

**ОСНОВЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ ПОДЪЕМНИКА  
ПАНТОГРАФНОГО ТИПА**

В.С. Калиниченко

Научный руководитель: профессор, д.т.н. В.Г. Ананин

Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, Россия,

г. Томск, пл. Соляная, 2

E-mail: [kvs-2010@mail.ru](mailto:kvs-2010@mail.ru)

**BASES OF THE THEORETICAL CALCULATION OF METAL STRUCTURE OF THE LIFT-MAST  
OF THE PANTOGRAPH TYPE**

V.S. Kalinichenko

Scientific supervisor: Prof., Dr. V.G. Ananin

Tomsk state university of architecture and building, Russia, Tomsk, 2 square Solyanaya, 634003

E-mail: [kvs-2010@mail.ru](mailto:kvs-2010@mail.ru)

***Abstract.** The publication analyzes the main existing methods for the theoretical calculation of the metal structure of a pantograph type hoist.*

**Введение.** Металлоконструкция подъемника пантографного типа по общепринятой классификации наиболее близка к специальному строительному выжимному подъемнику сопряженно-рычажного типа, используемые для производства наружных и внутренних строительно-ремонтных работ на фасадах зданий и высоких внутренних помещениях, для производства строительно-монтажных работ при сборке массивных конструкций (металлоконструкции крупных зданий и сооружений значительных размеров, к примеру торговые центры, стадионы, вокзалы и т.п.).

**Методы исследования.** Работа над созданием специального ножничного подъемника, выявила ряд мало исследованных направлений в расчетах возникающих усилий, как для общей схемы подъемника такого типа, так и для частной. Анализ определения усилий в металлоконструкции подъемника сопряженно-рычажного (ножничного) типа определил круг основных методов расчета. Аналитические способы расчета обычно начинаются с нахождения опорных реакций, для определения которых используется три уравнения равновесия для всей системы в целом. При определении усилий в стержнях выделяют сечениями отдельные части фермы или узлы фермы, а затем рассматривают условия их равновесия. Рассечение производят так, чтобы максимально упростить расчет и по возможности устранить совместное решение системы уравнений с несколькими неизвестными. Наиболее рационально проводить сечение так, чтобы в каждое уравнение вошло только одно определяемое неизвестное [1].

Плоская расчетная схема пантографного подъемника (рис.1), описанная методом вырезания узлов является статически определимой задачей, позволяющей составить матрицу жесткости, которую возможно реализовать в виде подпрограммы для ЭВМ. Опишем в общем виде уравнениями четыре верхних узла, для остальных узлов уравнения аналогичные (1). Но реальная схема исследуемого подъемника имеет более сложную конструкцию, состоящую из двух параллельных «ферм» с шарнирным закреплением и гибким подъемным механизмом, который в свою очередь является конструктивным элементом, придающим жесткость и устойчивость всему подъемнику в целом.

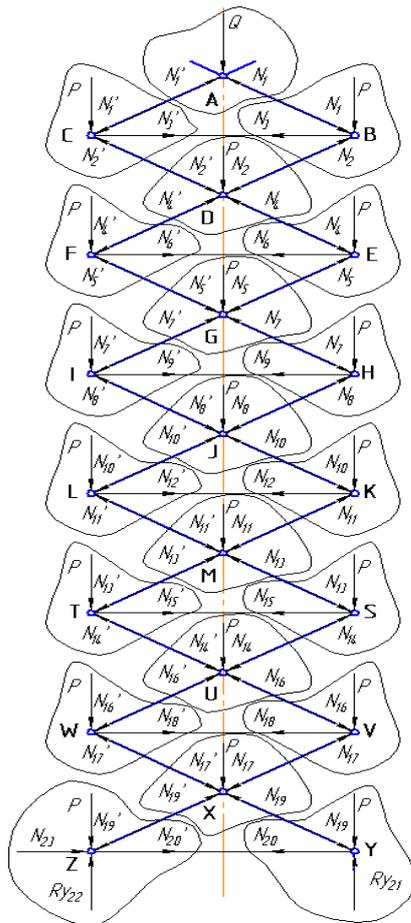


Рис. 1. Плоская расчетная схема

**Узел А**  
 1  $\sum X : (N_1' - N_1) \cos \varphi = 0;$   
 2  $\sum Y : 2 \sin \varphi \cdot N_1 = Q.$

**Узел В**  
 3  $\sum X : N_1 \cos \varphi + N_2 \cos \varphi - N_3 = 0;$   
 4  $\sum Y : -N_1 \sin \varphi + N_2 \sin \varphi = P.$

**Узел С**  
 5  $\sum X : -N_1' \cos \varphi - N_2' \cos \varphi + N_3' = 0;$   
 6  $\sum Y : -N_1' \sin \varphi + N_2' \sin \varphi = P.$

**Узел D**  
 7  $\sum X : (N_2' - N_2) \cos \varphi + (N_4' - N_4) \cos \varphi = 0;$   
 8  $\sum Y : -2 \sin \varphi \cdot N_2 + 2 \sin \varphi \cdot N_4 = P.$

(1)

Также, расчет металлических конструкций надлежит производить по методу допускаемых напряжений или предельных состояний. В сложных случаях согласно нормативным указаниям вопросы расчета конструкций и их элементов рекомендуется решать путем специально поставленных теоретических и экспериментальных исследований. При отсутствии надежных теоретических методов расчета или проверенных ранее аналогичных решений такие исследования обязательны [2].

Следовательно, при традиционном подходе для решения такой задачи в общем случае необходимо решить систему уравнений, обеспечивающих выполнение условий равновесия и совместности деформаций. Возникающая в связи с этим проблема заключается в том, что в случае двумерной или трехмерной конструкции поведение системы описывается уравнениями высоких порядков с большим количеством неизвестных. В настоящее время наиболее эффективным приближенным методом решения прикладных задач механики является метод конечных элементов (МКЭ). Этот метод по существу сводится к аппроксимации сплошной среды с бесконечным числом степеней свободы совокупностью подобластей (или элементов), имеющих конечное число степеней свободы [3].

**Решение задачи с помощью САПР.**

Смоделированы следующие нагрузки, действующие на конструкцию пантографного подъемника (рис.2): от собственного веса конструкции; сосредоточенная сила от веса рабочей площадки (иного загрузения), действующая на вершину мачты и приложенная к крайним верхним узлам, равная 600 кг;

сосредоточенная сила от лебедок механизма подъема, приложенная к нижним опорам мачты в месте моделирования ползунов; предварительная деформация тросов механизма подъема [4].

Подобраны поперечные сечения несущих элементов металлоконструкции: основные балки – труба 102x10 ГОСТ 8732-78 (Сталь 10ХСНД); поперечины жесткости – труба 57x6 ГОСТ 8732-78 (Сталь 10ХСНД); оси с шарнирами – твердотельный стержень диаметром 50 мм (Сталь 40Х); канаты механизма

подъема являются конструктивными элементами мачты, придающие необходимую жесткость и дополнительную устойчивость подъемника в целом, смоделирован стальной канат диаметром 16 мм.

#### Заключение.

В результате моделирования в модуле APM Structure3D системы APM WinMachine были получены: карта распределения напряжений в конструкции подъемника (рис. 3), позволяющая определить наиболее нагруженные элементы; проверка конструктивных элементов на несущую способность; коэффициент запаса устойчивости конструкции по Эйлеру; напряженно-деформированное состояние конструкции при больших перемещениях (геометрически нелинейная задача).

Полученные результаты позволяют на стадии проектирования или при принятии решения об оптимизации конструкции оценить прочностные характеристики несущих элементов металлоконструкции подъёмника и определить запас прочности.

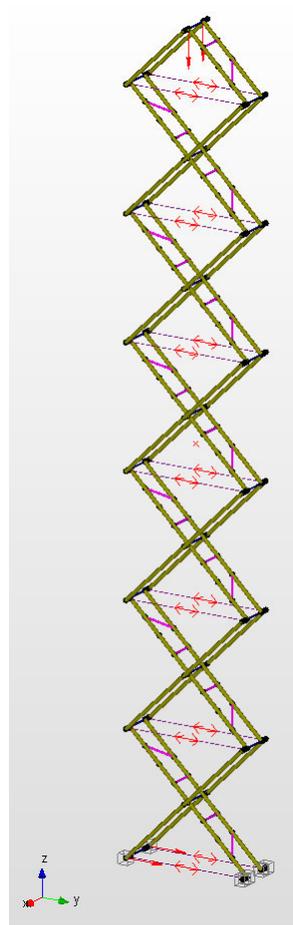


Рис. 2. Объемная расчетная схема

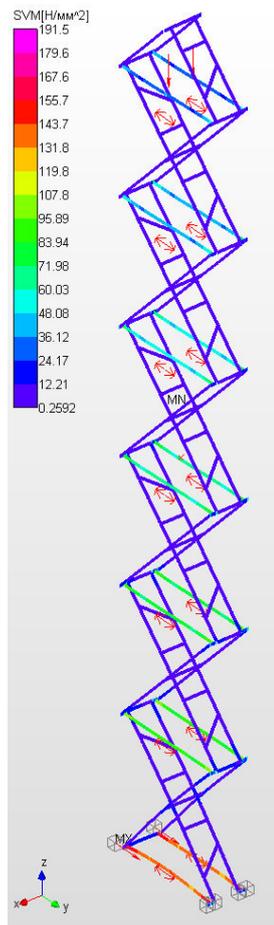


Рис. 3. Карта распределения напряжений

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Строительная механика и металлические конструкции / Под ред. М.М. Гохберга. – Л.: Машиностроение, 1984. – 231 с.
2. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин / М.М. Гохберг. – Л.: Машиностроение, 1976. – 456 с.
3. Замрий А.А. Проектирование и расчет методом конечных элементов в среде APM Structure3D. – М.: Издательство АПМ, 2010. – 376 с.
4. М.Б. Иваненко, В.Г. Ананин, В.А. Слепченко. Исследование напряженного состояния сочлененной стрелы карьерного экскаватора // Вестник ТГАСУ, № 3. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2016, С. 205-210.