

УДК: 677.026:677.31

EDN: ONSFBO

DOI: <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2024-4-2-0301-0313>

Исследования физико-механических свойств волокон шерсти путем проведения полнофакторного эксперимента

Тахир Кулиев¹, Даниёр Собиров²¹АО "Paxtasanoat ilmiy markazi" Ташкент, Узбекистан²Ургенчский государственный университет, Ургенч, Узбекистан

Аннотация. В данной научной статье проведен полнофакторный эксперимент по оцениванию качественных показателей шерстяных волокон, хранившихся, сортированных и промываемых в разные сроки и при различных условиях. Представлены уравнения регрессии на основе входных и выходных факторов при обработке результатов эксперимента по показателям качества шерстяного волокна. Входными факторами приняты: скорость разрыхлительного вала, расстояние передачи волокна и скорость регулятора волокна. В качестве выходных факторов принимались: разрывная прочность шерстяного волокна, относительное удлинение волокна при разрыве, масса отделяемого волокна и время падения волокна.

Ключевые слова: полнофакторный эксперимент, входной параметр, выходной параметр, относительное удлинение при разрыве, прочность на разрыв, коэффициент регрессии, качество шерстяного волокна, критерий Кохрена, критерий Стьюдента.

Для цитирования: Кулиев, Т., & Собиров, Д. (2024). Исследования физико-механических свойств волокон шерсти путем проведения полнофакторного эксперимента. *Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies*, 4(2), 0301–0313. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2024-4-2-0301-0313>

Research of the physical-mechanical properties of wool fibers by carrying out full-factorial experiment

Takhir Kuliev¹, Daniyori Sobirov²¹JSC "Cotton Industry Scientific Center", Tashkent, Uzbekistan²Urgench State University, Urgench, Uzbekistan

Abstract. The scientific article covers a full-factorial experiment that has been carried out in order to evaluate the quality indicators of wool fibers stored, sorted and washed at different times and conditions. In addition, regression equations are presented based on input and output factors when processing the results of the experiment on quality indicators of the wool fiber. The speed of the opening roller, the fiber transfer distance and the speed of the fiber regulator were taken as the input factors. The tensile strength of the wool fiber, the relative elongation of the fiber at break, the mass of the separated fiber and the falling time of the fiber were taken as the output factors.

Keywords: full-factorial experiment, input parameter, output parameter, specific elongation at break, tensile strength, regression coefficient, quality of wool fiber, cochran's criterion, student's criterion.

For citation: Kuliev, T., & Sobirov, D. (2024). Research of the physical-mechanical properties of wool fibers by carrying out full-factorial experiment. Modern Innovations, Systems and Technologies, 4(2), 0301–0313. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2024-4-2-0301-0313>

ВВЕДЕНИЕ

Исследователь, планируя эксперимент, часто не знает, в какой части изучаемой поверхности находится искомый оптимум, как выглядит эта поверхность. Поэтому в таких условиях естественно возникает необходимость оценивания оптимальности отдельных планов с применением специальных критериев.

При оценке эффективности планов рекомендуется обращать внимание на окончательные результаты. Также учитывается время, затраченное на эксперимент, и используемое оборудование [1, 2].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В ходе исследования решались следующие задачи.

Рассмотрено, в какой степени выбранные факторы влияют на процесс формирования ткани, а также на изменение управляемых факторов для получения необходимых условий структуры. Исследование результатов эксперимента приводит к уравнениям следующего вида:

$$Y = B_0 + \sum_{i=1}^k B_i X_i + \sum_{i,i=1}^k B_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^k B_{ii} X_i + \dots$$

где: $B_0, B_i, B_{ij}, \dots, B_{ii}$ – теоретические коэффициенты регрессии.

Экспериментальные факторы выполняются путем планирования матрицы, в которой используются закодированные факторы [3]. При кодировании факторов осуществляется линейное формирование факторного интервала, которое осуществляется путем выбора масштаба на оси к граничной единице факторов и центру эксперимента - началу координат.

Для 3-х степеней ограничения интервалов факторов проводилось с учетом основных параметров и технических ограничений очистительной машины «Чимдиш» С143.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полнофакторный эксперимент проведен на очистительной машине «Чимдиш» ООО «RAVON TARAQQIYOT ORZUSI» на основе рабочей матрицы (таблицы 1 и 2), результаты представлены в таблице 3. Приведенные значения факторов устанавливались для всех вариантов опыта и контролировались под тремя уровнями контроля.

Таблица 1. Рабочая матрица для экспериментального исследования.

Table 1. Working matrix for the pilot study.

| № | Кодированные значения факторов | | | Натуральные значения факторов | | | Порядок проведения эксперимента |
|---|--------------------------------|----------------|----------------|-------------------------------|---------------------|------------|---------------------------------|
| | X ₁ | X ₂ | X ₃ | F _t , сН | F _a , сН | V, ayl/min | |
| 1 | - | - | - | 10 | 70 | 80 | 2 |
| 2 | + | - | - | 20 | 70 | 80 | 6 |
| 3 | - | + | - | 10 | 90 | 80 | 4 |
| 4 | + | + | - | 20 | 90 | 80 | 7 |
| 5 | - | - | + | 10 | 70 | 100 | 1 |
| 6 | + | - | + | 20 | 70 | 100 | 8 |
| 7 | - | + | + | 10 | 90 | 100 | 3 |
| 8 | + | + | + | 20 | 90 | 100 | 5 |

Таблица 2. Уровень изменения значений факторов и интервалы проведения полнофакторных экспериментов.

Table 2. Level of change in factor values and intervals for conducting full-factorial experiments.

| Входящие факторы | Уровень изменения входящих факторов | | | Интервалы изменения факторов |
|--|-------------------------------------|----|-----|------------------------------|
| | -1 | 0 | +1 | |
| X ₁ -скорость разрыхлительного вала, м/с | 10 | 15 | 20 | 5 |
| X ₂ -расстояние подачи волокна, см | 70 | 80 | 90 | 10 |
| X ₃ -скорост регулировочного цилиндра волокна, об/мин | 80 | 90 | 100 | 10 |

Таблица 3. Результаты полнофакторных экспериментов.

Table 3. Results of full-factorial experiments.

| № | X1 | X2 | X3 | Прочность волокон на разрыв- Y_1 , | Относительное удлинение волокон при разрыве- Y_2 ,% | Масса съёмных волокон- Y_3 , MIGr | Время выпадения волокон - Y_4 , sek |
|---|----|----|----|--------------------------------------|---|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | - | - | - | 35 | 30 | 0,014 | 1,2 |
| 2 | + | - | - | 38 | 32 | 0,015 | 1,0 |
| 3 | - | + | - | 44 | 35 | 0,017 | 0,09 |
| 4 | + | + | - | 48 | 38 | 0,020 | 0,06 |
| 5 | - | - | + | 40 | 33 | 0,016 | 1,1 |
| 6 | + | - | + | 45 | 34 | 0,018 | 0,08 |
| 7 | - | + | + | 47 | 37 | 0,020 | 0,06 |
| 8 | + | + | + | 50 | 39 | 0,023 | 0,04 |

Вариация результатов, полученных по данным проведенного полнофакторного эксперимента, представлена на рисунках 1-4.

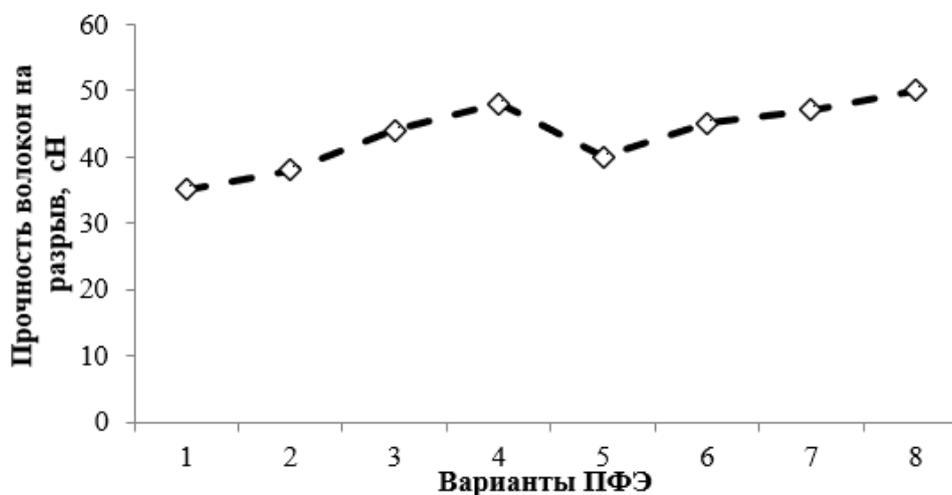


Рисунок 1. Изменение прочности волокон на разрыв при полнофакторном эксперименте.

Figure 1. Change in tensile strength of fibers during a full-factorial experiment.

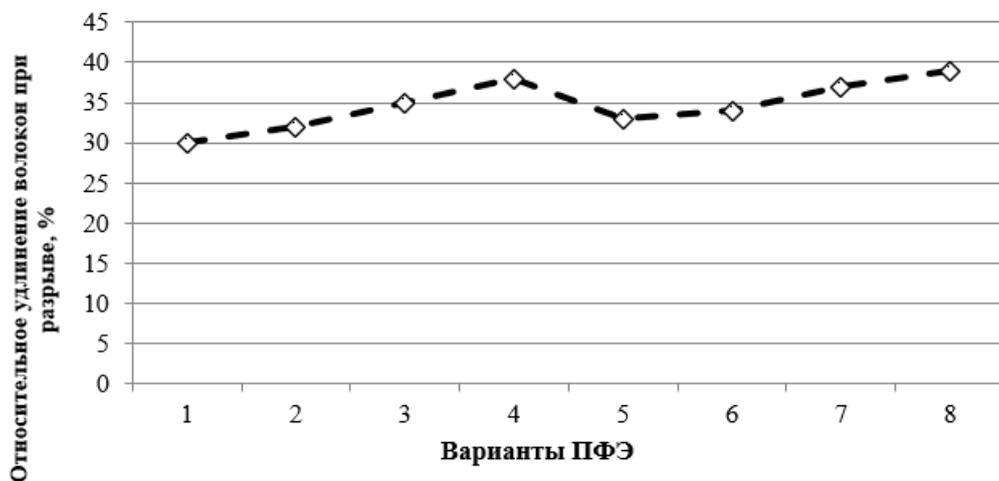


Рисунок 2. Изменение относительного удлинения волокон на разрыв при полнофакторном эксперименте.

Figure 2. Change in relative elongation of fibers at break in a full-factorial experiment.

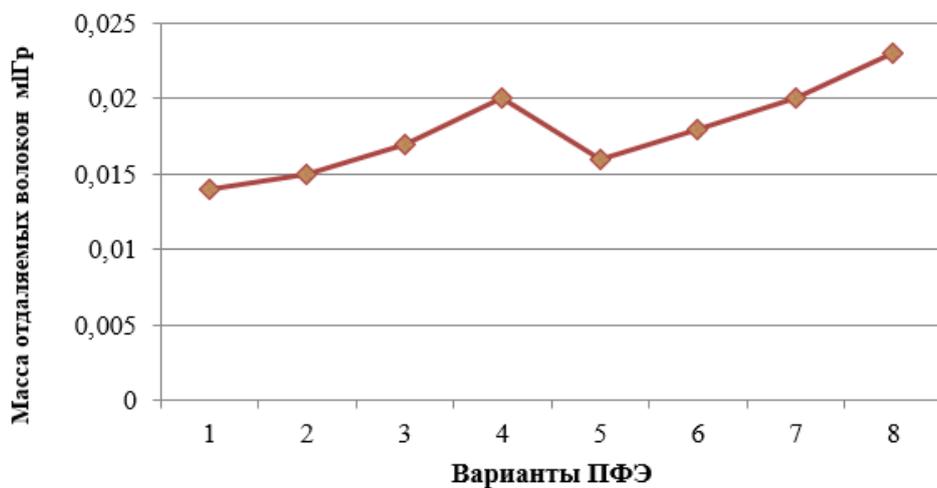


Рисунок 3. Изменение массы отделяемых волокон при полнофакторном эксперименте.

Figure 3. Change in the mass of separated fibers during a full-factorial experiment.

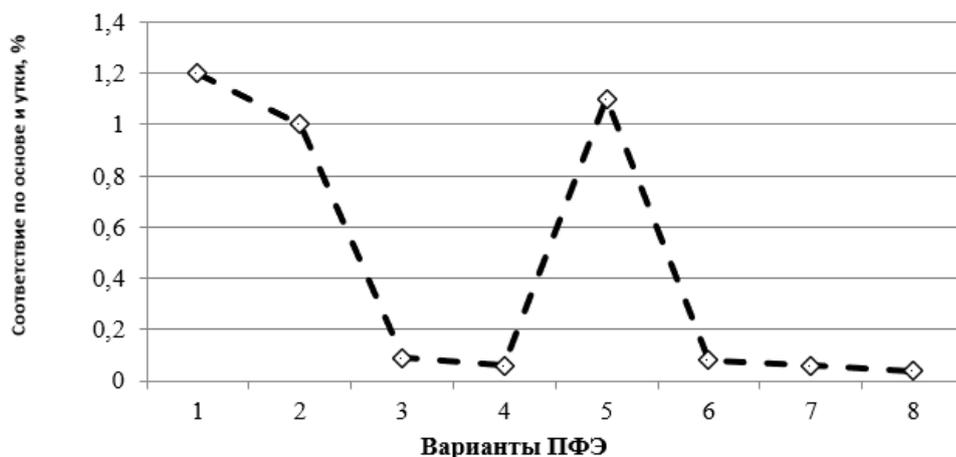


Рисунок 4. Изменение времени выпадения волокон при полнофакторном эксперименте.

Figure 4. Change in fiber shedding time in a full-factorial experiment.

Каждый признак требует статистической обработки, чтобы результаты, полученные на основе полнофакторного эксперимента, были близки друг к другу [4, 5]. Эксперименты для каждого свойства проводились по три раза (таблица 4), а обработка планировалась по изменению значений свойств шерстяного волокна.

Таблица 4. Изменение прочности шерстяного волокна на разрыв Y_1 под влиянием входных параметров.

Table 4. Change in tensile strength of wool fiber under the influence of input parameters.

| № | Факторы | | | Показатели выходящих факторов, Y_{uv} | | | Средние показатели входящих факторов, Y_{u1} | $S_{u2}^2\{Y\}$ |
|----|---------|-------|-------|---|------------|---------------|--|-----------------|
| | x_1 | x_2 | x_3 | Y_{u1} | Y_{u1^i} | $Y_{u1^{ii}}$ | | |
| 1. | - | - | - | 35 | 37 | 33 | 35 | 4 |
| 2. | + | - | - | 38 | 40 | 36 | 38 | 4 |
| 3. | - | + | - | 44 | 41 | 47 | 44 | 9 |
| 4. | + | + | - | 48 | 50 | 46 | 48 | 4 |
| 5. | - | - | + | 40 | 40 | 40 | 40 | 0 |
| 6. | + | - | + | 45 | 48 | 42 | 45 | 9 |
| 7. | - | + | + | 47 | 45 | 49 | 47 | 4 |
| 8. | + | + | + | 50 | 51 | 49 | 50 | 1 |
| 9. | + | - | - | 35 | 37 | 33 | 35 | 4 |

Обработка полнофакторного эксперимента на основе таблицы 4 осуществляется следующим образом:

1. Исключаем показатели, резко отличающиеся в ходе эксперимента.
2. Статистическую обработку полученных результатов проводим в следующем порядке. Используем критерий Кохрена для проверки уровня взаимной разницы дисперсий, определенных в каждом варианте u параллельных экспериментов с одинаковым количеством повторений m . Данная статистика для этого критерия рассчитывается следующим образом:

$$G = \frac{S_{u\max}^2}{\sum_{u=1}^N S_{u\frac{9}{39}}^2} = 0.23$$

Находим табличное значение критерия.

$$G[p_D = 0,95; f\{S_u^2\} = m - 1 = 3 - 1 = 2; N = 8] = 0,516.$$

Таким образом, модель многофакторной регрессии будет иметь значения:

$$G_R = 0,23 < G_T = 0,516.$$

3. По модели многофакторной регрессии определялась оценка коэффициента регрессии. Коэффициент регрессии определяется по следующим формулам:

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{Y}_u ;$$

$$b_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} \bar{Y}_u ;$$

$$b_{ijl} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} x_{lu} \bar{Y}_u .$$

С применением показателей таблицы 4 определим коэффициенты регрессии прочности нити основы ткани на разрыв по выше приведенным формулам:

$$b_0 = 43,375; b_1 = 1,875; b_2 = 3,875; b_3 = 2,125.$$

$$b_{12} = -0,125; b_{13} = 0,125; b_{23} = -0,875; b_{123} = -0,375.$$

Таким образом, получена многофакторная модель регрессии для прочности на разрыв:

$$Y_1 = 43,375 + 1,875x_1 + 3,875x_2 + 2,125x_3 - 0,875x_2x_3 - 0,375x_1x_2x_3.$$

График поверхности на основе регрессионной модели прочности шерстяного волокна на разрыв построен на рисунке 5.

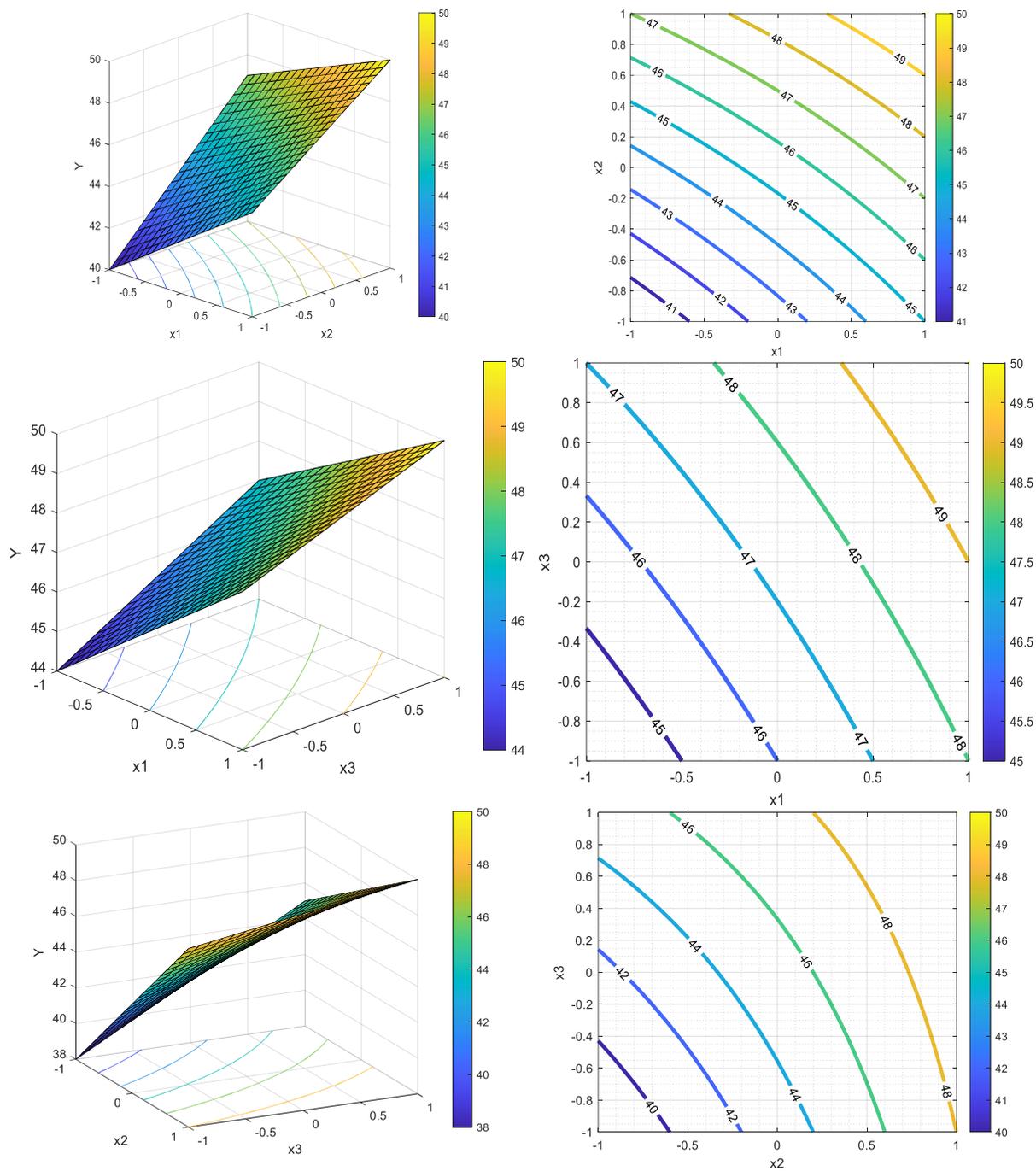


Рисунок 5. График поверхности, построенный на основе регрессионной модели прочности шерстяного волокна на разрыв.

Figure 5. Surface plot based on the regression model of wool fiber tensile strength.

4. Проверяем значимость коэффициента регрессии. Для этого с помощью критерия Стьюдента расчетное значение $t_R\{b_i\}$ сравнивается с табличным t_T . Если $t_R > t_T$, то гипотеза о значимости коэффициента регрессии не отвергается.

Расчетное значение критерия Стьюдента равно:

$$t_R\{b_i\} = \frac{|b_i|}{S\{b_i\}},$$

где $S\{b_i\}$ – среднеквадратичное отклонение выбранного коэффициента регрессии. Ортогональная дисперсия матрицы коэффициента регрессии одинакова, т.е. $S^2\{b_i\} = S^2\{b_{ij}\} = S^2\{b_{jl}\}$ и определяется по следующей формуле.

$$S^2\{b_i\} = \frac{1}{N} S^2\{\bar{Y}\},$$

где
$$S^2\{\bar{Y}\} = \frac{1}{m} S^2\{Y\}.$$

Если дисперсия $S_u^2\{Y\}$ неоднородна, тогда равенство дисперсии повторяемости определяется следующим образом:

$$S^2\{Y\} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^n S_u^2\{Y\}.$$

Найдем дисперсию коэффициентов регрессии и расчетное значение критерия Стьюдента:

$$S^2\{Y\} = \frac{35}{8} = 4,375, \quad S^2\{\bar{Y}\} = \frac{4,375}{3} = 1,46, \quad S^2\{b_i\} = \frac{1,46}{8} = 0,18, \quad S\{b_i\} = 0,43$$

$$t\{b_1\} = \frac{1,875}{0,43} = 4,39; \quad t\{b_2\} = \frac{3,875}{0,43} = 9,076; \quad t\{b_3\} = \frac{2,125}{0,43} = 4,98; \quad t\{b_{12}\} = \frac{-0,125}{0,43} =$$

$$-0,29; \quad t\{b_{13}\} = \frac{0,125}{0,43} = 0,29; \quad t\{b_{23}\} = \frac{-0,875}{0,43} = -2,05;$$

$$t\{b_{123}\} = \frac{-0,375}{0,43} = -0,878.$$

Табличное значение критерия Стьюдента равно $p_D = 0,95$ и число степеней свободы равно $f\{S_y^2\} = N(m-1)$, $t_T[p_D = 0,95; f = 8(3-1) = 16] = 2,12$.

Рассчитанные результаты по критерию Стьюдента сравнивались с табличными значениями и коэффициенты регрессии $b_1, b_2, b_3, b_{23}, b_{123}$ оказались значимыми.

Если проверить модели многофакторной регрессии при условии $N - N_k > 0$, то модель многофакторной регрессии определяется на базе матрицы полнофакторного эксперимента [6-8].

Расчетное значение критерия Фишера определяется:

$$\text{при } S_{\text{над}}^2\{Y\} > S^2\{\bar{Y}\}, F_R = \frac{S_{\text{над}}^2\{Y\}}{S^2\{\bar{Y}\}};$$

$$\text{при } S^2\{\bar{Y}\} > S_{\text{над}}^2\{\bar{Y}\}, F_R' = \frac{S^2\{\bar{Y}\}}{S_{\text{над}}^2\{Y\}},$$

где $S_{\text{над}}^2\{Y\}$ – дисперсия.

Для проверки адекватности линейной модели остаточная дисперсия по критерию Фишера определяется по следующей формуле:

$$S_{\text{ост}}^2\{Y\} = \frac{m \sum_{n=1}^N (\bar{Y}_u - Y_{Ru})^2}{N - N_k},$$

где $S^2\{\bar{Y}\}$ – дисперсия, которая определяется по формуле

$$S^2\{\bar{Y}\} = \frac{1}{m} S^2\{Y\}.$$

Показатели для расчета $S_{\text{ост}}^2\{Y\}$ приведены в таблице 4, тогда получим:

$$S_{\text{ост}}^2\{Y\} = \frac{1}{8-6} = 0,5 \text{ тогда } S_{\text{ост}}^2\{\bar{Y}\} = 1,46, \text{ то есть расчетное значение по критерию}$$

$$\text{Фишера } F_R' = \frac{1,46}{0,5} = 2,92.$$

Находим табличное значение критерия Фишера:

$$F_T[p_D = 0,95; f\{S_y^2\} = 8(3-1) = 16; f\{S_{\text{ост}}^2\} = 8-6 = 2] = 19,44.$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, так как для многофакторного регрессионного моделирования прочность шерстяных волокон равна $F'_R = 2,92 < F_T = 19,44$, и при этом модель, полученная под воздействием выходного параметра, исходя из начальной гипотезы, является значимой и не может быть отвергнута. В работе проведен полнофакторный эксперимент по исследованию качественных показателей шерстяных волокон, хранившихся, сортированных и промываемых в разные сроки и в разных условиях. Составлены уравнения регрессии на основе входных и выходных параметров при обработке результатов эксперимента по показателям качества шерстяного волокна. Для проверки уровня различий между дисперсиями использовался критерия Кохрена.

Для проверки адекватности линейной модели на основе уравнении регрессии остаточную дисперсию определяли с помощью критерия Фишера и для исследования коэффициентов регрессии использовали критерий Стьюдента. Соответствующие рациональные значения выходных параметров определялись через факторный интервал.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Nazarova M.A., Kayumov J.A. Increasing the scale of the use of coarse wool based on the analysis of wool fibers. Andijan Institute of Mechanical Engineering” modern problems in the innovative development of Science, Education and production " international-scientific practical conference (2020).
- [2] Wool is the word wool. Week 2017 in London once again served up a vibrant, modern, sustainable fusion of wool to support the industry. Wool review: International wool textile organization. 2017; 2: 25-27.
- [3] Kuliev T. M., Sobirov D. Kh., Atanafasov M. R. Theoretical analysis of processing of wool fibers under the influence of moving rollers. Экономика и социум. 2024; 3(118).
- [4] Abrorov A. et al. Mathematical model of hardening the disk-shaped saw teeth with laser beams. Journal of Physics: Conference Series. 2022; 2373: 022021. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2373/2/022021>
- [5] Аброров А. С., Кувончева М. Р., Хасанова Н. Н., Мухаммадов М.М., Саидов Х. А. Производственные испытания дисковых пил после ионноплазменного азотирования и лазерной закалки волокноотделительной машины марки 5ДП-130. Современные

инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies. 2022; 2(4): 0331–0338. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0331-0338>

[6] Sobirov D. X., Quliyev T. M., Qulmetov M., Atanafasov M. R. Valiklar ta'sirida hosil bo'ladigan tashqi kuchlarni jun tolalariga ta'sirning tahlili. *Экономика и социум*. 2024; 3(118).

[7] Abrorov A. et al. Computational analysis of multivariant physical and mechanical experiments on laser hardening of gin disc saws. *Journal of Physics: Conference Series*. 2023; 2573: 012038. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2573/1/012038>

[8] Kuliev T. M., Sobirov D.Kh., Sapaev R.A., Rakhimova G.P., Atanafasov M.R. Theory of motion analysis of wool fibers under the action of pinching rollers. *Current problems of modern science, education and education (electronic scientific collection)*. 2024; 2: 62-67.

REFERENCES

[1] Nazarova M.A., Kayumov J.A. Increasing the scale of the use of coarse wool based on the analysis of wool fibers. *Andijan Institute of Mechanical Engineering "modern problems in the innovative development of Science, Education and production"* international-scientific practical conference (2020).

[2] Wool is the word wool. Week 2017 in London once again served up a vibrant, modern, sustainable fusion of wool to support the industry. *Wool review: International wool textile organization*. 2017; 2: 25-27.

[3] Kuliev T. M., Sobirov D. Kh., Atanafasov M. R. Theoretical analysis of processing of wool fibers under the influence of moving rollers. *Ekonomika i sositium*. 2024; 3(118).

[4] Abrorov A. et al. Mathematical model of hardening the disk-shaped saw teeth with laser beams. *Journal of Physics: Conference Series*. 2022; 2373: 022021. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2373/2/022021>

[5] Abrorov A. C., Kuvoncheva M. R., Hasanova N. N., Muhammadov M.M., Saidov H. A. Proizvodstvennye ispytaniya diskovyh pil posle ionnoplazmennogo azotirovaniya i lazernoj zakalki voloknootdelitel'noj mashiny marki 5DP-130. *Sovremennye innovacii, sistemy i tekhnologii - Modern Innovations, Systems and Technologies*. 2022; 2(4): 0331–0338 <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0331-0338> (in Russian).

[6] Sobirov D. X., Quliyev T. M., Qulmetov M., Atanafasov M. R. Valiklar ta'sirida hosil bo'ladigan tashqi kuchlarni jun tolalariga ta'sirning tahlili. *Ekonomika i sositium*. 2024; 3(118).

[7] Abrorov A. et al. Computational analysis of multivariant physical and mechanical

experiments on laser hardening of gin disc saws. Journal of Physics: Conference Series. 2023; 2573: 012038. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2573/1/012038>

[8] Kuliev T. M., Sobirov D.Kh., Sapaev R.A., Rakhimova G.P., Atanafasov M.R. Theory of motion analysis of wool fibers under the action of pinching rollers. Current problems of modern science, education and education (electronic scientific collection). 2024; 2: 62-67.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Кулиев Тахир, Главный директор АО
"Рахтасаноат ilmiy markazi" Ташкент,
Узбекистан

Takhir Kuliev, General Director of "Cotton
Industry Scientific Center" JSC, Tashkent,
Uzbekistan

Даниёр Собиров, Ургенчский
государственный университет, Ургенч,
Узбекистан

Daniyor Sobirov, Urgench State University,
Urgench, Uzbekistan

Статья поступила в редакцию 12.06.2024; одобрена после рецензирования 27.06.2024; принята к публикации 28.06.2024.

The article was submitted 12.06.2024; approved after reviewing 27.06.2024; accepted for publication 28.06.2024.