

Подставив полученные значения n , t_1 и $t_{\text{ц}}$ из формул (2, 3, 4 и 10) в формулу (1) и сделав соответствующие преобразования, получим развернутое выражение производительности валочно-сучкорезно-раскряжевочных машин:

– манипуляторного типа

$$\Pi = \frac{10^{-4} (T - t_{\text{п-з}}) \cdot \varphi_1 \cdot a \cdot b \cdot Q_{\text{га}} \cdot i}{\frac{a}{\vartheta_{\text{дв}}} + \left[t_2 + \frac{V_{\text{хл}}}{\Pi_{\text{пил}} \varphi_2 f(H-1,3)} + t_4 + \frac{H - kH - l_{\text{в}}}{u_{\text{ср}}} + \frac{\pi d_{\text{ср}}^2 (H - l_{\text{в}})}{4 \Pi_{\text{пил}} \varphi_2 l_{\text{ср}}} \right] \frac{ab Q_{\text{га}} i}{10000 \cdot V_{\text{хл}}}}; \quad (11)$$

– неманипуляторного типа

$$\Pi = \frac{10^{-4} (T - t_{\text{п-з}}) \cdot \varphi_1 \cdot a \cdot b \cdot Q_{\text{га}} \cdot i}{\frac{10000 \cdot V_{\text{хл}}}{Q_{\text{га}} i b \vartheta_{\text{дв}}} + t_2 + \frac{V_{\text{хл}}}{\Pi_{\text{пил}} \varphi_2 f(H-1,3)} + t_4 + \frac{H - kH - l_{\text{в}}}{u_{\text{ср}}} + \frac{\pi d_{\text{ср}}^2 (H - l_{\text{в}})}{4 \Pi_{\text{пил}} \varphi_2 l_{\text{ср}}}}. \quad (12)$$

Формулы (11 и 12) представляют собой математические описания процесса заготовки на лесосеке сортиментов валочно-сучкорезно-раскряжевочными машинами. Они с достаточной точностью и достоверностью позволяют анализировать производительность этих машин в зависимости от их технологических параметров (скорости движения с одной рабочей позиции на другую ($\vartheta_{\text{дв}}$); ширины полосы леса, разрабатываемой машиной за один проход (b); производительности чистого пиления пильного механизма ($\Pi_{\text{пил}}$) и др.) и природных факторов: среднего объема хлыста ($V_{\text{хл}}$), ликвидного запаса древесины на 1 га ($Q_{\text{га}}$), породы и других факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Матвейко А.П. Расчет производительности валочных и валочно-пакетирующих машин // Изв. вузов. Лесной журнал. – 1989. – № 4. – С. 36–38.

УДК 630*377.4

А.В. Жуков, профессор

ДИНАМИКА ХАРВЕСТЕРА

The model for an estimation of various factors and parameters the chassis and the process equipment on dynamics harvester, the proved choice of his rational parameters is developed. The data on influence on dynamics harvester MLH-424 his parameters, and also power and high-speed parameters of a drive of the manipulator are given.

В настоящее время в Западной Европе и других лесодобывающих странах широкое распространение имеют валочно-сучкорезно-раскряжевочные машины – харвестеры, которые используются совместно с погрузочно-транспортными машинами – форвардерами и образуют высокоэффективную систему для заготовки сортиментов. Харвестеры, выполненные по разным конструктивным схемам, различаются по сфере применения, типу базового шасси, конструкции, мощности (20...160 кВт) и имеют большой разброс по собственной массе (3...25 т). Харвестеры изготавливаются на шасси типа 4К4 или 6К6 с жесткой или чаще шарнирно-сочлененной рамой.

Наибольшую известность в мировой практике получили харвестеры таких фирм, как «Валмет», «Локомо», «Тимберджек» и других.

В настоящее время на Минском тракторном заводе успешно освоено производство колесных лесных машин различного типа и назначения. Налажен серийный выпуск трехосного форвардера МЛ-131 и на базе его шасси уже созданы два опытных образца харвестеров МЛХ-424 и МЛХ-434 (рис. 1), находящихся в промышленной эксплуатации в России (Республика Коми). Машины оснащены технологическим оборудованием манипуляторного типа финского и шведского производства.

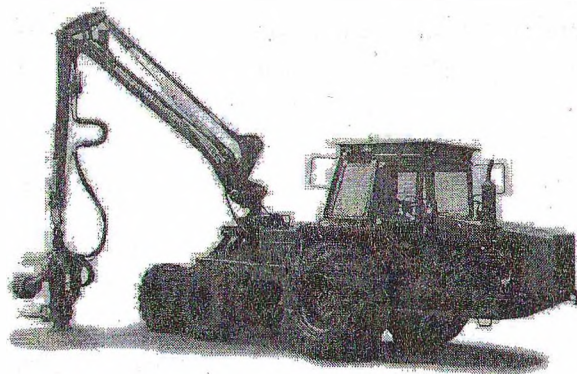


Рис. 1. Харвестер МЛХ-434

Рабочий цикл харвестера включает следующие операции: наводка захватно-срезающего устройства (ЗСУ) на дерево, находящегося в вертикальном положении, его захват за комлевую часть. После спиливания действием манипулятора осуществляется начальный этап валки дерева, его свободное падение – второй этап. На втором этапе валки угловая скорость падения дерева может быть снижена за счет движения ЗСУ в сторону, противоположную падению с помощью манипулятора. При этом происходит снижение динамических нагрузок, передаваемых на манипулятор. Далее осуществляются протягивание дерева через сучкорезное устройство с очисткой ствола от сучьев и раскряжевка его на сортименты.

В процессе операций рабочего цикла возникают нагрузки, которые являются исходными для расчета и обоснования параметров захватно-срезающих устройств, а также их воздействия на металлоконструкцию манипулятора и шасси машины.

Методика для определения этих нагрузок достаточно полно разработана и описана многими авторами [1, 2, 3]. Однако при основных операциях рабочего цикла харвестера приведенные в указанных работах методики не учитывают целого ряда факторов, что вносит существенные погрешности при оценке его динамической нагруженности.

Применительно к отдельным элементам общего цикла динамические задачи рассматривались в работах [1–3], Р. Люмановым [4], В.Ф. Кушляевым [5] и некоторыми другими, однако общая динамическая модель, учитывающая взаимодействие машины, технологического оборудования и дерева в системе «лесная машина – дерево – среда», в литературе изучена недостаточно полно.

На рис. 2 приведена общая расчетная схема харвестера при валке дерева, учитывающая связь колебаний базового шасси на шинах, манипулятора, установленного на вторичной подвеске, металлоконструкции манипулятора с захватным устройством и дерева как упругой системы.

С учетом того, что харвестер с любой стоянки валит и обрабатывает деревья, растущие в рабочей зоне манипулятора (до 270 град), критическим принимается случай, когда манипулятор находится под углом 90 град. к продольной оси машины и валка производится «от себя». В данном случае корпус машины совершает как вертикальные, так и поперечно-угловые колебания, что и соответствует приведенной расчетной схеме.

Динамическая система имеет 9 степеней свободы – обобщенные координаты z_1 – z_9 , учитывающие вертикальные (z_1, z_3), поперечно-угловые (z_2, z_4) перемещения корпуса трактора и опорно-поворотной конструкции манипулятора, вертикальные и горизонтальные перемещения (z_5, z_6) захвата и дерева (точка O), угловое перемещение ствола (z_7) и, соответственно, линейные перемещения (z_8, z_9) дискретных масс m_{d2} и m_{d3} дерева.

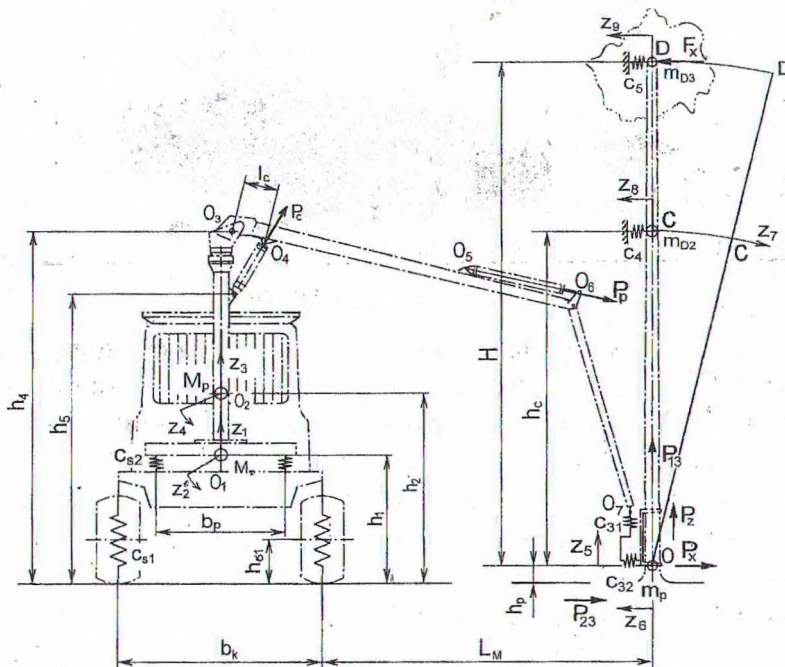


Рис. 2. Общая динамическая расчетная схема харвестера при валке дерева

На расчетной схеме помимо обобщенных координат и размерных параметров приведены следующие принятые обозначения: M_T и M_p – массы корпуса машины и опорно-поворотной конструкции манипулятора, а c_{s1} и c_{s2} – вертикальные жесткости шин шасси и подрессоривания опорно-поворотной конструкции манипулятора; m_p и c_{31}, c_{32} – приведенная к точке O захватно-срезающего устройства масса стрелы, рукояти и дерева и соответственно приведенные жесткости металлоконструкций манипулятора в вертикальном и горизонтальном направлениях; m_{d1} и m_{d2} – дискретные массы дерева, приведенные соответственно к его центру масс и центру кроны; c_4 и c_5 – изгибные жесткости соответствующих участков свола дерева; P_c, P_p, P_{13}, P_{23} – движущие силы на штоках стрелы, рукояти и захватно-срезающего устройства; P_z и P_x – вертикальная и горизонтальная составляющие реакций дерева в зажимах ЗСУ при падении; F_x – ветровая нагрузка на крону дерева; G_d – вес дерева.

Решение задачи по оценке динамики системы рассматривалось поэтапно. Исключая процессы наводки ЗСУ на дерево, его зажим и спливание как нехарактерные с точки зрения динамического нагружения системы, в качестве первого этапа рассматри-

ваем подъем дерева на высоту 0,5...0,9 м после срезания в вертикальном направлении; второй этап характеризуется перемещением комля дерева в горизонтальном направлении в сторону, противоположную валке, и одновременным свободным его падением, последний этап – удар вершинной части дерева о грунт и послеударные колебания ствола. Все этапы сопровождаются колебаниями базового шасси и манипулятора.

С целью упорядочения процесса составления уравнений движения и дальнейшего программирования задачи для решения на ЭВМ на первых двух этапах рассматриваем отдельно подсистемы «шасси – манипулятор» и «дерево», а их взаимодействие учитываем соответствующими уравнениями связи. Этап удара и послеударных колебаний рассматриваем в общей системе.

Общая система дифференциальных уравнений, соответствующая описанным рабочим операциям, имеет вид

$$\begin{aligned}
 M_T \ddot{z}_1 + k_{s1} \dot{z}_1 - k_{s2} (\dot{z}_3 - \dot{z}_1) + c_{s1} z_1 - c_{s2} (z_3 - z_1) &= 0; \\
 I_{Tz} \ddot{z}_2 + k_{z2} \dot{z}_2 - k_{z4} (\dot{z}_4 - \dot{z}_2) + c_{z2} z_2 - c_{z4} (z_4 - z_2) &= 0; \\
 M_P \ddot{z}_3 + c_{13} [z_3 - z_4 (L_M + b_k / 2) - z_5] + c_{s2} (z_3 - z_1) + k_{13} [\dot{z}_3 - \\
 - \dot{z}_4 (L_M + b_k / 2) - \dot{z}_5] + k_{s2} (\dot{z}_3 - \dot{z}_1) &= 0; \\
 I_{pz} \ddot{z}_4 - c_{13} (L_M + b_k / 2) [z_3 - z_4 (L_M + b_k / 2) - z_5] + c_{z4} (z_4 - \\
 - z_2) - k_{13} (L_M + b_k / 2) [\dot{z}_3 - \dot{z}_4 (L_M + b_k / 2) - \dot{z}_5] + k_{z4} (\dot{z}_4 - \\
 - \dot{z}_2) = P_z (L_M + b_k / 2) + P_{13} (L_M + b_k / 2) + P_x (h_{b1} - h_P); \\
 m_P \ddot{z}_5 - k_{13} [\dot{z}_3 - \dot{z}_4 (L_M + b_k / 2) - \dot{z}_5] - c_{13} [z_3 - z_4 (L_M + b_k / 2) - \\
 - z_5] = P_{13} + P_z + P_A + P_4 (H - h_c) / H.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Уравнения (1) решаются совместно с уравнениями свободного падения дерева [1, 2], для нахождения сил P_x и P_z решаются дифференциальные уравнения поперечных изгибных колебаний ствола дерева [1], которые связаны с основной системой уравнением связи и уравнениями для определения импульсов ударных сил, приложенных к ЗСУ при ударе дерева о грунт [2, 3], при следующих условиях:

$$P_4 = k_4 [\dot{z}_8 - \dot{z}_9 h_c / H - \dot{z}_5 (H - h_c) / H] + c_4 [z_8 - z_9 h_c / H - z_5 (H - h_c) / H]. \tag{2}$$

При $t \leq t_c$

$$L_M = l_k - b_k / 2; P_{13} = l_c P_{cz} / (L_M + b_k / 2); P_z = 0; P_x = 0; P_4 = 0; P_A = 0; P_B = 0.$$

При $t \leq t_c + t_p$

$$L_M = l_k - b_k / 2; P_{13} = 0; P_4 = 0; P_A = 0; P_B = 0; P_x, P_z, l [1, 2].$$

При $t \leq t_c + t_p + t_u$

$$P_z = 0; P_x = 0; P_{13} = 0; l = l_k; L_M = l - b_k / 2; m_p = m_{d1} + m_{pr} + m_z.$$

P_A и P_B находятся по выражениям импульсов ударных сил S_A и S_B , уравнения (1) и (2) решаются совместно.

При $t \leq t_c + t_p + T_u$

$$P_z = 0; P_x = 0; P_{13} = 0; l = l_k; L_M = l - b_k / 2; m_p = m_{d1} + m_{pr} + m_z;$$

$$P_A = 0; P_B = 0.$$

Оценка общего характера динамического процесса при валке деревьев производилась для расчетного варианта харвестера, основные параметры которого совпадают с параметрами машины МЛХ-424 с двигателем мощностью 155 л. с., оснащенной механической трансмиссией, гидроаппаратурой фирмы «Кранаб», харвестерной головкой SP-551LF. Масса машины 12 т, вылет стрелы 8,6 м. Масса расчетного дерева $m_d = 1 \dots 2,4$ т, $H = 29,5$ м; $D_{1,3} = 0,34$ м.

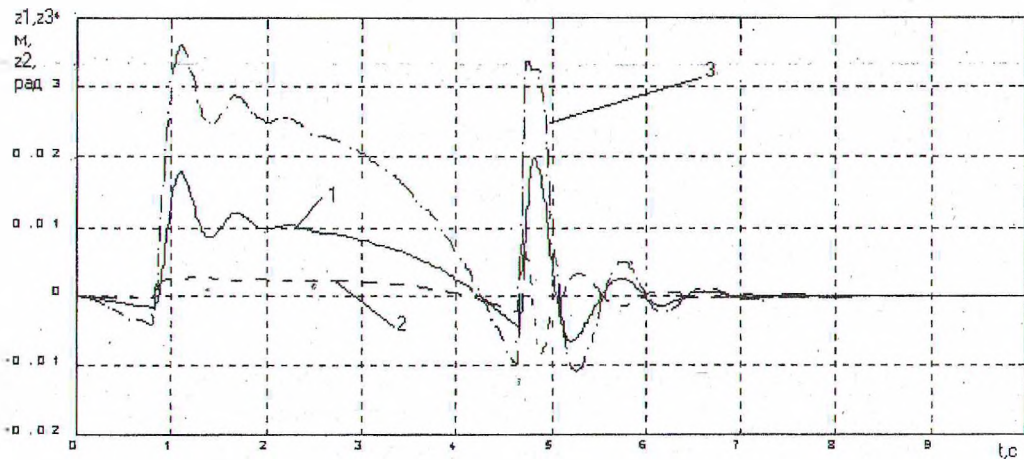


Рис. 3. Вертикальные z_1 , z_3 и угловые z_2 перемещения масс шасси и основания манипулятора по времени (кривые—1, 2, 3)

Показанные на рис. 3 зависимости перемещений корпуса машины и основания манипулятора изменяются в соответствии с принятыми условиями. До времени $t=0,8$ с, соответствующего отрыву дерева от пня и подъему ствола на некоторую высоту, происходит незначительное изменение перемещений. После этого начинается период валки, который продолжается 3,78 с. Таким образом, до времени 4,6 с характер изменения рассматриваемых зависимостей определяется изменением усилий P_z и P_x (рис. 4).

На рис. 4 показано, что характер изменения усилий P_z и P_x сложный, при времени 4,6 с имеют место отрицательные их значения, равные соответственно 7 и 32 кН. P_z имеет максимальное положительное значение, равное 25 кН, а $P_x = 4$ кН.

Приведенные на рис. 5 зависимости всесторонне характеризуют процесс колебаний системы, по общему характеру идентичны рассмотренным и дают информацию о количественном изменении динамических показателей на всех рассматриваемых этапах валки дерева.

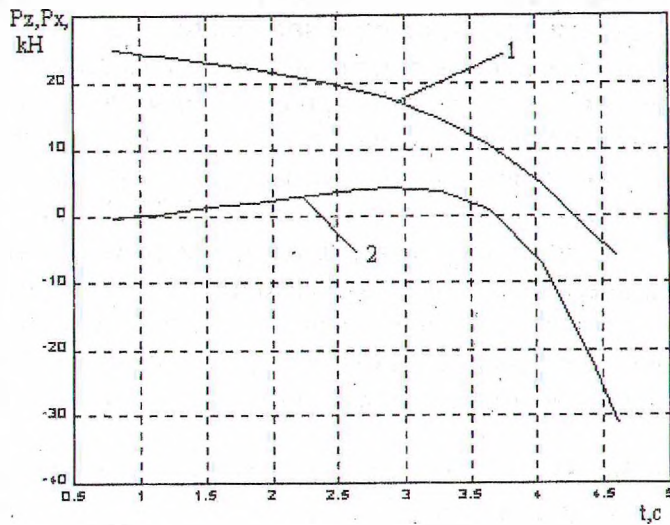


Рис. 4. Зависимости усилий P_z и P_x от времени: 1 – P_z ; 2 – P_x

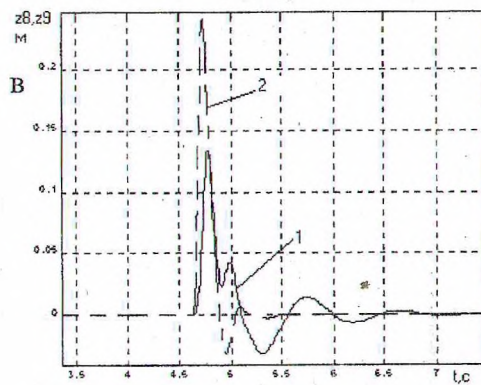
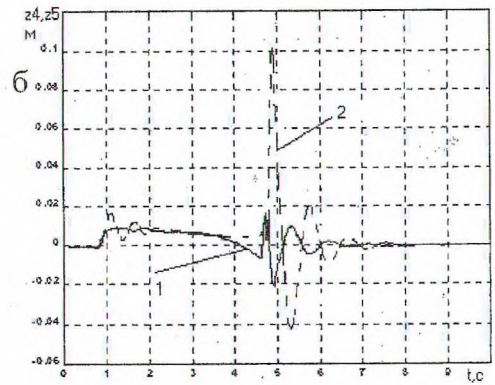
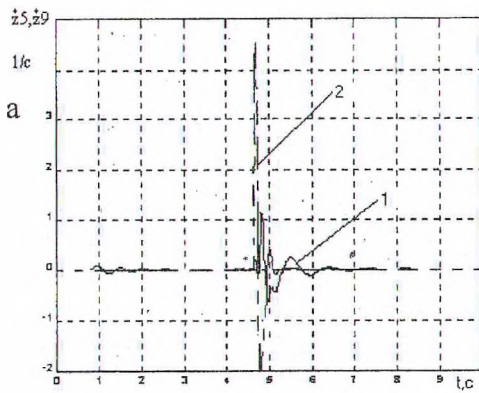


Рис. 5. Зависимости параметров колебаний системы от времени: а – скорости перемещений z_5 (1), z_9 – (2); б – перемещения z_4 (1), z_5 (2); в – перемещения z_8 (1), z_9 (2)

Следует иметь в виду, что динамическое усилие Pd13 рассчитывается без учета статической составляющей от весовой нагрузки комлевой части дерева. При учете этой составляющей полная величина нагрузки несколько возрастет, однако это возрастание

будет разным в зависимости от этапа падения дерева. На последнем этапе послеударных колебаний она будет минимальной и равной примерно $2/3 G_d$.

На этапе подъема дерева после спиливания в качестве движущей силы рассматривается сила P_c , развиваемая на штоке гидроцилиндра подъема стрелы. В систему уравнений (1) ее вертикальная составляющая входит как активная сила P_{13} , приведенная к захвату. Она может задаваться локально на основе уравнения, связывающего перемещение штока гидроцилиндра с параметрами гидропривода [1, 3], или определяться из подсистемы, включающей первичный двигатель внутреннего сгорания, как источник движения системы, механическую и гидравлическую части привода, решаемой совместно с основной системой уравнений (1). Использование метода моделирования зависит прежде всего от поставленных задач. Если стоит задача определения загрузки первичного двигателя, то необходимо использовать второй вариант (см. рис. 7), хоть это и усложняет решение задачи.

Для харвестера МЛХ-424 нагрузочные режимы рассматриваемых этапов валки дерева характеризуются данными рис. 6.

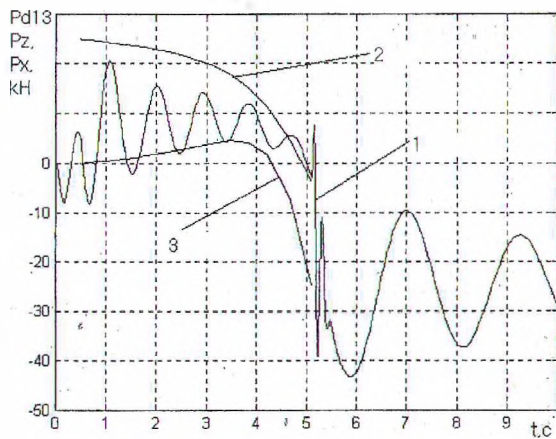


Рис. 6. Динамические усилия при валке дерева ($Q=2,4 \text{ м}^3$, $T_u=0,03 \text{ с}$, $w_{1p}=0,1$; $w_{2p}=0,08 \text{ 1/с}$):
1 — P_{d13} ; 2 — P_z ; 3 — P_x

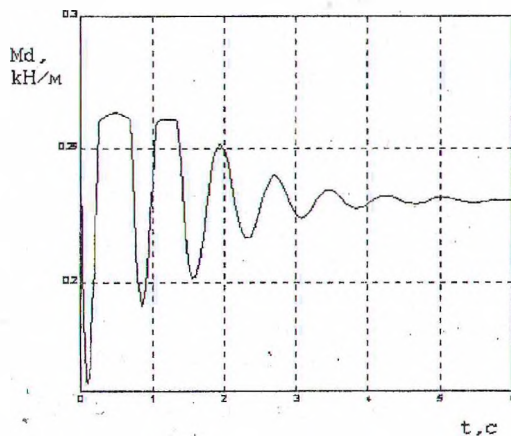


Рис. 7. Зависимость изменения момента двигателя Д-243 по времени при подъеме груза — дерева манипулятором

При исследованиях использовались оба варианта моделирования возмущающих воздействий, что позволило оценить степень загрузки двигателя харвестера МЛХ-424 и подтвердило правильность его выбора.

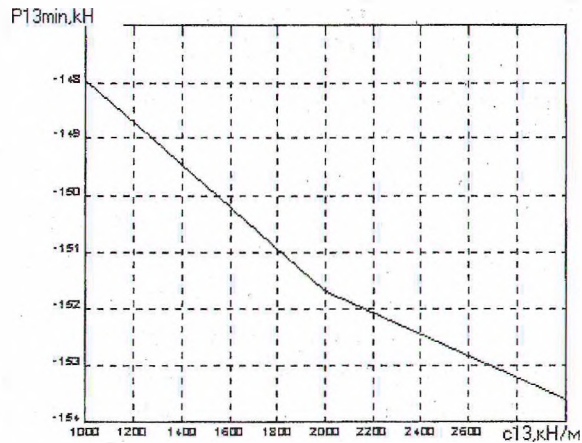


Рис. 8. Зависимости наибольших значений динамических усилий на ЗСУ от жесткости c_{13} при ударе дерева о грунт в процессе валки (параметры исходные)

Разработанная модель дает широкие возможности оценки влияния различных факторов, параметров шасси и технологического оборудования, режимов выполнения рабочих операций на динамику харвестера, обоснованного выбора его рациональных параметров. Например, на рис. 8 показано, как изменяются динамические усилия на ЗСУ при разных значениях жесткости металлоконструкции манипулятора и привода. При исследованиях было также установлено, как на динамику харвестера влияют его размерные и весовые параметры, масса манипулятора, его вылет, а также силовые и скоростные показатели привода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жуков А.В. Проектирование лесопромышленного оборудования: Учебник для вузов. – Мн.: Вышэйшая шк., 1990. – 312 с.
2. Орлов С.Ф. Теория и применение агрегатных машин на лесозаготовках. – Л.: Гослесбумиздат, 1963. – 271 с.
3. Александров В.А. Моделирование технологических процессов лесных машин. – М.: Экология, 1995. – 257 с.
4. Люманов Р. Машинная валка леса. – М.: Лесная промышленность, 1990. – 280 с.
5. Кушляев В.Ф. Лесозаготовительные машины манипуляторного типа. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 248 с.