Литература

1. Інженерна геологія. Механіка грунтів, основи та фундаменти : підручник / [Зоценко М.Л., Коваленко В.І. та ін.]; за ред. М.Л. Зоценко. – Полтава: ПНТУ, 2003. – 554 с.

2. Кравченко В.И. Уплотнение почв машинами / В.И. Кравченко. – Алма-Ата: «Наука», 1986. – 96 с.

3. Самусь В.И. Основы теории упругости и пластичности / В.И. Самусь. – М.: «Высшая школа», 1982. – 264 с.

УДК 630.36

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ

С.П. Мохов, к.т.н., доцент, С.А. Голякевич, ассистент,
С.Н. Пищов, к.т.н., доцент, С.Е. Арико, к.т.н., ассистент,
А.В. Манько, магистрант
УО «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, Республика Беларусь

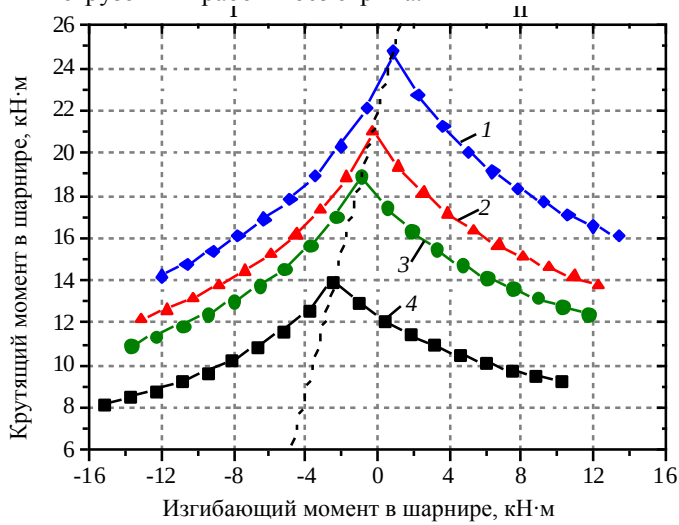
Введение

На статическую и динамическую нагруженность форвардера значительное влияние оказывают массово-геометрические параметры перевозимых сортиментов. Так, при проведении погрузочных операций, в зависимости от массы поднимаемых сортиментов и загруженности грузовой платформы сортиментами различной длины, величины статических крутящих и изгибающих моментов, действующих на шарнир форвардера, изменяются в значительных диапазонах.

Основная часть

Смещение зависимостей вдоль оси абсцисс относительно нуля (рисунок 1) объясняется консольным расположением центра тяжести энергетического модуля форвардера, что приводит к возникновению статического момента изгиба величиной до 2,5 кН·м (при повернутом на 90° манипуляторе). Нелинейное уменьшение момента кручения в шарнире при увеличении загруженности форвардера вызвано ростом восстанавливающего момента технологического модуля при одновременном увеличением жесткости его колес. Значительное влияние на нагруженность шарнира сочленения полурам в процессе работы манипулятора оказывают параметры механизма его блокирования. Так, зависимости изменения момента кручения в шарнире форвардера 4К4 при проведении погрузочно-разгрузочных операций для различных масс поднимаемых сортиментов и крутильной жесткости меха-

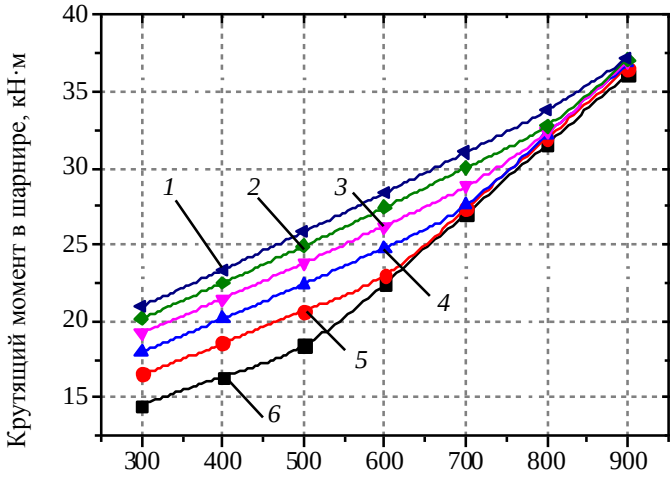
низма блокирования полурам представлены на рисунке 2. Установлены две характерные зоны изменения кривых крутящего момента: с отрывом от поверхности колеса технологического модуля противоположного стороне проведения погрузочных работ и без отрыва.



I –Погружены сортименты длиной 6 м; II– Погружены сортименты длиной 4 м
Масса поднимаемого сортимента 1) 457кг 2) 302кг 3) 213кг 4) без сортимента

Рис. 1 – Нагруженность шарнира на погрузочных операциях при вылете манипулятора 5,3 м и равномерном поднимании сортимента

При работе без отрыва колеса величина крутящего момента в шарнире сочленения линейно возрастает. Интенсивность нарастания крутящего момента составляет 2–2,4 кН·м на 100 кг массы поднимаемой пачки. Характерно, что при работе в данной зоне при меньшей крутильной жесткости механизма блокирования достигается меньшая нагруженность шарнирного сочленения моментом кручения. Разница в моменте кручения при крутильной жесткости $2 \cdot 10^6$ Н·м/рад и $1{,}0 \cdot 10^6$ Н·м/рад составляет 4,3 кН·м. Существенное снижение крутящего момента в шарнире объясняется тем, что при меньшей крутильной жесткости механизма блокирования большая часть нагрузки кручения в раме перераспределяется на участок между колесами технологического модуля и местом установки манипулятора. Однако при меньшей крутильной жесткости механизма блокировки отрыв колеса технологического модуля наблюдается при меньшей массе поднимаемых сортиментов.



1) $C_{ш}$=2·106 Н·м/рад; 2) $C_{ш}$=1,75·106 Н·м/рад; 3) $C_{ш}$=1, 5·106 Н·м/рад; 4) $C_{ш}$=1,25·106 Н·м/рад; 5) $C_{ш}$=1,0·106 Н·м/рад; 6) $C_{ш}$=0,5·106 Н·м/рад

Рис. 2 – Нагруженность шарнира сочленения полурам на погрузочных операциях при вылете манипулятора 5,3 м и равномерном поднимании пачек сортиментов различной массы

Отрыв колес технологического модуля форвардера от поверхности движения сопровождается увеличением интенсивности нарастания крутящего момента в шарнире до 4,15 раз. Для порожнего форвардера при крутильной жесткости механизма блокирования $0{,}5 \cdot 10^6$ Н·м/рад и вылете манипулятора равном 5,3 м отрыв происходит при массе поднимаемых сортиментов 493 кг.

Снижая жесткость механизма блокирования, для области работы без потери устойчивости технологического модуля, можно уменьшить действующие моменты кручения в шарнире до 1,32 раза. Для этого на типичной погрузочно-разгрузочной операции при увеличении массы поднимаемых сортиментов от 400 кг до 900 кг необходимо пропорционально изменять жесткость механизма блокирования от 500 кН·м/рад до 2000 кН·м/рад. При этом учитывается, что в момент разгона и торможения при подъеме и опускании сортиментов, действующие динамические грузовые моменты манипулятора могут значительно превышать статическую величину. При опускании сортиментов массой 600 кг со скоростью 0,6 рад/с в момент торможения в конструкции форвардера возбуждается колебательный процесс. Коэффициент динамичности грузового момента манипулятора при

времени торможения равном 0,1 с составляет 2,18–2,3, при увеличении времени торможения до 0,2 с коэффициент динамичности не превышает 1,64, а при времени торможения 0,6 с –1,22. Изменение коэффициентов динамичности момента кручения в шарнире сочленения в зависимости от массы погруженных сортиментов носит нелинейный характер. В процессе торможения происходит отрыв колеса технологического модуля от поверхности движения и происходит интенсивное увеличение динамической составляющей момента кручения в шарнире.

В процессе возрастания момента кручения происходит депланация поперечного сечения шарнира на угол до 15°, что связано с деформациями колес технологического и энергетического модуля и ограниченной крутильной жесткостью механизма блокирования. Это учтено при моделировании напряженно-деформированного состояния шарнира сочленения полурам форвардера. В процессе моделирования массовые параметры опускаемой пачки сортиментов выбирались таким образом, чтобы обеспечить номинальное значение грузового момента брутто манипулятора (50 кН·м) на вылетах от 3,6 м до 5,4 м. По мере сокращения вылета стрелы манипулятора масса опускаемой пачки сортиментов увеличивалась. Время торможения пачки сортиментов варьировалось от 0,1 с до 0,6 с. Начальная угловая скорость манипулятора перед торможением – 0,6 рад/с.

Заключение

Коэффициент динамичности грузового момента манипулятора соответствует большей загруженности грузовой платформы сортиментами, а больший коэффициент динамичности крутящего момента в шарнире полурам – меньшей загруженности платформы. В момент торможения манипулятора при опускании сортиментов коэффициенты динамичности момента кручения в шарнире сочленения составляет 2,42–2,91 при времени торможения 0,1 с, 1,69 –1,9 при 0,2 с и 1,22–1,24 при времени торможения 0,6 с.

На основе проведенных исследований разработаны рекомендации по рациональным режимам работы погрузочно-транспортной машины, снижающим ее динамическую нагруженность:

– максимальную скорость подъема стрелы манипулятора форвардера 4К4 на типичной погрузочно-разгрузочной операции (вылет манипулятора 5,3 м, масса сортиментов 500 кг) рационально ограничить величинами: 0,7 рад/с при расстоянии трелевки 150 м и 0,55 рад/с при расстоянии трелевки 450 м.

– для обеспечения последнего режима работы требуется мощность привода гидроцилиндра подъема стрелы, равная 36 кВт при разгоне и 29,6 кВт при равномерном поднимании сортиментов.