

УДК 62-529

UDC 62-529

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЗАХВАТНО-СРЕЗАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ**AUTOMATION OF THE FELLING HEAD OF A FOREST MACHINE**

Ласточкин Денис Михайлович
к.т.н.

Lastochkin Denis Mihajlovich
Cand.Tech.Sci.

Онучин Евгений Михайлович
к.т.н., доцент
Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Россия

Onuchin Evgenij Mihajlovich
Cand.Tech.Sci., associate professor
Volga State University of Technology, Ioshkar-Ola, Russia

В работе представлен оригинальный подход к вопросу автоматизации рабочего процесса захватно-срезающего устройства по удержанию срезанного дерева в вертикальном положении при его выносе из лесосеки. Представлена модель удержания дерева в вертикальном положении и структурная схема управления положением захватно-срезающего устройства

The article presents a brand new approach to the issue of automation of a workflow of the felling head to retain the truncated tree in an upright position when it is carried out of the woods. The model of holding tree upright and a block diagram of the position control of the felling head have been presented

Ключевые слова: ЗАХВАТНО-СРЕЗАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО, АВТОМАТИЗАЦИЯ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ.

Keywords: FELLING HEAD, AUTOMATION, MATHEMATICAL MODELING, CONTROL SYSTEM

Введение

Современные системы управления техническими объектами решают как частные вопросы регулирования, такие как управление энергетическими режимами объекта, управление его скоростными режимами (скоростью машины, электродвигателя, гидромотора), так и выполняют комплексные задачи автоматического управления по обеспечению контроля, диагностирования и защиты. При этом параллельно решается ряд задач по обеспечению энергоэффективности, обеспечению безопасности и надежности [1].

При автоматизации современного технического объекта и комплексном решении множества различных задач нужно учитывать огромное количество факторов, принимать во внимание всевозможные ситуации и обстоятельства, анализировать большой поток информации, а управляющее устройство должно мгновенно реагировать на все возможные изменения факторов и возмущений и оперативно обрабатывать управляющие воздействия. Поэтому проектирование новых

автоматизированных систем контроля и управления технологическим оборудованием для лесозаготовок, таких как захватно-срезающее устройство (ЗСУ), при технологической операции удержания срезанного дерева, выносимого из-под полога леса в вертикальном положении, необходимо строить на принципах математического моделирования с использованием методов теории автоматического управления, регрессионного и корреляционного анализа, методов оптимизации.

Конструкция захватно-срезающего устройства

Для осуществления автоматического поддержания вертикального положения дерева, выносимого лесозаготовительной машиной из-под полога леса, нами была предложена конструкция автоматизированного ЗСУ (рисунок 1), включающая стойку 1 с механизмами срезания 2 и зажима дерева 3, соединённые при помощи карданного шарнира 5 с подрамником 6, приводных гидроцилиндров 7 наклона стойки в продольной и поперечной плоскостях, концы которых закреплены при помощи шаровых шарниров 8, электронный блок управления 9, воспринимающий сигналы с датчиков наклона 4 и линейных датчиков длины гидроцилиндров 11 и подающий командные сигналы на электроуправляемый гидрораспределитель 10 действия приводных гидроцилиндров [2].

Предлагаемое устройство работает следующим образом. Базовая машина своим ходом подводит установленное на ней при помощи подрамника 6 ЗСУ к нужному дереву, устройством зажима 3 подтягивает и фиксирует дерево у стойки 1 и одновременно срезает его механизмом срезания 2; далее ходом трактора дерево выносится в вертикальном положении из лесосеки до места укладки. При отклонении ЗСУ с деревом вследствие действия возмущающих воздействий, как зацепление за ветви растущих деревьев или неровность дороги, датчики отклонения 4 регистрируют крен, после чего связанный с ними электронный блок

управления 9 высчитывает по запрограммированной в нем модели равновесия системы с учетом показания датчиков длины гидроцилиндров 11 необходимые коррективы и воздействует на гидрораспределители 10, задающие степень хода поршня приводных гидроцилиндров 7, отклоняющих стойку 1 для сохранения устойчивости.

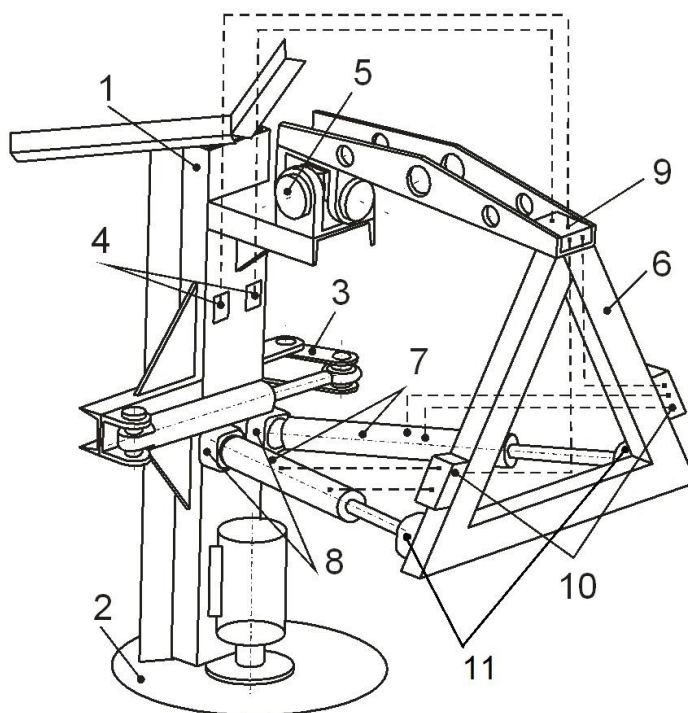


Рисунок 1 – Автоматизированное захватно-срезающее устройство

Система управления захватно-срезающим устройством

Система автоматического управления (САУ) положением ЗСУ, как отмечалось выше, состоит из регистрирующих датчиков и блока обработки и управления (БОУ), включающего:

- микроконтроллер на 6 портов по числу датчиков;
- модель управления электроуправляемым гидрораспределителем;
- интерфейсная микросхема USB для соединения БОУ с ЭВМ.

Для измерения углов отклонения используются цифровой датчик угла наклона – инклинометр, а для измерения хода штока гидроцилиндра - цифровой датчик линейного перемещения.

В БОУ запрограммирована математическая модель динамического удержания дерева в вертикальном положении, которая анализирует отклонения лесозаготовительной машины (влияния возмущающих внешних факторов микрорельефа лесосеки) и рассчитывает необходимые отклонения ЗСУ в вертикальной плоскости для сохранения устойчивости машины с деревом. Блок-схема программы представлена на рисунке 2.

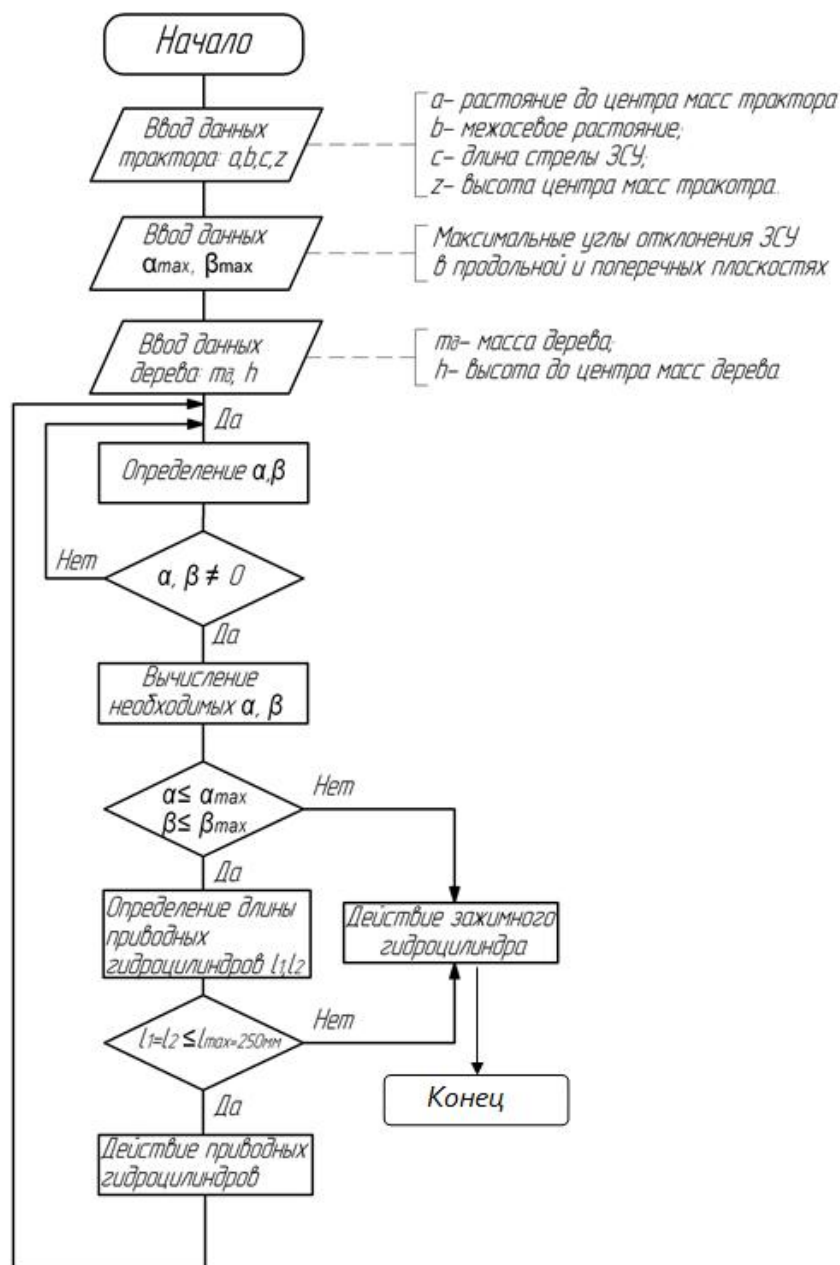


Рисунок 2 - Блок-схема программы автоматической стабилизации положения автоматизированного ЗСУ

Так как геометрические параметры ЗСУ и несущего трактора постоянны, то их характеристики (a - расстояние от ЗСУ до центра масс трактора, b – межосевое расстояние колес трактора, c - расстояние стрелы ЗСУ от ближнего колеса трактора, z - высота центра масс трактора от поверхности земли) задаются единожды в самом начале, а параметры дерева (m_d - масса дерева, h_d - высота дерева) задаются при каждом измерении. Масса дерева определяется косвенным методом через объем, а высота дерева при помощи высотомера. Так же в систему управления заложена функция аварийного сброса дерева путем освобождения зажимного рычага в случае критических углов наклона трактора и ЗСУ.

На рисунке 3 показана принципиальная схема работы системы автоматического управления ЗСУ, на котором визуально показана взаимосвязь элементов автоматики и объекта управления.

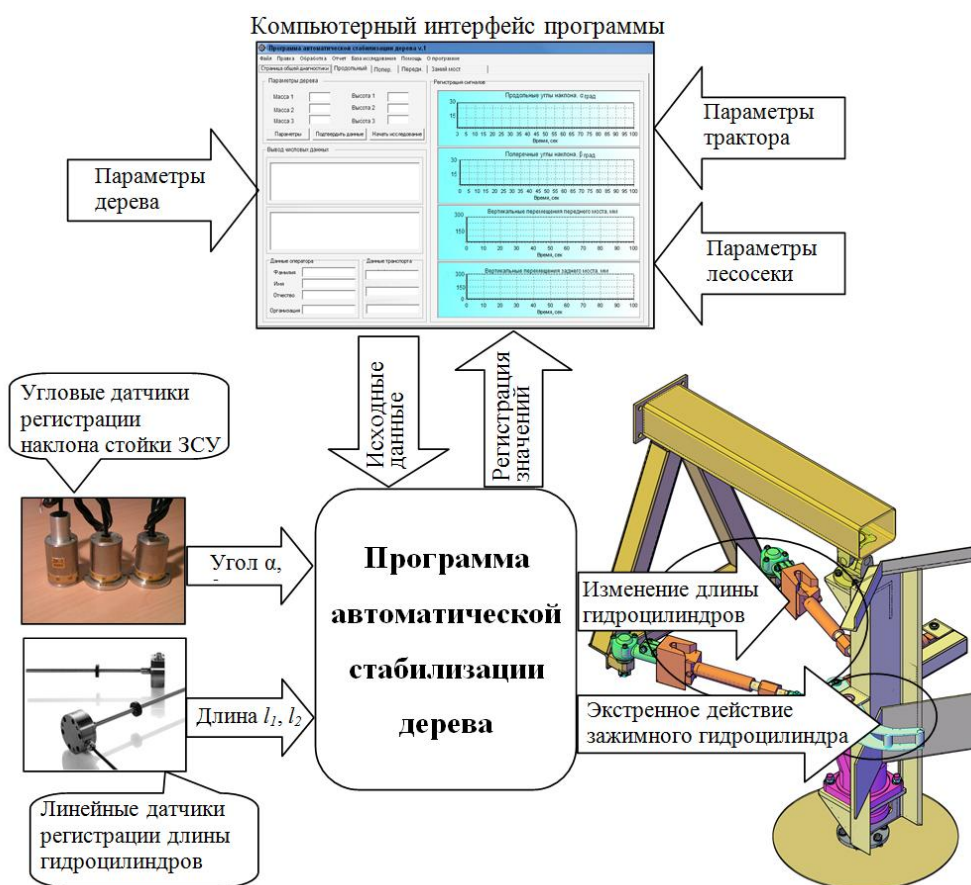


Рисунок 3 – Принципиальная схема работы системы стабилизации

Для составления модели был использован аппарат дифференциальных уравнений, рассмотренный далее. На основе выведенных дифференциальных уравнений и последующих передаточных функций была получена графическая модель системы в виде совокупности типовых звеньев с указанием связей между ними (рисунок 4).

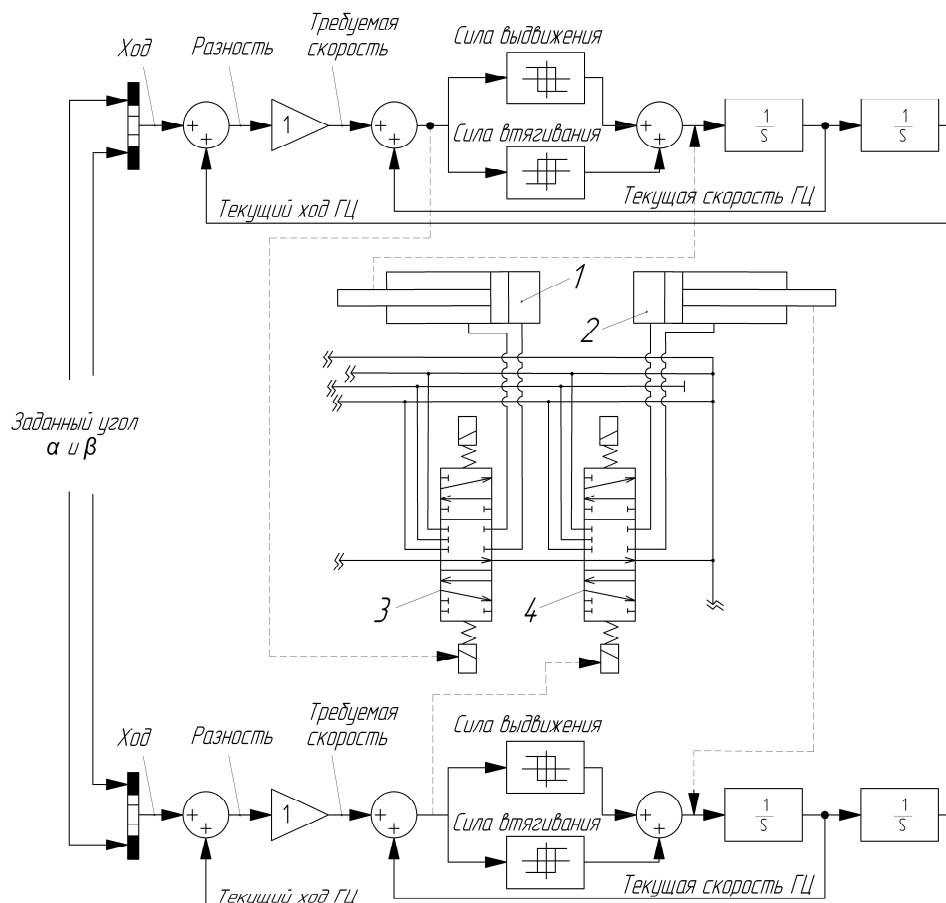


Рисунок 4 - Структурно-гидравлическая схема системы автоматического управления ЗСУ

Сверху и снизу показаны структурные схемы автоматического управления гидроцилиндрами 1 и 2, а в центре гидравлическая схема с пунктирными линиями связи САУ и привода управления ЗСУ, в частности электромагнитного клапана секций 3 и 4 гидрораспределителя и величины выдвигания штока гидроцилиндра.

Входными сигналами в САУ ЗСУ являются значения величин α и β , отклонения ЗСУ с деревом в продольной и поперечной плоскостях.

Моделирование работы машины с автоматизированным ЗСУ

Для моделирования динамической устойчивости системы «Дерево–Машина» с вертикально удерживаемым деревом были рассмотрены две плоские схемы (рисунки 5 и 6). В обеих схемах рассматриваемая система имеет две степени свободы – возможность вертикальных и угловых колебаний в плоскости чертежа.

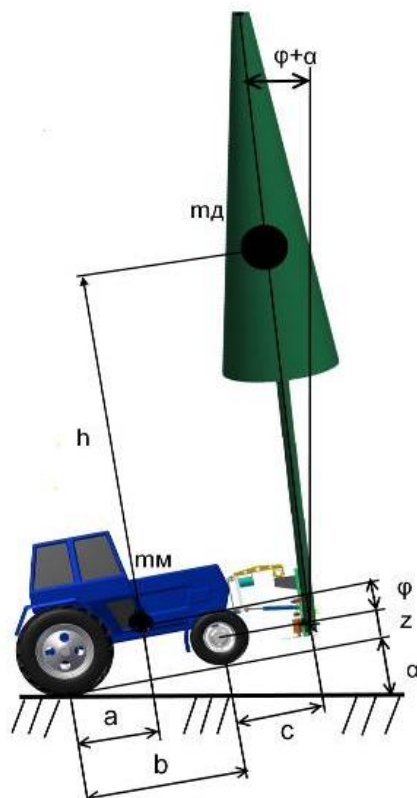


Рисунок 5 - Расчётная схема динамической устойчивости системы «Дерево–Машина» при отклонении дерева

Представление в рассматриваемых схемах дерева как абсолютно жесткого стержня оправдано, так как при определённой линеаризации системы (считаем угловые колебания малыми) учёт дополнительной степени свободы, связанной с упругостью перемещаемого дерева, не оказывает влияния на первые две обобщенные координаты в силу распада системы уравнений на независимые группы.

Для моделирования динамической устойчивости рассматриваемой системы был использован метод уравнений Лагранжа второго рода.

Кинетическая энергия системы, представленной на рисунке 5, равна:

$$E_{\kappa} = \frac{1}{2}(m_{mp} + m_{\partial})\dot{j}^2 + \frac{1}{2}(J_{mp} + ((b-a-c)^2 + h^2)m_{\partial})\dot{j}^2, \quad (1)$$

а потенциальная энергия

$$E_n = \frac{1}{2}(l_0 - (z - aj))^2 k_{k1} + \frac{1}{2}k_{k2}(l - (z + (b-a)j))^2 + (m_{mp} + m_{\partial})gz \cos a; \quad (2)$$

где J_{mp} – момент инерции машины относительно поперечной горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести машины; l_0 – приведённая длина упругих элементов подвески в ненагруженном состоянии; k_{k1} , k_{k2} – приведённая жёсткость упругих элементов подвески.

Частные производные от кинетической и потенциальной энергий:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_{\kappa}}{\partial \dot{j}} \right) = (J_{mp} + ((b-a-c)^2 + h^2)m_{\partial})\dot{j}; \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_{\kappa}}{\partial j} \right) = (m_{mp} - m_{\partial})\dot{j}$$

$$\frac{\partial E_{\kappa}}{\partial j} = ak_{k1}(l - z + aj) + (a-b)k_{k2}(l - z - (b-a)j)$$

$$\frac{\partial E_n}{\partial j} = g(m_{mp} + m_{\partial}) - k_{k1}(l - z + aj) - k_{k2}(l - z - (b-a)j)$$

Система уравнений Лагранжа второго рода для рассматриваемой схемы:

$$\begin{cases} (J_{mp} + ((b-a-c)^2 + h^2)m_{\partial})\dot{j} - ak_{k1}(l - z + aj) - \\ -(a-b)k_{k2}(l - z - (b-a)j) = 0; \\ (m_{mp} - m_{\partial})\dot{j} - g(m_{mp} + m_{\partial}) + k_{k1}(l - z + aj) + \\ + k_{k2}(l - z - (b-a)j) = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Расчётная схема, представленная на рисунке 6, отличается от рассмотренной тем, что угловые колебания машины не передаются на дерево (считаем работу системы автоматического управления захватно-срезающим устройством идеальной).

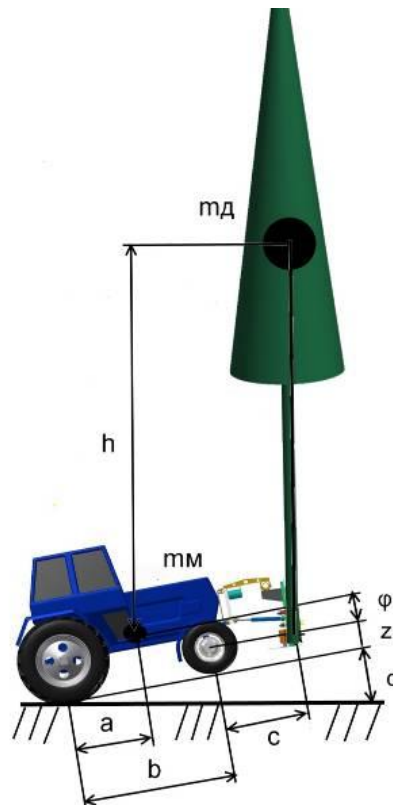


Рисунок 6 - Расчётная схема динамической устойчивости системы «Дерево–Машина» при выравнивании дерева в вертикальном положении

Кинетическая и потенциальная энергия системы в данном случае:

$$E_k = \frac{1}{2}(m_{mp} + m_d) \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} J_{mp} \dot{\varphi}^2 ; \quad (4)$$

а потенциальная энергия:

$$E_n = \frac{1}{2}(l_0 - (z - aj))^2 k_{k1} + \frac{1}{2} k_{k2} (l - (z + (b - a)j))^2 + (m_{mp} + m_d)gz \cos \alpha ; \quad (5)$$

Частные производные от кинетической и потенциальной энергий:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\varphi}} \right) = J_{mp} \ddot{\varphi}; \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_n}{\partial \dot{\varphi}} \right) = (m_{mp} - m_d) \dot{\varphi};$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial j} = ak_{k1} (l - z + aj) + (a - b)k_{k2} (l - z - (b - a)j);$$

$$\frac{\partial E_n}{\partial j} = g(m_{mp} + m_d) - k_{k1} (l - z + aj) - k_{k2} (l - z - (b - a)j).$$

Система уравнений Лагранжа второго рода для рассматриваемой схемы:

$$\begin{cases} J_{mp} \ddot{\alpha} - ak_{k1}(l - z + aj) - \\ -(a - b)k_{k2}(l - z - (b - a)j) = 0; \\ (m_{mp} - m_{\partial}) \ddot{\alpha} - g(m_{mp} + m_{\partial}) + k_{k1}(l - z + aj) + \\ + k_{k2}(l - z - (b - a)j) = 0. \end{cases} \quad (6)$$

С точки зрения динамики машины с вертикально удерживаемым деревом идеальная работа системы автоматического управления захватно-срезающим устройством приводит к тому, что резко на величину $\left((b - a - c)^2 + h_o^2\right)m_o$ уменьшается момент инерции системы относительно поперечной горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести машины. При этом становится возможным рассмотрение массы дерева не как поднятой на высоту h относительно высоты центра тяжести машины, а приложенной на том же уровне z , что позволяет сделать вывод о качественном увеличении динамической устойчивости системы.

Для анализа взаимосвязей параметров и процессов машины с вертикально удерживаемым деревом провели интегрирование дифференциальных уравнений движения с учетом внешних воздействий и начальных условий с помощью инструмента Simulink программного ресурса MATLAB, с помощью которого реализуется принцип визуального программирования с построением модели на экране из библиотеки стандартных блоков с их последующим расчетом.

Адекватность системы «Дерево - Машина» и анализ математической модели (3) и (6) были осуществлены для трех ситуаций: без САУ (углы наклона дерева равны углам наклона машины), идеальной САУ (стабилизация дерева в строго вертикальной плоскости) и неидеальной САУ ЗСУ (стабилизация дерева в около вертикальной плоскости, учитывающая возможные изменения микрорельефа пути).

На основе уравнений (3) и (6) была построена графическая модель системы в виде совокупности типовых звеньев с указанием связей между ними (рисунок 7).

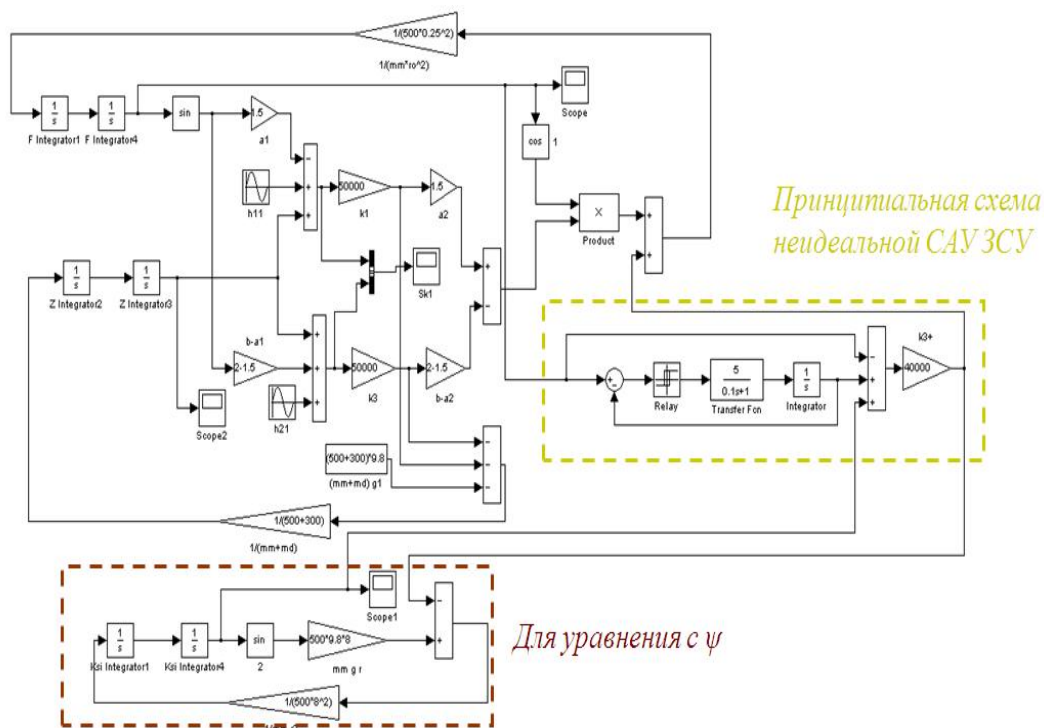
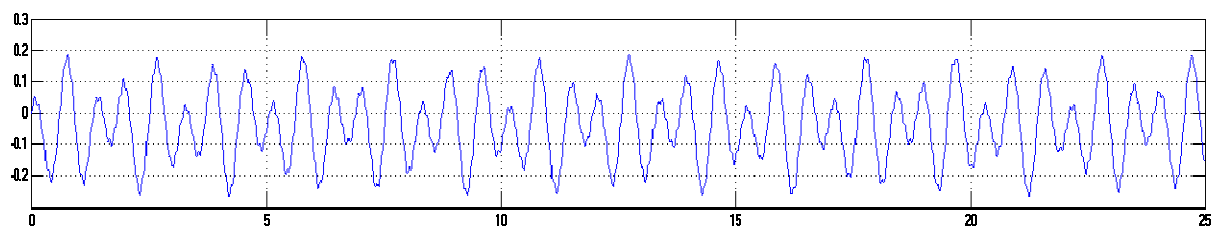


Рисунок 7 - Графическая модель системы «Дерево–Машина»

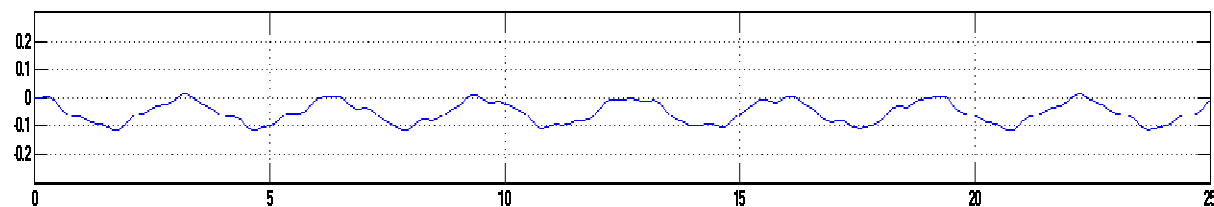
Для расчёта в виде входных данных были заданы геометрические параметры машины и жёсткость связей. Параметры неровностей пути движения были смоделированы с помощью реализации гауссовского случайного процесса с заданной корреляцией и дисперсией процесса [3]. В результате численного решения получились следующие графики моделирования колебаний (рисунки 8 – 9).

При анализе графиков угловых колебаний машины видно, что использование неидеальной САУ ЗСУ позволяет значительно уменьшить частоту колебаний, чем при отсутствии САУ ЗСУ.

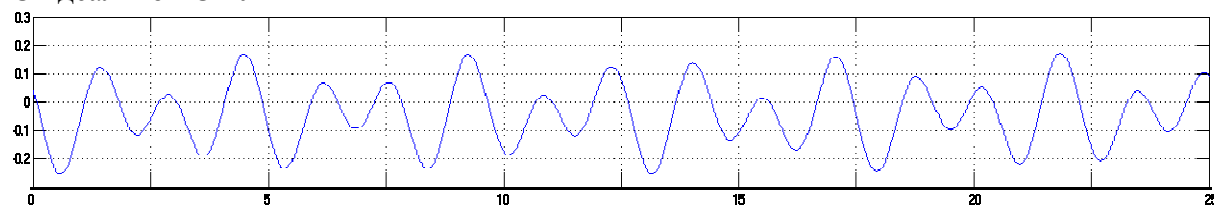
Графики линейных колебаний машины показывают незначительное отличие при идеальной и неидеальной САУ ЗСУ при заданных параметрах опорной поверхности.



Без САУ

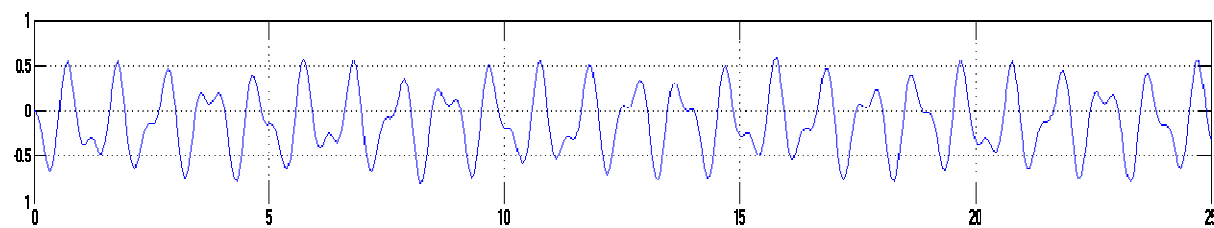


С идеальной САУ

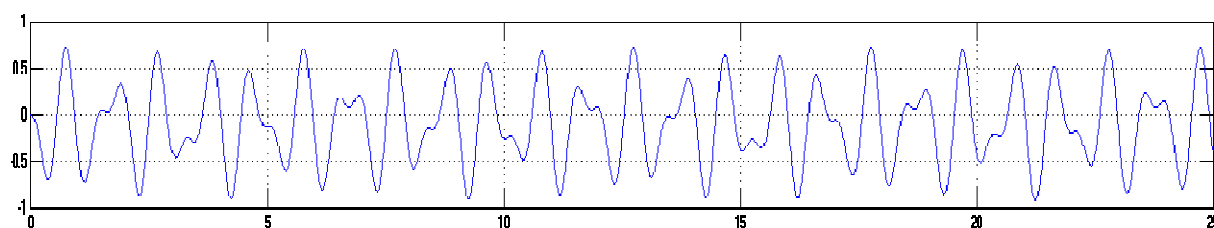


С неидеальной САУ

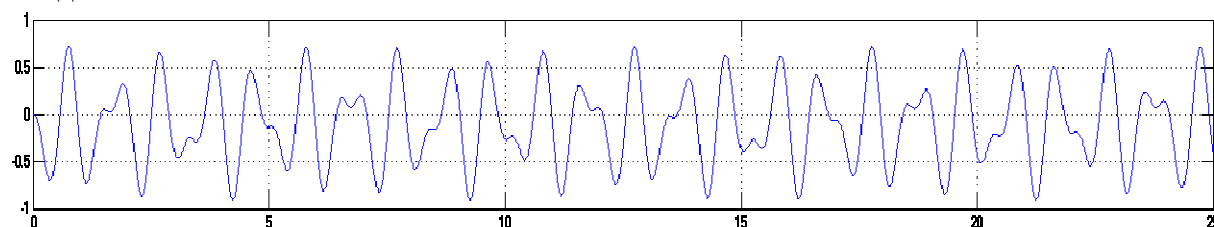
Рисунок 8 - Графики моделирования угловых колебаний системы «Дерево-Машина»



Без САУ



С идеальной САУ



С неидеальной САУ

Рисунок 9 - Графики моделирования линейных колебаний системы «Дерево-Машина»

Графики изменения линейных и угловых колебаний машины показывают их зависимость от конструкции и упруго-деформирующих характеристик опорных элементов ходовой системы машины, распределения её веса по опорам.

Вычислительный эксперимент

Для решения задач вычислительного эксперимента и установления количественных характеристик влияния конструктивно-технологических параметров системы «Дерево–Машина» проводилась серия экспериментов по сравнению результатов без и с системой автоматического выравнивания дерева в вертикальном положении.

На участках моделировалось спиливание 3 - 5 деревьев разных пород диаметром от 10 до 18 см с последующей их транспортировкой в вертикальном положении.

В таблице 1 представлены уровни варьирования входных параметров двух факторов влияющих на динамику машины с вертикальным деревом при начале движения.

Таблица 1 - План вычислительного эксперимента по определению зависимости коэффициента затухания от диаметра среза различных пород деревьев при начале движения трактора (трогание с места)

Входной параметр дерева	№ опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Дср, см	0,10	0,10	0,12	0,12	0,14	0,14	0,16	0,16	0,18	0,18
Порода	Ель	Листв.	Ель	Листв.	Ель	Листв.	Ель	Листв.	Ель	Листв.
Возраст, лет	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20

Основным этапом исследований являлся процесс равномерного движения системы «Дерево–Машина», который описывался, используя амплитудно-частотные характеристики (АЧХ).

На рисунке 10 представлены графики АЧХ для пробной площади №1 (ТЛУ А2) при работающей и выключенной системе автоматической стабилизации вертикального дерева для равномерного движения трактора 2 м/с. Из графиков видно, что амплитуда колебаний машины, выносящей дерево в вертикальном положении, за счет жестких связей превосходит амплитуду колебаний машины с системой автоматического поддержания дерева в вертикальном положении.

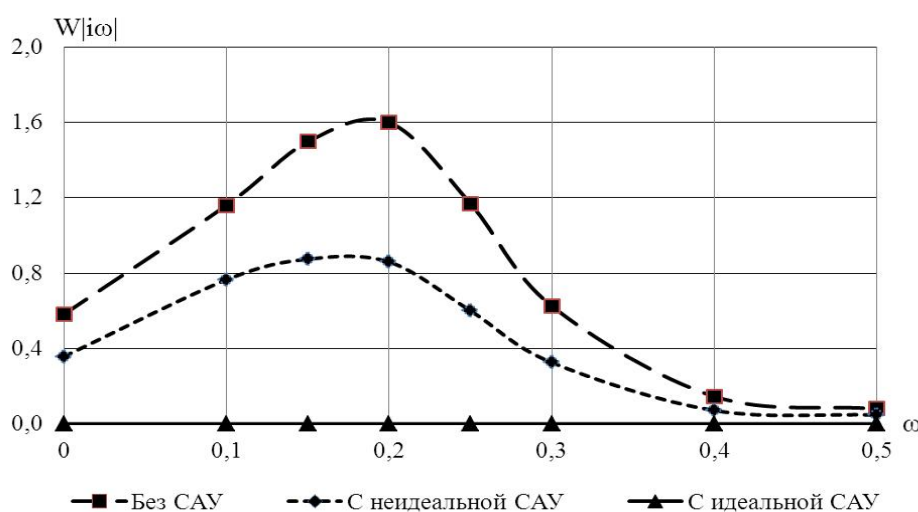


Рисунок 10 - Амплитудно-частотные характеристики колебаний системы «Дерево-Машина»

Все промежуточные графики имеют близкие к резонансным частоты, значения которых увеличиваются с увеличением скорости движения и находятся в диапазоне 1,0-1,5 м/с. Максимальное значение амплитуд на всех графиках АЧХ, в отличие от АЧХ автомобилей, работающих на значительно больших скоростях, практически равны. Это обстоятельство подтверждает целесообразность применения АЧХ для исследования колесных лесных машин.

На рисунке 11 построены графики спектральной плотности линейных колебаний лесной машины, показывающие характер воздействия на лесную машину моделирования микрорельефа поверхности лесосеки с выравниванием дерева в частотной области.

Графики всех нормированных спектральных плотностей воздействия микрорельефа поверхности лесосеки, по сравнению с воздействием дороги, имеют плавные нарастания и снижения. Следовательно, коэффициенты корреляционной связи α и β увеличиваются с увеличением скорости движения.

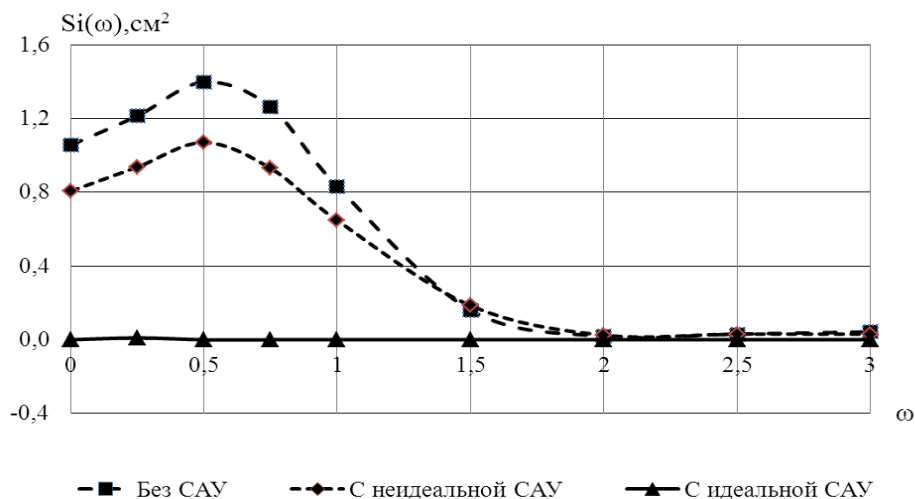


Рисунок 11 - Спектральная плотность линейных колебаний системы «Дерево-Машина»

Выводы

Данное математическое моделирование имеет преимущества наглядности и оперативного изменения или усложнения модели, также позволяет, варьируя значениями конструкционных параметров ходовой системы, подобрать такое их значение, которое можно будет учитывать при проектировании и синтезе параметров лесной машины.

Сравнительные графики АЧХ и спектральной плотности показывают преимущество наличия системы автоматической стабилизации вертикально транспортируемого дерева как по амплитуде, так и по плотности колебаний лесной машины, что говорит о правильности разработанной нами математической модели удержаний дерева в вертикальном положении при выносе его из-под полога леса.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение № 14.В37.21.1482

Список литературы

1. Петровский В.С. Автоматизированное проектирование режимов и выбора машин для проведения рубок ухода за лесом [Текст] : монография/ В.С. Петровский, В.В. Малышев, Ю.В. Мурзинов. – М.: ФЛИНТА: Наука, 2012. – 216 с.
2. Патент на полезную модель 100874 Российская Федерация, МПК51 А01G 23/00 (2006/01) Захватно-срезающее устройство [Текст] / Сидыганов Ю.Н., Онучин Е.М., Ласточкин Д.М.; заявитель и патентообладатель Марийский гос. техн. ун-т. – № 2010125781/21; заявл. 23.06.2010; опубл. 10.01.2011, Бюл. №1. – 3 с.: ил.
3. Ласточкин, Д.М. Моделирование опорной поверхности лесосечных машин / Д.М. Ласточкин, С.А. Москалева, А.В. Ларина, Г.М. Мучкаева // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №01(85). С. 231-243.

References

1. Petrovskij V.S. Avtomatizirovannoe proektirovanie rezhimov i vybora mashin dlja provedenija rubok uhoda za lesom [Tekst] : monografija/ V.S. Petrovskij, V.V. Malyshev, Ju.V. Murzinov. – M.: FLINTA: Nauka, 2012. – 216 s.
2. Patent na poleznuju model' 100874 Rossijskaja Federacija, MPK51 A01G 23/00 (2006/01) Zahvatno-srezajushhee ustrojstvo [Tekst] / Sidyganov Ju.N., Onuchin E.M., Lastochkin D.M.; zajavitel' i patentoobladatel' Marijskij gos. tehn. un-t. – № 2010125781/21; zajavl. 23.06.2010; opubl. 10.01.2011, Bjul. №1. – 3 s.: il.
3. Lastochkin, D.M. Modelirovanie opornoj poverhnosti lesosechnyh mashin / D.M. Lastochkin, S.A. Moskaleva, A.V. Larina, G.M. Muchkaeva // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2013. – №01(85). S. 231-243.