

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КАРКАСА ЦЕХА. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАЦИОНАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ВЕСА КОНСТРУКЦИИ

Минимизация веса конструкции является одной из самых актуальных задач в современном строительстве. Целью данной работы является демонстрация возможностей минимизации веса конструкции при применении современных подходов и программных средств.

Рациональная оптимизация — это постепенное изменение конструкции с целью минимизации какой-либо целевой функции (стоимость, масса, габариты) при определенных ограничениях. В качестве ограничений, прежде всего, выступает удовлетворение требований СНиП — конструкция должна быть не только легкой, но и достаточно прочной и устойчивой для несения полезной нагрузки в виде снега, веса людей и оборудования и т.д. Также существенными параметрами являются рыночная стоимость и доступность для застройщика необходимых профилей металлопроката, из которых состоит конструкция. В некоторых ситуациях более тяжелая по весу конструкция может быть экономически выгодней при строительстве, чем конструкция, в которой использованы более легкие, но труднодоступные профили металлопроката.

Процесс рациональной оптимизации конструкций является итерационным, где под словом итерация понимается изменение какой-то группы элементов конструкции с начального состояния (предоставленные или разработанные чертежи и документация) до конечного варианта (учет всех измененных элементов конструкции в целом). Группы выбираются по определенному признаку (одинаковые профили, опорные колонны, прогоны и т.д.). В качестве целевой функции выбирается масса здания, в качестве изменяемых параметров — сечения балок.

Важным параметром для металлических каркасов при строительстве является металлоемкость на единицу покрываемой площади — отношение массы здания к площади, на которой оно находится. Чем меньше этот параметр (при удовлетворении требованиям СНиП), тем более выгодно строительство здания. Поэтому целью данной работы является уменьшение массы здания до минимально возможного значения с проверкой работоспособности конструкции и обеспечении ее надежности.

Методика рациональной оптимизации применена на примере производственного здания, чертежи которого были предоставлены компанией ООО “УИМП”. Площадь здания составляет 792 м^2 , высота 10 м, колонны расположены по периметру здания с шагом 6 м вдоль и 5,5 м поперек конструкции. В здании присутствуют два мостовых крана, каждый грузоподъемностью 5 тонн.

Для анализа напряженно-деформируемого состояния конструкции был использован метод конечных элементов (КЭ), реализованный в программной системе КЭ анализа ANSYS. 3-D КЭ модель здания приведена на рис. 1. Параметры КЭ модели: число элементов $NE = 512$; число узлов $NN = 820$; число степеней свободы $NDF = 4920$.

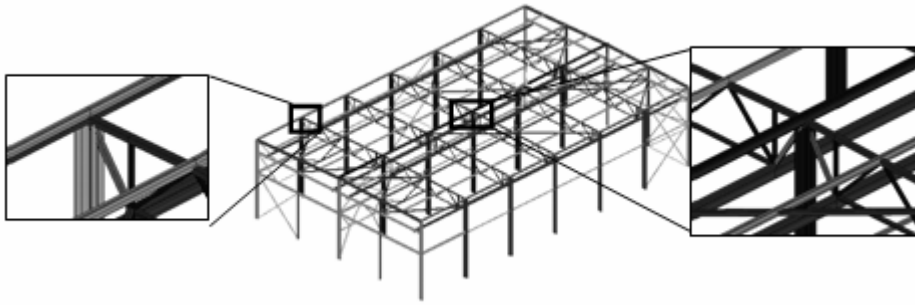


Рис. 1. Геометрическая модель здания

Материал — сталь С245 со следующими параметрами: модуль Юнга $E = 210$ ГПа; коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$; плотность $\rho = 7850$ кг/м³; предел текучести $\sigma_T = 245$ МПа.

В работе в качестве нагрузок учитывался собственный вес, снеговая и крановая нагрузки, так как они являются наиболее опасными для исследуемого здания. Все расчетные нагрузки назначались в соответствии со СНиП 2.01.07-85.

В реальности каждый узел сопряжения находится между двух идеализированных случаев — шарнирного и идеального. Как правило, из-за трудоемкости в строительной механике в задачах, решаемых без применения программных средств, не используют идеальное сопряжение.

В данной модели рассматривались оба типа закрепления элементов в узлах. В случае идеального сопряжения, максимальное эквивалентное напряжение по Мизесу больше, чем в случае шарнирного сопряжения.

В соответствии со СНиП допускается коэффициент запаса по прочности $n = 1,25$ от нормативного значения, поэтому будем оптимизировать до значения $\frac{\sigma_T}{\sigma^*} = 1,25$, где σ^* — максимальное эквивалентное напряжение по Мизесу в конструкции.

В табл. 1 приведено сравнение исходной конструкции с измененной.

Таблица 1.

	Исходная конструкция	Конструкция после применения рациональной оптимизации
Масса здания, т	54,56	33,72
Расход стали, кг/м ²	69	42
Коэффициент запаса по прочности от нормативного значения	3,42	1,27
Максимальное эквивалентное напряжение, МПа	72	193

На данный момент рыночная стоимость 1 тонны стали составляет примерно 40 тыс. рублей. Как видно из табл. 1, в здании с помощью методики рациональной оптимизации удалось сэкономить 20,84 тонны. Это означает, что прибыль от экономии металла составила ~ 800 000 рублей, что является особенно значительной суммой при типизации таких конструкций.