

Анализ влияния кориолисовых сил инерции на нагруженность технологического оборудования поворотного лесопогрузчика с переменным вылетом груза

П. Г. Колесников¹

Сибирский государственный технологический университет

АННОТАЦИЯ

Рассматривается влияние кориолисовых сил инерции на нагруженность элементов конструкции технологического оборудования поворотного лесопогрузчика.

Ключевые слова: кориолисовы силы инерции, поворотный лесопогрузчик, технологическое оборудование

SUMMARY

Influence of Coriolis's forces of inertia on the loading of elements of a design of the technological equipment of a rotary logger is considered in this article.

Keywords: coriolis's forces of inertia, a rotary logger, the technological equipment.

В процессе работы поворотного лесопогрузчика с переменным вылетом груза с целью сокращения времени цикла возможны одновременное выдвижение секций и поворот технологического оборудования в продольно-вертикальной плоскости, а также выдвижение секций с одновременным поворотом технологического оборудования в горизонтальной плоскости относительно оси опорно-поворотного устройства. Эти режимы являются наиболее характерными для работы лесопогрузчика рассматриваемого типа, поэтому при моделировании они принимаются за основные.

По количеству поступательно движущихся масс перемещение телескопической стрелы с ходом S можно разделить на два периода. Первый период при $0 \leq \Delta S \leq 0,5S$ – выдвижение средней секции совместно с внутренней секцией и грузом. Второй период при $0,5S \leq \Delta S \leq S$ – выдвижение внутренней секции с грузом.

На рисунке 1 представлена расчетная схема технологического оборудования. Рассматриваем режим поворота стрелы с грузом в плоскости XKZ на угол φ с одновременным выдвижением секций. φ – угол поворота стрелы с грузом относительно точки K . Совмещаем ось вращения стрелы с началом

координат. S – перемещение груза, равное ходу телескопического устройства стрелы.

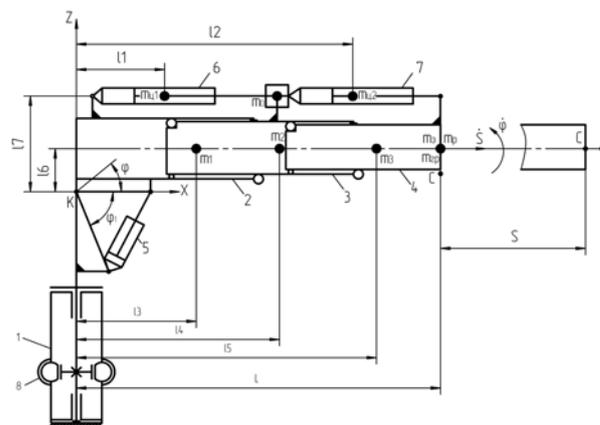


Рис. 1. Расчетная схема технологического оборудования:

1 – опорно – поворотное устройство; 2 – наружная секция; 3 – средняя секция; 4 – внутренняя секция; 5 – гидроцилиндр поворота стрелы; 6, 7 – гидроцилиндры механизма выдвижения секции; 8 – механизм поворота колонны; m_1, m_2, m_3 – массы наружной, средней и внутренней секций стрелы; $m_p, m_3, m_{гр}$ – массы ротатора, захвата и груза, приведенные в точку C – точку подвеса ротатора к стреле; m_0 – часть массы механизма выдвижения секций, приведенная к центру масс средней секции; $m_{ц1}, m_{ц2}$ – массы гидроцилиндров привода механизма выдвижения секций; L – размер стрелы при втянутых секциях; $\dot{\varphi}$ – угловая скорость вращения стрелы (скорость переносного движения); \dot{S} – скорость поступательного (относительного) движения секций.

Так как переносное движение в рассматриваемом режиме является вращательным (вращение стрелы относительно оси K), при поступательном относительном движении масс элементов конструкции стрелы (выдвижение секции, работа гидроцилиндров выдвижения секций) возникают кориолисово ускорение и кориолисова сила инерции (W_C и P_C), которая может быть определена по выражению:

$$P_C = 2m_i \dot{\varphi} \dot{S} \sin(\dot{\varphi} \perp \dot{S}).$$

Так как количество поступательно движущихся масс на первом и втором этапах движения стрелы различно, величина кориолисовой силы инерции также различна.

Для первого этапа движения:

$$P_{C1} = 2\dot{\varphi} \dot{S} \cdot (0,5m_{ц1} + m_0 + m_2 + m_{ц2} + m_3 + m_p + m_3 + m_{гр}). \quad (1)$$

¹ Автор – доцент кафедры технологий и машин природообустройства

Для второго этапа:

$$P_{C2} = 2\dot{\varphi} \dot{S} \cdot (0,5m_{ц2} + m_3 + m_p + m_3 + m_{тр}). \quad (2)$$

В соответствии с правилом Жуковского кориолисово ускорение направлено в сторону переносного вращения, а кориолисова сила инерции по касательной – в противоположную сторону. Угол между направлениями векторов угловой скорости $\dot{\varphi}$ и скорости поступательного движения $\dot{S} - 90^0$, $\sin 90^0 = 1$.

Момент кориолисовых сил инерции на первом этапе движения:

$$M_{C1} = 2\dot{\varphi} \dot{S} \cdot [0,5m_{ц1}(\ell_1 + 0,25S) + (m_0 + m_2) \times (\ell_4 + 0,5S) + m_{ц2}(\ell_2 + 0,5S) + m_3(\ell_5 + 0,5S) + (m_p + m_3 + m_{сп})(L + 0,5S)]. \quad (3)$$

Момент от кориолисовых сил инерции на втором этапе движения:

$$M_{C2} = 2\dot{\varphi} \dot{S} \cdot [0,5m_{ц2}(\ell_2 + 0,75S) + m_3(\ell_5 + S) + (m_p + m_3 + m_{сп})(L + S)]. \quad (4)$$

При анализе уравнений моментов кориолисовых сил инерции видно, что основное влияние на величину момента кориолисовой силы инерции будут оказывать линейная и угловая скорости движения стрелы, массы элементов конструкции стрелы, масса груза и плечи соответствующих масс. Исходя из этого, исследование кориолисовой силы инерции на первом и втором этапах движения будем проводить при варьировании следующих факторов:

- угла поворота стрелы – φ , $-30^\circ \leq \varphi \leq 60^\circ$, $\Delta\varphi = 10^\circ$;
- скорости выдвигания секций и поворота стрелы в продольно-вертикальной плоскости, т. е. производительности гидронасоса – Q , $2,7 \cdot 10^{-4} \leq Q \leq 5,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$;
- грузового момента – $M_{гр}$, $160 \leq M_{гр} \leq 260 \text{ кН} \cdot \text{м}$.

Для моделирования величины момента кориолисовых сил инерции на первом и втором этапах движения стрелы при одновременном подъеме стрелы и выдвигании секций воспользуемся математическим пакетом MathCad. Данная математическая программа имеет обширный набор инструментов для реализации графических, аналитических и численных методов решения поставленных задач и наиболее подходит для требуемых исследований.

На рисунке 2 приведена зависимость момента кориолисовой силы инерции от угла поворота стрелы $M_1 = f(\varphi)$. При этом $Q = \text{const}$, $M_{гр} = 210 \text{ кН} \cdot \text{м} = \text{const}$.

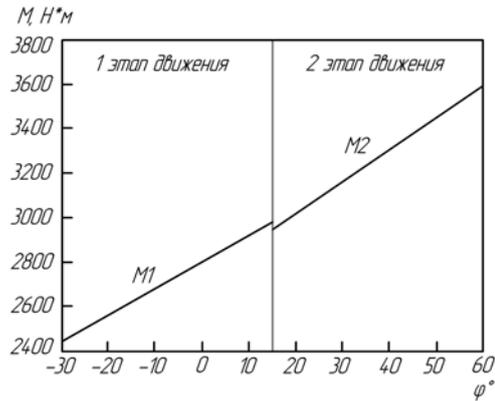


Рис. 2. Зависимость момента кориолисовой силы инерции на первом (M1) и втором (M2) этапах движения от угла поворота стрелы

Анализ полученных результатов показывает, что величина момента кориолисовой силы инерции на первом этапе движения линейно возрастает с увеличением угла поворота стрелы на 22% по сравнению с начальным значением. Это связано с увеличением моментов инерции движущихся масс. В конце первого этапа происходит скачкообразное уменьшение момента кориолисовой силы инерции на 3,5% (33Н·м) вследствие мгновенного уменьшения количества поступательно движущихся масс. Дальнейший рост момента кориолисовой силы инерции на втором этапе движения связан также с увеличением моментов инерции движущихся масс. К концу второго этапа движения момент кориолисовой силы инерции возрастает на 42,5%, что составляет 1,7% от грузового момента лесопогрузчика.

На рисунке 3 показаны результаты исследований влияния производительности насоса и скорости движения штоков гидроцилиндров механизма подъема стрелы и механизма выдвигания секций на величину момента кориолисовой силы инерции.

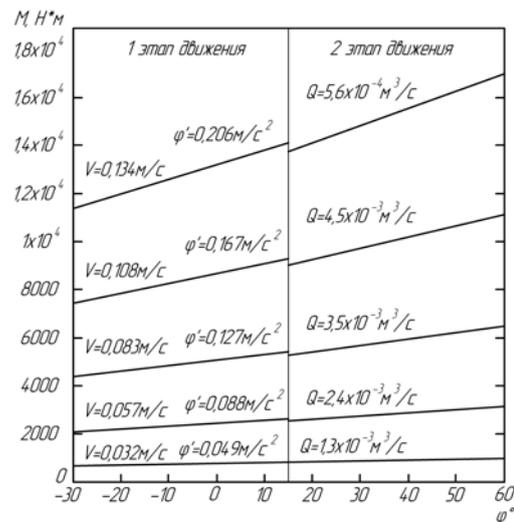


Рис. 3. Зависимость момента кориолисовой силы инерции от производительности гидронасоса

Анализ полученных результатов показывает, что момент кориолисовых сил инерции возрастает с увеличением производительности гидронасоса, что связано с увеличением линейной и угловой скоростей движения телескопического манипулятора и, следовательно, с увеличением моментов инерции движущихся масс. Уменьшение производительности насоса приводит к снижению угловой и линейной скоростей элементов стрелы, что в свою очередь приводит к снижению кориолисовой силы инерции. Из результатов исследований следует, что снижение производительности насоса на 90% позволяет снизить момент кориолисовой силы инерции на 99%, при увеличении производительности на 90% момент кориолисовой силы инерции возрастает в 4,5 раза.

На рисунке 4 приведены результаты исследований влияния грузового момента на изменение момента кориолисовой силы инерции, из которого следует, что при увеличении грузового момента кориолисова сила инерции возрастает, что обусловлено увеличением моментов инерции движущихся масс.

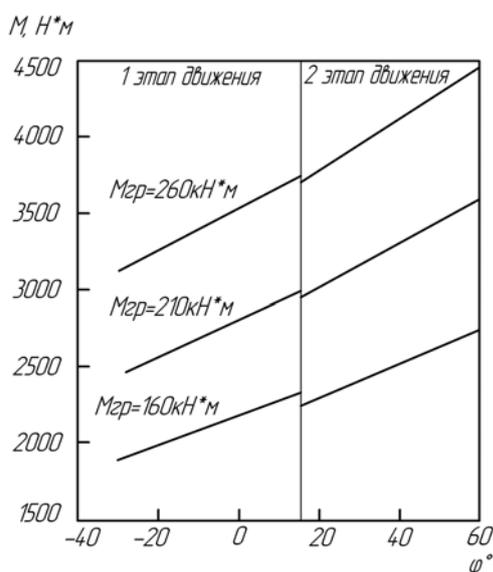


Рис. 4. Зависимость момента кориолисовой силы инерции на первом и втором этапах движения от грузового момента

Так, увеличение грузового момента со 160 до 260 кН*м (на 62,5%) приводит к росту момента кориолисовых сил инерции на $1,23 \cdot 10^3$ Н*м (на 65%).

Анализ результатов математического моделирования позволяет сделать следующие выводы:

1. Величина кориолисовой силы инерции при заданных кинематических параметрах лесопогрузчика несущественно влияет на нагруженность системы. Максимальное значение кориолисовых сил инерции, возникающее в конце второго этапа движения, составляет 1,7% от грузового момента лесопогрузчика.
2. Кориолисовы силы инерции существенно возрастают при повышении производительности гидронасоса, следовательно, при увеличении линейной и угловой скоростей движения манипулятора.
3. Увеличение грузового момента лесопогрузчика также приводит к значительному росту кориолисовых сил инерции.
4. Максимальная нагруженность на элементы конструкции от кориолисовых сил инерции возникает при повышении линейной и угловой скоростей движения стрелы. При этом при повышении скоростей движения стрелы в два раза максимальная величина момента кориолисовых сил инерции составит 8% от грузового момента лесопогрузчика.
5. В рассматриваемой конструкции поворотного лесопогрузчика с переменным вылетом груза кориолисова сила инерции оказывает незначительное влияние на нагруженность элементов конструкции и ее учет не обязателен. При повышении скоростей движения звеньев технологического оборудования и увеличении грузового момента лесопогрузчика кориолисова сила инерции значительно возрастает и ее учет становится необходимым.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полетайкин В. Ф. Проектирование лесных машин. Моделирование рабочих режимов тракторных лесопогрузчиков. / В. Ф. Полетайкин. Красноярск: КГТА, 1996. 248с.
2. Александров В. А. Динамические нагрузки в лесосечных машинах. / В. А. Александров. Л: Изд-во ЛГУ, 1984.