

УДК 630.36:625.1/7

А. М. Лось, ассистент (БГТУ)

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ НЕСУЩЕЙ РАМЫ ПРОЕКТИРУЕМОГО СОРТИМЕНТОВОЗА ПРИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ БОКОВЫХ ВНЕШНИХ СИЛ

Представленная статья посвящена исследованию напряженно-деформированного состояния узлов и стержней несущей рамы сортиментовоза при дополнительном воздействии на нее внешних боковых сил. Исследования выполнены с применением интегрированной системы прочностного анализа по методу конечных элементов. Представленные результаты исследований показывают, что запроектированная конструкция имеет достаточный запас прочности и жесткости.

In considered article the results of researches intense-deformed condition of knots and cores of a timber carrier bearing frame at additional influence external lateral forces on it are resulted. The finite element analysis method was used to possess a solution. The presented results of researches show, that the projected design has sufficient safety factor and rigidity.

Введение. Лесовозный транспорт и его технологическое оборудование работают в специфических условиях, имеющих свои особенности, отличающиеся разнообразными факторами. Проектирование и оценка основных параметров подвижного состава производятся на основании анализа показателей его тяговой и общей динамики, проходимости, устойчивости и плавности хода. Каждый из приведенных показателей связан с вертикальной, продольной и поперечной динамикой транспортного средства, что в значительной степени влияет на мощностные, скоростные и прочностные параметры. При эксплуатации лесовозного транспорта характерно появление внешних возмущающих сил на криволинейных участках пути, нарастающих или убывающих при выполнении различных маневров, при поворотах, обгоне и т. д.

При оценке напряженно-деформированного состояния характер и интенсивность вертикальных, продольных и поперечных колебаний системы являются определяющими и значительно влияют на запас прочности, надежность и долговечность проектируемой конструкции.

Согласно данным, приведенным А. В. Жуковым [1], при наложении на собственные поперечно-угловые колебания перемещений, вызванных боковой внешней силой $F_{ц}$, возможно увеличение амплитуд угловых отклонений системы до 20...25%. Степень этого увеличения зависит от частоты собственных колебаний поддресоренной массы машины и времени изменения знака переменных нагрузок от возмущающей силы.

Несущая система прицепных средств автопоездов-сортиментовозов является одним из основных элементов, определяющих надежность специализированного автотранспорта для перевозки сортиментов. Прочность и жесткость рамы в значительной мере влияют на работоспособность транспортного средства. Рама воспринимает все нагрузки, возникающие при

движении по магистралям и лесовозным веткам, а также является основанием для размещения и крепления сортиментов и технологического оборудования. Поэтому в силовой схеме автопоезда-сортиментовоза несущая система является одним из важнейших узлов при оценке ее прочности.

Основная часть. Количественные показатели и характер изменения силовых воздействий, которые воспринимаются сортиментовозом при выполнении рабочих операций, значительно зависят от условий эксплуатации. Это происходит как при взаимодействии транспорта с внешней средой, так и в случае, если возмущающие силы появляются вследствие динамической неуравновешенности деталей и узлов машины или действий оператора (включение привода, изменение режимов движения). Возмущающие силы разнообразны по направлению, природе, характеру действия и т. д.

При движении лесовозного автопоезда источниками возбуждения колебаний являются неровности поверхности дороги или волока, неуравновешенность вращающихся частей ходовой части, двигателя и трансмиссии; дополнительные боковые силы, появляющиеся при изменении направления движения, боковые аэродинамические нагрузки.

Во время эксплуатации лесовозного транспорта характерно появление внешних возмущающих сил на криволинейных участках пути. Особо важно учитывать силы, нарастающие или убывающие интенсивно при выполнении различных маневров, поворотах, обгоне и т. д.

В общем случае движения системы на криволинейной траектории нормальная боковая сила, приложенная в центре тяжести машины, равна

$$F_{ц} = Mj_{цп}, \quad (1)$$

где M – масса; $j_{цп}$ – нормальное ускорение центра тяжести системы на повороте.

Ускорение $j_{\text{сн}} = \omega_{\text{сн}}V - dV_{\text{сн}}/dt$ ($\omega_{\text{сн}}$ – угловая скорость вращения системы на повороте; $V_{\text{сн}}$ – нормальная составляющая полной линейной скорости центра тяжести системы). При системе жестких в боковом направлении колес формула (1) имеет вид

$$F_{\text{ц}} = M\omega_{\text{сн}}V + l \frac{\partial \omega}{\partial t}, \quad (2)$$

где l – расстояние от задней оси до центра тяжести машины.

При постоянных значениях радиуса поворота R и скорости V $F_{\text{ц}} = MV^2/R$.

Боковая ветровая нагрузка $F_{\text{в}}$ определяется с учетом удельного давления ветра, равного 500 Па, на боковые площади проекций частей пакетов сортиментов, действующих на стойки промежуточных кониковых устройств:

$$F_{\text{в}} = 500(h_1l_1 + h_2l_2), \quad (3)$$

где h_1, h_2 – высота левого и правого пакетов сортиментов; l_1 и l_2 – длина проекции левого и правого пакетов, приходящиеся на стойки промежуточных кониковых устройств.

Таким образом, при выполнении исследований напряженно-деформированного состояния элементов несущей рамы сортиментовоза учитывалось дополнительное суммарное воздействие боковых сил $F_{\text{ц}}$ и $F_{\text{в}}$.

Конструкция проектируемого сортиментовоза и ее описание изложены на рис. 1, с. 272 [2].

Исследованиями нагруженности различных конструкций статически нагруженной, рамы позволили установить для нее такую компоновочную схему, в которой эквивалентные напряжения, возникающие в стержнях под воздействием вертикальных и продольных нагрузок, минимальны (боковые нагрузки в данном исследовании не учитывались). Такая конструкция (рис. 1) состоит из верхних поясов 1, нижних поясов 2, наиболее нагруженных раскосов 3, слабонагруженных раскосов 4 и поперечных связей 5, выполненных в виде симметричной крестообразной решетки. В такой компоновочной схеме использованы элементы коробчатых поперечных сечений со следующими размерами: для стержней верхнего и нижнего пояса – $90 \times 90 \times 5$ мм; для наиболее нагруженных раскосов – $80 \times 80 \times 4$ мм; для горизонтальных поперечных связей и раскосов – сечением $50 \times 50 \times$ мм.

Максимальные эквивалентные напряжения в такой конструкции достигают величины $\sigma_{\text{max}} = 70,3$ Н/мм², что на 10,6% меньше, чем при использовании в конструкции дополнительных вертикальных стоек, и на 34,2% мень-

ше, чем при использовании несимметричной раскосной системы горизонтальных связей.

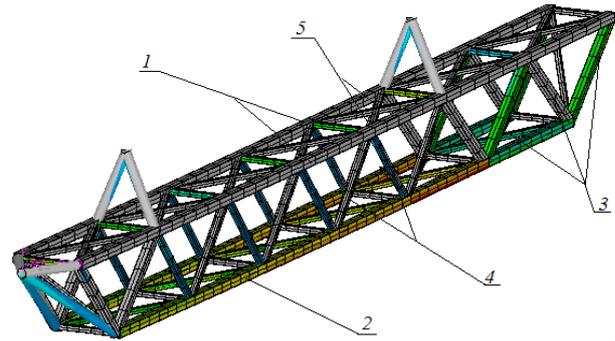


Рис. 1. Конструкция рамы:
1 – верхние пояса; 2 – нижние пояса;
3 – наиболее нагруженные раскосы;
4 – слабонагруженные раскосы;
5 – поперечная симметричная крестообразная решетка

Оценка напряженно-деформированного состояния исследуемой конструкции производится по фактическому коэффициенту запаса прочности согласно условию

$$n = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{\sigma_{\text{max}}} \geq [n], \quad (4)$$

где σ_{lim} – предельные напряжения материала изготовления конструкции, Н/мм²; σ_{max} – максимальные фактические напряжения, возникающие в конструкции, Н/мм²; $[n]$ – минимально допустимый коэффициент запаса прочности конструкции, зависящий от степени ответственности. Для практических расчетов достаточно принять $[n] = 1,5$.

При использовании для изготовления рамы пластичных материалов в качестве предельного напряжения принимается предел текучести, т. е. $\sigma_{\text{lim}} = \sigma_{\text{T}}$. Таким образом, при использовании стали 09Г2 с пределом текучести $\sigma_{\text{T}} = 310$ Н/мм² минимальный коэффициент запаса прочности при статическом нагружении составляет $n = 4,4$.

На рис. 2 представлена диаграмма осевых усилий, возникающих в стержнях рамы под воздействием вертикальных, продольных и дополнительных боковых нагрузок. Наибольшие растягивающие нагрузки зафиксированы в элементах нижнего пояса, которые достигают величины $F_{\text{max(p)}} = 153,7$ кН, а наибольшие сжимающие напряжения в верхнем поясе достигли значения $F_{\text{max(сж)}} = 106,1$ кН. Проведенными ранее исследованиями установлено, что при отсутствии боковых сил наибольшая растягивающая сила в нижнем поясе достигает величины $F_{\text{max(p)}} = 128,5$ кН, а наибольшая сжимающая $F_{\text{max(сж)}} = 93,4$ кН.

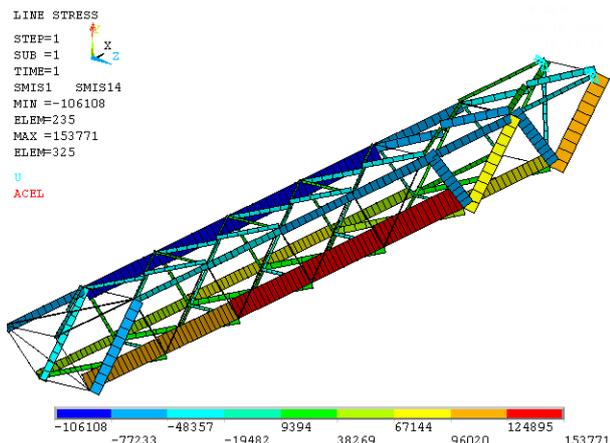


Рис. 2. Диаграмма осевых усилий в стержнях рамы под воздействием вертикальных, продольных и боковых нагрузок

Распределение напряжений, возникающих в элементах рамы под воздействием вертикальных, продольных и дополнительных боковых нагрузок, представлено на рис. 3.

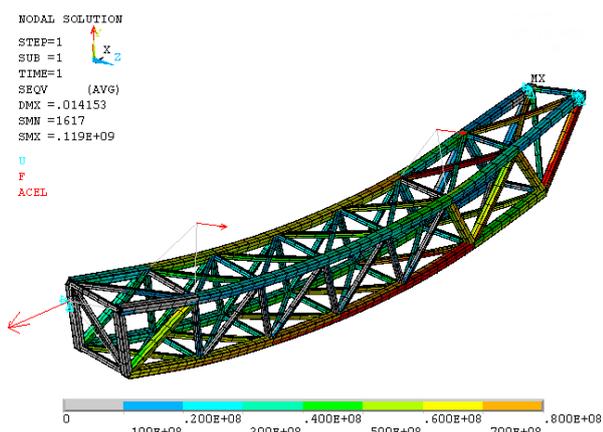


Рис. 3. Напряжения, возникающие в элементах рамы под воздействием вертикальных, продольных и боковых нагрузок

Максимальные эквивалентные напряжения здесь достигают величины $\sigma_{\max} = 119 \text{ Н/мм}^2$. Проведенные исследования показывают, что напряжения в стержнях нижнего пояса имеют значение $\sigma_{\max} = 95 \text{ Н/мм}^2$, в то время как при отсутствии боковых нагрузок они не превышали $70,3 \text{ Н/мм}^2$. При этом фактический коэффициент запаса прочности конструкции, определенный по формуле (4), будет $n = 2,6$, что больше минимального допустимого значения, значит, исследуемая несущая конструкция сохраняет работоспособность при воздействии на нее дополнительных боковых внешних сил.

Диаграмма угла поворота элементов рамы относительно продольной оси приведена на рис. 4. Наибольший поворот элементов рамы зафиксирован в левой части, так как здесь предусмотрено шарнирное крепление рамы относительно всех геометрических осей, в то время как правые шарниры крепления рамы к тележке прицепа дают ей возможность вращаться только относительно поперечной горизонтальной оси. Максимальный угол перемещения элементов рамы достигает значения $\varphi = 0,09615$ рад, что соответствует величине $2,75^\circ$. Расчетами установлено, что при длине рамы 11 м допустимое значение угла перемещения $[\varphi] = 3,2^\circ$, следовательно, жесткость рамы обеспечена.

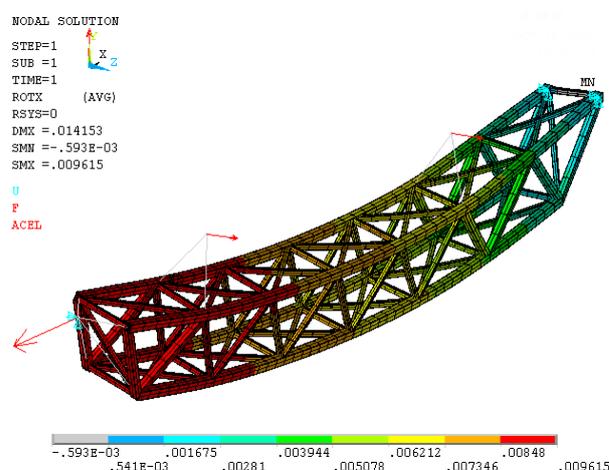


Рис. 4. Диаграмма угла закручивания рамы относительно продольной оси

Заключение. Проведенные исследования показывают, что спроектированная конструкция имеет достаточный запас прочности как при нагружении вертикальными и продольными нагрузками, так и при действующих боковых нагрузках. Исследования по определению угла закручивания рамы показывают, что конструкция имеет достаточный запас жесткости.

Литература

1. Жуков, А. В. Теория лесных машин: учеб. пособие / А. В. Жуков. – Минск: БГТУ, 2001. – 640 с.
2. Лось, А. М. Повышение надежности и долговечности сварных соединений элементов несущей рамы проектируемого сортиментовоза / А. М. Лось, Н. П. Вырко, А. А. Малиновский // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2007. – Вып. XIV. – С. 271–274.

Поступила 14.03.2011