

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА СМЕШАННОГО РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ НА ШПОН

А.Н. ЧЕМОДАНОВ, *проф. ПГТУ, канд. техн. наук⁽¹⁾*,
Ренат Х. ГАЙНУЛЛИН, *доц. ПГТУ, канд. техн. наук⁽¹⁾*,
Ришат Х. ГАЙНУЛЛИН, *асп. ПГТУ⁽¹⁾*

chemodanovan@volgatech.net, gainyllinrh@yandex.ru, rishat_000@mail.ru
⁽¹⁾ ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,
424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3

Описаны принципиальные отличия способов получения строганного шпона. Даны сведения о проведенных ранее экспериментальных исследованиях процесса получения шпона. Представлена методика экспериментальных исследований при смешанном строгании древесины на шпон, а также экспериментальная установка и алгоритм проведения эксперимента. Показаны типичные осциллограммы процесса смешанного строгания древесины вращающимся механизмом резания. Приведены результаты экспериментальных исследований по определению усилий смешанного резания на шпон при разных степенях обжима и разной толщине получаемого шпона. На основе полученных данных составлено уравнение регрессии первого порядка по полному факторному плану и определены коэффициенты, учитывающие толщину шпона и степень обжима. Полученное уравнение регрессии необходимо для оптимизации энергосиловых показателей процесса смешанного строгания древесины при получении шпона. Анализ расчетных и экспериментальных значений усилия резания и проверка принятой математической модели на адекватность, подтвердили адекватность математической модели. Точность полученного выражения для определения усилия резания достаточная, ошибка не превышает 10 %. Для расширения сферы использования полученных результатов необходимо проведение дальнейших исследований с учетом изменения толщины шпона и степени обжима. Результаты статьи найдут как теоретическое, так и практическое применение, особенно при проектировании нового деревообрабатывающего оборудования для строгания древесины на шпон. Для выработки рекомендаций по дальнейшему практическому применению смешанного строгания предусматривается в последующем особое внимание обратить на энергоемкость процесса строгания и качество поверхности строганного шпона. Это наиболее важные показатели, определяющие конкурентоспособность смешанного строгания по сравнению с другими способами.

Ключевые слова: древесина, шпон, смешанное строгание, экспериментальная установка, уравнение регрессии, поправочные коэффициенты, толщина шпона, степень обжима.

В настоящее время для получения строганного древесного шпона применяют различные способы в зависимости от того, где будет использоваться конечный продукт. Способы получения шпона имеют принципиальные отличия, в частности заключающиеся в направлении движения режущего органа относительно волокон древесины. Например, при процессе продольного строгания движение режущего блока направлено вдоль волокон древесины, при процессе поперечного строгания режущий блок двигается перпендикулярно волокнам, а при смешанном резании древесины на шпон рабочий орган совершает вращательное движение. Наиболее исследованными являются способы поперечного и продольного строгания древесины на шпон [1–4].

В связи с этим представляет определенный теоретический и практический интерес исследование влияния толщины шпона и степени его обжима на энергосиловые харак-

теристики процесса смешанного строгания древесины.

Целью настоящей работы является обоснование методики экспериментальных исследований и оценки процесса смешанного резания древесины на шпон. Для этого поставлены следующие **задачи**: создать и описать экспериментальную установку и принцип ее работы, разработать методику экспериментальных исследований, получить уравнение регрессии зависимости усилия резания от толщины шпона и степени его обжима при смешанном строгании древесины.

В процессе исследования смешанного резания использовались образцы древесины сосны шириной 50 мм, длиной 200 мм, влажностью 20 %, измеряемой влагомером ИВ 1-1, а температура в помещении была постоянной и равнялась 20 °С.

Для определения минимального числа наблюдений и закона распределения случайных величин согласно методике [5, 6], прово-

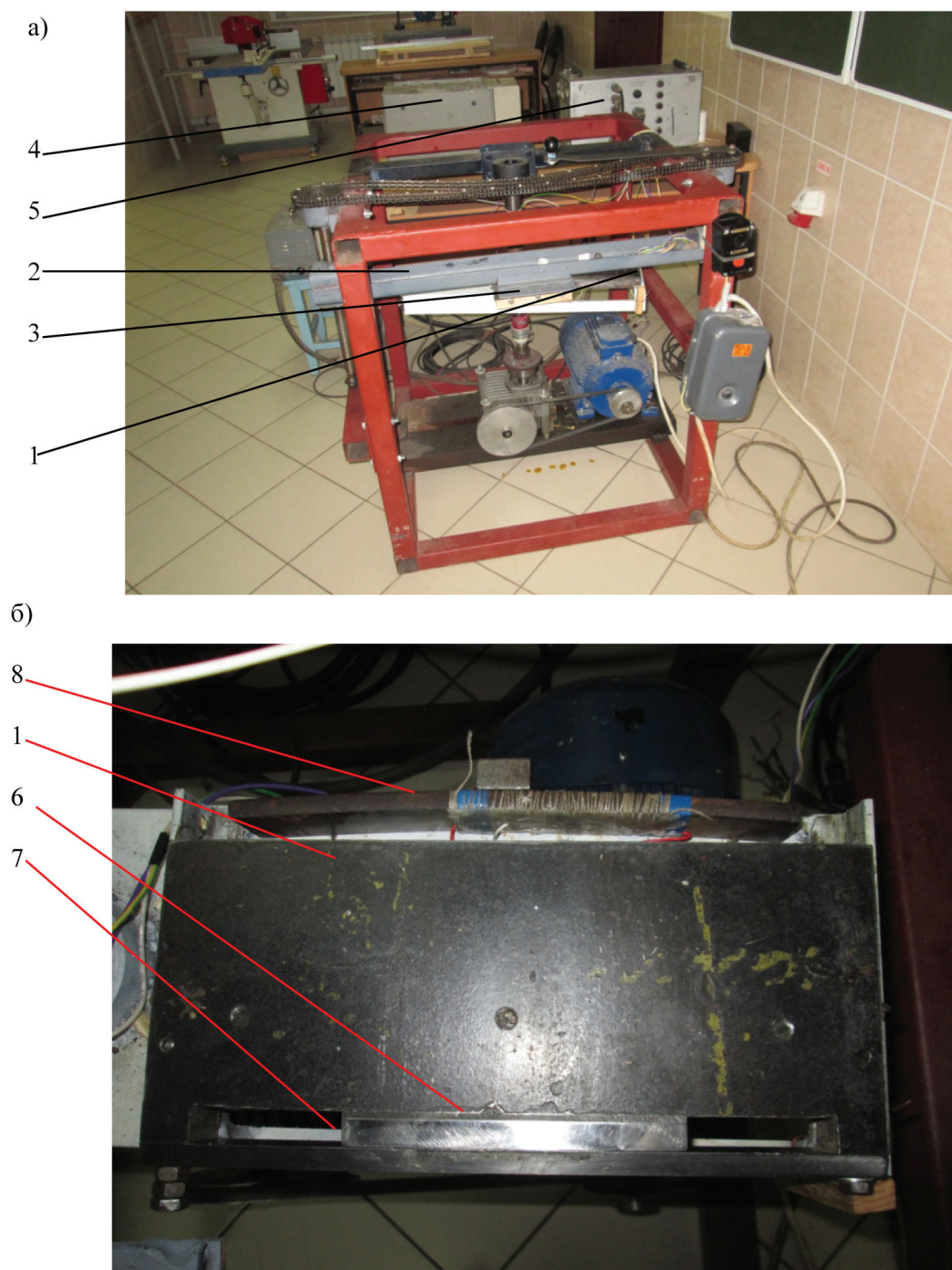


Рис. 1. Экспериментальная установка: а) общий вид: 1 – режущий орган; 2 – подающий механизм; 3 – заготовка; 4 – осциллограф; 5 – усилитель; б) режущий орган: 6 – нож; 7 – прижимная линейка; 8 – тензометрическая балка.

Fig. 1. Experimental setup: а) a general view: 1 - cutting body; 2 - feeding mechanism; 3 - harvesting; 4 - Oscilloscope; 5 - amp; б) the cutting body: 6 - knife; 7 - cloth press; 8 - Strain gauge beam

дились предварительные испытания. Необходимое количество наблюдений случайной величины, которое соответствует нормальному закону распределения, рассчитывалось по формуле

$$n = t^2 S^2 / \Delta^2, \quad (1)$$

где t – значение t -критерия Стьюдента, выбираемое в зависимости от уровня значимости и числа степеней свободы;

S^2 – дисперсия выборки;

Δ – допустимое отклонение.

Результаты экспериментальных данных
The results of the experimental data

№ опыта	Толщина шпона $h_{ш}$, мм	Степень обжима Δ , %	Сила резания P_x , Н	Дисперсия опыта σ^2
1	1,0	10	365	669,18
2	1,0	15	378	569,14
3	1,0	20	395	447,96
4	1,5	10	409	281,05
5	1,5	20	443	343,04
6	2,0	10	526	594,50
7	2,0	15	544	1294,32
8	2,0	20	575	3079,28

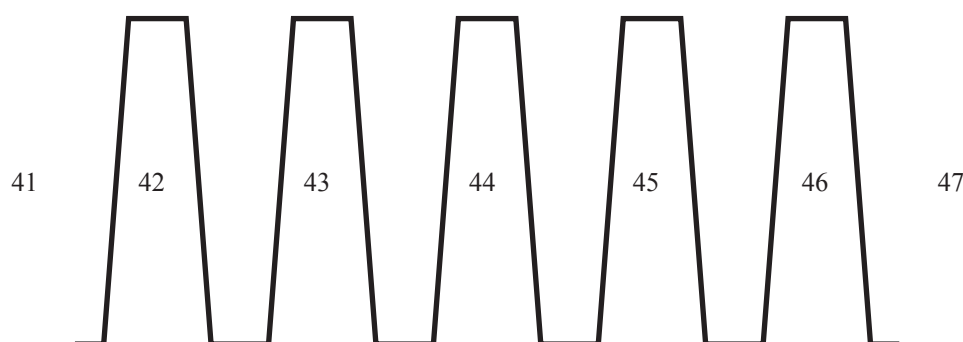


Рис. 2. Типичные осциллограммы процесса смешанного строгания древесины вращающимся механизмом резания

Fig. 2. Typical waveforms of the mixed process of planing of wood rotary cutting mechanism

Необходимое количество наблюдений составило 26.

Для замера усилия резания при смешанном резании древесины на шпон был использован электротензометрический метод [6], принцип которого заключен в измерении напряжений и усилий при помощи преобразователей (тензодатчиков) механических величин в электрические.

Экспериментальная установка представлена на рис. 1.

Экспериментальная установка состоит из физической модели шпонострогального станка с вращательным движением режущего органа 1, подающего механизма 2, который перемещает заготовку 3, осциллографа 4, усилителя 5, ножа 6 и прижимной линейки 7, а также тензометрической балки 8 [8–10].

Процесс проведения эксперимента происходит по следующему алгоритму. После запуска электродвигателя шпонострогального станка приводной вал вращает траверсу с установленным на ней режущим органом

1, который с помощью ножа 6 и прижимной линейки 7 срезает лист шпона с заготовки 3, которая установлена под подающим механизмом 2. Режущий орган в процессе резания перемещается по направляющим от действия усилия резания, тем самым оказывает усилие на тензометрическую балку 8. От датчиков, монтированных в тензометрическую балку, передается сигнал к усилителю 5 и далее переходит к осциллографу 4, с помощью которого происходит регистрация выходного сигнала на фотографической бумаге.

При тарировке тензометрической балки с учетом коэффициента тарировки определялись усилия при резании древесины. Опыты проводились при двух переменных факторах: степень обжима древесины (10 %, 15 %, 20 %) и толщина срезаемого слоя (1 мм, 1,5 мм, 2 мм). Каждый опыт включал в себя 26 резов, после проводилась расшифровка осциллограмм (рис. 2), и расчет среднего арифметического значения усилия резания при различных параметрах. Результаты

экспериментальных данных представлены в табл. 1.

На основе полученных данных можно составить уравнение регрессии первого порядка по полному факторному плану 2^2 вида [6]

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2, \quad (2)$$

где b_0 – свободный член, b_1, b_2 – линейные коэффициенты регрессии (b_i), b_{12} – коэффициент при парном взаимодействии (b_{iu}).

Значения коэффициентов регрессии при переменных факторах определяются по формулам

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y_j, \quad (3)$$

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} y_j, \quad (4)$$

$$b_{iu} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} x_{uj} y_j, \quad (5)$$

С учетом (3–5) получены следующие значения коэффициентов:

$$b_0 = 465,25; b_1 = 85,25; b_2 = 19,75; b_{12} = 4,75.$$

Для проверки значимости полученных коэффициентов рассчитаем t_p -отношение для наименьшего из них $b_{12} = 4,75$

$$t_p = \frac{|b_i|}{\sigma(b_i)} = \frac{4,75}{3,39} = 1,4, \quad (6)$$

где $\sigma(b_i)$ – среднее квадратическое отклонение коэффициента, определяемое по выражению

$$\sigma(b_i) = \sqrt{\frac{\sigma^2(y)}{nN}} = \sqrt{\frac{1197,73}{26 \cdot 4}} = 3,39, \quad (7)$$

где $\sigma^2(y)$ – дисперсия воспроизводимости,

N – число опытов,

n – число наблюдений в опыте.

В качестве дисперсии воспроизводимости берется среднее арифметическое дисперсий опытов

$$\sigma^2(y) = \frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_N^2}{N} = \frac{4790,92}{4} = 1197,73. \quad (8)$$

Полученное расчетное значение t_p -отношения сравниваем с табличным значением

$t_{\text{табл}}$ t -критерия Стьюдента. При уровне значимости $q = 0,05$ и числе степеней свободы $f_y = N(n-1) = 100$ табличное значение $t_{\text{табл}} = 1,98 > t_p = 1,4$. Это говорит о том, что коэффициент незначим и необходимо проверить на значимость следующий наименьший коэффициент $b_2 = 19,75$.

Расчетное значение t_p -отношения для коэффициента b_2 найденное по выражению (6) составит $t_p = 5,83$, что больше $t_{\text{табл}} = 1,98$. Следовательно, коэффициент значим и в проверке значимости остальных коэффициентов нет необходимости, поскольку их абсолютные значения больше значения меньшего коэффициента.

С учетом исключения незначимых коэффициентов уравнение регрессии в нормализованном виде примет вид

$$y = 465,21 + 85,25 \cdot x_1 + 19,75 \cdot x_2. \quad (9)$$

Необходимым условием является проверка принятой модели на адекватность. Для проведения данной процедуры необходимо знать величины дисперсий воспроизводимости $\sigma^2(y)$ и адекватности σ_{ad}^2 . Дисперсия воспроизводимости определена в (8), дисперсия адекватности определится из выражения

$$\sigma_{ad}^2 = \frac{\sigma_{ad}}{N-p} = \frac{2346,24}{4-3} = 2346,24, \quad (10)$$

где N – количество опытов,

p – количество значимых коэффициентов уравнения регрессии,

σ_{ad} – сумма квадратов, характеризующая адекватность модели и определяемая выражением

$$\sigma_{ad} = n \cdot \sum (y_i - y_{ip})^2 = 26[(365-360,25)^2 + (526-530,75)^2 + (395-399,75)^2 + (575-570,2)^2] = 2346,24, \quad (11)$$

где y_i – экспериментальное значение выходной величины,

y_{ip} – значение выходной величины, найденное по (9).

Если дисперсии адекватности σ_{ad}^2 и воспроизводимости $\sigma^2(y)$ однородны, то принятая математическая модель адекватна. Для этого вычисляют величину $F_{\text{расч}}$, равную

$$F_{\text{расч}} = \frac{\sigma_{ad}^2}{\sigma^2(y)} = \frac{2346,24}{1197,73} = 1,96, \quad (12)$$

Расчетные и экспериментальные значения усилия резания

The calculated and experimental values of cutting force

№	Значения по уравнению регрессии	Экспериментальные значение	Отклонение, H (ошибка) %
1	360,25	365	1,3
2	380	378	0,5
3	399,75	395	1,2
4	445,5	409	8,2
5	485	443	8,7
6	530,75	526	0,9
7	550,5	544	1,2
8	570,2	575	0,8

и сравнивают ее с F -распределением табличным $F_{\text{табл}}$; если $F_{\text{расч}} < F_{\text{табл}}$, то модель адекватна.

При уровне значимости $q = 0,05$, числах степеней свободы $f_y = N(n - 1) = 100$ и $f_{\text{ад}} = N - p = 1$, $F_{\text{табл}} = 3,94 > F_{\text{расч}} = 1,96$. Значит, проверяемая линейная модель адекватна.

Расчетные и экспериментальные значения усилия резания сведены в табл. 2.

Перевод уравнения регрессии к натуральному виду осуществляется путем замены нормализованных переменных (x_1, x_2) натуральными с учетом формулы

$$x_i = \frac{X_i - \bar{X}_i}{\Delta X_i}, \quad (13)$$

где X_i – текущее значение i -го фактора;

$\bar{X}_i$ – среднее значение i -го фактора;

ΔX_i – уровень варьирования i -го фактора.

После соответствующих математических преобразований уравнение регрессии в натуральном виде

$$y = 150,25 + 170,5X_1 + 3,95X_2, \quad (14)$$

где X_1 – толщина срезаемого слоя, мм;

X_2 – степень обжима древесины, %.

Выводы

– получено уравнение регрессии для определения усилия резания при смешанном строгании шпона вращающимся режущим органом для различных толщин срезаемого слоя и степеней обжима;

– в исследуемых диапазонах отмеченных параметров (табл. 2) видно, что выражение (14) дает пониженную точность описания процесса (максимальные погрешности более 5 %, но менее 10 %);

– приведенное уравнение необходимо для оптимизации энергосиловых показателей процесса смешанного строгания древесины при получении шпона;

– необходимо проведение дальнейших исследований в более широких диапазонах изменения толщины шпона и степеней обжима с целью определения адекватности уравнения.

Библиографический список

1. Михеев, И.И. Производство лущеного и строганого шпона / И.И. Михеев, В.А. Воронов, В.И. Любченко. – М.: Высшая школа, 1970. – 246 с.
2. Любченко, В.И. Резание древесины и древесных материалов: Учебное пособие для вузов / В.И. Любченко. – М.: Лесная пром-сть, 1986. – 296 с.
3. Онищенко, З.А. Изготовление и применение тонкого строганого шпона / З.А. Онищенко, И.Д. Борисюк. – М.: Лесная пром-сть, 1976. – 40 с.
4. Чемоданов, А.Н. Результаты исследования процесса продольного строгания древесины на шпон / А.Н. Чемоданов, Р.Х. Гайнуллин // Вестник МарГТУ / Йошкар-Ола, 2010. – № 1. – С. 40–45.
5. Методика планирования экспериментов и обработки их результатов при исследовании технологических процессов в лесной и деревообрабатывающей промышленности: Учебное пособие для ФПКП и аспирантов. ч. III / МЛТИ; Под ред. А.А. Пижурина. – М., 1972. – 86 с.
6. Пижурин, А.А. Основы научных исследований в деревообработке: учебник для вузов / А.А. Пижурин, А.А. Пижурин. – М.: МГУЛ, 2005. – 305 с.
7. Электротензометрический метод исследования лесозаготовительной техники: Учебное пособие / ПЛТИ; Под ред. В.И. Мельникова. – Йошкар-Ола, 1965. – 45 с.
8. Алабужев, П.М. Теория подобия и размерностей. Моделирование / П.М. Алабужев, В.Б. Геронимус, Л.М. Минкевич, Б.А. Шеховцов. – М.: Высшая школа, 1968. – 208 с.
9. Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон. – М.: МИР, 1978. – 411 с.
10. Гухман, А.А. Введение в теорию подобия / А.А. Гухман. – М.: Высшая школа, 1973. – 296 с.

THE RESULTS OF THE MIXED WOOD CUTTING PROCESS RESEARCH IN VENEER-SAWING INDUSTRY

Chemodanov A.N., Prof. VSUT, Ph. D. (Tech.)⁽¹⁾; Gainullin Ren.Kh., Assoc. Prof. VSUT, Ph. D. (Tech.)⁽¹⁾; Gainullin Rish.Kh., pg. VSUT⁽¹⁾

chemodanovan@volgatech.net, gainyllinrh@yandex.ru, rishat_000@mail.ru

⁽¹⁾Volga State University of Technology, Lenin Sq., 3, Yoshkar-Ola, the Republic of Mari El, 424000, Russia

This article describes the fundamental differences of crossband veneer production methods. It also includes information on the investigational study of the crossband veneer production process. It presents the technique of the investigational study during the mixed planing of wood to get veneer and also the experimental unit and the algorithm of carrying out an experiment. Typical oscillograms of mixed wood planing with a help of the rotating cutting mechanism are also shown in the article. The results of the investigational study to determine the efforts of the veneer mixed cutting of different crimp degree and thickness of the produced veneer are also given. The first-order regression equation on the basis of the obtained data and according to the complete factor plan has been made and the coefficients of the veneer thickness and crimp degree were defined. The received regression equation is necessary for the optimization of the fuel cell indexes of the mixed wood planing process during the veneer production. The analysis of calculated and experimental values of the cutting effort and checking of the accepted mathematical model on adequacy confirmed that this mathematical model is adequate. Received mathematical model determining the cutting effort is correct; uncertainty is not more than 10 %. It is necessary to carry out further researches with the veneer of different thickness and different crimp degree to expand the scope of the received results. The results of the article will find both theoretical and practical application, especially for projection of new woodworking equipment for wood planing. For the development of the recommendations about further practical application of the mixed planing it is planned to pay special attention to the planning process power capacity and to the quality of the crossband veneer surface. These indexes are the most important to define competitiveness of the mixed planing in comparison with other ways.

Keyword: wood, veneer, mixed planing, experimental unit, the regression equation, correction factors, the thickness of the veneer, the degree of crimp.

References

1. Mikheev I.I., Voronov V.A., Lyubchenko V.I. *Proizvodstvo lushchenogo i stroganogo shpona* [Peeled and sliced veneer production], Moscow: 1970, 246 p.
2. Lyubchenko V.I. *Rezanie drevesiny i drevesnykh materialov* [Cutting of wood and wood materials], Moscow: 1986, 296 p.
3. Onishchenko Z.A., Borisyuk I.D. *Izgotovlenie i primeneniye tonkogo stroganogo shpona* [Production and application of thin sliced veneer], Moscow: 1976, 40 p.
4. Chemodanov A.N., Gainullin R.Kh. *Rezultaty issledovaniya protsessov prodol'nogo stroganiya drevesiny na shpon* [Results of the research of the longitudinal wood planing process in veneer-sawing industry], Vestnik MarGTU [Bulletin MarSTU], Yoshkar-Ola, 2010, № 1, pp. 40-45.
5. *Metodika planirovaniya eksperimentov i obrabotki ikh rezul'tatov pri issledovanii tekhnologicheskikh protsessov v lesnoy i derevoobrabatyvayushchey promyshlennosti* [Methods of planning the experiments and processing of their results in the research of processes in timber and woodworking industries], MLTI, Moscow: 1972, 86 p.
6. Pizhurin A.A., Pizhurin A.A. *Osnovy nauchnykh issledovaniy v derevoobrabotke* [Basic research in the wood], Moscow: 2005, 305 p.
7. *Elektrotenzometricheskii metod issledovaniya lesozagotovitel'noy tekhniki* [Elektronic method of forestry equipment research], Yoshkar-Ola: 1965, 45 p.
8. Alabuzhev P.M., Geronimus V.B., Minkevich L.M., Shekhovtsov B.A. *Teoriya podobiya i razmernostey. Modelirovaniye* [Theory of similarity and dimensions. Modeling], Moscow: 1968, 208 p.
9. Shennon R. *Imitatsionnoye modelirovaniye sistem* [Simulation Systems], Iskuststvo i nauka [Art and Science], Moscow: 1978, 411 p.
10. Gukhman A.A. *Vvedeniye v teoriyu podobiya* [Introduction to the theory of similarity], Moscow: 1973, 296 p.