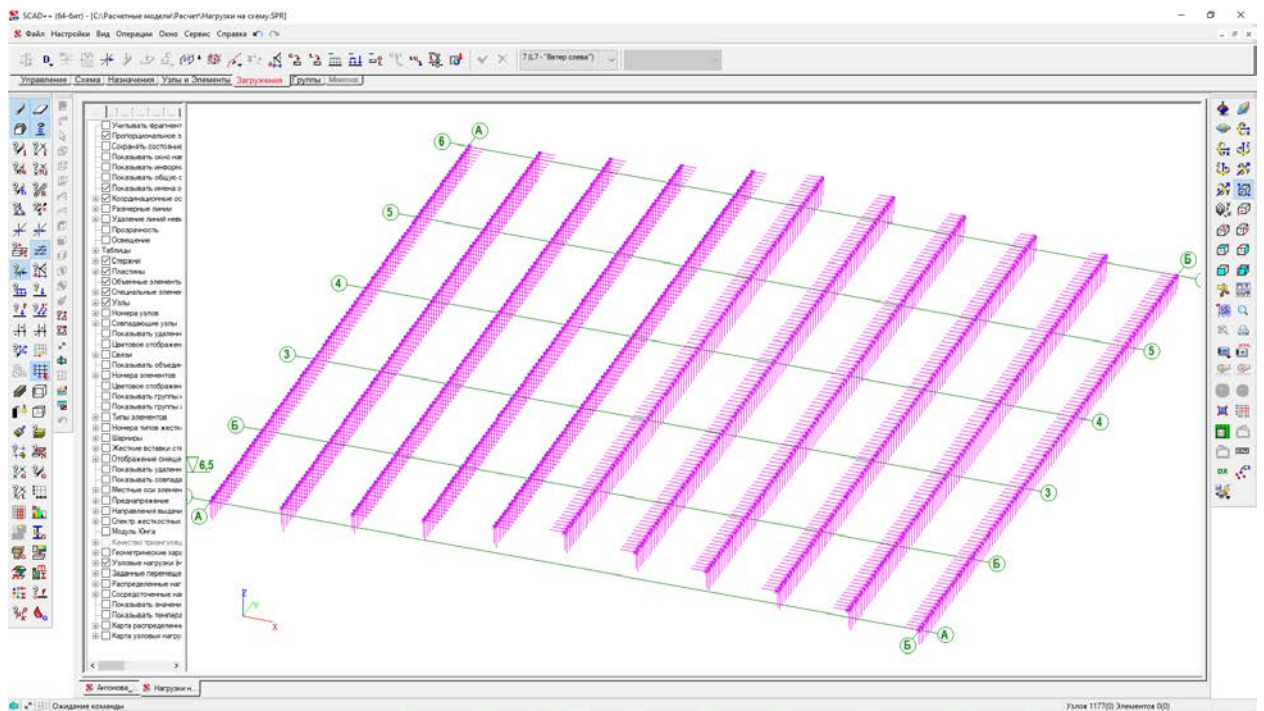


Рисунок 10 - Результаты сохранения полученных нагрузок в виде отдельной схемы

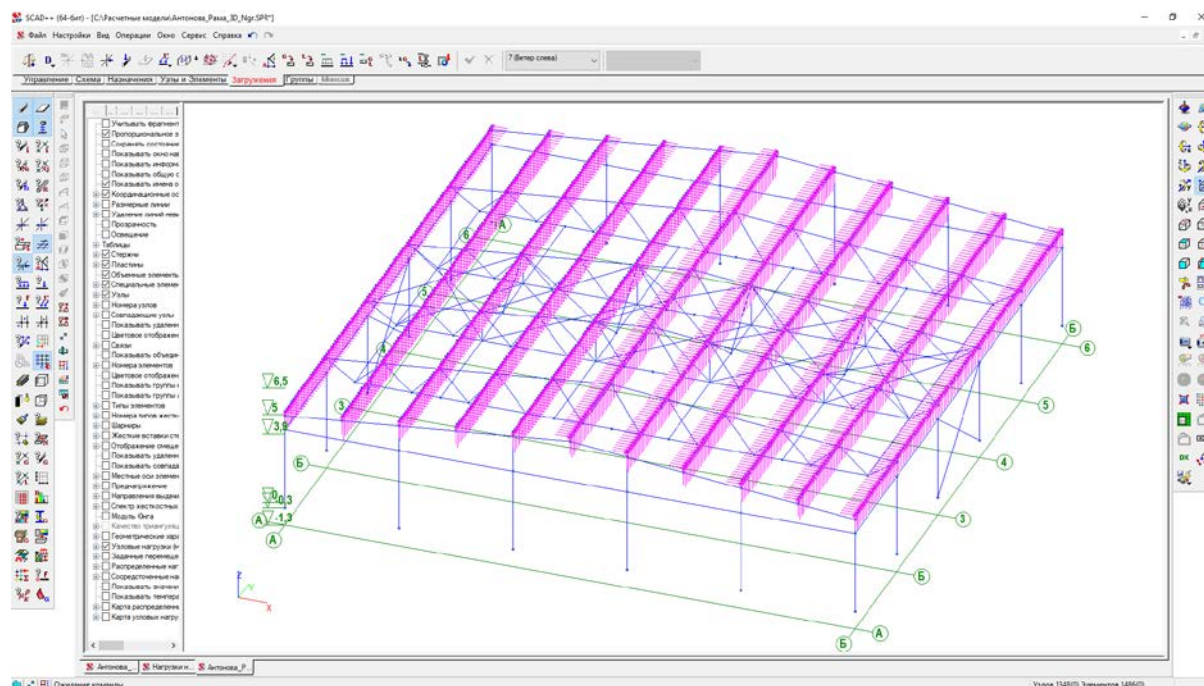


Рисунок 11 - Результаты слияния базовой схемы и схемы с ветровыми нагрузками

Таким образом, данный метод применим для определения нагрузок, действующих через перекрытия и покрытия на балочные системы. Метод универсален, он подходит и для простых и для сложных схем приложения нагрузок к перекрытиям. Он применим для балочных конфигураций любой формы. Применение этого метода позволяет в несколько раз сократить трудовые затраты на вычисление и назначение фактических нагрузок для расчетных моделей, использующих конечные элементы.

### Библиографический список:

1. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2015.
2. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-88. – М.: Стандартинформ, 2017.
3. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81. - М.: Стандартинформ, 2018.

4. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 – М.: Стандартинформ, 2019.