

В.В. Побединский, И.Н. Кручинин, С.В. Ляхов, Е.В. Побединский

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОМ ОКОРОЧНОГО СТАНКА

Введение. Во всех лесопромышленных странах технологии лесопереработки предусматривают обязательной операцией окорки лесоматериалов. Для ее выполнения в мировой практике создано большое количество различных окорочных станков. Самую многочисленную группу составляют роторные окорочные станки (РОС). В рамках совершенствования станков ранее проф. В.В. Побединским [Побединский и др., 2012; 2013] были разработаны конструктивные решения пневмогидропривода рабочих органов [Побединский и др., 2012] и системы автоматического управления этого привода [Побединский и др., 2013]. Предложенные САУ автоматизируют основные операции и процессы. В предложенной системе автоматического управления выполняется стабилизация заданного усилия прижима режущего инструмента – короснимателя. Однако заданное усилие зависит от ряда технологических параметров, которые характеризуются неопределенностью, неточностью, недостаточностью данных о размерно-качественных характеристиках лесоматериалов, их температурных и влажностных параметров, механических характеристик древесины, коры и других переменных. Кроме того, необходима согласованность работы системы автоматического прижима короснимателем с другими технологическими процессами станка, что представляет сложную научно-практическую задачу. В результате управление заданным прижимом инструмента осталась нерешенной проблемой. Эффективно такую проблему можно решить с использованием интеллектуальных систем, в которых неопределенность описывается на основе аппарата нечеткой логики. Однако отсутствие такой работы является препятствием для развития окорочных станков и лесопромышленного производства и делает актуальной решение проблемы автоматического управления короснимателя. Таким образом, определилась **цель** настоящей работы, которая заключалась в создании интеллектуальной системы автоматического управления заданным прижимом короснимателя окорочного станка.

Для реализации цели решались следующие **задачи**:

- 1) разработка схемы интеллектуального управления короснимателем;
- 2) разработка схемы обобщенной интеллектуальной системы управления в виде нейронечеткой сети;

- 3) постановка задачи управления заданным прижимом инструмента;
- 4) обоснование входных и выходных переменных задачи (фаззификация);
- 5) разработка базы правил нечеткой системы;
- 6) выполнение нечетких выводов для промежуточных и заключительного слоев сети в среде Matlab;
- 7) программная реализация модели интеллектуальной системы в среде Matlab+Simulink.

Методология выполнения исследований. Методологическую основу исследований составили положения теории процессов окорки древесины [Побединский, 2018], теории автоматического регулирования [Власов, 2013], нечеткого моделирования [Piegat, 2001], искусственного интеллекта [Хултен, 2019; Осипов, 2018], визуально-блочного имитационного моделирования в среде Matlab. Разработка нечеткого вывода функций выполнялась по известной методике [Piegat, 2001] в среде Fuzzy Logic Designer приложения Matlab¹. Программная реализация интеллектуальной системы управления инструментом окорочного станка выполнена в среде Matlab+Simulink.

Результаты. Анализ технологического процесса работы инструмента. Технологический процесс работы автоматически управляемого инструмента окорочного станка заключается в следующем (рис. 1). При входе обрабатываемого ствола в ротор, раздвинутые первоначально коросниматели опускаются на поверхность бревна и исполнительным механизмом (пневмогидроприводом) обеспечивается первоначально заданный прижим короснимателя. При дальнейшей подаче лесоматериала и вращении ротора с комплектом короснимателей происходит снятие коры. Если сила прижима задана правильно, то лезвие короснимателя движется по камбиальному слою без повреждений древесины и без остатков коры. Однако из-за изменчивости микропрофиля поверхности ствола и возникающих на больших скоростях (до 20 м/с) динамических нагрузок также изменяется и сила прижима. Чтобы это не приводило к повреждениям древесины или появлению остатков коры, предложенное решение стабилизирует силу прижима, поддерживая первоначально заданное. Эта процедура отмечена на рис. 1. Однако требуется выполнить определение значения первоначального прижима, а также предусмотреть его управление при динамическом изменении процесса, и эти две задачи остаются не решенными.

¹ MATLAB® & Simulink® Release Notes for R2013. URL: <http://www.mathworks.com> (date of access: 15.02.2019).

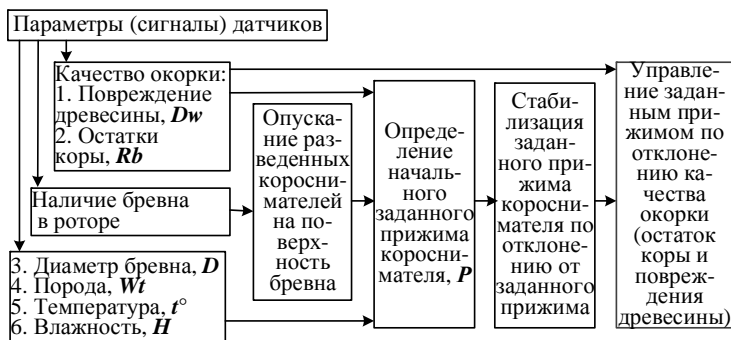


Рис. 1. Схема технологического процесса работы и управления инструмента окорочного станка

Fig. 1. Diagram of the technological process of work and control debarker tool

Следует отметить еще некоторые особенности процесса работы инструмента.

1. Задание технологических параметров. В зависимости от характеристик сырья задаются технологические параметры станка – скорости вращения ротора и подачи бревна. В случае окорки мерзлого или подсушенного сырья необходимо увеличить прижим короснимателей. Для свежесрубленной древесины прижим устанавливается минимальным.

2. Процесс окорки. В процессе окорки коросниматели должны копировать поверхность ствола. Эта поверхность имеет множество пороков (остатки сучков, закомелистость, наплывы, овальность сбега и др.), поэтому на высоких скоростях под влиянием инерционных сил лезвие короснимателей может отрываться от поверхности или наоборот, после отрыва падать на поверхность и повреждать ее. Следовательно, для качественной окорки необходимо обеспечить стабилизацию прижима инструмента, а это возможно сделать только с помощью САУ слеящего типа [Побединский и др., 2013].

3. Кроме автоматического управления путем регулирования параметрами в заданных пределах, есть ряд параметров, которые управляются по принципу двузначной логики. Например, в случае сигнала о входе бревна в ротор. При отсутствии бревна коросниматели должны раскрываться, при появлении торцевой части ствола в роторе рабочие органы максимально быстро опускаются на поверхность лесоматериала и должен начаться процесс автоматического регулирования силы прижима вальцов.

Таким образом, на основании описания технологического процесса работы окорочного станка разработана общая схема интеллектуальной системы, выполняющей управление инструментом.

Разработка общей схемы интеллектуальной системы автоматического управления короснимателем. В систему интеллектуального автоматического управления (САУ) входные параметры в виде сигналов поступают от датчиков. Наиболее сложную задачу составляет определение качества окорки. Нужно количественно оценить остатки коры и повреждения древесины, но только от воздействия короснимателей. Эта проблема является доступной на основе методов распознавания образов. Подобные методы известны², они внедряются в практику и отдельно в настоящей работе не рассматривается. Определение остальных параметров является инженерной задачей, и значительной сложности не представляет.

В описываемом виде процесс автоматического управления окоркой будет организован в виде двухконтурной системы (рис. 2). Предварительно определяется значение заданной силы прижима короснимателя. Поскольку все входные параметры, поступающие сигналами от датчиков, характеризуются неопределенностью, то наиболее корректно эта задача может быть выполнена с использованием интеллектуальной экспертной системы на основе нечеткой логики. Затем, для определенного таким образом значения заданного прижима должна быть обеспечена стабилизация. Процесс окорки является динамическим из-за изменчивости всех размерно-качественных характеристик лесоматериала. В работе [Побединский и др., 2013] предложено решение по стабилизации усилия прижима на основе пневмогидропривода и нечеткого контроллера, которое и используется в первом контуре САУ. В этой процедуре для нечеткого контроллера Fuzzy Controller 2 регулирующими или входными параметрами являются величина отклонения от заданного усилия прижима ΔP и скорость этого отклонения $d\Delta P/dt$ (рис. 3). Но заданное значение силы прижима, вследствие изменчивости всех параметров процесса также изменяется, поэтому оно тоже должно регулироваться. И эта процедура организована в первом контуре САУ на базе Fuzzy Controller 1. Здесь регулирующими параметрами приняты величина изменения качества окорки ΔQ и скорость изменения качества окорки $d\Delta Q/dt$. Оценка качества окорки Q в данном случае определяется по формуле

$$Q = Rb + Dw, \quad (1)$$

где Rb – остаток коры на поверхности ствола; Dw – повреждение древесины.

² Сайт ООО «АВТОМАТИКА – ВЕКТОР». URL: <http://a-vektor.ru> (date of access: 14.05.2021).

При недостаточном прижиме короснимателя наблюдается неполное снятие коры, а при увеличенном прижиме будет происходить повреждение древесины, появится вырыв волокон, образуется мшистость поверхности. Таким образом качественным процессом окорки будет обработка по камбиальному слою, т. е. величины остатка коры Rb и повреждений древесины Dw должны быть равны нулю. Это условие следует учесть при обосновании соответствующей нечеткой функции принадлежности качества управления заданным прижимом короснимателя Q .

Разработанная схема интеллектуального автоматического управления прижимом короснимателя приведена на рис. 2.

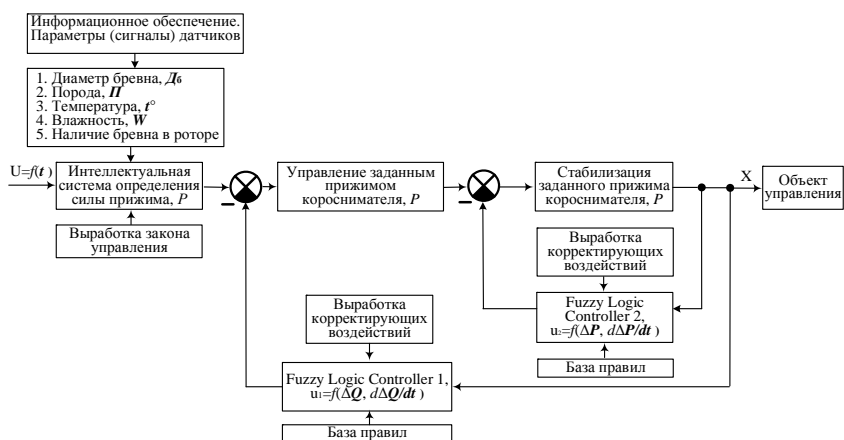


Рис. 2. Разработанная схема интеллектуального управления прижимом короснимателя

Fig. 2. The developed scheme of the intelligent control of the clamping of the debarking tool

Определение параметров системы интеллектуального управления.

Из общей схемы системы (рис. 1,2) можно определить следующий перечень параметров, которые определяют ее работу [Побединский, 2018].

Данные датчиков

1. Диаметр бревна D от 10 до 60 см (для головного станка гаммы)
2. Температура древесины t° от -40°C до 10°C .
3. Влажность древесины H от 20 до 80%.
4. Порода древесины Wt по шкале от 1 до 5.
5. Повреждение древесины Dw от 0 до 100%.
6. Остаток коры на стволе Rb от 0 до 100%.

Параметры моделирования

1. Заданное значение прижима короснимателя к поверхности бревна P от 0 до 40 кН/м (удельная величина силы прижима на единицу длины режущего лезвия инструмента).
2. Фактор температурно-влажностный (нормированный) Y_{12} от 0 до 1.
3. Фактор сырьевой (нормированный) Y_{34} от 0 до 1.

Определение функциональных зависимостей модели. Исходя из схемы процесса, можно формализовать следующие основные функциональные зависимости работы, на которых базируется система управления. Функции для определения начального заданного значения прижима P имеют следующий вид:

$$P = f(D, Wt, t^\circ, H), \quad (2)$$

фактор температурно-влажностный:

$$Y_{12} = f(t^\circ, H), \quad (3)$$

фактор сырьевой:

$$Y_{34} = f(D, Wt). \quad (4)$$

Функцию управления заданным прижимом короснимателя следует записать:

$$P = f(Rb, Dw) = f(Q). \quad (5)$$

Разработка интеллектуальной системы. Предложенная система для определения расчетных значений начального заданного прижима короснимателей $P = f(D, Wt, t^\circ, H)$ в виде нейронечеткой сети показана на рис. 3.

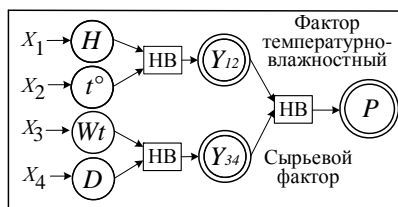


Рис. 3. Обобщенная структура интеллектуальной системы определения начальных значений заданного прижима короснимателей $P = f(D, Wt, t^\circ, H)$: X1-X4 – входные параметры; НВ-нечеткий вывод

Fig. 3. Generalized structure of the intelligent determination system initial values of the given clamping of the debarking tool $P = f(D, Wt, t^\circ, H)$: X1-X4 – input parameters; НВ-fuzzy inference

Кроме указанной интеллектуальной системы, в структуре САУ (рис. 2) предусмотрен контроллер на нечеткой логике во втором контуре системы. Для этого контроллера также необходимо разработать нечеткую систему управления заданным прижимом в процессе окорки.

Формализация моделей интеллектуальной системы. Постановка задач в содержательном виде. В содержательном виде постановка задачи выполняется для выявления основных и специфических особенностей исследуемого явления, а также определения общих зависимостей выходной величины от исходных параметров и влияющих факторов.

Как показано на схеме (рис. 2), необходимо рассмотреть следующие две задачи или процедуры в процессе окорки.

В первой задаче используется интеллектуальная экспертная система в виде нейронечеткой продукционной сети для определения заданного начального прижима короснимателя в зависимости от размерно-качественных характеристик лесоматериала.

Вторая задача включает разработку регулятора на нечеткой логике для управления величиной заданного прижима короснимателя в зависимости от качества окорки.

Процедура определения заданного начального прижима короснимателя. Рассмотрим последовательно влияние входных параметров D , Wt , t° , H на выходную величину силы прижима P .

1. Влияние диаметра бревна D на величину прижима короснимателей P будет прямо пропорциональное, т. е. минимальный прижим будет при минимальном диаметре. С увеличением диаметра бревна сила прижима растет прямо пропорционально в зависимости от жесткости упругих элементов и кинематической схемы в механизме режущего инструмента.

2. Влияние породы древесины Wt на величину прижима короснимателей P будет следующее. Максимальной она должна быть при окорке березы, а минимальной для ели. Из известных массово заготавливаемых пород наиболее тяжелые условия окорки наблюдаются у березовых бревен. В отношении прочности и толщины коры минимальными параметрами обладает порода ели, поэтому при обработке сила прижима для таких лесоматериалов может быть минимальной, но следует учитывать наличие большого количества остатков сучков. Следующей по сложности является сосновая порода. За ней можно поставить осину и предпоследней перед березовой породой можно расположить лиственницу с корой большой толщины.

3. Влияние температуры t° . Отрицательные температуры увеличивают силы сцепления коры с древесиной в камбиальном слое. Поскольку окорка происходит именно по этому слою, то мерзлые лесоматериалы окариваются при пониженных скоростях окорки, но усилие прижима увеличивается.

Следует учитывать, что режимы окорки становятся более тяжелыми не сразу при 0 °С, а ниже нуля на 6–8 °С. При температурах ниже 30 °С усилие прижима должна быть максимальным. Величину прижима следует увеличивать при снижении ниже 0 °С, а ближе к максимальной или большей сила прижима должна быть после «минус» 10 °С.

4. Влияние влажности древесины H на величину прижима короснимателей P оказывает практически такое же прямо пропорциональное влияние, как и температура, но в зависимости от исходной влажности древесины.

Повреждение древесины D_w , возникает в нескольких случаях. При ударных нагрузках, когда коросниматели на высокой скорости встречаются с пороками древесины (сучки, наплывы и др.), отрываются от поверхности и снова падают, повреждая древесину. Как правило, это происходит от слишком высокой частоты вращения ротора. Недостаточная сила прижима короснимателей также может быть причиной отрывов. Если прижим обеспечивает силу в месте контакта лезвия инструмента, превышающую предел прочности древесины, то происходит разрушение поверхности бревна.

Остатки коры на стволе R_b , являются, в первую очередь, следствием недостаточного прижима короснимателей. Второй причиной может быть отрыв лезвия короснимателя от поверхности ствола при прохождении по различным порокам древесины (сучки, наплывы, углубления и др.) на высокой скорости. В этом случае необходимо снижать скорость вращения ротора. При разработке САУ процессом следует учитывать, что эти параметры взаимозависимы, поэтому для оценки вклада на выходной параметр необходимо учитывать и другие параметры.

Процедура управления заданным прижимом короснимателя. Следует выполнить постановку задачи, которая сводится к формализации закона управления заданным прижимом на нечеткой логике.

Как было указано, оптимальное значение прижима обеспечивает равные нулю повреждения древесины и остатки коры на поверхности ствола. Если заданный прижим будет немного завышен, то появятся незначительные повреждения древесины, и регулятор должен будет выдать корректирующее воздействие, также незначительно снизить прижим. Если повреждения будут средней величины, то корректирующее воздействие также должно быть средней величины. Но если эти средней величины повреждения появятся за короткий промежуток времени, т. е. в виде ударной нагрузки, то регулятор должен отреагировать, выдав максимальное корректирующее воздействие, предупреждая дальнейшее увеличение повреждений.

Аналогично, при появлении остатков коры в большом количестве контроллер должен дать команду на увеличение прижима сразу максимальной величины. При появлении небольших остатков коры должна быть выдана команда незначительно увеличить прижим.

Также определяется поведение регулятора и для других проявлений качества окорки. Обязательно следует учитывать скорость изменения качества, воздействия, которые должны в некоторой степени опережать изменения процесса окорки.

Введение нечеткости в задачу (фаззификация). Процедура определения первоначального заданного прижима короснимателя. Определим основные параметры для каждой входной и выходной переменной первой процедуры и разработаем соответствующие лингвистические переменные.

Для входной переменной «Диаметр бревна» примем в диапазоне для базовой модели ОК 63 от 10 до 60 (с корой) см. Для других типоразмеров станков следует предусматривать настройку лингвистических переменных под обрабатываемый диапазон бревен на данном станке.

Для выходной переменной «Прижим короснимателя, P » диапазон от 4 до 40 кН/м. Для разработки лингвистической переменной «Порода древесины» используем безразмерную шкалу [Piegat, 2001] оценки от 1 до 5.

Влажность наиболее информативно принять в диапазоне от 20 до 60%. 20%-й влажностью обладают пиломатериалы, высушенные в условиях естественной сушки. При такой влажности и ниже создаются наиболее тяжелые режимы окорки. А влажность 60% близка к минимальной влажности свежесрубленных, но некоторое время пролежавших лесоматериалов. Увеличение влажности свыше 60% уже не оказывает влияние на параметры окорки, а для отделения коры это наиболее благоприятные условия.

Температуру определим в диапазоне от 10 до -40 °С. При разработке лингвистической переменной для описания этого параметра нужно учесть специфические особенности влияния его на процесс окорки.

Дело в том, что при замерзании свободной влаги требуется увеличивать силу прижима короснимателей. Но замерзание влаги в древесине происходит не строго при 0 °С, а для связанной влаги эта температура будет около «минус» 6–8 °С. Поэтому самые тяжелые режимы создаются при температуре порядка ниже «минус» 10 °С [Побединский, 2018], а с дальнейшим понижением температуры усиливаются незначительно. Ниже «минус» 30–40 °С они уже не изменяются. Также температура выше 0 °С не влияет на режимы окорки. Таким образом, в задаче необходимо учитывать взаимосвязь температуры и влажности при влиянии их на режимы окорки.

Зададим терм-множествам следующие обозначения: Minimum (Min), Small(S), Middle (M), Big (B), Maximum (Max) и определим их на универсуме:

- «Температура, t° » {Min, S, M, B, Max};
- «Влажность, H %» {Min, S, M, B, Max};
- «Диаметр бревна, D » {Min, S, M, B, Max};
- «Прижим короснимателей, P » {Min, S, M, B, Max}.

Для лингвистической переменной породного состава более логично принять другие обозначения, расположив породы в порядке повышения сложности и режимов окорки: «Порода древесины, Wt » {Ель, Сосна, Осина, Лиственница, Береза}.

Разработанные с учетом принятых значений диапазонов термножеств входные и выходные переменные показаны на рис. 4.

В соответствии с общими схемами (рис. 2 и 3) следует определить лингвистические переменные для функций Y_{12} и Y_{34} . Физический смысл этих величин в том, что они выполняют функцию влияющих на выходной параметр факторов (при закрепленных на определенном уровне других параметров). Лингвистические переменные в нормированном виде для функций Y_{12} и Y_{34} изображены на рис. 4.

Процедура управления заданным прижимом. Для этой процедуры следует выполнить формализацию входных и выходной переменных. Главной особенностью процесса окорки является его динамический характер, что придает управлению свои специфические особенности.

Во-первых, по типу управления САУ относится к отрицательной обратной связи, т. е. необходима адаптивная система, обеспечивающая стабилизацию наилучшего значения качества. При отклонении от заданного должно вырабатываться корректирующее воздействие, чтобы вернуть процесс обратно. Система обеспечивает качество окорки, отсюда следует, что одним из параметров регулирования должно быть изменение качества.

Во-вторых, для динамического процесса в нечетких системах должна учитываться скорость изменения параметра регулирования.

В-третьих, выходным параметром должно быть корректирующее воздействие. В данном случае следует задать величину, которая будет компенсировать отклонение, например, коэффициент корректирования величины прижима.

В-четвертых, величины отклонения качества и корректирующего воздействия могут быть как положительные, так и отрицательные, что необходимо учесть при определении соответствующей нечеткой функции принадлежности.

Таким образом, можно определить параметры регулирования:

– изменение качества окорки ΔQ ;

– скорость изменения качества окорки или производная по времени $d\Delta Q/dt$;

– коэффициент корректирования для управления прижимом K .

Для формализации зададим термножествам следующие обозначения: Maximum negative (NMax), Middle negative (NM), Small negative (NS), Zero, Small positive (PS), Middle positive (PM), Maximum positive (PMax).

Определим их на универсуме:

– «Изменение качества окорки, ΔQ » {NMax, NM, NS, Zero, PS, PM, PMax};

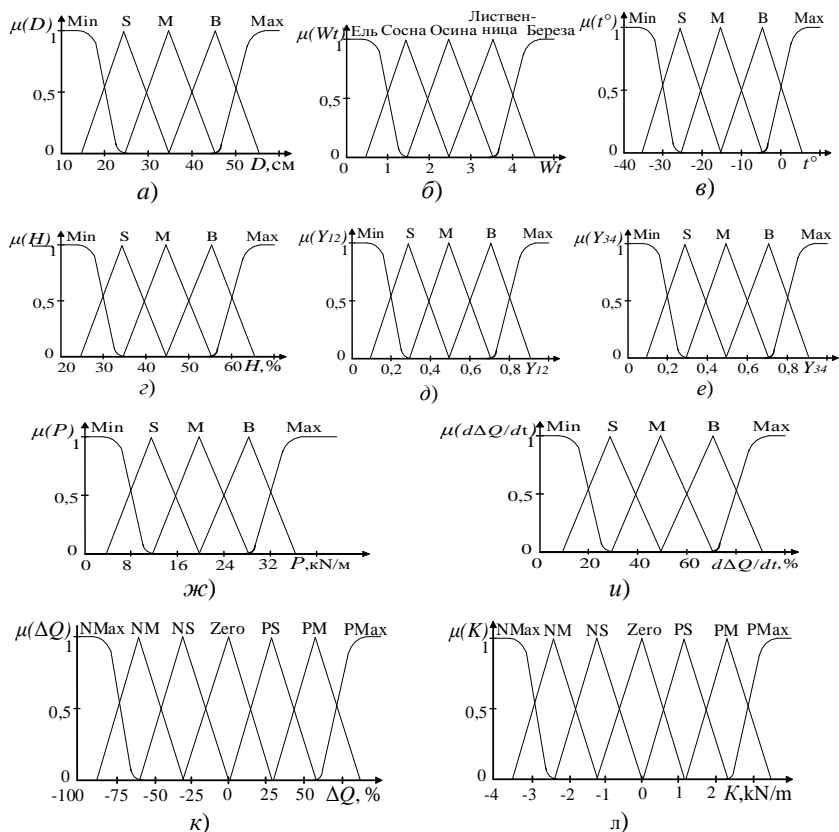


Рис. 4. Лингвистические переменные в задачах нечеткого вывода интеллектуальной системы определения начального прижима и интеллектуальной системы управления прижимом короснимателя: а – переменная «Диаметр бревна, D »; б – «Порода древесины, Wt »; в – «Температура, t° »; г – «Влажность, H »; д – «Температурно-влажностный фактор, Y_{12} »; е – «Породный фактор, Y_{34} »; ж – заданное значение прижима короснимателя «Заданный прижим, P »; и – «Скорость изменения качества окорки, $d\Delta Q/dt$ »; к – «Изменение качества окорки, ΔQ »; л – «Управление прижимом, K »

Fig. 4. Linguistic variables in the problems of fuzzy inference of the intelligent system for determining the initial clamping and the intelligent control system for the clamping of the debarking tool: а – the variable "Diameter of the log, D "; б – "Wood species, Wt "; в – "Temperature, t° "; г – "Humidity, H "; д – "Temperature and humidity factor, Y_{12} "; е – "Breed factor, Y_{34} "; ж – preset value of the given of the clamping of the debarking tool "Preset clamping, P "; и – "The rate of change in the quality of debarking, $d\Delta Q/dt$ "; к – "Change in the quality of debarking, ΔQ "; л – "Clamping control, K "

- «Управление прижимом, K » {NMax, NM, NS, Zero, PS, PM, PMax};
- «Скорость изменения качества окорки, $d\Delta Q/dt$ » {Min, S, M, B, Max}.

Разработка базы правил нечеткой продукции. В данном случае для нечеткого вывода используется наиболее распространенный и хорошо зарекомендовавший себя метод Мамдани [Piegat, 2001], который предусматривает использование базы правил.

Такие базы (для моделей на рис. 4) в полном объеме приведены в табл. 1–4.

Таблица 1

Состав базы правил нечеткой продукции для вывода функции принадлежности «Температурно-влажностный фактор, Y_{12} » $Y_{12} = f(t^\circ, H)$

The composition of the fuzzy production rule base for the function output belonging "Temperature and humidity factor, Y_{12} " $Y_{12} = f(t^\circ, H)$

Значения лингвистической переменной «Температура, t° »;	Значения выходных нечетких подмножеств, Y_{12} при изменении нечеткой функции «Влажность, H »				
	Min	S	M	B	Max
Min	Max	Max	Max	Max	Max
S	Max	Max	Max	Max	B
M	Max	Max	Max	B	M
B	Max	Max	B	M	S
Max	Max	B	M	S	Min

Таблица 2

Состав базы правил нечеткой продукции для вывода функции принадлежности «Сырьевой фактор, Y_{34} » $Y_{34} = f(Wt, D)$

The composition of the fuzzy production rule base for the function output belonging «Raw material factor, Y_{34} » $Y_{34} = f(Wt, D)$

Значения лингвистической переменной «Порода, Wt »	Значения выходных нечетких подмножеств «Сырьевой фактор, Y_{34} » при изменении нечеткой функции «Диаметр, D »				
	Min	S	M	B	Max
Ель	Min	Min	S	M	B
Сосна	Min	S	M	B	B
Осина	S	S	M	B	Max
Лиственница	S	M	B	Max	Max
Береза	M	M	B	Max	Max

Таблица 3

Состав базы правил нечеткой продукции для вывода функции принадлежности «Заданный прижим, P» $P = f(Y_{12}, Y_{34}) = f(D, t^{\circ}, H, Wt)$

The composition of the fuzzy production rule base for the function output belonging "Set clamp, P" $P = f(Y_{12}, Y_{34}) = f(D, t^{\circ}, H, Wt)$

Значения лингвистической переменной «Температурно-влажностный фактор, Y_{12} »	Значения выходных нечетких подмножеств «Заданный прижим, P» при изменении нечеткой функции «Сырьевой фактор, Y_{34} »				
	Min	S	M	B	Max
Min	Min	S	M	B	B
S	Min	M	M	B	B
M	S	M	B	B	Max
B	M	B	B	Max	Max
Max	M	B	Max	Max	Max

Таблица 4

Состав базы правил нечеткой продукции для вывода функции принадлежности «Управление прижимом, K» $K = f(\Delta Q, d\Delta Q/dt)$

The composition of the fuzzy production rule base for displaying the belonging function "Pressure control, K" $K = f(\Delta Q, d\Delta Q / dt)$

Значения лингвистической переменной «Изменение качества окорки, ΔQ »	Значения выходных нечетких подмножеств «Управление прижимом, K» при изменении нечеткой функции «Скорость изменения качества окорки, $d\Delta Q/dt$ »				
	Min	S	M	B	Max
NMax	NM	NMax	NMax	NMax	NMax
NM	NS	NS	NM	NM	NMax
NS	NS	NS	NM	NM	NM
Zero	Zero	Zero	Zero	Zero	Zero
PS	PS	PS	PM	PM	PM
PM	PS	PS	PM	PM	PMax
PMax	PM	PMax	PMax	PMax	PMax

Синтез нечетких моделей. Разработанная формальная постановка задачи соответствующих нечетких выводов для интеллектуальной системы реализована в специализированной компьютерной программе. Для этой цели использована среда FIS Editor приложения Matlab Fuzzy Logic Designer. На рис. 5 изображены операции процесса нечеткого вывода функции «Температурно-влажностный фактор Y_{12} » $Y_{12} = f(t^\circ, W)$.

Аналогично выведены функции «Сырьевой фактор, Y_{34} » $Y_{34} = f(Wt, D)$ и заключительной величины «Заданный прижим, P » $P = f(Y_{12}, Y_{34}) = f(Wt, D, t^\circ, H)$. Графики функций приведены на рис. 6.

В завершение модели сделан нечеткий вывод функции управления заданным прижимом для контроллера Fuzzy Logic Controller 2 (рис. 2). С использованием нечетких функций «Изменение качества окорки, ΔQ » (рис. 4к), «Скорость изменения качества окорки, $d\Delta Q/dt$ » (рис. 4и), «Управление прижимом, K » (рис. 4л), базы правил (табл. 4), описанной в п.3 методики и основного уравнения (5) для управления заданным прижимом короснимателя получена результирующая функция управления величиной заданного прижима в процессе окорки «Заданный прижим, P » (рис. 6б).

Реализация модели интеллектуальной системы в среде Simulink. Основой интеллектуального управления короснимателем является нечеткая модель в виде двухслойной продукционной нейронечеткой сети и две нечеткие системы для контроллеров. Для исследования и настройки нечетких систем в рассматриваемой конструкции разработана соответствующая модель. Визуально-блочная модель интеллектуальной системы в Simulink-формате показана на рис. 7. Здесь в первом контуре САУ использован принцип регулирования с отрицательной обратной связью.

В этом контуре по отклонению качества окорки от оптимального, когда величины остатков коры или повреждений древесины будут не равны нулю, регулятором должно быть выработано корректирующее воздействие. Так, если появляются остатки коры, то следует увеличить величину заданного прижима в диапазоне от 0 (Zero) до 40 кН/м (Max) (рис. 4,ж) в зависимости от величины остатков коры и скорости изменения их количества. В этом случае коэффициент корректирования K (рис. 4,л), будет иметь отрицательное значение. Поэтому при сложении с первоначальным заданным значением прижима P прижим будет уменьшен.

Аналогичные действия будут при появлении остатков коры, только коэффициент корректирования будет иметь положительное значение и заданный прижим будет увеличен. Для реализации этого действия в визуально-блочную модель в среде Simulink включен блок **Summ** (рис. 7).

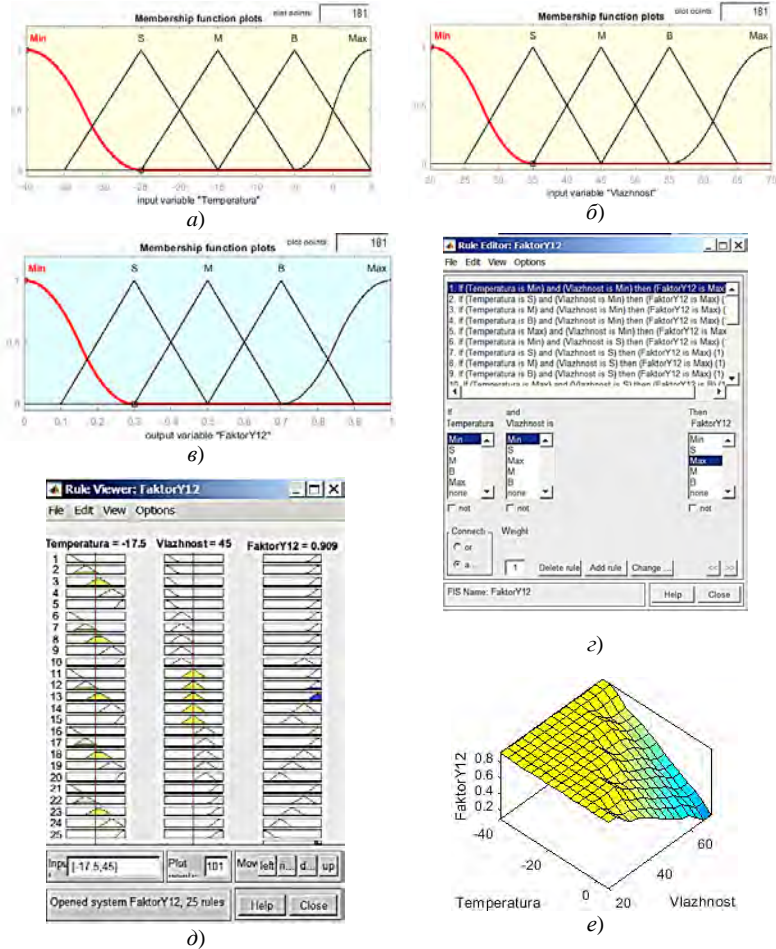


Рис. 5. Нечеткий вывод функции $Y_{12} = f(t^{\circ}, H)$: а – нечеткая функция принадлежности переменной «Температура, t° »; б – нечеткая функция принадлежности переменной «Влажность, H »; в – нечеткая функция принадлежности «Температурно-влажностный фактор, Y_{12} »; г – база правил нечеткого вывода; д – процедура нечеткого вывода и приведения к четкости; е – результирующая функция нечеткого вывода $Y_{12} = f(t^{\circ}, H)$

Fig. 5. Fuzzy derivation of the function $Y_{12} = f(t^{\circ}, H)$: а – fuzzy function of belonging to the variable "Temperature, t° "; б – fuzzy function of belonging to the variable "Moisture, H "; в – fuzzy membership function "Temperature-humidity factor, Y_{12} "; г – base of rules of fuzzy inference; д – procedure of fuzzy inference and reduction to clarity; е – the resulting fuzzy inference function $Y_{12} = f(t^{\circ}, H)$

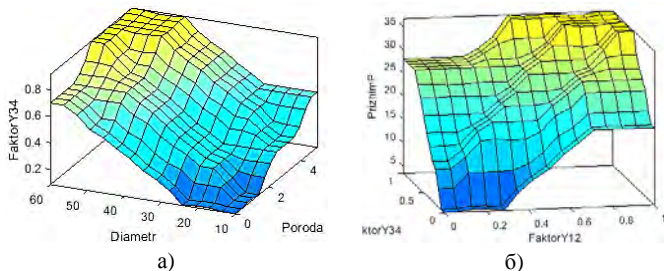


Рис. 6. Графики функций, полученных в результате нечетких выводов: а – «Сырьевой фактор, Y_{34} »; б – «Заданный прижим, P »
 Fig. 6. Graphs of functions obtained as a result of fuzzy conclusions: а – "Raw material factor, Y_{34} "; б – "Set pressure, P "

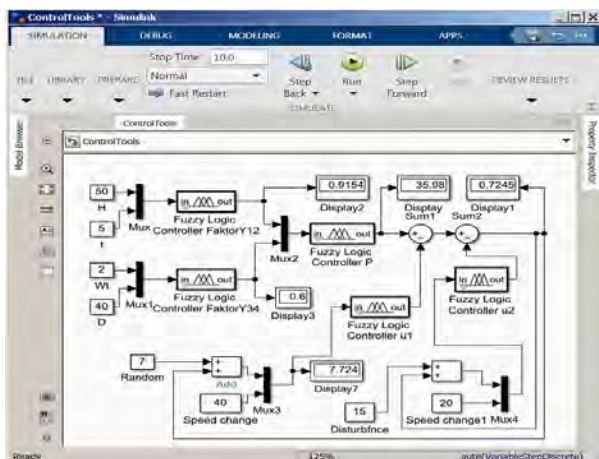


Рис. 7. Программная реализация в Simulink модели интеллектуального управления короснимателем для исследования и настройки нечетких систем
 Fig. 7. Software implementation in Simulink of the model of intelligent control of the debarking tool for research and tuning of fuzzy systems

Во втором контуре САУ выполняется стабилизация заданного значения прижима. Здесь используется по типу отрицательное регулирование, т. е. корректирующее воздействие направлено на поддержание заданной величины.

В модель включены блоки **Constant** для ввода исходных данных t° , W , P , D , а также для исследования поведения нечетких систем в двух контурах значения **Speed Change** и **Disturbance** (входные переменные для нечеткого вывода). В САУ станка это будут сигналы соответствующих датчиков. Перед каждым контроллером данные поступают в блоки **Mux** для объединения в последовательные векторы параметров и передачи в машины нечеткого вывода. Для процедур нечеткого вывода использованы блоки **Fuzzy Logic Controller FaktorY12**, **Fuzzy Logic Controller FaktorY34**, **Fuzzy Logic Controller P**, **Fuzzy Logic Controller u1** и **Fuzzy Logic Controller u2**. В каждом из блоков вписана ссылка на соответствующий файл *.fis с нечетким выводом.

Блоки вывода результатов **Display** использованы в данном случае для контроля расчетных данных, чтобы можно было исследовать, отлаживать и настраивать модель системы интеллектуального управления.

Анализ результатов и обсуждение. Сделаем анализ результатов с точки зрения отличия от существующих исследований, рассматривая их соответствие следующим критериям научной ценности:

- отличие от известных результатов;
- научная новизна;
- практическая применимость.

Как было сказано, в российских изданиях имеется несколько публикаций, которые только убедительно показывают обоснованность использования методов ТНМ для систем интеллектуального автоматического управления. В настоящее время несмотря на большое количество зарубежных работ по теме искусственного интеллекта, исследования, направленные на создание систем автоматического управления инструментом окорочных станков на основе нечеткой логики, в России и за рубежом отсутствуют.

Главное **отличие предложенного подхода** заключается в представлении задачи на основе аппарата нечеткой логики, используемой для создания интеллектуальных систем. Только такой подход обеспечивает корректную формализацию неопределенностей в данных.

Научная новизна следует из отличительных особенностей результатов, т. е. впервые предложен теоретический подход к устойчивому интеллектуальному управлению короснимателем окорочного станка на основе аппарата нечеткой логики.

Практическая применимость результатов заключается в возможности создания интеллектуальной системы управления инструментом окорочного станка. Результаты в виде программно-реализованной функциональной зависимости, полученной на основе нечеткого моделирования, необходимы для проектирования соответствующей интеллектуальной системы.

Выводы. Подытоживая анализ результатов, можно заключить следующее.

1. В настоящее время приоритетным направлением развития всех сфер человеческой деятельности является внедрение искусственного интеллекта, интеллектуальных систем. Общепризнанным и единственным аппаратом формализации неопределенностей при создании интеллектуальных систем является теория нечетких множеств и ее практические приложения — нечеткая логика, нечеткое моделирование. Для широкого класса задач, в частности автоматического интеллектуального управления в наибольшей степени подходят методы, основанные на указанном аппарате.

2. В предложенной интеллектуальной системе управления РОС формализация неопределенностей в процессах обработки лесоматериала выполнены математически корректно, что позволило принципиально новым методом и более точно решить задачу устойчивого автоматического управления станком.

3. Важным преимуществом разработанной нечеткой интеллектуальной системы является то, что она создана по типу производственной, т. е. основанной на правилах, что дает возможность без изменений структуры настраивать модель, более точно учитывая влияние других параметров и совершенствовать процесс управления.

Библиографический список

Власов К.П. Теория автоматического управления. Основные положения. Примеры расчета. Харьков: Изд-во Гуманитарный центр, 2013. 544 с.

Осипов Г.С. Лекции по искусственному интеллекту. Изд 3-е стереотип (Науки об искусственном. №2). М.: ЛЕНАНД, 2018. 272 с.

Побединский В.В., Берстнев А.В. Коросниматель с пневмогидроприводом // Вестник КрасГАУ. Техника. 2012. № 7 (70). С. 126–130.

Побединский В.В., Попов А.И., Василевский Д.А. Нечеткая модель управления пневмогидроприводом короснимателя роторного окорочного станка // Вестник КрасГАУ. Техника. 2013. № 8 (83). С. 19–23.

Побединский В.В. Современные роторные окорочные станки: учеб. пособие / Минобрнауки России, Урал. гос. лесотехн. ун-т. Екатеринбург, 2018. 143 с.

Хултен Дж. Разработка интеллектуальных систем / пер. с англ. В.С. Яценкова. М.: ДМК Пресс, 2019. 284 с.

Piegat A. Fuzzy Modeling and Control. Heidelberg, Physica-Verlag, 2001. 760 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-7908-1824-6>.

References

Khulten Dzh. Razrabotka intellektualnykh sistem / per. s angl. V.S. Yatsenkova. M.: DMK Press, 2019. 284 p. (In Russ.)

Osipov G.S. Lektzii po iskusstvennomu intellektu. Izd 3-ye stereo-tip. (*Nauki ob iskusstvennom.* No. 2). [Lectures on Artificial Intelligence. Ed 3rd stereo-type. (Science about the artificial. No. 2)]. M.: LENAND, 2018, no. 2. 272 p. (In Russ.)

Piegat A. Fuzzy Modeling and Control. Heidelberg, Physica-Verlag, 2001. 760 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-7908-1824-6>.

Pobedinsky V.V. Modern rotary debarking machines: textbook. allowance / Ministry of Education and Science of Russia, Ural State Forest Engineering University. Yekaterinburg, 2018. 143 p. (In Russ.)

Pobedinsky V.V., Berstenev A.V. Korosnimatel' s pnevmogidropivodom. [The debarker tool with a pneumohydraulic drive]. *Vestnik KrasGAU. Tekhnika, №7(70)* [In the collection Bulletin of KrasGAU. Technique, no. 7 (70)]. Krasnoyarsk: KrasGAU, 2012, pp. 126–130.

Pobedinsky V.V., Popov A.I., Vasilevsky D.A. Fuzzy model of control of a pneumohydraulic drive of a rotary debarking machine. *Bulletin of KrasGAU. Technics*, 2013, no. 8 (83), pp. 19–23. (In Russ.)

Vlasov K.P. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya. Osnovnyye polozheniya. Primery rascheta. [Automatic control theory. Basic provisions. Calculation examples]. *Khar'kov: Izd-vo Gumanitarnyy tsentr* [Kharkov: Publishing House of the Humanitarian Center], 2013. 544 p.

Материал поступил в редакцию 23.06.2021

Побединский В.В., Кручинин И.Н., Ляхов С.В., Побединский Е.В. Интеллектуальное управление инструментом окорочного станка // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 237. С. 221–241. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.237.221-241

Рассмотрена проблема совершенствования роторных окорочных станков, которые во всех технологиях лесопереработки лесопромышленных стран используются в обязательном порядке. Несмотря на достаточно отработанную конструкцию, тем не менее, основные технологические операции станка не оснащены современными адаптивными системами автоматического управления (САУ). Ранее были предложены разработки на основе пневмогидропривода с использованием автоматического управления на основе нечеткой логики. В предложенной системе автоматического управления выполняется стабилизация заданного усилия прижима режущего инструмента – короснимателя. Однако заданное усилие зависит от ряда технологических параметров, которые характеризуются неопределенностью, и проблема управления заданным прижимом инструмента осталась нерешенной. Таким образом определена цель исследований, которая заключалась в создании интеллектуальной системы автоматического управления заданным прижимом короснимателя окорочного станка. Решались следующие задачи: 1) разработка схемы интеллектуального управления короснимателем; 2) разработка схемы обобщенной интеллектуальной системы управления в виде нейронечеткой сети; 3) постановка задачи управления заданным прижимом инструмента; 4) обоснование входных и выходных переменных задачи (фазификация); 5) разработка базы правил нечеткой системы; 6) выполнение нечетких выводов для промежуточных и заключительного слоев сети в среде Matlab; 7) реализация модели интеллектуальной системы в среде Matlab+Simulink. Результатами работы является модель интеллектуальной системы

управления короснимателем и ее программная реализация в среде Simulink для использования в практике проектирования роторных окорочных станков.

Ключевые слова: интеллектуальная система, нечеткая система, роторный окорочный станок, коросниматель, управление прижимом короснимателя.

Pobedinskiy V.V., Kruchinin I.N., Lyakhov S.V., Pobedinskiy E.V. Intelligent control of the debarker tool. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2021, iss. 237, pp. 221–241 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2021.237.221-241

The problem of improving the rotary debarkers, which are used without fail in all timber processing technologies of the timber industry countries, is considered. Despite the sufficiently developed design, nevertheless, the main technological operations of the machine are not equipped with modern adaptive automatic control systems (ACS). Previously, developments based on a pneumatic hydraulic drive were proposed using automatic control based on fuzzy logic. In the proposed automatic control system, the stabilization of a given pressing force of the cutting tool – the debarker is performed. However, the given force depends on a number of technological parameters, which are characterized by uncertainty, and the problem of controlling the given clamping of the tool remains unsolved. Thus, the goal of the research was determined, which was to create an intelligent system for automatic control of a given pressure of the debarker staple lifter. The following tasks were solved: 1) development of an intelligent control scheme for the debarker; 2) development of a diagram of a generalized intelligent control system in the form of a neuro-fuzzy network; 3) setting the task of controlling the given clamping of the tool; 4) justification of the input and output variables of the problem (fuzzification); 5) development of a fuzzy system rule base; 6) execution of fuzzy conclusions for intermediate and final layers of the network in the Matlab environment; 7) implementation of the model of an intelligent system in the Matlab + Simulink environment. The results of the work are a model of an intelligent control system for the debarker and its software implementation in the Simulink environment for use in the practice of designing rotary debarkers.

Keywords: intelligent system, fuzzy system, rotary debarking machine, debarker, control of the pressure of the debarker.

ПОБЕДИНСКИЙ Владимир Викторович – заведующий кафедрой интеллектуальных систем Уральского государственного лесотехнического университета, профессор, доктор технических наук. SPIN-код: 7968-3990, AuthorID: 648495. ORCIDiD: <https://orcid.org/0000-0001-6318-3447>. ResearcherID: G-3245-2018. 620100, ул. Сибирский тракт, 37, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: pobed@e1.ru

POBEDINSKIY Vladimir V. – DSc (Technical), professor, head. Department of Intelligent Systems, FSBEI HE «Ural State Forest Engineering University». SPIN: 7968-3990, AuthorID: 648495. ORCIDiD: <https://orcid.org/0000-0001-6318-3447>. ResearcherID: G-3245-2018.

620100. Federation, Sibirsky Trakt str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: pobed@e1.ru

КРУЧИНИН Игорь Николаевич – доцент, профессор кафедры транспорта и дорожного строительства Уральского государственного лесотехнического университета, доктор технических наук. Author ID: 44188473. Researcher ID: W-3259-2018. ORCID ID:0000-0002-7598-9672. Scopus Author ID: 57211208119.

620100, ул. Сибирский тракт, 37, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: kinaa.k@yandex.ru

KRUCHININ Andrey N. – DSc (Technical), Grand PhD in Engineering sciences, associate Professor, Professor of the Department of Transport and Road Construction, FSBEI HE «Ural State Forest Engineering University». Author ID: 44188473. Researcher ID: W-3259-2018. ORCID ID: 0000-0002-7598-9672. Scopus Author ID: 57211208119.

620100. Federation, Sibirsky Trakt str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: kinaa.k@yandex.ru

ЛЯХОВ Сергей Владимирович – доцент кафедры интеллектуальных систем ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», доцент кафедры «Подъемно-транспортные машины и роботы» ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», кандидат технических наук. AuthorID: 0000-0003-4514-7121, <https://orcid.org/0000-0003-4514-7121>, ResearcherID: ABF-5159-2020.

620100, г. Екатеринбург, Российская Федерация, ул. Сибирский тракт, 37, e-mail: lyahovsv@m.usfeu.ru

LYAKHOV Sergey V. – PhD (Technical), Associate Professor, of the Department of Intelligent Systems, FSBEI HE @Ural State Forestry Engineering University@, Associate Professor of the Department of Hoisting-and-Transport Machines and Robots of the FSAEI HE «Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin». AuthorID: 0000-0003-4514-7121, <https://orcid.org/0000-0003-4514-7121>, ResearcherID: ABF-5159-2020.

620100. Federation, Sibirsky Trakt str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: lyahovsv@m.usfeu.ru.

ПОБЕДИНСКИЙ Егор Владимирович – аспирант кафедры сервиса транспортных и технологических машин и оборудования АПК ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет». AuthorID: 902167. SPIN: 6342-9963. ORCID iD: 0000-0003-1838-309X. ResearcherID: R-2080-2018.

620075, ул. Карла Либкнехта, д. 42, г. Екатеринбург. Россия. E-mail: pobed.ev@yandex.ru

POBEDINSKIY Egor V. – PhD student of the Department of Service for Transport and Technological Machines and Equipment of Agroindustrial Complex, FSBEI HE «Ural State Agrarian University», AuthorID: 902167. SPIN: 6342-9963. ORCID iD: 0000-0003-1838-309X. ResearcherID: R-2080-2018.

620075. Karl Liebknecht str. 42. Yekaterinburg. Russia. E-mail: pobed.ev@yandex.ru