



УДК 603.226 : 603.31

© А. Д. Ловцов, Н. А. Иванов, 2013

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ РАМЫ ЛЕГКОГО КОЛЕСНОГО ВЕЗДЕХОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ I

*Ловцов А. Д.* – д-р техн. наук, зав. кафедры «Механика деформируемого твёрдого тела»; *Иванов Н. А.* – канд. техн. наук, доцент кафедры «Машины и оборудование лесного комплекса», тел.: (4212) 37-51-90, e-mail: NIK-IVANOV-51@mail.ru (ТОГУ)

Представлена методика пошагового проектирования рамы легкого колесного вездехода на основе ее прочностного расчета методом конечных элементов.

In this paper step-by-step method of light wheel cross-country vehicle frame based on its durability calculation by final elements method is presented.

*Ключевые слова:* методика, вездеход, расчет, метод конечных элементов.

В последние годы в связи с явным дефицитом дорог в труднодоступных районах России интенсивное развитие получает вездеходный транспорт и, в частности, одно из его направлений – это вездеходы на высокоэластичных движителях в виде шин сверхнизкого давления (ВСНД).

При проектировании и изготовлении таких вездеходов целесообразно использовать узлы и агрегаты, выпускаемые промышленностью и используемые на других машинах. В первую очередь это относится к двигателю, сцеплению, коробке перемены передач, ведущему мосту. Двигатель, сцепление и коробка перемены передач образуют силовой агрегат и дополнительных прочностных расчетов не требуют. По ведущему мосту при проектировании необходимо выполнить проверочный расчет на прочность по методике, используемой для расчета ведущего моста автомобиля. Кроме вышеперечисленных механизмов в трансмиссию вездехода входит цепная передача или дополнительный редуктор. Их расчет выполняется по общепринятым методикам для такого типа механизмов, исходя из параметров двигателя и коробки перемены передач.

Проектирование и расчет рамы вездехода требует создания специальной методики их реализации, которую разработаем с использованием метода конечных элементов (МКЭ). Такая методика разработана и представлена в данной статье. Методику изложим на примере проектирования рамы легкого

трехколесного вездехода, опытный образец которого изготовлен в металле и испытан в условиях лесопроизводственного производства.

Одна из основных составляющих в работе по обоснованию общей компоновочной схемы вездехода – это выявление общей конструкции рамы в пределах найденного взаимного расположения основных узлов. Рама, связывая узлы и агрегаты вездехода в единое целое, служит его основанием, воспринимает основные нагрузки со стороны поверхности движения, работает на изгиб и на кручение и является главным объединяющим узлом в конструкции вездехода. Исходя из идеологии создания конструкции вездехода, следует заметить, что рама является производным элементом от выявленной общей технической структуры с рационально размещенными составляющими.

Рама находится под воздействием веса всех узлов и механизмов вездехода, расположенных на ней, а также под действием веса водителя и груза. На раму, кроме этого, действует усилие от переднего колеса, формируемое силами сопротивления движению, и тяговое усилие, приложенное к оси ведущих колес. Величины этих сил и точки их приложения зависят от режима движения вездехода, поэтому так важен вопрос выбора расчетных режимов при проведении прочностных расчетов рамы [1].

Рама подвержена также воздействию динамических сил, возникающих при переезде вездеходом неровностей поверхности и различных препятствий. Если принять во внимание, что рама вездехода представляет собой статически неопределимую систему, становятся понятными затруднения, возникающие при ее расчете. Аналитического расчета рамы в настоящее время нет, поэтому при ее проектировании вначале необходимо основываться на практику создания опытных образцов и результаты их испытаний.

Результаты таких испытаний показывают, что раму легкого вездехода целесообразно изготавливать из стержней трубчатого сечения с наружным диаметром от 36 до 48 мм с использованием в отдельных элементах стержней коробчатого сечения 40x60 мм. Рама имеет пространственную стержневую структуру, в которой можно выделить четыре основных элемента (рис. 1).

Основу рамы составляет П-образная симметричная относительно продольной оси вездехода конструкция 1, которая располагается в горизонтальной плоскости примерно на уровне оси колеса. Лонжероны этой конструкции соединены траверсами, на которых закрепляются двигатель со сцеплением и коробкой перемены передач, промежуточный вал с опорами цепной передачи (или карданная передача и дополнительный редуктор), ведущий мост, а также кузов и оперение ведущих колес.

Спереди к П-образной конструкции приваривается Л-образная труба 2, на острие которой в верхней части также жестко с помощью сварки закрепляется ось вилки переднего управляемого колеса вездехода, которая должна быть направлена в точку контакта этого колеса с дорогой для облегчения управления вездеходом.



В верхней части этой оси приварена верхняя хребтовая труба 3, на которой располагается топливный бак и сиденье водителя. Другой конец верхней трубы соединен с решеткой 5, расположенной вдоль оси ведущего моста и обеспечивающей жесткость рамы в поперечной плоскости вездехода.

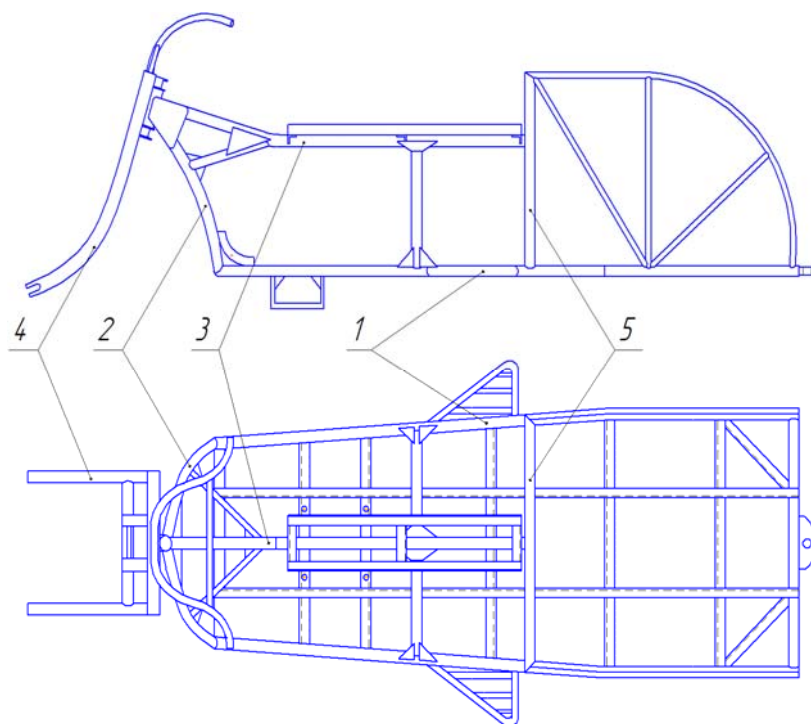


Рис. 1. Рама легкого трехколесного вездехода: 1 – П-образная конструкция основания рамы, 2 – U-образная труба, 3 – верхняя хребтовая труба, 4 – вилка переднего колеса, 5 – решетка

Методика пошагового проектирования рамы на основе ее прочностного расчета методом конечных элементов представляет собой комплекс последовательно выполняемых действий, включающих следующее:

1. Разработку базовой конструкции рамы на основе взаимного расположения агрегатов, механизмов и водителя вездехода, полученного в результате выполненной общей компоновки вездехода.
2. Обоснование и выбор расчетных режимов и определение нагрузок, действующих на раму.
3. Разбивку рамы на узлы и элементы, составление схемы загрузки рамы внешними силами.
4. Расчет рамы на прочность методом конечных элементов как пространственной стержневой системы с использованием программного комплекса SCAD версии 11.1, стержневой конечный элемент 5 [2].

5. Анализ результатов расчета, выявление наиболее нагруженных стержней, в которых напряжения превышают предел текучести материала.
6. Анализ конструктивных решений узлов, где напряжения в стержнях превышают допустимые, и формирование второго шага (разработка новой конструкции рамы, перераспределяющей усилия и напряжения в стержнях).
7. Повторный расчет рамы на прочность по п. 3 и п. 4.
8. Анализ полученных результатов на предмет соответствия напряжений в стержнях допускаемым величинам.
9. Если напряжения в стержнях не превышают предел текучести материала, на этом процесс проектирования заканчивается. Если напряжения в стержнях превышают предел текучести материала, то формируется очередной шаг, и цикл принятия решения по конструкции рамы и ее расчету повторяется.

И так, первоначально следует исходить из опыта проектирования, изготовления и испытания опытных конструкций вездеходов, в соответствии с которыми раму можно представить в виде пространственной стержневой конструкции, имеющей два вида поперечных сечений стержней - кольцевое и коробчатое (рис. 2).

При этом следует отметить, что подавляющее большинство элементов конструкции рамы ВСНД представляют собой стержни, поскольку отношение длины элемента к максимальному размеру поперечного сечения (рис. 2) превышает пять [3, 4]. Это дает основание представить расчетную схему рамы ВСНД как пространственную стержневую конструкцию (рис. 3).

Для прочностного расчета такой конструкции естественным является выбор метода конечных элементов (МКЭ), поскольку в пределах принятой расчетной схемы и технической теории стержней [3-5] МКЭ дает точное решение.

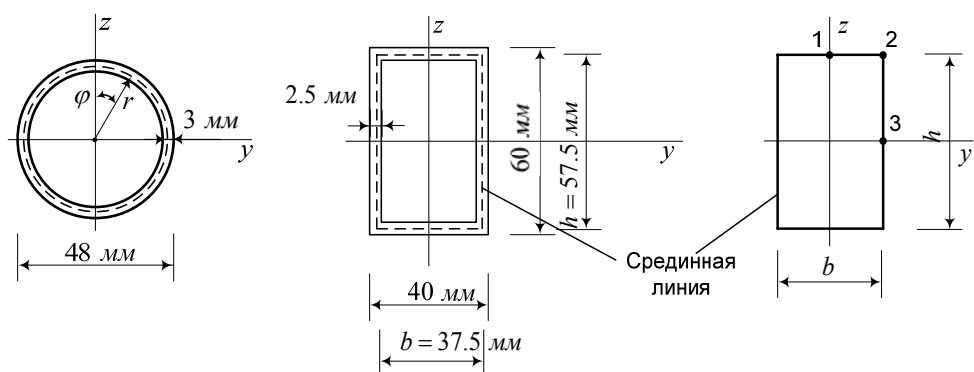


Рис. 2. Кольцевое и коробчатое поперечные сечения стержней рамы

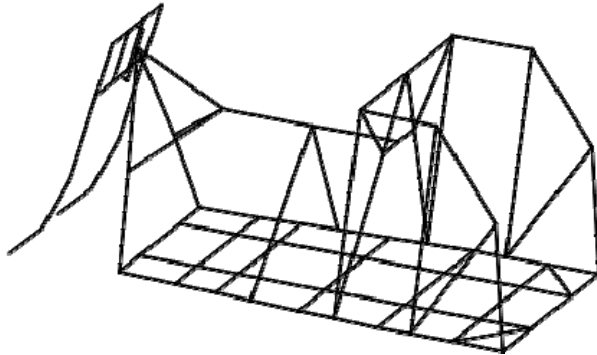


Рис. 3. Рама ВСНД как пространственная стержневая конструкция

Разрешающая система линейных алгебраических уравнений МКЭ

$$[R]\bar{u} = \bar{F} \quad (1)$$

представляет собой уравнения равновесия узлов расчетной схемы, записанные в глобальной системе координат  $X, Y, Z$ . Здесь:  $[R]$  – матрица жесткости системы конечных элементов (КЭ);  $\bar{u}$  – вектор узловых перемещений рамы в глобальной системе координат;  $\bar{F}$  – грузовой вектор.

Выбранная расчетная схема рамы ВСНД предполагает использование пространственного КЭ с 6-ю степенями свободы в узле (рис. 4):

- линейное перемещение  $u$  вдоль локальной продольной оси  $x$ ;
- два линейных перемещения  $v, w$  вдоль поперечных локальных осей  $y, z$ ;
- угловые перемещения  $\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$  относительно осей.

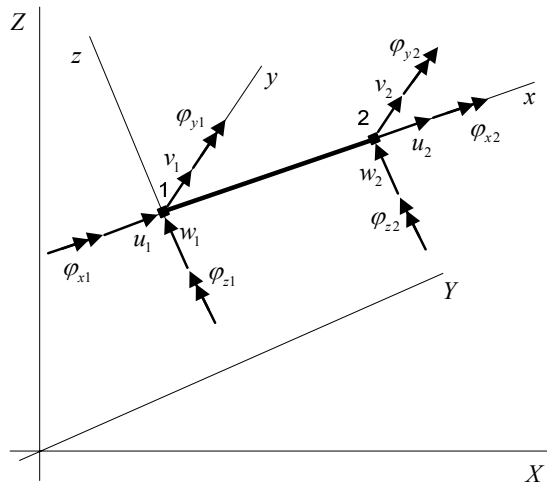


Рис. 4. Пространственный КЭ с 6-ю степенями свободы в узле



Такое назначение узловых неизвестных позволяет определить в поперечном сечении стержня продольную силу  $N_x$ , поперечные силы  $Q_y, Q_z$ , крутящий момент  $M_x$  и изгибающие моменты  $M_y, M_z$ .

Для расчета рамы ВСНД как пространственной стержневой системы использовался программный комплекс SCAD версии 11.1, стержневой конечный элемент 5 [2].

### Библиографические ссылки

1. *Иванов Н.А.* Оптимизация режимов движения вездехода по поверхности, покрытой кочками / Н.А. Иванов, Е.А. Мясников // Вестник ТОГУ. – 2012. - № 2(25) – С. 107 – 116.
2. *Карпиловский В. С.* SCAD Office. Вычислительный комплекс SCAD / В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов, А. А. Маляренко, М. А. Микитаренко, А. В. Перельмутер, М. А. Перельмутер. – Изд-во АСВ, 2004 – 592 с.
3. *Прочность, устойчивость, колебания.* Справочник в трех томах. Том 1. Под ред. И. А. Биргера и Я. Г. Пановко. – М., Машиностроение. 1968. – 831 с.
4. *Александров А.В.* Сопротивление материалов: Учеб. для вузов / А. В. Александров, В. Д. Потапов, Б. П. Державин; Под ред. А. В. Александрова, 3-е изд. испр. – М., Высш. шк., 2003. – 560 с.
5. *Смирнов А. Ф.* Строительная механика. Стержневые системы / А. Ф. Смирнов, А. В. Александров и др. – М., Стройиздат, 1981. – 512 с.