

$(W_{\gamma}(i\omega) - 1,789)$. Следовательно, в случае, когда имеем поддрессоренный роспуск, уменьшается коэффициент динамичности K_{ν} .

Данную расчетную схему можно использовать для расчета динамических показателей лесовозного тягача с погруженным на шасси роспуском. Однако результаты расчетных исследований не полностью соответствуют данным длительных эксплуатационных испытаний. Поэтому необходимо дальнейшее совершенствование предлагаемой расчетной модели с целью учета ударных явлений, наблюдаемых в системе. Но можно сказать, что ударные явления при перевозке роспуска на шасси весьма значительны, что подтверждает киносъемка процесса движения лесовозного автопоезда через пороговые искусственные неровности, проведенная на Минском автомобильном заводе (рис. 3). Экспериментом преследовалась цель раскрыть с помощью кинокамеры механизм нагружения несущей системы автомобиля-лесовоза МАЗ-509А при транспортировке на шасси прицепа-роспуска ТМЗ-803, а также изучить в процессе переезда искусственных препятствий перемещения прицепа-роспуска на шасси тягача. Эксперимент проводился на дороге с асфальтовым покрытием, на которой устанавливались препятствия высотой 160 мм в шахматном и рядном порядке с шагом, равным базе автомобиля МАЗ-509А (3950 мм) и половине базы роспуска (1975 мм).

Таким образом, дальнейшая разработка расчетной схемы, учитывающей ударные нагрузки, позволит исследовать сущность происходящих явлений, моделировать параметры подвески тягача и прицепа-роспуска и оптимизировать их, рассчитывать динамические показатели лесовозного тягача с погруженным прицепом-роспуском.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г а с т е в Б.Г., М е л ь н и к о в В.Н. Основы динамики лесовозного подвижного состава. — М.: Лесн. пром-сть, 1967, 220 с.
2. Л а х Е.И. К определению вертикальных динамических нагрузок на оси автомобильной балансирной тележки. — Автомобильная пром-сть, 1962, № 11, с. 10–12.
3. Ж у к о в А.В., К а д о л к о Л.И. Основы проектирования специальных лесных машин с учетом их колебаний. — Минск: Наука и техника, 1978. — 264 с.
4. Р о т е н б е р г Р.В. Подвеска автомобиля. — М.: Машиностроение, 1972. — 392 с.

УДК 629.114.3

С.С.МАКАРЕВИЧ, канд.техн.наук,
С.П.МОХОВ, Я.И.ОСТРИКОВ (БТИ),
В.П.ШИШЛО (ПО БелавтоМАЗ)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ОЦЕНКЕ НАГРУЖЕННОСТИ РАМ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПРИЦЕПНЫХ СРЕДСТВ

Интенсивное развитие лесной промышленности обуславливает все более широкое использование автотранспорта леса, в том числе и прицепных средств общетранспортного назначения для перевозки короткомерной лесной продукции. Поэтому вопросы проектирования данных транспортных средств являются актуальными.

Основным несущим элементом конструкции транспортных средств является рама, от надежности и металлоемкости которой существенно зависит надежность и экономическая целесообразность автопоезда в целом.

Рамные несущие конструкции прицепных средств по признаку пространственной протяженности представляют собой крайне сложные и разнообразные системы. Существующие методы расчета рам (метод жесткого контура поперечного сечения и метод деформируемого контура поперечного сечения) неприемлемы для расчета пространственных рамных систем автотранспортных средств, так как они являются слишком приближенными. Использование более точных методов расчета невозможно без применения ЭВМ ввиду высокой степени статической неопределимости указанных систем.

В последнее время широко используются матричные методы анализа напряженно-деформированного состояния конструкций прицепных средств и среди них один из наиболее эффективных — метод конечных элементов (МКЭ). Этот метод дает возможность в высокой степени автоматизировать процесс расчета пространственных рам автотранспортных средств путем широкого использования ЭВМ. Применение МКЭ [1] для исследования стержневых конструкций позволяет получить распределение как усилий и моментов, так напряжений и деформаций. Причем с помощью МКЭ можно исследовать конструкции практически любой формы, которые составлены из элементов, имеющих различные свойства, и получить при этом степень точности результатов. МКЭ позволяет применять расчетные схемы, соответствующие действительной работе рам прицепных средств, а также оценивать напряженно-деформированное состояние всей конструкции и отдельных ее элементов.

Автомобильные рамы прицепных средств в общем случае понимаются как системы из тонкостенных стержней, имеющие пространственную протяженность. МКЭ основан на представлении конструкции такой рамы в виде совокупности отдельных конечных элементов, свойства которых описываются конечным числом параметров. Эти свойства записываются в виде отдельных матриц, представляющих собой основу анализа всей конструкции и в значительной мере предопределяющих успех при создании математической модели системы. Свойства отдельных элементов определяются аналитическим способом.

Конечным элементом конструкции рамы является прямолинейный тонкостенный стержень постоянной по длине жесткости, к каждому из концов которого приложен вектор усилий, найденный от действия соответствующего вектора перемещений этих концов. Концевые точки элемента являются узловыми точками системы, геометрическая конфигурация которой задается выбранным конечным числом обобщенных координат этих точек. За обобщенные координаты приняты перемещения (линейные, угловые и депланационные) узловых точек конструкции.

Уже сама идеализация, приводящая конструкцию рамы к совокупности конечных элементов, которые связаны между собой лишь в узловых точках, требует, чтобы напряженное состояние в каждом из элементов однозначно определялось через значения узловых перемещений. Эта связь между узловыми перемещениями и узловыми усилиями конечного элемента определяется матрицей жесткости $[K]_e$. Матрица $[K]_e$ является квадратной (8×8), ее порядок равен числу степеней свободы рассматриваемого конечного элемента. Значения элементов матрицы $[K]_e$ зависят от геометрических и жесткостных па-

раметров конечного элемента, а также от принятого закона изменения компонентов перемещения. Наличие матриц жесткости для отдельных элементов позволяет заменить исходную конструкцию с бесконечным числом степеней свободы дискретной моделью с конечным числом степеней свободы.

Решение задачи МКЭ в конечном итоге — это решение системы линейных уравнений, которое в компактной форме может быть записано в виде [2]:

$$[K] \cdot \{X\} = \{P\}, \quad (1)$$

где $[K]$ — квадратная симметричная матрица жесткости системы; $\{X\}$ — матрица-столбец неизвестных перемещений; $\{P\}$ — матрица-столбец заданных внешних сил.

Для формирования уравнения (1) необходимо задать исходную информацию в виде матрицы параметров, куда входят геометрические характеристики: осевой и секториальный моменты инерции, момент инерции кручения, длина элемента, площадь сечения, направляющие косинусы, а также модули упругости, характеризующие материал. Эти свойства служат основой для вычисления матрицы жесткости для каждого элемента. Затем, используя матрицу индексов, формируют матрицу жесткости всей конструкции с учетом ориентации элементов пространства. Матрица индексов определяет взаимную связь элементов и имеет размеры $a \times b$, где a — количество элементов конструкции рамы, b — количество обобщенных перемещений для одного элемента. Построение матрицы индексов производится с учетом нумерации узловых перемещений для отдельного элемента, причем нумерация должна быть такой, чтобы получаемая система уравнений имела ленточную структуру. Для этого необходимо все неизвестные в узлах нумеровать последовательно. Ширина ленты получается наименьшей, если узлы обходить последовательно вдоль меньшего размера конструкции.

Каждая строка матрицы индексов показывает для одного элемента, какие неизвестные приложены к его узлам, причем их расположение в строке соответствует принятому порядку обхода обобщенных перемещений для элемента.

Вектор заданных внешних сил составляется из известных величин — весов агрегатов, распределенной полезной нагрузки и других, т.е. в уравнении (1) известны первый и третий члены. Это позволяет определить перемещения в узлах $\{X\}$. По известным перемещениям определяются внутренние силовые факторы $\{S\}$ в элементах из уравнения:

$$\{S\} = [MU] \cdot \{X\},$$

где $[MU]$ — матрица усилий элемента.

Аналогично определяются и напряжения. Вся процедура решения задач МКЭ осуществляется в ЭВМ. При этом исходными данными являются: координаты узлов, в которых соединяются конечные элементы; перечень номеров узлов для каждого элемента; перечень свойств материалов; объект исследований и внешняя нагрузка.

Набором конечных элементов можно описать практически любую сложную конструкцию рамы автоприцепа с учетом всех ее особенностей. МКЭ позволяет рассматривать отдельные конструктивные элементы, например узлы

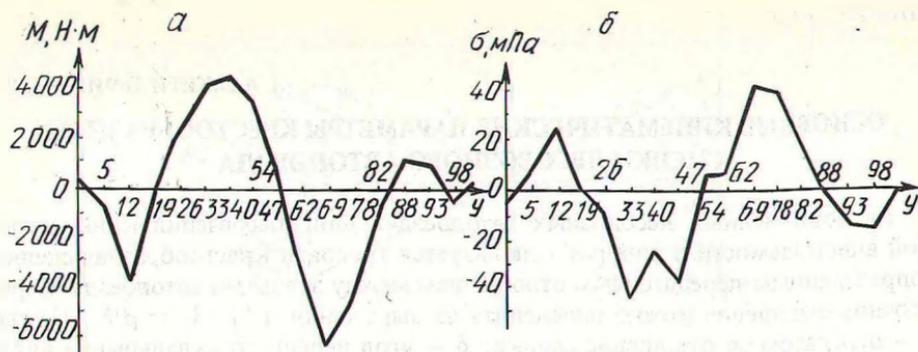


Рис. 1. Эпюра изгибающего момента (а) и нормальных напряжений (б) по длине лонжерона рамы прицепа.

рамы. При этом они могут разбиваться более мелко, в результате чего достигается большая эффективность решения.

Разработанная методика применена нами для расчета прицепного средства семейства МАЗ. В соответствии с применяемым методом рама разбита на 112 элементов, ограниченных узловыми точками, которые совпадают с конструктивными узлами. Далее, в соответствии с применяемой матрицей жесткости, определяющей число независимых обобщенных координат, пронумеровано 276 обобщенных узловых перемещений. Обобщенные перемещения нумеровались последовательно; при такой нумерации получена система коэффициентов алгебраических уравнений, имеющая ленточную структуру (ширина ленты $N = 34$). В процессе нумерации перемещений задавались граничные условия. Последние вводились тем, что исключались линейные смещения опорных узловых точек. Внешняя нагрузка приложена в виде узловых сосредоточенных сил собственного веса и полезной нагрузки.

Результаты расчета приведены на рис. 1, а, б, где показаны изменение изгибающего момента и эпюра нормальных напряжений по длине лонжерона рамы.

Как видно из рисунка, наиболее нагруженной является средняя часть лонжерона, а также его участки в местах крепления подкатной тележки и задней полурамы.

Таким образом, разработанный способ расчета, реализованный на ЭВМ, позволяет оценивать напряженное состояние рам прицепных средств, а также производить выбор оптимального варианта конструкции рамы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зенкевич О.С. Метод конечных элементов в технике / Пер. с англ. — М.: Мир, 1975. — 541 с.
2. Аргирис Дж. Современные достижения в методах расчета конструкций с применением матриц / Пер. с англ. — М.: Стройиздат, 1968. — 241 с.