

Напряженно-деформированное состояние металлоконструкции автомобильного подъемника элеваторного типа при различных сочетаниях нагрузок

06, июнь 2011

автор: Гнездилов С. Г.

УДК: 621.876.31.

МГТУ им. Н. Э. Баумана
gnezdilow@mail.ru

Постоянно возрастающий интерес к компактным, эффективно использующим парковочное пространство, механизированным автомобильным стоянкам, для размещения их в густонаселенных районах городов, делает актуальной работу по созданию новых конструктивных форм механизированных автостоянок и совершенствованию существующих конструкций.

На кафедре подъемно-транспортных систем МГТУ им. Н. Э. Баумана разработана новая разновидность роторных систем парковки автомобилей [1], осуществляющих перемещение несущих платформ по криволинейной траектории, – автомобильный подъемник элеваторного типа [2] (далее – подъемник) (рис. 1). Данное конструктивное исполнение в отличие от его ближайших аналогов – автомобильных накопителей элеваторного типа (далее – накопитель), обеспечивающих продолжительно хранение автомобилей на собственных платформах, обеспечивает кратковременное вертикальное межуровневое перемещение автомобилей в гаражном комплексе.

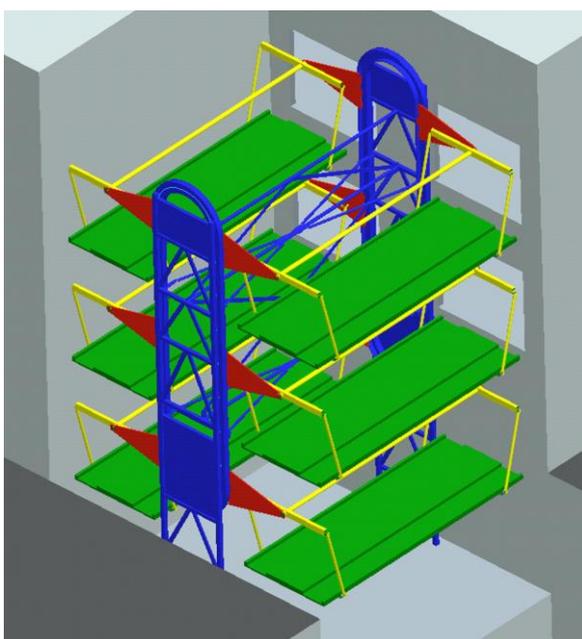


Рис. 1. Автомобильный подъемник элеваторного типа

Для вертикальных исполнений накопителей характерно наличие пары верхних и пары нижних цепных звездочек [3], приводящих в движение пару бесконечных цепей, на которых равноудаленно друг от друга через консоли закреплены несущие платформы. Выполнение накопителем одной парковочной операции сопровождается перемещением всех его несущих платформ и расположенных на них автомобилей до тех пор, пока требуемая платформа не займет загрузочную позицию. Применение накопителей, обеспечивающих эффективное использование парковочного пространства благодаря компактному размещению автомобилей, позволяет использовать узкие строительные проемы и на площадке площадью 50 м² размещать до 42 автомобилей. Первые накопители появились в 30-х годах прошлого века в США, и сейчас широко применяются в странах Дальнего Востока [4]. К примеру, в Японии первые накопители внедрены в 1962 году и сегодня там их свыше 10000 штук [5]. Существует большое разнообразие конструктивных форм накопителей.

В подъемнике в отличие от накопителя предусмотрен сквозной проезд автомобилей через его несущие платформы на всех загрузочных уровнях. В то же время в большинстве накопителей въезд автомобилей на несущие платформы своим ходом возможен лишь в нижней, либо в верхней частях устройства.

Направление движения тягового органа подъемника неизменно и определяется тем, какое дорожное движение (правостороннее или левостороннее) принято в стране, в которой эксплуатируется подъемник. Максимальное число автомобилей принимаемых к транспортировке на подъемнике – два: один автомобиль на подъем, другой – на спуск. Автомобиль, допущенный к транспортировке (не превышающий предельно допустимые габариты, удовлетворяющий требованиям гигиены и т.д.), после открытия въездного ограждающего устройства своим ходом перемещается по несущей платформе и наезжает на противооткатное устройство одной парой колес. После въезда автомобиля заезд в подъемник ограничивается, и выполняется перемещение автомобиля на другой уровень. При осуществлении загрузки/выгрузки автомобилей на различных несущих платформах одновременно может находиться до четырех автомобилей. Не допускается перемещение автомобилей на криволинейных участках трассы тягового органа, поскольку в этом нет необходимости; наличие такой функции усложняет конструкцию подъемника и отрицательно отражается на его производительности.

Автомобильный подъемник элеваторного типа эффективно использует парковочное пространство, работает без холостых ходов, способен одновременно выполнять операции загрузки и выгрузки автомобилей на различных несущих платформах. Его применение позволяет уменьшить объем вредных автомобильных выхлопов в гаражных комплексах за счет сокращения средней дистанции, преодолеваемой автомобилем, от въезда в гаражный комплекс до места последующего хранения. Вместе с тем снижается вероятность

столкновения автомобилей с неподвижными элементами гаражного комплекса, в частности, из-за отсутствия наклонных рамп.

К перемещению в подъемник допускаются автомобили, габариты которых не превышают предельно допустимых значений (2,0 x 1,6 x 5,3 м – ширина x высота x длина), а масса не более 2200 кг. Подъемник одновременно может производить подъем и спуск максимум по одному автомобилю на каждой ветви со скоростью 0,5 м/с, причем в режиме загрузки/выгрузки автомобилей допускается одновременное нахождение до четырех автомобилей – по два на каждой ветви.

Поскольку основным наиболее металлоемким элементом подъемника является его несущая металлоконструкция (далее НМК), проводилась работа над созданием методики ее оптимального проектирования. В рамках этой методики [3], в частности, рассмотрены случаи неблагоприятного сочетания нагрузок на НМК и сформулирован порядок определения случаев наиболее неблагоприятного сочетания, при которых образуются наибольшие эквивалентные напряжения в группах элементов НМК.

На основе обзора нормативных документов для устройств, чья работа наиболее приближена к работе автомобильного подъемника элеваторного типа, установлены пять следующих случаев неблагоприятного сочетания нагрузок на НМК, для которых сформулированы 29 расчетных сочетаний:

1. Разгон/торможение тягового органа.
2. Загрузка/выгрузка автомобилей на несущие платформы.
3. Посадка несущих платформ на ловители мгновенного действия.
4. Свободное проседание тягового органа при его обрыве.
5. Статические испытания подъемника.

В соответствии с упомянутой методикой при реализации порядка определения случаев наиболее неблагоприятного сочетания нагрузок в качестве исходных данных используются: структурная схема варианта НМК (рис. 2) с известными внешними креплениями к элементам здания гаражного комплекса; элементы НМК объединяются в группы, которым присваиваются определенные типы поперечных сечений и материал. Вначале для различных расчетных сочетаний нагрузок определяются численные значения, направления и места приложения нагрузок на НМК. Затем в программе *Creo Elements/Pro* (расчетный модуль *Pro/Mechanica*) строится конечно-элементная модель НМК, состоящая из идеализированных стержневых элементов и позволяющая выполнять анализ чувствительности модели, при котором с заданным шагом осуществляется перемещение подвижной нагрузки и на каждом шаге определяется, в частности, напряженное состояние НМК. Далее выполняется расчет напряженного состояния НМК при различных расчетных сочетаниях. Для случаев с движением тягового органа строятся зависимости наибольших эквивалентных напряжений от расположения подвижной нагрузки. Основываясь на полученных данных о наибольших

эквивалентных напряжениях в группах элементов НМК во всех расчетных сочетаниях, выявляются наиболее неблагоприятные расчетные сочетания нагрузок.

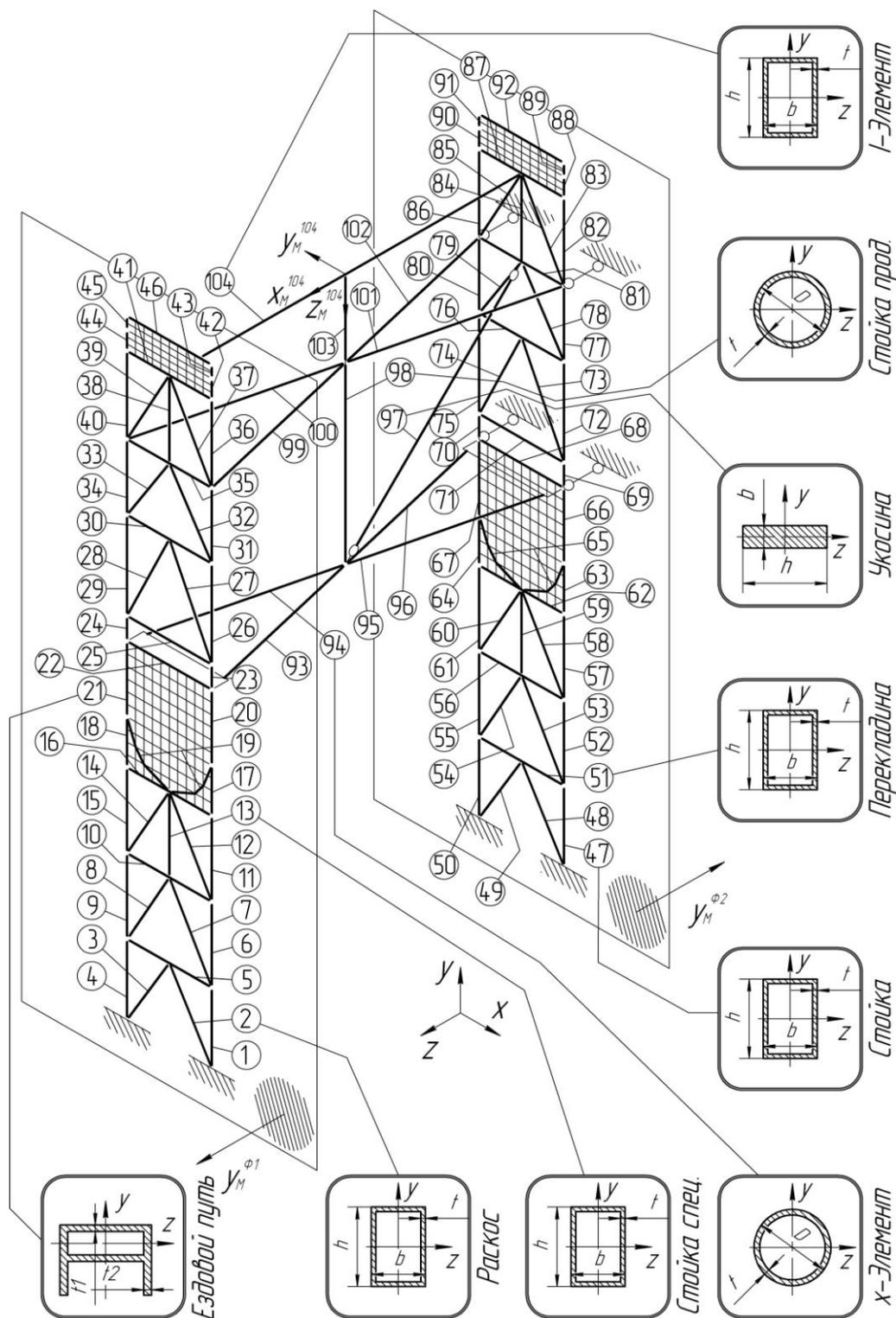


Рис. 2. Схема общего вида НМК подъемника

На рис. 3 показаны расчетные схемы варианта НМК для различных сочетаний нагрузок со следующими типами опор: абсолютное защемление – А, Б, В, Г; шарнирно-подвижная опора – Д, Е, Ж, З. Шарнирно-подвижные опоры введены для передачи

горизонтально направленных усилий (вдоль оси z) от перемещающихся по несущим платформам автомобилей на элементы здания гаражного комплекса. Применение таких опор не приводит к неравномерному деформированию всей НМК.

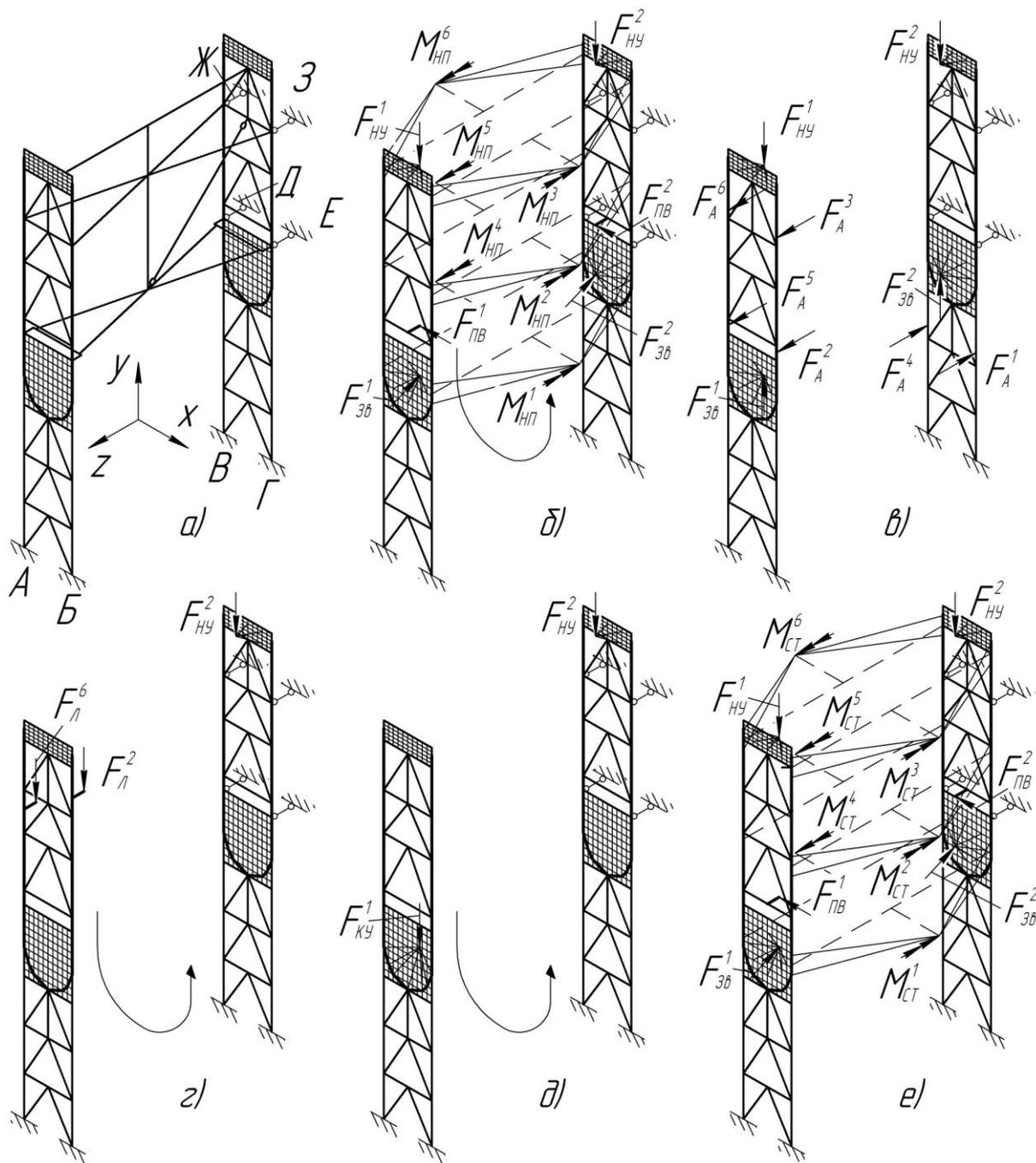


Рис. 3. Расчетная схема варианта НМК подъемника:

а – без приложения нагрузок; б – рабочий режим с перемещением автомобилей; в – рабочий режим загрузки/выгрузки автомобилей; г – аварийный режим обрыва цепи тягового органа и посадки несущих платформ на ловители; д – аварийный режим обрыва цепи тягового органа и его проседания в нижней части направляющих трассы подъемника; е – режим статических испытаний. На схемах б–е продольная часть НМК не показана. На схемах в–д не показаны нагрузки от несущих платформ с автомобилями

На рис. 3 используются следующие обозначения: $M_{НП}$ – момент, образующийся от веса одной несущей платформы с автомобилем либо без него; $F_{НУ}$ – усилие от натяжного устройства; $F_{ПВ}$ – усилие от промежуточного вала приводного механизма; $F_{ЗВ}$ – усилие от тяговой звездочки; F_A – наибольшее горизонтально направленное усилие, образование которого возможно при перемещении автомобиля по несущей платформе; F_L – усилие от устройств безопасности, возникновение которого возможно при аварийной работе подъемника; $F_{КУ}$ – усилие от ветви тягового органа, возникновение которого возможно при аварийной работе подъемника; $M_{СТ}$ – момент, образующийся от веса одной несущей платформы с грузом статических испытаний.

В целях сокращения времени, необходимого для расчета модели НМК, созданной в расчетном модуле *Pro/Mechanica*, а также для автоматизации работы с ней, применен ряд специальных приемов, к которым относятся: параметризация модели, позволяющая при изменении управляющих параметров посредством специальных уравнений автоматически изменять зависимые параметры, участвующие в вычислениях; дополнительное разбиение конечных элементов модели для учета нагрузок, приложенных вне узлов; передача усилия на НМК от несущих платформ с использованием специального инструмента *Weighted Link*, сбалансированно распределяющего передаваемые усилия на набор узлов конечно-элементной модели; идеализация пластин стержневыми элементами; моделирование растяжек равнопрочными канатами, тонкими пластинами и пр.

Стержневая конечно-элементная модель варианта НМК, созданная с учетом вышеперечисленных специальных приемов, содержит 2773 узла и 3353 элемента, совокупная масса которых составляет 8241 кг.

В результате анализа напряженного состояния варианта НМК при различных расчетных сочетаниях нагрузок определены следующие случаи наиболее неблагоприятного сочетания нагрузок на НМК:

1. Посадка несущих платформ на ловители при движении груженых несущих платформ с крайних позиций (подъем с первого уровня, спуск – с последнего).
2. Посадка несущих платформ на ловители в период осуществления спуска автомобиля с 3-го уровня и подъема со 2-го.

3. Свободное проседание тягового органа после его обрыва при движении грузенных несущих платформ с крайних позиций (подъем с первого уровня, спуск – с последнего).

4. Загрузка/выгрузка автомобилей. Комбинация перегружаемых автомобилей I-6 (рис. 4).

5. Загрузка/выгрузка автомобилей. Комбинация перегружаемых автомобилей I-8 (рис. 4).

6. Нагружение одной ветви подъемника при его статических испытаниях.

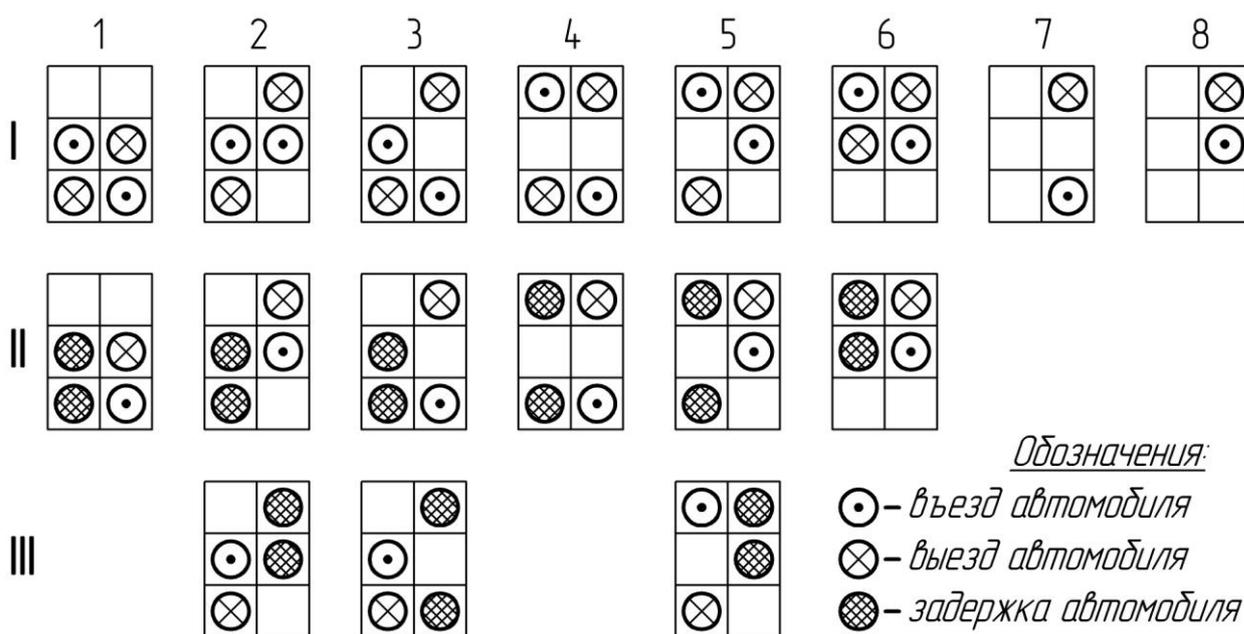


Рис. 4. Расчетные сочетания заполнения несущих платформ автомобилями для режима загрузки/выгрузки

На рис. 5 в качестве примера представлены полученные зависимости наибольших эквивалентных напряжений в группах элементов НМК от расположения подвижной нагрузки для следующих расчетных сочетаний нагрузок: подъем одного автомобиля при начале движения (разгон) на втором уровне (рис. 5, а); аварийный обрыв тягового органа при перемещении двух автомобилей (начало движения с крайних позиций) с последующим свободным проседанием тягового органа (рис. 5, б).

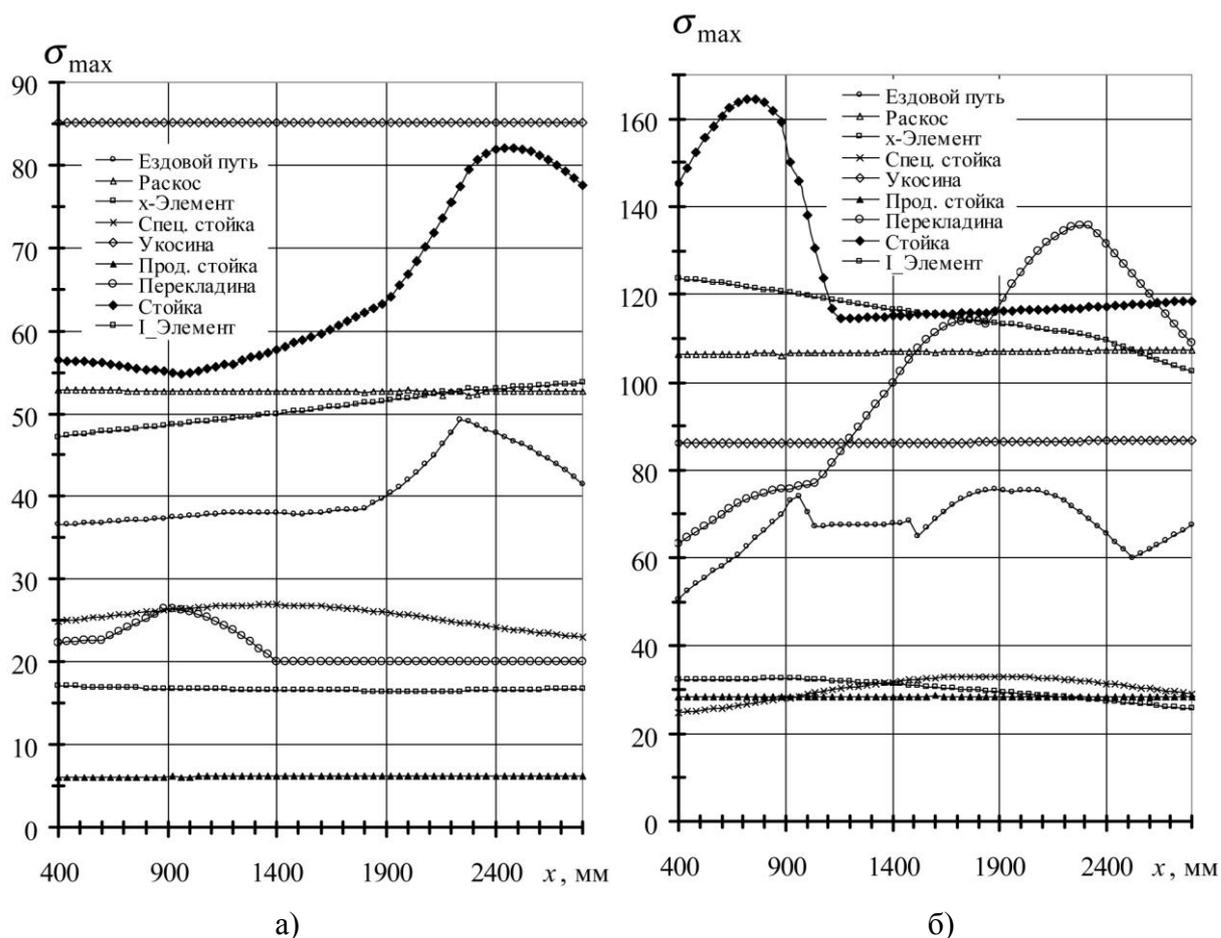


Рис. 5. Зависимость наибольших эквивалентных напряжений в группах элементов варианта НМК от смещения x подвижной нагрузки

По результатам настоящего исследования сделаны следующие выводы:

1. Разработана исследовательская конечно-элементная стержневая модель варианта НМК подъемника, позволяющая учитывать различные сочетания нагрузок на НМК, а также осуществлять построение зависимостей наибольших эквивалентных напряжений и перемещений в группах элементов и узлах рассматриваемой системы от расположения подвижной нагрузки, с шагом ее перемещения равным 40 мм.

2. Определены случаи наиболее неблагоприятного сочетания нагрузок на НМК для рассмотренного структурного варианта НМК подъемника. При расчетных сочетаниях, в которых допускается перемещение тягового органа, найдены значения смещений несущих платформ относительно загрузочных позиций, при которых образуются наибольшие эквивалентные напряжения в определенных группах элементов НМК.

3. Элементы фасадов варианта НМК наиболее нагружены в аварийных режимах работы подъемника; элементы продольной части – при работе подъемника в режиме загрузки/выгрузки автомобилей; элементы группы элементов «специальная стойка» – в режиме статических испытаний подъемника.

4. Важным направлением развития темы оптимального проектирования НМК подъемника является уточнение методов определения нагрузок на НМК, теоретическое и экспериментальное исследование возможных аварийных ситуаций в подъемнике.

Библиографический список:

1. Развитие классификации и терминологии в области механизированных автомобильных стоянок / С. Г. Гнездилов [и др.] // Подъемно-транспортное дело. 2009. № 5–6. С. 12–14.

2. Многоэтажная автостоянка: Патент 53341 РФ / А. В. Вершинский [и др.] Заявл. 08.12.05; опубл. 10.05.06. Бюлл. № 13.

3. Гнездилов С. Г. Совершенствование конструктивных форм автомобильных подъемников элеваторного типа // Подъемно-транспортное дело. 2009. № 4. С. 2–5.

4. Söhnchen A. Innovative Technologie für den ruhenden Verkehr in Stadtzentren und verdichteten Wohngebieten : Eine Tagung der Friedrich-Ebert-Stiftung am 14. November 1994 in Jena. Bonn: Friedrich-Ebert-Stiftung, 1995. 52 s. URL: <http://library.fes.de/fulltext/fo-wirtschaft/00363toc.htm> ([Электронный ресурс], дата обращения: 01.06.2011).

5. The Complete Guide to Chain // Tsubakimoto Chain Co. URL: <http://www.chain-guide.com/applications/6-3-3-parking-tower-chain.html> ([Электронный ресурс], дата обращения: 01.06.2011).