

Лесопромышленный комплекс

проведении лесозаготовительных работ [1].

В целом можно сделать вывод, что лесная сертификация лесопромышленного и внутренней цепочки поставок ЗАО «Фанком» компании SVEZA подтверждает

то, что лесопользование данного предприятия построено и осуществляется таким образом, что обеспечивает достаточную экономическую выгоду без потерь для лесных ресурсов, качества экосистемы и без ущерба для

местного населения. В Свердловской области, кроме ЗАО «Фанком», пока нет ни одного сертифицированного лесного участка, что также подтверждает актуальность данного вида деятельности.

Библиографический список

1. Сайт компании ООО «Лесная сертификация». URL: <http://www.fcert.ru/clients/fankom/>
2. Компания «СВЕЗА». URL: <http://www.sveza.ru/>

УДК 630.3: 625.14

В.В. Побединский, М.В. Шавнина, А.П. Панычев
(*V.V. Pobedinskiy, M.V. Shavnina, A.P. Panyshev*)

*Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург*

**ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ КРАНОВЫХ ПУТЕЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЛПК
С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЧЕТКИХ МОДЕЛЕЙ
(EVALUATION PARAMETERS CRANE TRACKS USING FUZZY MODELS)**

Исследована проблема оценки технического состояния крановых путей на предприятиях лесопромышленного комплекса и решена задача расчета упругого прогиба таких конструкций с применением нечетких моделей. Выполнена содержательная постановка и формализация задачи оценки упругого прогиба на основе теории нечетких множеств. Практическая реализация нечеткого вывода выполнена в среде Fuzzy Logic Toolbox приложения MatLab. В результате нечеткого вывода получена функция прогибов в зависимости от параметров жесткости конструкций и нагрузок на крановые пути.

The problem of assessing the technical condition of crane tracks and solved the problem of calculating the resilient deflection of structures using fuzzy models. Made substantial production and formalization of the problem of estimating the resilient deflection based on the theory of fuzzy sets. Practical implementation of the fuzzy inference is executed in an environment Fuzzy Logic Toolbox application MatLab. As a result, fuzzy inference function is obtained deflections depending on the parameters of structural rigidity and load on the crane track.

Введение

Надежность конструкции грузоподъемных кранов, используемых на лесопромышленных предприятиях, безопасность, эффективность их работы зависит от крановых путей. Несмотря на очевидность такого факта, в подавляющем большинстве исследований работ эти со-

ставные части рассматривались практически как независимые конструкции. В результате сформировался взгляд на крановые пути как на конструкции, аналогичные железнодорожным полотнам, что и предопределило методы их проектирования, оценки технического состояния, технической эксплуатации, стан-

дартные конструктивные решения. Такой подход отразился в нормативно-техническом сопровождении, поэтому без достаточного обоснования, очевидно, также по аналогии, были назначены справочные, нормативные данные, регламентирующие проектирование и процесс эксплуатации крановых путей [1].

Лесопромышленный комплекс

Таким образом, в результате использования конструкций железнодорожного полотна вместо крановых путей, разработанных под соответствующие технологические и конструктивным требованиям, и была создана проблема, которая проявилась в низкой надежности, высоких эксплуатационных затратах, неопределенности в вопросах оценки технического состояния крановых путей.

Особенностью конструкций железнодорожных путей является их несоизмеримо большая протяженность, что ставит на первый план экономические критерии при их проектировании. Крановые же пути рассчитаны на работу технологического оборудования с более легкими скоростными режимами, но значительно более высокими удельными нагрузками. При таких условиях совершенно очевидно, что основными критериями для крановых путей является обеспечение наиболее важных требований – минимизации упругих и пластичных деформаций (просадок) конструкции. Ближайшим решением такой задачи будет увеличение жесткости конструкции, например использование бетонных или полимерных шпал. Следует отметить, что в зарубежной практике имеется положительный опыт в этом направлении. Так, во многих странах применяются крановые пути на бетонных плитах, в Германии были разработаны конструкции на бетонном фундаменте с рельсами, стянутыми стальными шпильками, и другие примеры. Все это свидетельствует об активном поиске новых конструктивных решений,

а существующие еще далеки от совершенства. В российской лесной промышленности используется практически одна традиционная конструкция – рельсы на деревянных шпалах, уложенные на так называемую балластную щебеночную призму. В этой связи была предложена конструкция (рис. 1), которая решает проблему создания крановых путей с более высокими техническими характеристиками [2].

Одним из важнейших преимуществ такой конструкции является значительное, многократное снижение её деформаций. Для внедрения такой конструкции необходимы дальнейшие ее исследования с целью в первую очередь прогнозирования ее деформаций в процессе эксплуатации. Но эта задача является трудоемкой, сложной и требует проведения комплекса исследований. Для теоретических исследований можно использовать

обширный материал, накопленный в области изучения кранов. Но и этот материал требует систематизации, обобщения, правильной интерпретации, поскольку характеризуется неопределенностью, нечеткостью, недостаточностью конкретных данных, большей частью отсутствием необходимой информации. В таком виде задачу возможно решить в рамках теории нечетких множеств, получившей развитие за последние 2–3 десятилетия, и одного из ее практических приложений – нечеткого моделирования [3, 4].

Целью исследований, основные результаты которых приведены в настоящей статье, являлось определение функциональной зависимости упругого прогиба кранового пути от жесткости его конструкции и величины нагрузки под колесом крана на основе нечеткого моделирования.

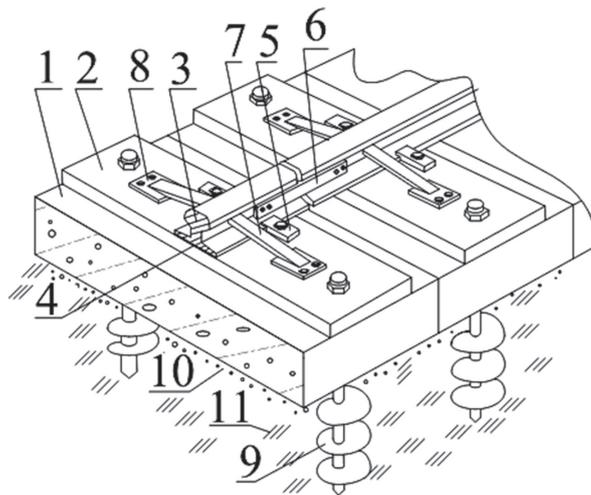


Рис. 1. Конструктивное решение кранового пути:

- 1 – плита железобетонная; 2 – металлическая пластина; 3 – рельс;
4 – подкладка; 5 – прижим; 6 – стыковое скрепление; 7 – ребро жесткости;
8 – металлическая шпала; 9 – свая винтовая; 10 – щебеночное основание;
11 – грунтовое основание

Лесопромышленный комплекс

Достижение поставленной цели предусматривало решение следующих задач:

1) выполнение содержательной постановки задачи нечеткого вывода функции упругого прогиба кранового пути;

2) выполнение практической реализации задачи нечеткого вывода, включающей определение нечетких функций принадлежности для входных и выходных переменных задачи (приведение к нечеткости) и разработка базы правил нечеткой продукции;

3) синтез нечеткой модели зависимости упругого прогиба кранового пути от входных параметров средствами Fuzzy Logic Toolbox приложения MatLab.

Выполнение содержательной постановки задачи. Дадим самые основные зависимости прогибов кранового пути в описательном виде, аналогичном правилам в теории нечетких множеств («Если $A = B$ и $C = D$ и ... то $m_i = n_j$ и ...») [3,4], используя предварительные исследования, а также известные статистические данные и экспертные оценки.

Если «Жесткость» = «Минимальная» и «Нагрузка» = «Максимальная», То «Податливость» = «Максимальная».

Если «Жесткость» = «Максимальная» и «Нагрузка» = «Минимальная (Н1)», То «Податливость» = «Минимальная».

Если «Жесткость» = «Средняя» и «Нагрузка» = «Средняя», То «Податливость» = «Средняя».

Аналогично выводятся правила для других сочетаний лингвистических соотношений входных характеристик и выходной

величины, например «Малый», «Средний», «Большой» и др.

Практическая реализация задачи нечеткого вывода. Определение входных и выходных переменных задачи оценки прогибов кранового пути (приведение к нечеткости).

Определим функции принадлежности для входных и выходных параметров.

Входные переменные. В качестве первой входной функции принадлежности примем приведенную жесткость $C_{пр}$ конструкции крановых путей [5]. Приведенная $C_{пр}$ при последовательном в направлении действия нагрузки соединении элементов определяется по формуле [5]:

$$C_{пр} = C_p + C_{ш} + C_n + C_6, \quad (1)$$

где $C_{пр}$ – значение приведенной жесткости конструкции, $\text{кг}/\text{см}^2$; C_p – жесткость рельса, $\text{кг}/\text{см}^2$; $C_{ш}$ – жесткость опорного элемента (шпалы), $\text{кг}/\text{см}^2$; C_n – жесткость железобетонной плиты, $\text{кг}/\text{см}^2$; C_6 – жесткость балластного слоя (подстилающего покрытия), $\text{кг}/\text{см}^2$.

Жесткость рельса определяется расчетом наибольшего напряжения σ_z в опасной точке:

$$\sigma_z = \frac{6M_x}{bh^2}, \quad (2)$$

где M_x – величина наибольшего изгибающего момента, $\text{кг}\cdot\text{см}$;

b – ширина подошвы рельса, мм;

h – высота рельса, мм.

$$\sigma_z = \frac{6 \times 332682,75}{15 \times 18^2} = \frac{1996096,5}{4860} = 410,8 \text{ кг}/\text{см}^2.$$

$$\sigma_z \leq \sigma_{z \max}, \quad \sigma_{z \max} = 770 \text{ кг}/\text{см}^2, \\ 410,8 \text{ кг}/\text{см}^2 \leq 770 \text{ кг}/\text{см}^2.$$

Аналогично производится расчет жесткости металлической шпалы (формула (2)):

$$\sigma_z = \frac{6M_x}{bh^2} = \frac{6 \times 64706,03}{35,0 \times 5,0^2} = \\ = \frac{388236,18}{875} = 443,7 \text{ кг}/\text{см}^2,$$

где b – ширина металлической шпалы, $b = 350$ мм;

h – высота металлической шпалы, $h = 50$ мм.

Жесткость железобетонной плиты определяем теоретическими данными. Для сильно загруженных сжатых стержневых элементов (колонн, воспринимающих крановые нагрузки) класс бетона принимается не ниже В25. Нормативными сопротивлениями бетона являются сопротивления осевому сжатию призм (призменная прочность) $R_{bn} = 20,4 \text{ МПа} = 208 \text{ кгс}/\text{см}^2$.

Обобщив результаты теоретических и расчетных данных для реализации задачи нечеткого вывода по параметру жесткости кранового пути, принимаем следующие входные переменные:

1) предлагаемое конструктивное решение кранового пути (рельс, металлическая шпала, железобетонная плита, щебеночное покрытие)

$$C_{пр} = 410,8 + 443,7 + 208 + 7 = \\ = 1069,5 \text{ кг}/\text{см}^2;$$

2) стандартная конструкция кранового пути (рельс, деревянная полушпала, щебеночная балластная призма)

$$C_{пр} = 410,8 + 130 + 7 = \\ = 547,8 \text{ кг}/\text{см}^2;$$

3) стандартная конструкция кранового пути (рельс, железо-

Лесопромышленный комплекс

бетонная шпала, щебеночная балластная призма)

$$C_{пр} = 410,8 + 208 + 7 = 628,8 \text{ кг/см}^2;$$

4) стандартная конструкция кранового пути (рельс, железобетонная шпала, балластная призма – крупнозернистый песок)

$$C_{пр} = 410,8 + 208 + 5 = 623,8 \text{ кг/см}^2;$$

5) стандартная конструкция кранового пути (рельс, металлическая шпала, щебеночная балластная призма)

$$C_{пр} = 410,8 + 443,7 + 7 = 861,5 \text{ кг/см}^2.$$

В качестве второй входной величины примем нагрузку на рельс под колесом от массы крана с грузом. В соответствии с известными справочными данными [6] по грузоподъемному оборудованию в лесной промышленности (табл. 1) эта величина изменяется в диапазоне от 43,5 до 156,7 кН.

Выходная величина логично следует из физического смысла задачи – это должна быть величина упругого прогиба путей. Минимальные и максималь-

ные значения упругого прогиба следует принять по известным нормативным данным [5] и экспериментальным данным [1]. Они в зависимости от грузоподъемности крана и конструктивного решения кранового пути могут достигать от 20 до 60 мм.

Все операции в теории нечетких множеств основаны на использовании ключевого понятия – функции принадлежности. Здесь можно выделить два этапа. На первом этапе определяется носитель нечеткого множества или область определения. Этот этап не вызывает затруднений, и его результаты можно считать достаточно достоверными.

На втором этапе определяется форма функции принадлежности. Принятие такой функции, как правило, носит субъективный творческий характер и в большей степени зависит от физического смысла решаемой задачи. Существуют различные методики выявления вида функции принадлежности [3,4], как правило, основанные на экспертных оценках. В данном случае эта проблема также решалась экспертным

путем с учетом физического содержания задачи нечеткого моделирования.

Не вдаваясь в детальное описание формальных математических аспектов этой теории (более подробное изложение этой теории можно найти в [3, 4]), перейдем непосредственно к формализации задачи нечеткого вывода, в первую очередь включающей определение функций принадлежности для входных и выходного параметров.

Для указанных величин предложены, как достаточно соответствующие физическому смыслу и специфике задачи, лингвистические переменные входные «Жесткость, С», «Нагрузка, Р» и выходная «Прогиб, S» в виде треугольных нечетких чисел, а на границах области определения они заданы сигмоидальными нечеткими интервалами. Указанные функции приведены на рис. 2.

В качестве обозначений лингвистических переменных для предложенных функций приняты следующие значения: Мин – минимальное значение; М – малое; Ср – среднее; Б – большое; Мах – максимальное.

Таблица 1

Основные технические параметры козловых кранов согласно РД 10-117-95

Марка крана	Грузоподъемность, т	Нагрузка от колеса на рельс, кН	Масса крана, т
Минимальное значение грузоподъемности, нагрузки от колеса на рельс			
ККТ-3,2	3,2	43,5	8,9
Параметры козлового крана фирмы «KONE»			
Фирма «KONE»	10	145	58,5
Максимальное значение грузоподъемности, нагрузки от колеса на рельс			
К-651	65	156,7	123

Лесопромышленный комплекс

Таким образом, в терминах теории нечетких множеств лингвистические переменные определены терм-множествами со следующими значениями: «Жесткость, С» {Мин, М, Ср, Б, Мах}; «Нагрузка, Р» {Мин, М, Ср, Б, Мах}; «Прогиб, S» {Мин, М, Ср, Б, Мах}.

Формирование базы правил системы нечеткого вывода. Для нечеткого вывода функции принадлежности используем метод Мамдани [3], который предполагает разработку базы правил нечеткой продукции. Её состав приведен в табл. 2.

Синтез нечеткой модели зависимости упругих прогибов крановых путей. Изложенная формальная постановка задачи

нечеткого вывода позволяет реализовать ее в специализированных компьютерных программах.

Реализация задачи нечеткого вывода выполнена в среде FIS Editor (рис. 3) приложения MatLab [7]. Схема вывода показана на рис. 3. В данном случае использовался алгоритм по известной [3, 4] методике:

- 1) фаззификация (введение нечеткости), (рис. 3, а-в);
- 2) формирование базы правил нечеткой продукции (рис. 3, г);
- 3) нечеткий вывод (рис. 3, д);
- 4) дефаззификация (приведение к четкости), (рис. 3, д);
- 5) получение конечной функции нечеткого вывода (рис. 3, е).

Полученная в результате нечеткого вывода функция является

достаточно корректной математически и может использоваться для прогнозирования параметров конструкций крановых путей.

Выводы

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. В настоящее время совершенствование методов исследований грузоподъемного оборудования невозможно без применения интеллектуальных программных систем и компьютерных средств. Предложенная постановка задачи нечеткого моделирования и реализация соответствующего программного обеспечения в среде MatLab позволяет эффективно

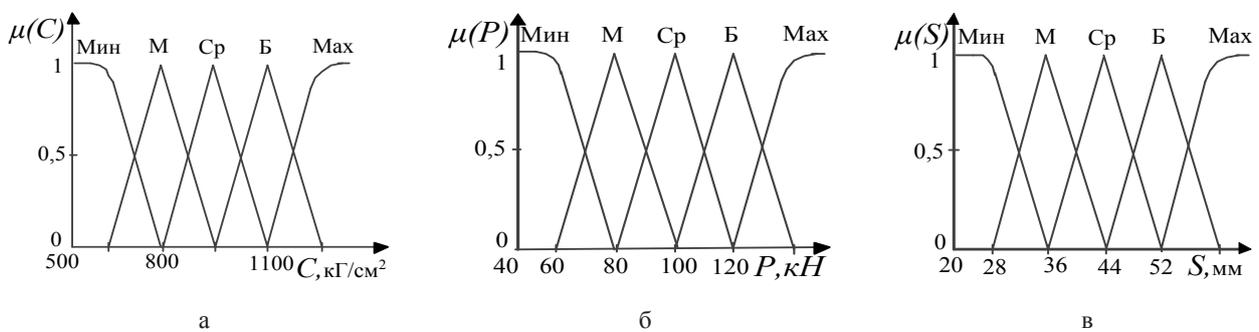


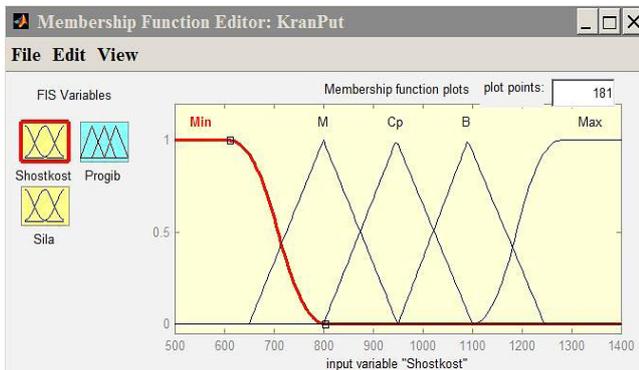
Рис. 2. Нечеткие функции принадлежности лингвистических переменных: а – «Жесткость, С»; б – «Нагрузка, Р»; в – «Прогиб, S»

Таблица 2

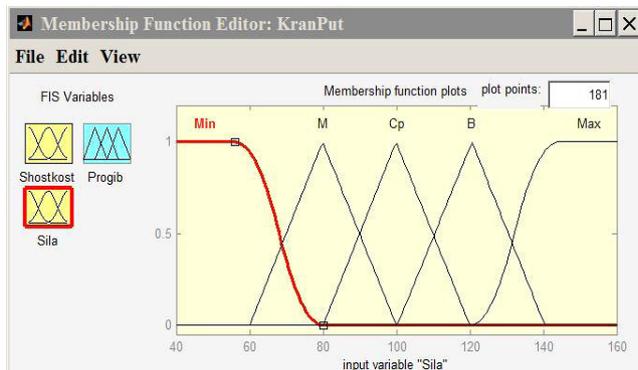
Состав базы правил нечеткой продукции для вывода функции принадлежности

Значения лингвистической переменной «Жесткость, С»	Значения выходных нечетких подмножеств «Прогиб, S», при изменении нечеткой функции «Нагрузка, Р»				
	Мин	М	Ср	Б	Мах
Мин	Ср	Б	Б	Мах	Мах
М	Ср	Ср	Ср	Б	Мах
Ср	М	М	Ср	Б	Б
Б	Мин	М	М	Ср	Ср
Мах	Мин	Мин	М	М	Ср

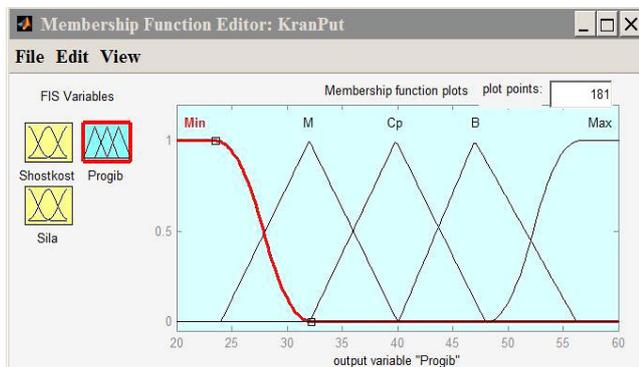
Лесопромышленный комплекс



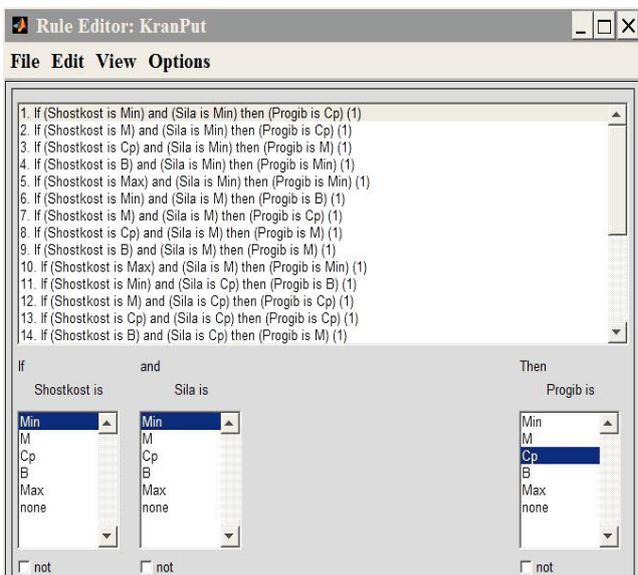
а



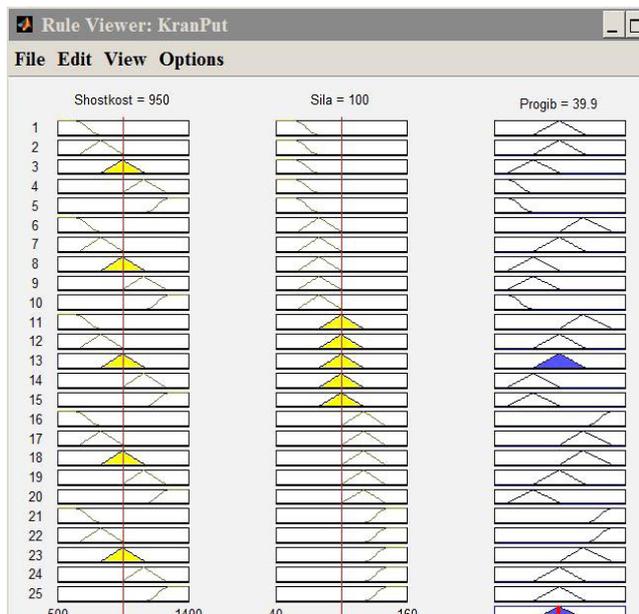
б



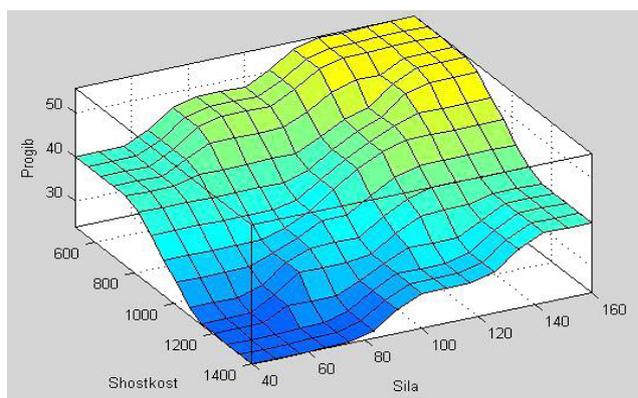
в



г



д



е

Рис. 3. Нечеткий вывод в среде FIS Editor приложения MatLab:

- а – нечеткая функция принадлежности переменной «Жесткость, С»;
- б – нечеткая функция принадлежности переменной «Нагрузка, Р»;
- в – нечеткая функция принадлежности лингвистической переменной «Прогиб, S»;
- г – база правил нечеткого вывода прогиба;
- д – процедура нечеткого вывода и приведения к четкости;
- е – функция нечеткого вывода прогиба

Лесопромышленный комплекс

использовать информационные технологии в исследованиях, моделировании и совершенствовании конструкций кранов и крановых путей.

2. Разработка модели оценки прогибов крановых путей с привлечением статистических

методов является чрезвычайно трудоемкой и будет недостаточно корректным подходом. Для условий такого класса задач в наибольшей мере подходит аппарат нечетких множеств.

3. Предлагаемая функция прогибов крановых путей, по-

строенная на основе нечеткого вывода, учитывает основные условия эксплуатации, а сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными показывает на достаточную адекватность разработанной модели.

Библиографический список

1. Необходимость корректировки нормативных требований к измерению параметров кранового пути / А.В. Голенищев [и др.] // Естественные и технические науки. 2013. № 1. С. 367–370.
2. Оценка возможности разработки принципиально новой конструкции кранового пути для грузоподъемных кранов лесопромышленных предприятий / А.В. Голенищев [и др.] // Естественные и технические науки. 2013. № 3. С. 320–322.
3. Пегат А. Нечетное моделирование и управление. М.: БИНОМ, 2009. 798 с.
4. Птускин А.С. Нечеткие модели и методы в менеджменте: учеб. пособие. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 216 с.
5. Справочник металлиста: в 5 т. Т.1 / под ред. С.А. Чернавского. М.: Машиностроение, 1976. 768 с.
6. Голенищев А.В., Щевелев Ю.С. Грузоподъемные краны лесопромышленных предприятий: моногр. / Урал. гос. лесотехн. ун-т, УралНИИЛП. Екатеринбург: УГЛТУ, 2006. 343 с.
7. MATLAB® & Simulink® Release Notes for R2008a. URL: <http://www.mathworks.com>

УДК 744.425; 378.09

Н.Н. Черемных, О.Ю. Арефьева
(*N.N. Cheremnykh, O.U. Arefieva*)

Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург

**ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ
СБОРОЧНОГО ЧЕРТЕЖА У СТУДЕНТОВ-ДЕРЕВООБРАБОТЧИКОВ
(GEOMETRIC MODELING OF PROCESSES OF DRAWINGS
BY STUDENTS-WOODWORKERS)**

Отмечается, что разрыв между уровнем геометро-графической подготовки в школе и техникуме и требованиями технического вуза, слабый интерес молодежи к получению инженерного образования и требования времени по серьезной модернизации российской промышленности заставляют искать пути и средства опережающего развития геометро-графического образования, являющегося базисным.

It is noted that the break between the level of geo-metrographic preparation in the school and the technical school and the demands of technical VUZ (Institute of Higher Education), the weak interest of young people in obtaining of engineering education from one side and by the requirements of time with the serious modernization of Russian industry, force to search for ways and means of the anticipating the developments geo-metrographic formation, which is been basic in the engineering education.