

Места соединения внешнего и внутреннего слоев образованы посредством сшивания, склеивания, сварки, клепки и т.д.

Технических решений, совпадающих с совокупностью существенных признаков заявляемой полезной модели, не выявлено, что позволяет сделать вывод о соответствии заявляемой полезной модели такому условию патентоспособности как «новизна».

Многослойный материал согласно заявляемой полезной модели может быть применен при изготовлении защитной одежды, в том числе специального назначения, используемой для активного отдыха, туризма, рыбалки и охоты.

Многослойная конструкция состоит из наполнителя, выполненного из измельченного пористого материала, например, изолон, заключенного в отдельные ячейки, образованные соединением двух слоев материала, в том числе тканого или нетканого, или сетки.

### **Вывод**

В данной работе представлен литературный обзор о новых многослойных материалах, применяемых при изготовлении одежды и одежды специального назначения. Были изучены структура и способ получения многослойных материалов.

### **Список литературы**

1. Князева К.В., Князев В.Н. Москва: Многослойный пакет материалов, 1986. -243с.
2. А.А.Мычко. Материал для защиты от теплового воздействия. Москва: 2010. - 312с.
3. Патент РФ №№: 2281800
4. Патент РФ (патент РФ N 2112409, кл. А 41 D 13/00).
5. Патент 2168415 RU
6. 6.Патент ат.RU2091097, МПК А62В 17/00; А41D 13/00.2000.

УДК 677.021.154

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЯЗАНОЙ СТРУКТУРЫ АРМИРУЮЩЕЙ ОСНОВЫ ТЕКСТИЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ**

*Турусбекова Н.К., к.т.н., доцент, КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Мира 66, e-mail: turusbekova1101@gmail.com*

Цель статьи - оптимизация структурных параметров текстильной основы из базальтовых волокон методом экспериментально-статистического моделирования. Автором построены математические модели и их номограммы, достаточно точно отражающие зависимость эксплуатационных свойств армирующей текстильной основы композиционных материалов от структурных параметров.

**Ключевые слова:** оптимизация, метод наименьших квадратов, трехфакторная полиномиальная модель, структурные параметры, текстильная основа, текстильный композит.

## **OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF THE KNITTED STRUCTURE OF REINFORCING BASIC OF TEXTILE COMPOS**

*Turusbekova N.K. candidate of technical sciences, Associate Professor, KSTU named after I.Razzakova, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek c, Mira av. 66, e-mail: turusbekova1101@gmail.com*

An aim of the article is optimization of structural parameters of textile basis from basaltic fibers the method of experimentally statistical design. An author is builds mathematical models and

their monograms exactly enough reflecting dependence of operating properties of reinforcing textile basis of composition materials on structural parameters

**Keywords:** optimization, method of the least square, three-factor polinomial model, Structural parameters, textile basis, textile compo.

Для оценки пригодности текстильных структур из базальтовых волокон проводим исследования их заправочных параметров и свойств. При этом требуется получить текстильную армирующую основу [1, 2] определенной толщины, массы и пористости, которые будут влиять на процесс скрепления со связующим компонентом композиционного материала. Для этого на основе априорной информации и предварительных исследований был исследован возможный диапазон изменения задаваемых структурных параметров.

Оптимизация структурных параметров текстильной основы вязаной структуры проводим с помощью экспериментально – статистического моделирования [3, 4]. Был проведен трехфакторный эксперимент с уровнями варьирования (табл. 1), по плану В<sub>3</sub> (табл. 2). В работе для расчетного значения выхода  $Y$  использована полиномиальная – экспериментально-статистическая модель (ЭС – модель):

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^K b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^K b_{ii} x_i^2 + \dots + \varepsilon . \quad (1)$$

Трехфакторная полиномиальная модель имеет вид:

$$\begin{aligned} Y = & b_0 + b_1 x_1 + b_1 x_1^2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 \\ & + b_2 x_2 + b_2 x_2^2 + b_{23} x_2 x_3 \\ & + b_3 x_3 + b_3 x_3^2 . \end{aligned} \quad (2)$$

Фактор  $x_1$  изменяется непрерывно в диапазоне от  $-1$  до  $+1$ . Каждый из коэффициентов модели (2) имеет строгую геометрическую и физическую интерпретацию. Коэффициент  $b_0$  - свободный член тождественно равен расчетному значению выхода (отклика)  $Y$  в центре факторного пространства ( $Y=b_0$  при  $x_i=0, i=1, k$ ). Коэффициент  $b_1$  называется линейным эффектом фактора  $x_1$ . Его следует интерпретировать как скорость изменения выхода (отклика)  $\frac{\partial Y}{\partial x_1}$ , усредненную в диапазоне  $-1 \leq x_1 \leq +1$ . Если  $b_1=0$  и модель линейна, то

скорость постоянна на всем диапазоне  $|x_1| \leq 1$ . Знак перед коэффициентом  $b_1$  определяет, увеличивается или уменьшается выход системы  $Y$  с ростом  $x_1$ .

Проекция поверхности  $Y$  на плоскость факторов  $x_1$  и  $x_2$  изображается в виде линий равного выхода (изолиний), во всех точках которых выход  $Y$  имеет постоянное значение  $Y_{const}$  независимо от координат  $x_1$  и  $x_2$ . Таким образом, если заданному набору координат  $x_1$  и  $x_2$  соответствует одно значение  $Y_c$ , то одному заданному  $Y_c$  может соответствовать множество  $x_1$  и  $x_2$ , лежащих на изолинии.

Для численной оценки коэффициентов полиномиальной модели, описывающей поведение исследуемой системы, использовался метод наименьших квадратов (МНК). Для трехфакторной модели система нормальных уравнений имеет вид [3, 4]:

$$\left. \begin{aligned} (00)b_0 + (01)b_1 + \dots (OK)b_K &= (OY) \\ \dots \dots \dots \dots &\dots \\ (KO)b_0 + (Ki)b_1 + \dots + (KK)b_K &= (KY) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Выходными параметрами оптимизации служили:  $V_1 (M_{s,mk})$  - поверхностная плотность,  $г/м^2$ ;  $V_2 (R_{mk})$  - поверхностная пористость, %;  $V_3 (b_{mk})$  - толщина, мм. При условии: структура - вязаная,  $T$  - 350 текс. Критериями оптимизации служили следующие характеристики качества материала:  $M_{s,mk} \rightarrow min$ ,  $R_{mk} \rightarrow max$ ,  $b_{mk} \rightarrow min$ .

По результатам эксперимента с указанием средней ошибки  $S_o$  и уровня значимости  $\alpha$  получены математические модели, с помощью которых методом МНК определены свойства текстильной основы: поверхностной плотности, толщины и пористости со всеми значимыми оценками коэффициентов.

Таблица 1 - Уровни варьирования факторов

Факторы Уровни	Плотность петель по горизонтали, пет/50мм $X_1$	Плотность петель по вертикали, пет/50мм $X_2$	Переплетение $X_3$
-1	30	35	Кулирная гладь
0	35	40	Ластик 1:1
+1	40	45	Ластик 2:2

Таблица 2 - План и результаты трехфакторного эксперимента

№ п/ п	План эксперимен та			Рецептурно - технологические факторы (натуральные)			Свойства материала		
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$V_1$	$V_2$	$V_3$
				плотность петель по горизонтал и $P_z$ , пет/50м м	плотность петель по вертикали $P_v$ , пет/50 мм	перепле- тение	поверх- ностная плотн. $M_s$ , $г/м^2$	пористо сть $R$ , %	толщи-на $b$ , мм
1	+	+	+	40	45	Ластик	604,5	2	0,5
2	+	+	-	40	45	2:2	540,9	3	0,4
3	+	-	+	40	35	Кул.	476	5	0,55
4	-	+	+	30	45	гладь	457	8,5	0,6
5	-	-	-	30	35	Ластик	321	35,6	0,39
6	-	-	+	30	35	2:2	360	28	0,54
7	-	+	-	30	45	Ластик	409	18,1	0,4
8	+	-	-	40	35	2:2	425	19	0,39
9	+	0	0	40	40	Кул.	495	2,5	0,5
10	-	0	0	30	40	гладь	390	32	0,48
11	0	+	0	35	45	Ластик	522	3	0,5
12	0	-	0	35	35	2:2	410	12	0,5
13	0	0	+	35	40	Кул.	475	5	0,52
14	0	0	-	35	40	гладь	425	15	0,4
15	0	0	0	35	40	Кул. гладь Ластик 1:1 Ластик 1:1 Ластик 1:1 Ластик	460	8	0,5

						1:1 Ластик 2:2 Кул. гладь Ластик 1:1			
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Варьировались три рецептурно-технологических фактора:  $X_1$  - плотность петель по горизонтали, пет/50 мм,  $X_2$  - плотность петель по вертикали, пет/50 мм,  $X_3$  - переплетение. Причем, уровни варьирования были выбраны таким образом, чтобы можно было сравнить свойства материала при различных методах (способах) переплетения - кулирная гладь, ластик 1:1, ластик 2:2 (табл. 2). Выходными параметрами оптимизации служили:  $Y_1 (M_{s,63})$  - поверхностная плотность, г/м<sup>2</sup>;  $Y_2 (R_{63})$  - поверхностная пористость, %;  $Y_3 (b_{63})$  - толщина, мм. При условии: структура - вязаная,  $T$  - 350 текс. По результатам эксперимента с указанием средней ошибки  $S_y$  и уровня значимости  $\alpha$  также были рассчитаны (по программе МНК) математические модели свойств вязаной структуры со всеми значимыми оценками коэффициентов.

$$Y_{163}^{350} (M_{s,63}) = 454,70 + 60,44 x_1 - 14,257 x_1^2 + 7,43 x_1 x_2 + 54,14 x_2 + 0,009 x_2^2 + 2,70 x_2 x_3 + 25,16 x_3 \quad (4)$$

$$Y_{263}^{350} (R_{63}) = 9,45 - 9,07x_1 + 7,62 x_1^2 + 2,25 x_1x_2 - 6,5 x_2 - 2,13 x_2^2 + 1,38 x_2x_3 - 4,2 x_3 \quad (5)$$

$$Y_{363}^{350} (b_{63}) = 0,496 + 0,073 x_3 - 0,027 x_3^2 - 0,001 x_{23} \quad (6)$$

Предварительный анализ модели (4) показал, что поверхностная плотность в большей степени зависит от плотности петель по горизонтали ( $\beta_1 = 60,44$ ), а затем от плотности петель по вертикали ( $\beta_2 = 54,14$ ) и несколько меньшей зависит от способа переплетения ( $\beta_3 = 25,16$ ). Положительный знак при коэффициентах  $x_1, x_2, x_3$  указывает на то, что при верхних уровнях факторов (+1) поверхностная плотность полотна  $Y_{163}^{350} (M_{s,63})$  значительно повышается.

На рис. 1 показано, что при способах переплетения ( $x_3 = -1$ ) - кулирная гладь и ( $x_3 = 0$ ) - ластик 1:1 и при минимальной плотности петель по горизонтали  $X_1 = 30$  пет/50 мм ( $x_1 = -1$ ) поверхностная плотность основы вязаной структуры  $Y_{163}^{350} (M_{s,63})$  повышается от 320 до 440 г/м<sup>2</sup>. При средней плотности петель по горизонтали  $X_1 = 350$  пет/50 мм ( $x_1 = 0$ ) поверхностная плотность  $Y_{163}^{350} (M_{s,63})$  повышается от 400 до 500 г/м<sup>2</sup>. А при максимальной плотности петель по горизонтали  $X_1 = 40$  пет/50 мм ( $x_1 = +1$ ) поверхностная плотность  $Y_{163}^{350} (M_{s,63})$  повышается от 450 до 540 г/м<sup>2</sup>. Наибольшее значение поверхностной плотности 570 г/м<sup>2</sup> обеспечивается при максимальных значениях  $x_1$  и  $x_2 = +1$ , т.е.  $X_1 = 40$  и  $X_2 = 45$  пет/50 мм, но при переплетении ластик 1:1 ( $x_3 = 0$ ).

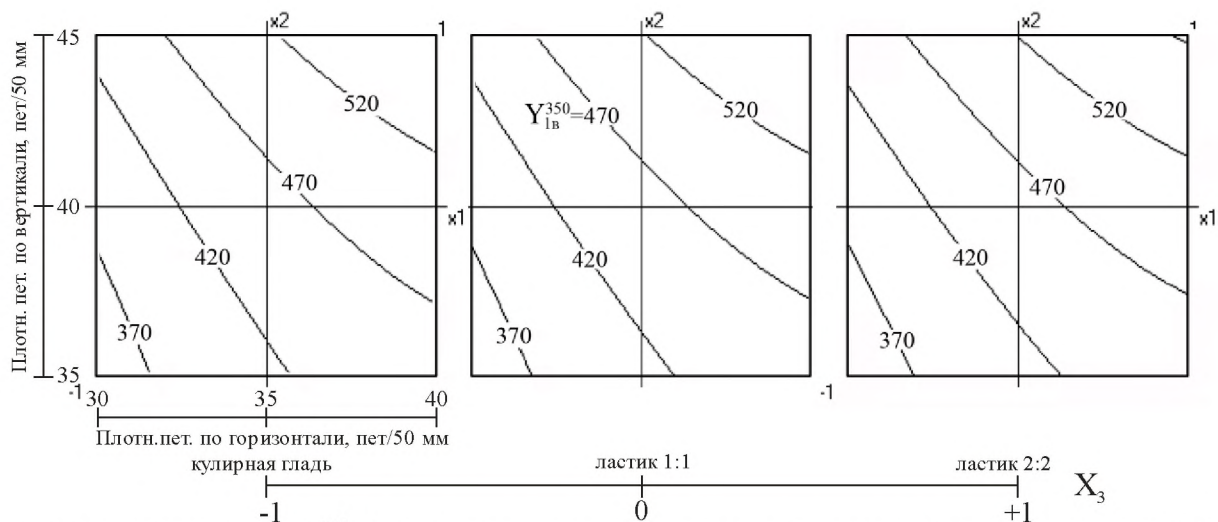


Рис. 1. Номограммы  $Y_{1в}^{350} (M_{s.вз})$  - поверхностной плотности вязаной структуры при  $T-350$  текс при различных уровнях переплетения  $X_3$  ( $x_3 = -1; 0; +1$ ).

По модели (5) пористости  $Y_{2вз}^{350} (R_{вз})$  можно предварительно сделать вывод, что повышение плотности петель по горизонтали и вертикали резко снижает показатель пористости. Линейные коэффициенты при первых двух факторах имеют отрицательные значения  $b_1 = -9,07$  и  $b_2 = -6,5$ .

На рис. 2 видно, что по мере повышения плотности петель по горизонтали и вертикали снижается пористость материала  $R_{вз}$  от 35 до 2 % при различных способах переплетения нитей.

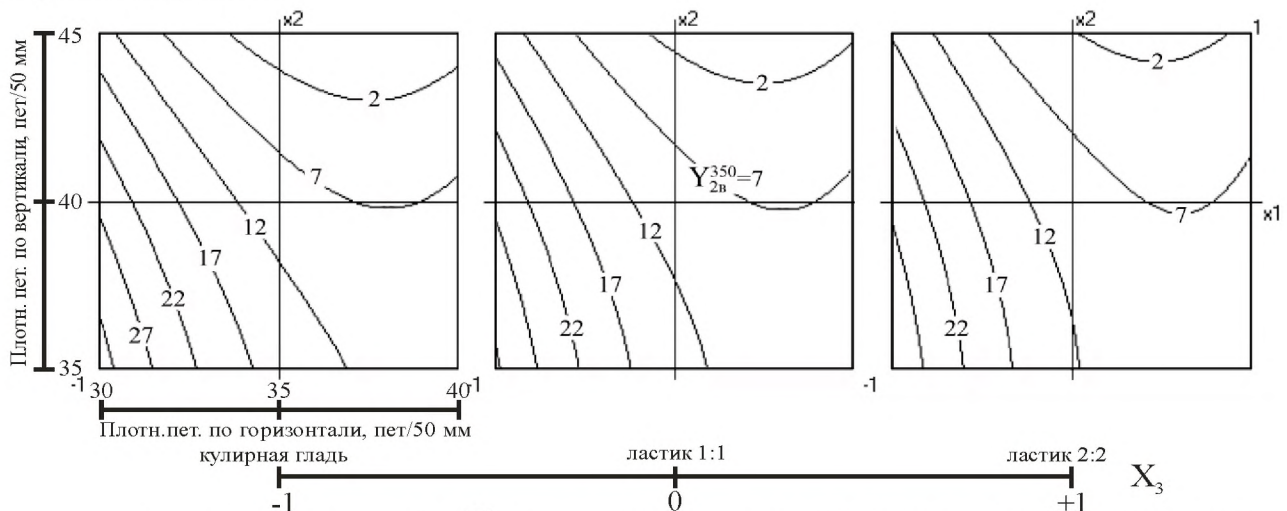


Рис. 2. Номограммы  $Y_{2вз}^{350} (R_{вз})$  - пористости материала вязаной структуры при  $T-350$  текс при различных уровнях переплетения  $X_3$  ( $x_3 = -1; 0; +1$ ).

По модели (6)  $Y_{3вз}^{350} (b_{вз})$  можно предварительно сделать вывод, что толщина материала изменяется незначительно от способа переплетения нитей. Линейный коэффициент третьего фактора имеет значение  $b_3 = +0,073$ . Кулирная гладь соответствует уровню  $X_3 = -1$ . Здесь (рис. 3) при изменении плотности петель по горизонтали и вертикали от нижнего  $x_2, x_1 = -1$  до верхнего уровня  $x_1, x_2 = +1$  толщина материала повышается от 0,38 до 0,39 мм.



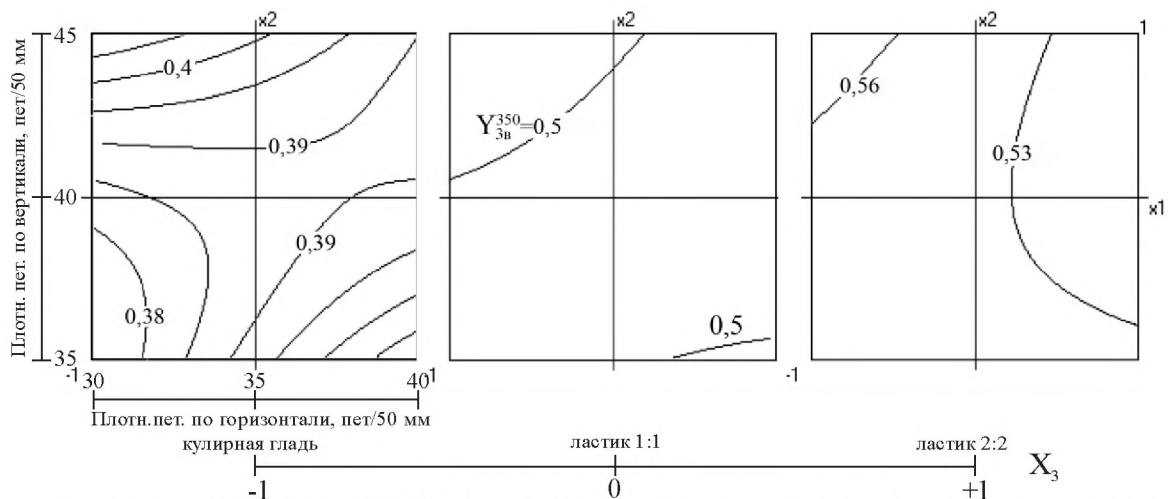


Рис. 3. Номограммы  $Y_{350}^{350}$  (b) - толщины материала вязаной структуры при  $T - 350$  текс при различных уровнях переплетения  $X_3$  ( $x_3 = -1; 0; +1$ ).

При увеличении плотности петель по горизонтали  $X_1 = 30 \dots 40$  пет/50 мм, и при минимальной плотности петель по вертикали  $X_2 = 35$  пет/50 мм ( $x_2 = +1$ ) толщина увеличивается до 0,38 до 0,41 мм. И наоборот при увеличении плотности петель по вертикали  $X_2 = 35 \dots 45$  пет/50 мм и минимальной плотности по горизонтали  $X_1 = 30$  толщина увеличивается также до 0,38 до 0,41 мм. При переплетении ластик 1:1 ( $x_3 = 0$ ) толщина составляет  $b_{63} = 0,48 \dots 0,5$  мм. При переплетении ластик 2:2 ( $x_3 = +1$ ) толщина несколько повышается и составляет от 0,53 до 0,56 мм.

На рис. 4 показана оптимальная область, где при переплетении кулирная гладь минимальная толщина материала соответствует  $b_{63} = 0,38$ . Минимальная поверхностная плотность  $M_{s,63}$  составляет  $370 \text{ г/м}^2$ , а максимальная поверхностная пористость материала  $R_{63}$  при данной толщине материала составляет  $27 \dots 32 \%$ . Для обеспечения требований по критериям оптимизации плотность петель по горизонтали должна находиться в пределах  $30 \dots 31$  пет/50 мм ( $x_1 = -1 \dots -0,8$ ) и по вертикали  $35 \dots 38$  пет/50 мм ( $x_2 = -1 \dots -0,8$ ).

Оптимальная область факторов при переплетении ластик 1:1 находится, где минимальная толщина материала соответствует  $b_{63} = 0,5$  мм. Минимальная поверхностная плотность  $M_{s,63}$  составляет  $370 \text{ г/м}^2$ , а максимальная поверхностная пористость материала  $R_{63}$  составляет  $27 \%$ . Для обеспечения требований по критериям оптимизации плотность петель по горизонтали должна находиться в пределах  $30 \dots 32$  пет/50 мм ( $x_1 = -1 \dots -0,5$ ) и по вертикали  $25$  пет/50 мм ( $x_2 = -1$ ).

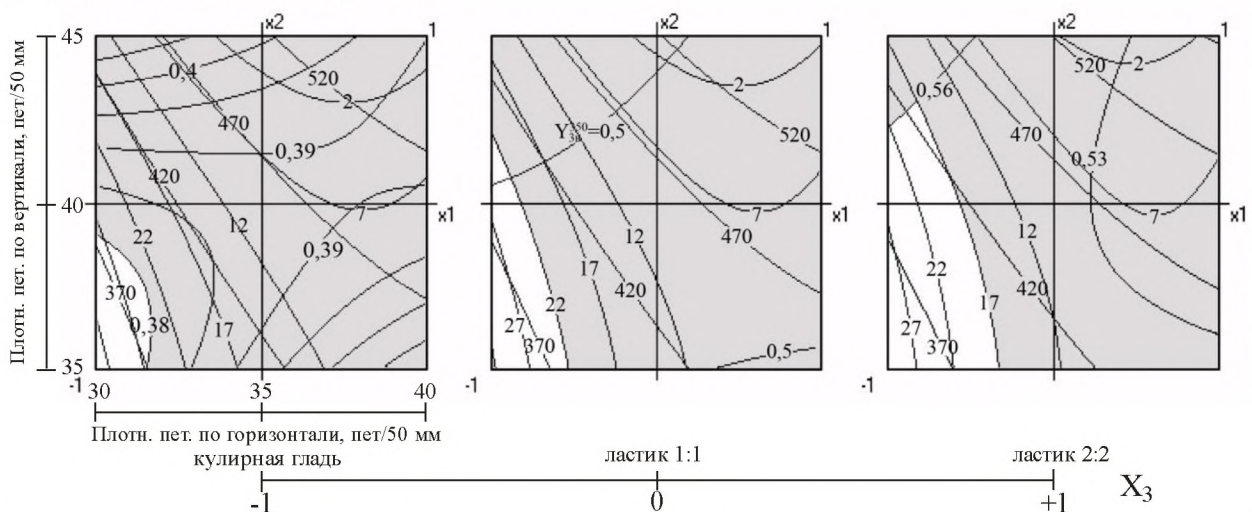


Рис. 4. Оптимальная область факторов  $x_1$  и  $x_2$  при различных уровнях переплетения  $X_3$  ( $x_3 = -1; 0; +1$ ), где удовлетворяются требования по критериям оптимизации (не заштрихованное поле).

Оптимальная область факторов при переплетении ластик 2:2 находится, где минимальная толщина материала соответствует  $b_{\text{сз}} = 0,53$  мм. Минимальная поверхностная плотность  $M_{\text{с.сз}}$  составляет  $370 \text{ г/м}^2$ , а максимальная поверхностная пористость материала  $R_{\text{сз}}$  составляет 27 %. Для обеспечения требований по критериям оптимизации плотность петель по горизонтали должна находиться в пределах 30...33 пет/50 мм ( $x_1 = -1 \dots - 0,8$ ) и по вертикали 25 пет/50 мм ( $x_2 = - 1 \dots 0,7$ ).

Выводы: Методом экспериментально - статистического моделирования проведена оптимизация структурных параметров текстильной основы. Построены математические модели и их номограммы, достаточно точно отражающие зависимость эксплуатационных свойств текстильной основы от структурных параметров. На основании полученных результатов сделан вывод, что каждый из трех переменных факторов ( $P_{\text{с}}$ ,  $P_{\text{з}}$ , переплетение) оказывает значимое влияние на выходные параметры и, кроме того, также значимо их взаимодействие. Определена область, в которой значения выходных параметров ( $M_{\text{с.}}$ ,  $R$ ,  $b$ ) текстильной основы отвечают заданным требованиям. Для точности прогнозирования свойств текстильной основы необходимы дальнейшие исследования с использованием других структурных параметров.

### Список литературы

1. Адлер Ю.М. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю.М. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. - М.: Наука, 1976. - 279 с.
2. Вознесенский В.А. Современные методы оптимизации композиционных материалов [Текст] / В.А. Вознесенский, В.Н. Выровой. - Киев: Будивэльник, 1983. - 144 с.
3. Иманкулова А.С. Текстильные материалы как армирующая основа композиционных материалов [Текст] / А.С. Иманкулова, Н.К. Турусбекова // Научный альманах «Текстильная промышленность». - Москва, 2005. - № 7 - 8. - С. 26 - 28.
4. Иманкулова А.С. Проектирование текстильной основы композиционных материалов [Текст] / А.С. Иманкулова, Н.К. Турусбекова // Материалы междунауч.-техн. конф. «Наука, образование, инновации: приоритетные направления развития». - Бишкек: Известия КГТУ, 2009. - С. 169 - 172.