

УДК 677.051.151.25

## **МНОГОФАКТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРОМИНА ЛЬНЯНОЙ ТРЕСТЫ.**

**Л.В. МОЧАЛОВ, В.Г. ДРОЗДОВ, М.С. ЕНИН.  
(Костромской государственный технологический университет)**

В статье приведены результаты анализа процесса мятья на мьяльной машине М-100Л. Количественно определено влияние влажности и отделяемости тресты, а также глубины захождения рифлей на качественные результаты процесса мятья: умин и уменьшение прочности.

### **1. Определение рациональной глубины захождения рифлей при малой нагрузке на верхний валец**

Процесс промина лубоволокнистого сырья должен проходить так, чтобы получить максимальный умин при минимальной потере прочности волокна. Уменьшение прочности, вызванное разрушением волокна, во многом зависит от выбора режима обработки (глубины захождения рифлей, усилия прижима верхнего вальца), влажности обрабатываемой тресты и показателя отделяемости.

В настоящее время широко используются автоматизированные системы управления технологическими процессами, в том числе с использованием нейронных сетей. Для настройки данных систем необходимо иметь регрессионные модели, связывающие свойства сырья и регулируемые параметры машины с качественными показателями процесса. В связи с этим, для создания нейронной сети были проведены три серии экспериментов.

Целью первого эксперимента было получение регрессионных моделей, определяющих влияние на умин льнотресты в процессе мятья следующих факторов: глубины захождения рифлей и влажности материала.

В процессе исследований использовали вальцовую мьяльную машину марки М-100Л. Общий вид мьяльной машины представлен на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид мяльной машины М-100Л

Эксперименты проводили с максимальным и минимальным значением глубины захождения рифлей при постоянном наборе вальцов (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика мяльных вальцов

| № мяльной пары | Число рифлей | Наружный диаметр вальцов, мм | Диапазон регулирования глубины захождения рифлей, мм |
|----------------|--------------|------------------------------|--|
| 1, 2           | 12           | 118                          | 0...12   |
| 3, 4           | 14           | 117                          | 0...12   |
| 5, 6           | 16           | 118                          | 0...12   |
| 7, 8           | 20           | 117                          | 0...10   |
| 9, 10          | 24           | 118                          | 0...8  |
| 11, 12         | 36           | 118                          | 0...5  |
| 13             | гладкие      | 122                          | —  |

Таблица настроек глубины захождения рифлей приведена в табл. 2.

Таблица 2

Глубина захождения рифлей при разных режимах настройки, мм

| № мяльной пары<br>Тип настройки        | 1, 2 | 3, 4 | 5, 6 | 7, 8 | 9, 10 | 11, 12 | 13 |
|--|------|------|------|------|-------|--------|----|
|  |      |      |      |      |       |        |    |
| Максимальная глубина захождения рифлей | 10   | 8,5  | 7,5  | 6    | 5     | 3      | -  |
| Минимальная глубина захождения рифлей  | 2    | 2    | 1,5  | 1    | 1     | 0,5    | -  |

Для выполнения экспериментов были подготовлены однородные горсти льнотресты массой  $100,0 \pm 0,5$  г. Опыты проводились в шестикратной повторности. Линейная плотность загрузки составляла 0,33 кг/м. Матрица планирования эксперимента представлена в таблице 3. Усадка пружин в стаканах составляла один миллиметр [1].

В таблице 2 приведена установленная глубина захождения рифлей для первой пары вальцов. Глубина захождения рифлей в остальных вальцах рассчитывалась по формуле равенства периметрических скоростей [1, 2].

Таблица 3

Матрица планирования эксперимента

| Номер опыта | Глубина захождения рифлей $i$ , мм | Влажность льнотресты $W$ , % |
|-------------|------------------------------------|------------------------------|
| 1           | 10                                 | 19                           |
| 2           | 10                                 | 9                            |
| 3           | 2                                  | 19                           |
| 4           | 2                                  | 9                            |

Опыты в соответствии с матрицей планирования (табл. 3) проводили на двух типах тресты, характеристики которых приведены в таблице 4.

Таблица 4

## Характеристики льнотресты

| Показатели качества тресты | Типы тресты     |               |
|----------------------------|-----------------|---------------|
|                            | Треста тип 1    | Треста тип 2  |
| Номер тресты               | 0,75            | 1,75          |
| Показатель цвета           | 1               | 2             |
| Отделяемость, ед.          | 4,1             | 7,1           |
| Содержание волокна, %      | 33              | 35            |
| Прочность, даН             | $10,7 \pm 0,89$ | $7,5 \pm 0,9$ |
| Горстевая длина, см        | 62              | 63            |

Влажность тресты определялась в сушильном шкафу. Для достижения повышенной влажности тресты, ее увлажняли с помощью пульверизатора, для чего рассчитывалась масса воды в соответствии с заданным значением влажности. Навески после увлажнения помещались в полиэтиленовые пакеты, которые герметично закрывались. Далее тресту взвешивали с пакетами и оставляли на двое суток, чтобы влага равномерно распределилась в материале. Затем навески повторно взвешивались, чтобы убедиться, что масса упакованных навесок не изменилась, после чего пакеты вскрывали и определяли влажность контрольной навески в сушильном шкафу. Сразу после вскрытия пакета навески повторно взвешивались, а затем сразу проминались на мяльной машине в соответствии с планом эксперимента. Полученные после промина навески сырца взвешивали.

Основными показателями процесса мятья являются умин и изменение прочности, которые использовались в качестве выходных параметров эксперимента. Умин определялся по известной формуле:

$$U = \frac{M_{mp} - M_c}{M_{mp}} 100\%, \quad (1)$$

где  $M_{mp}$  – масса навески тресты, г;

$M_c$  – масса сырца полученного из навески тресты, г.

Результаты статистической обработки опытных данных представлены в таблице 5. Относительная ошибка опыта находилась в пределах 3...5 %.

Таблица 5

| Номер опыта | Результаты эксперимента |              |
|-------------|-------------------------|--------------|
|             | У <sub>мин</sub> , %    |              |
|             | треста тип 1            | треста тип 2 |
| 1           | 18,97 ± 0,97            | 21,89 ± 0,89 |
| 2           | 28,62 ± 1,37            | 29,93 ± 1,57 |
| 3           | 17,36 ± 0,79            | 18,54 ± 0,87 |
| 4           | 21,52 ± 0,90            | 23,13 ± 0,94 |

Графическая интерпретация данных таблицы 5, представлена на рисунке 2 и рисунке 3.

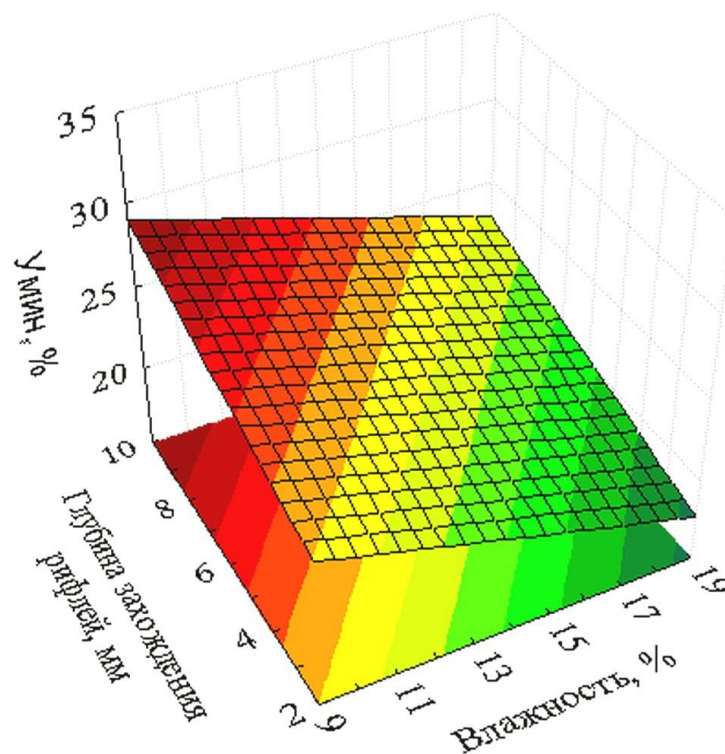


Рис. 2. Изменение умина в зависимости от глубины захождения и влажности для тресты нормальной вылежки

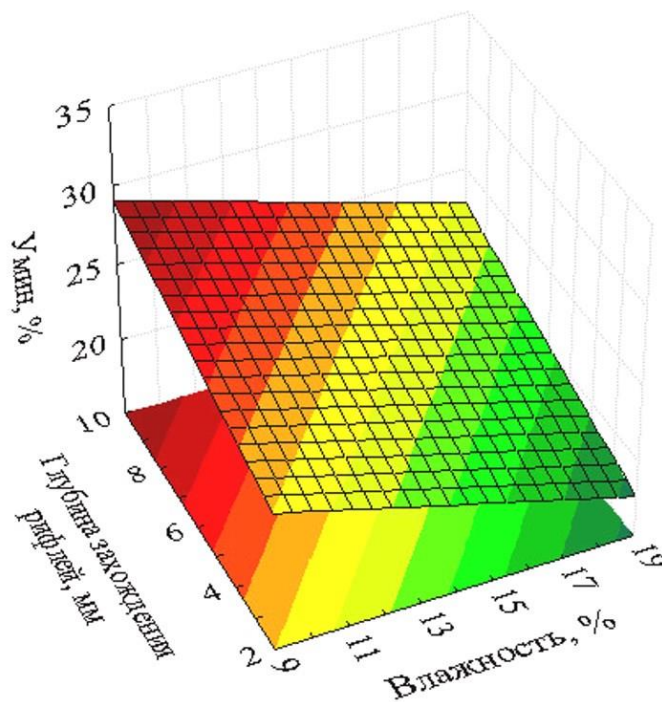


Рис. 3. Изменение умина в зависимости от глубины захождения и влажности для недолежалой тресты

В результате математической обработки опытных данных получены двухфакторные регрессионные модели для недолежалой тресты (2) и тресты нормальной вылежки (3). Все исследуемые факторы эксперимента оказались значимыми.

$$Y = 28,43 - 0,7W + 0,54i; \quad (2)$$

$$Y = 28,84 - 0,7W + 0,7i. \quad (3)$$

## 2. Определение рациональной глубины захождения рифлей при рекомендуемой нагрузке на верхний валец

Целью следующего эксперимента являлось получение трехфакторной регрессионной модели, связывающей умин льняной тресты со следующими факторами: влажностью тресты  $W$ , глубиной захождения рифлей  $i$ , и отделяемостью  $O_T$  при усадке пружин в стаканах 24 мм [1]. Для выполнения экспериментов были подготовлены горсти льнотресты, масса которых составляла  $100,0 \pm 0,5$  г. Опыты проводились в десятикратной повторности.

Характеристика льняной тресты, используемой в данном эксперименте приведена в таблице 6.

Таблица 6

Характеристика льняной тресты

| Показатели качества тресты | Тип тресты    |                 |
|----------------------------|---------------|-----------------|
|                            | Треста тип 3  | Треста тип 4    |
| Номер тресты               | 1             | 0,75            |
| Показатель цвета           | 1             | 2               |
| Отделяемость, ед.          | 4,4           | 9               |
| Содержание волокна, %      | 36            | 33              |
| Прочность, даН             | $12 \pm 0,58$ | $2,17 \pm 0,73$ |
| Горстевая длина, см        | 54            | 64              |

Матрица планирования эксперимента представлена в таблице 7.

Таблица 7

Матрица планирования эксперимента

| Номер опыта | Отделяемость $O_t$ , ед. | Влажность $W$ , % | Глубина захождения рифлей $i$ , мм |
|-------------|--------------------------|-------------------|------------------------------------|
| 1           | 4,4                      | 19                | 10                                 |
| 2           | 4,4                      | 19                | 2                                  |
| 3           | 4,4                      | 12                | 10                                 |
| 4           | 4,4                      | 12                | 2                                  |
| 5           | 9,0                      | 19                | 10                                 |
| 6           | 9,0                      | 19                | 2                                  |
| 7           | 9,0                      | 12                | 10                                 |
| 8           | 9,0                      | 12                | 2                                  |

Относительная гарантийная ошибка опыта находилась в пределах 2...5 %. Опытные данные (табл. 8) обрабатывались в программе Statistica 6.0, в результате чего была получена регрессионная модель:

$$Y = 21,72 - 0,99W + 0,99i + 2,02O_t. \quad (4)$$

Все исследуемые факторы эксперимента оказались значимыми.

Статистические данные эксперимента

| Номер опыта | У <sub>мин</sub> , % |              |
|-------------|----------------------|--------------|
|             | треста тип 3         | треста тип 4 |
| 1           | 22,13±1,04           | 30,36±2,13   |
| 2           | 13,79±1,08           | 24,13±1,69   |
| 3           | 31,87±1,46           | 37,74±0,68   |
| 4           | 17,81±0,58           | 32,21±0,64   |

Графическая интерпретация полученной модели представлена на рис. 4–8.

Данную модель можно представить в виде пяти двухфакторных моделей:

При влажности  $W = 12\%$ :

$$Y = 9,88 + 0,99i + 2,02O_T. \quad (5)$$

При влажности  $W = 19\%$ :

$$Y = 2,98 + 0,99i + 2,02O_T, \quad (6)$$

При отделяемости  $O_T = 4,4$  ед.:

$$Y = 30,62 - 0,99W + 0,99i. \quad (7)$$

При отделяемости  $O_T = 6,7$  ед.:

$$Y = 35,28 - 0,99W + 0,99i \quad (8)$$

При отделяемости  $O_T = 9,0$  ед.:

$$Y = 39,94 - 0,99W + 0,99i \quad (9)$$

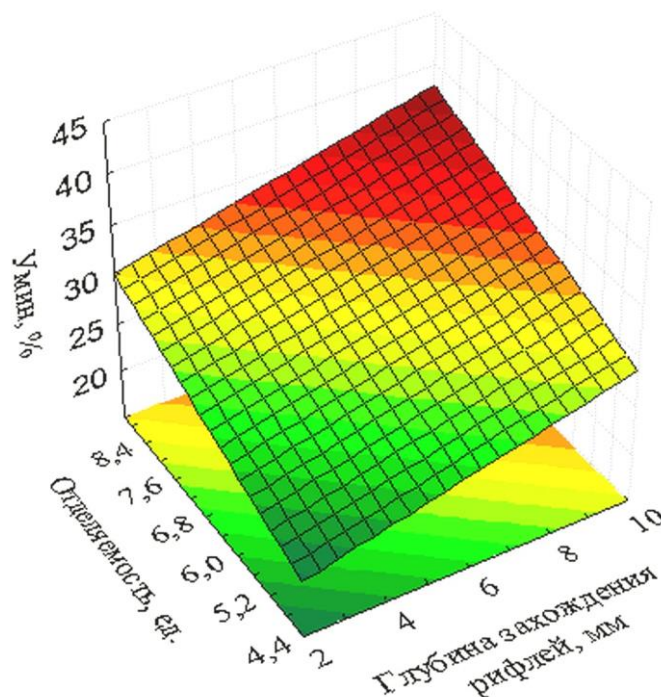


Рис. 4. Изменение умина в зависимости от отделяемости льнотресты при влажности 12%



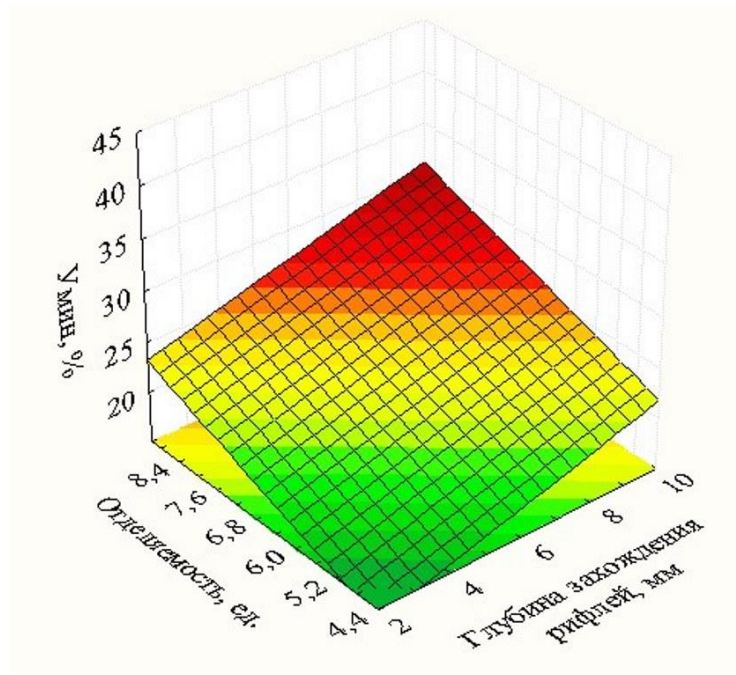


Рис. 5. Изменение умина в зависимости от отделенности льнотресты при влажности 19%

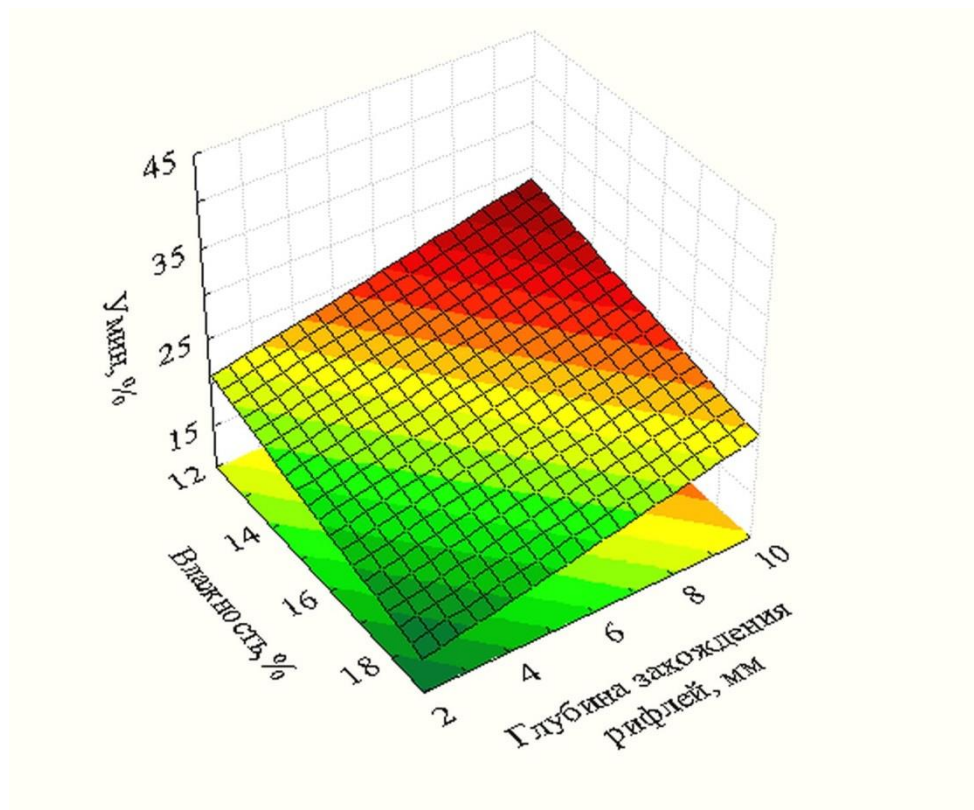


Рис. 6. Изменение умина в зависимости от влажности льнотресты при отделенности 4,4 ед.

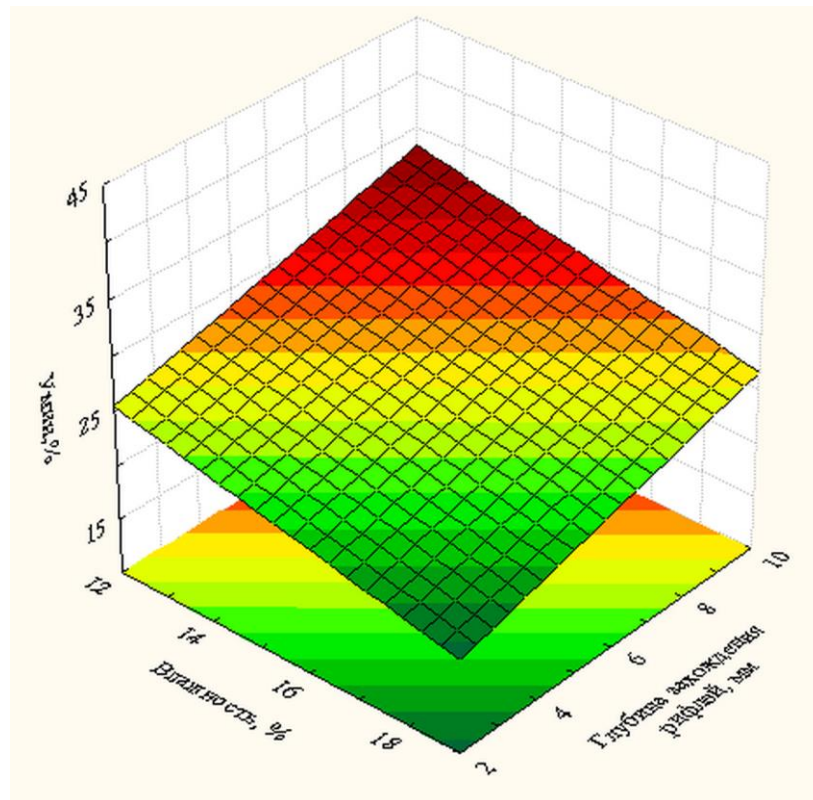


Рис. 7. Изменение умина в зависимости от влажности льнотресты при отделяемости 6,7 ед.

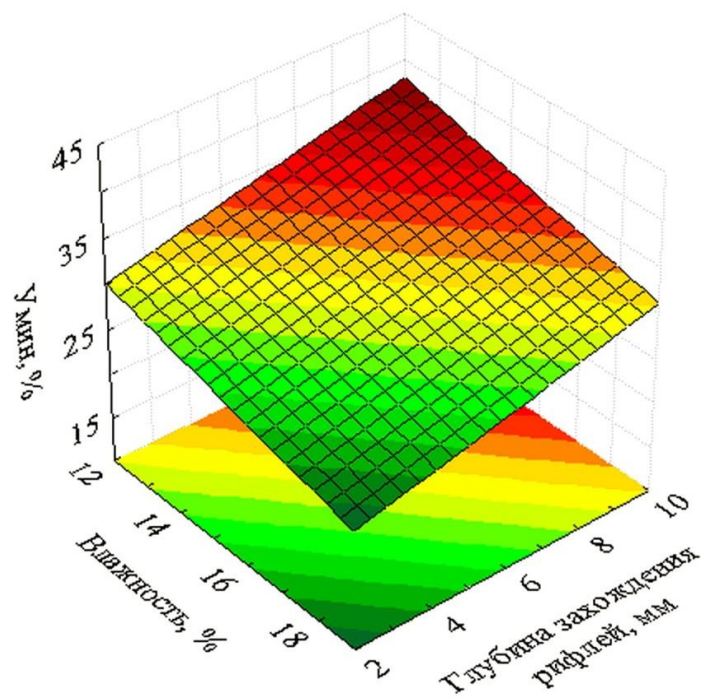


Рис. 8. Изменение умина в зависимости от влажности льнотресты при отделяемости 9,0 ед.

Анализ модели (4), адекватно описывающей исследуемый процесс, показывает, что технологическая эффективность промина в значительной степени зависит от глубины захождения рифлей  $i$ . По этой причине данный фактор целесообразно использовать как управляющий при оптимизации процесса в том случае, когда колебания влажности  $W$  и отделяемости  $O_t$  тресты существенно отклоняются от нормированных значений. Алгоритм формирования управляющего воздействия может быть определен с учетом уравнений регрессии (2), (3), (4).

### 3. Прогнозирование прочности сырца в зависимости от свойств сырья и технологических параметров

Следующей задачей исследования было получение модели, которая позволит спрогнозировать изменение прочности волокна, для чего был реализован отдельный эксперимент.

Целью эксперимента являлось построение трехфакторной регрессионной модели, связывающей изменение прочности волокна с влажностью  $W$ , отделяемостью  $O_t$ , и глубиной захождения рифлей  $i$ .

Отобранный от предыдущего эксперимента сырец был доведен до технологической влажности с целью определения прочности. Прочность определяли на разрывной машине РМП – 1.

Изменение прочности определяли по формуле

$$\Delta P = \frac{P_1 - P_2}{P_1} 100\%, \quad (10)$$

где  $P_1$  и  $P_2$  – прочность волокна до и после промина, даН.

Матрица планирования эксперимента представлена в таблице 7. После проведения эксперимента полученные результаты (табл. 10) обрабатывались в программе Statistica 6.0.

В результате была получена регрессионная модель:

$$\Delta P = 2,53 - 0,14W + 0,20i + 0,09O_t. \quad (11)$$

Статистические данные эксперимента

| Номер опыта | Изменение прочности $\Delta P$ , даН<br>(треста тип 3) | Изменение прочности $\Delta P$ , даН<br>(треста тип 4) |
|-------------|--|--|
| 1           | $1,09 \pm 0,36$  | $0,83 \pm 0,11$  |
| 2           | $0,03 \pm 0,05$  | $0,28 \pm 0,08$  |
| 3           | $3,37 \pm 0,50$  | $1,84 \pm 0,14$  |
| 4           | $0,24 \pm 0,09$  | $0,49 \pm 0,08$  |

Модель (11) может быть представлена в виде пяти двухфакторных моделей.

При влажности  $W = 12\%$ :

$$\Delta P = 0,86 + 0,20i - 0,09O_T. \quad (12)$$

При влажности  $W = 19\%$ :

$$\Delta P = -0,11 + 0,20i - 0,99O_T. \quad (13)$$

При отделяемости  $O_T = 4,4$  ед.:

$$\Delta P = 2,16 - 0,14W + 0,20i. \quad (14)$$

При отделяемости  $O_T = 6,7$  ед.:

$$\Delta P = 1,97 - 0,14W + 0,20i. \quad (15)$$

При отделяемости  $O_T = 9,0$  ед.:

$$\Delta P = 1,77 - 0,14W + 0,20i. \quad (16)$$

Графическая интерпретация моделей изображена на рис. 9–13.

Результаты проведенных экспериментов хорошо согласуются с известными технологическими рекомендациями [1–4]:

- при обработке тресты с высокой отделяемостью и низкой прочностью необходимо уменьшать глубину захождения рифлей для сохранения природной прочности волокна;
- при обработке тресты с низкой отделяемостью и высокой прочностью целесообразно увеличивать глубину захождения рифлей для увеличения умина, так как в этом случае природная прочность волокна снижается незначительно;
- стоит отметить, что согласно рис. 10 и 11 при обработке тресты с повышенной влажностью можно увеличить глубину захождения рифлей с целью повышения умина, т.к. потеря прочности волокна при этом

значительно меньше, чем при обработке тресты с технологической влажностью.

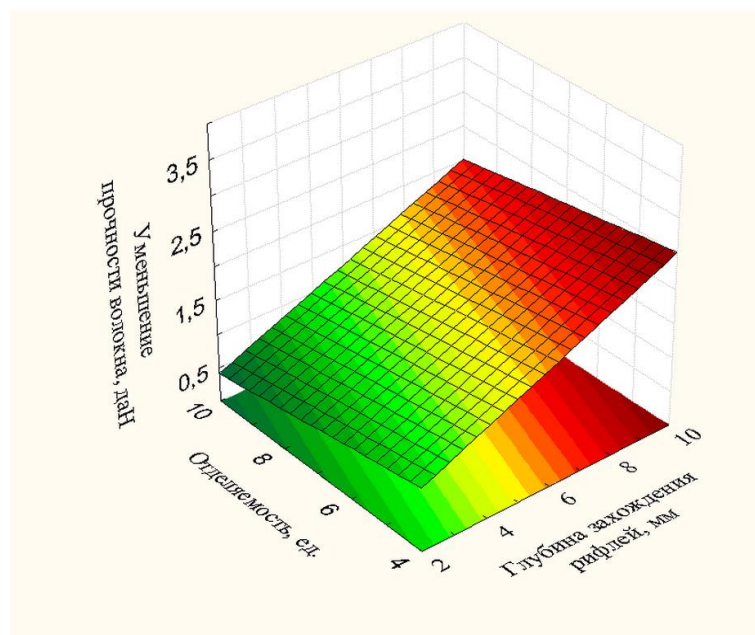


Рис. 9. Изменение прочности сырца в зависимости от глубины захождения и отделяемости льнотресты при влажности 12%

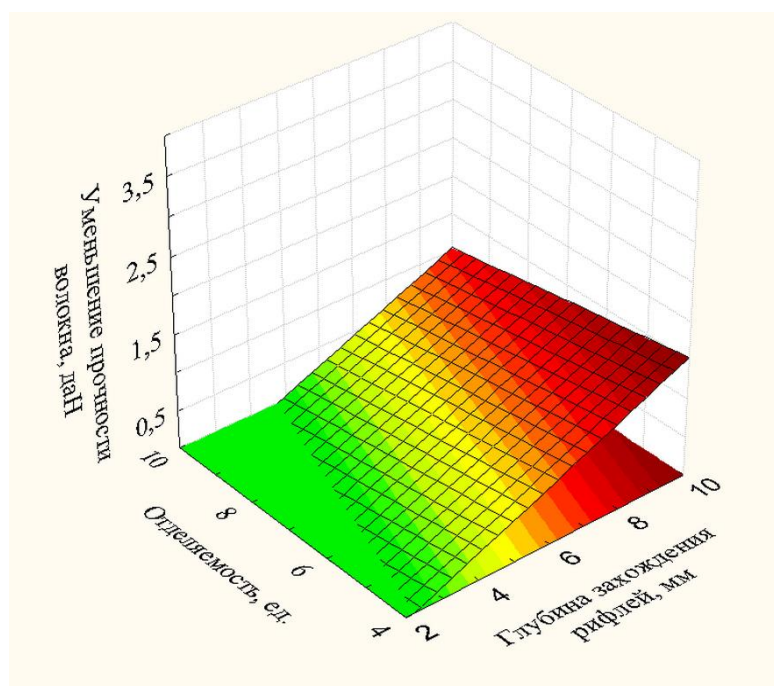


Рис. 10. Изменение прочности сырца в зависимости от глубины захождения и отделяемости льнотресты при влажности 19%



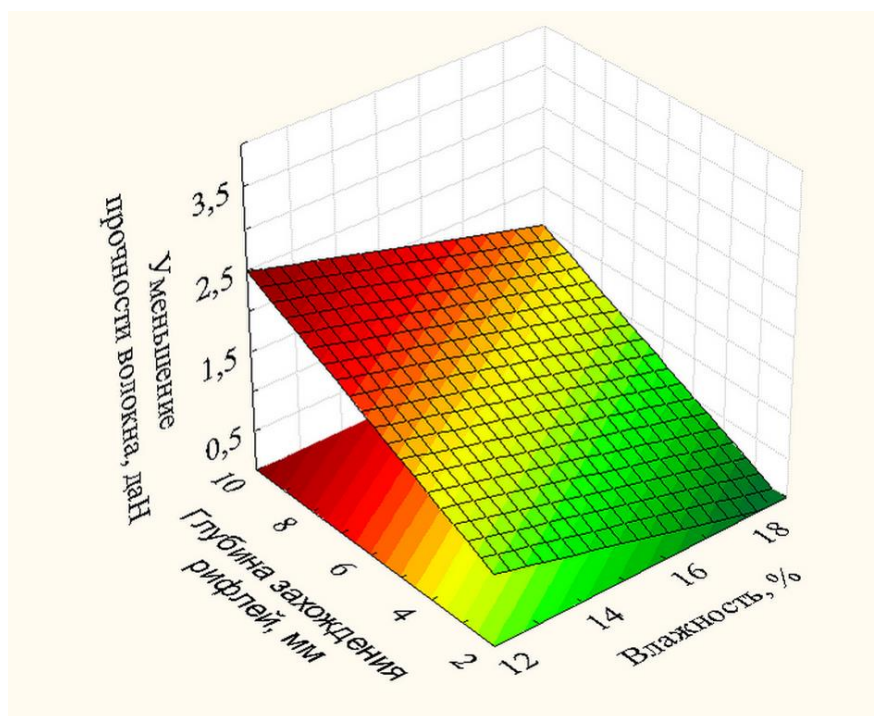


Рис. 11. Изменение прочности сырца в зависимости от глубины захождения и влажности льнотресты при отделяемости 4,4 ед.

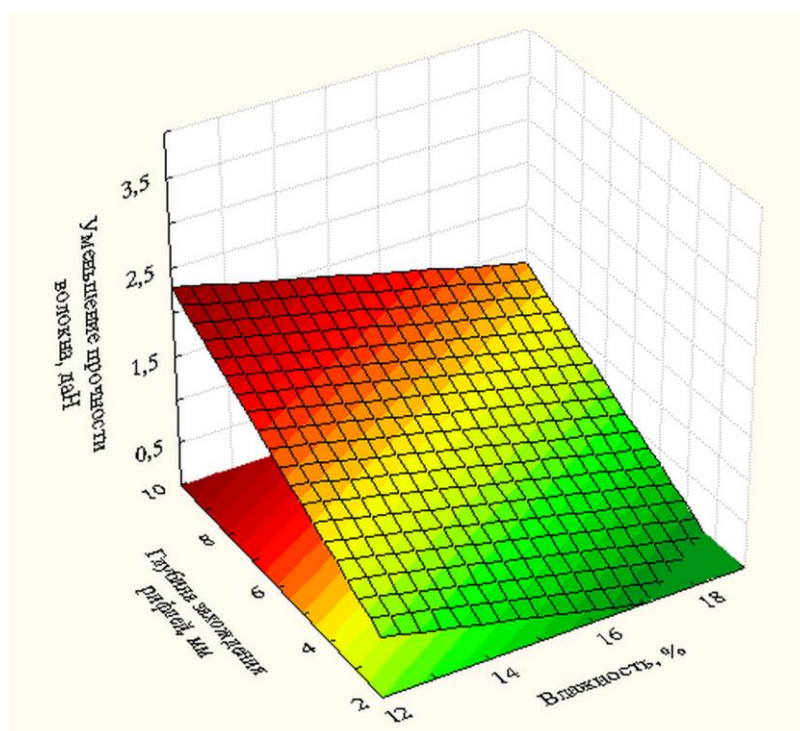


Рис. 12. Изменение прочности сырца в зависимости от глубины захождения и влажности льнотресты при отделяемости 6,7 ед.

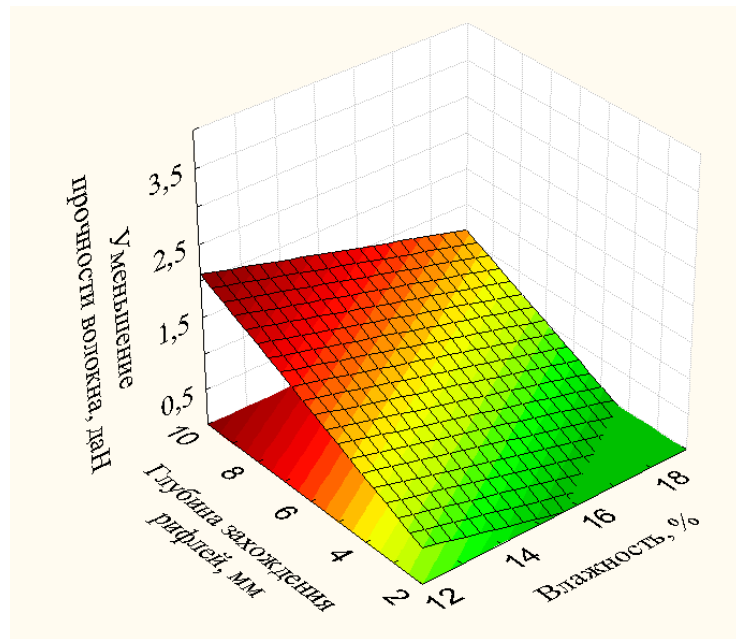


Рис. 13. Изменение прочности сырца в зависимости от глубины захождения и влажности льнотресты при отделяемости 9 ед.

### Выводы

1. Количественно определено влияние влажности и отделяемости тресты, а также глубины захождения рифлей на качественные результаты процесса мятья: умин и уменьшение прочности волокна.
2. Полученные регрессионные модели позволяют при использовании специализированных программных продуктов (например, Matlab) определить оптимальное значение глубины захождения рифлей в мяльной машине М – 100Л с позиции достижения максимального умина и сохранения природной прочности волокна при обработке тресты с различной влажностью и отделяемостью.
3. Использование современного аппаратного и программного обеспечения позволит путем использования полученных моделей создать систему автоматизированного управления мяльной машиной для льняной стланцевой тресты.

## Список литературы

1. Справочник по заводской первичной обработке льна / Под общ. ред. В.Н. Храмцова. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 512 с.
2. Дьячков В.А. Теоретические основы технологии производства лубяных волокон: монография / В.А. Дьячков – Кострома: Изд-во Костром. гос. технол. университета, 2009. – 271 с.
3. Смирнов Б.И. О рациональном процессе мятья при выделении льняного луба. Сб. Научно – исследовательские труды КТИ. Выпуск 13. С. 51 – 60.
4. Барбаков М.М. Влияние величины разводки в мяльной паре на эффективность процесса мятья. Сб. Научно – исследовательские труды. КТИ Выпуск 13. С. 123 – 126.