

## ПРЕВАНТИВЕН ВИБРОКОНТРОЛ НА НИЩЕЛКОВ МЕХАНИЗЪМ НА ТЪКАЧНИ МАШИНИ С ГЪВКАВИ РАПИРИ

**Калоян ДИМИТРОВ, Ивелин РАХНЕВ, Пенка ГЕНОВА**  
Технически Университет - София, Факултет и Колеж - Сливен,  
Сливен, ул. "Бургаско шосе" 59  
e-mail: ka\_dimitrov@tu-sofia.bg

### РЕЗЮМЕ

*В настоящата разработка се предлага начин за превантивен вибро-контрол на тъкачни машини с цел намаляване на непредвидени аварии и престои. За осъществяване на това е необходим периодичен контрол на техническото състояние на тъкачните станове. Чрез вибрационното състояние на машините и техните механизми лесно може да се установи текущото техническо състояние, техният остатъчен ресурс и своевременно да се предприемат дейности за следващ етап на техническото обслужване.*

**Ключови думи:** тъкачни машини, вибрации, превантивен контрол, корелационен анализ

## PREVENTIVE VIBRATION CONTROL OF HARNESS MECHANISM OF WEAVING MACHINES WITH FLEXIBLE RAPIERS

**Kaloyan DIMITROV, Ivelin RAHNEV, Penka GENOVA**  
Technical University - Sofia, Faculty and College - Sliven,  
59 bul. Burgasko shoes, Sliven  
e-mail: ka\_dimitrov@tu-sofia.bg

### ABSTRACT

*This paper provides a method for preventive vibration control of weaving machines in order to reduce unforeseen accidents and downtime. For realization on this, a necessary periodic monitoring of the technical condition of weaving looms. Through the vibrational condition of the machines and their mechanisms, it is easy to establish the current technical condition, their residual resource and timely take action for the next stage of maintenance.*

**Key words:** weaving machines, vibrations, preventive control, correlation analysis

## Въведение

Използването на съвременните технологии е свързано с непрекъснато наблюдение и контрол на редица параметри на протичащия технологичен процес и съответно контрол на производственото оборудване. Едни от най-често проследяваните и измервани величини се явяват механични премествания, и по-точно стойностите на периодичното преместване на обекта в пространството или вибрациите.

Необходимостта от контролирането на вибрациите е поради факта, че в повечето случаи те са нежелателно явление, наличието, на което може да доведе до нанасянето на щети върху елементи и машинни възли и да влоши работата им, както и до прекомерното им износване и повреда. Това налага непрекъснат контрол и комплексна оценка на оборудването. Тъкачните машини са подложени на динамични и ударни натоварвания. Динамичното взаимодействие на елементите в механизмите поражда вибрации. Повишените вибрации могат да предизвикат умора в конструктивните материали, опасни напрежения, пукнатини и счупвания в отделни части на машината, фундамента и спомагателните механизми.

Вследствие на повишени вибрации по време на експлоатацията може да се появи разхлабване на болтовете съединения и укрепващите елементи. В елементите на механизмите и възлите е възможна поява на микропукнатини, което ускорява тяхното стареене, понижават се техните качества и

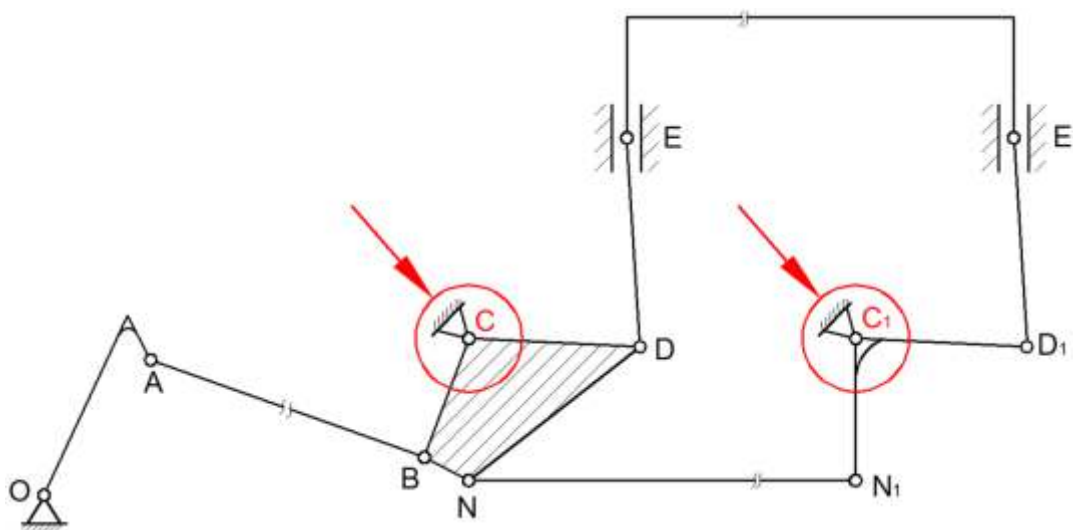
намалява ресурса на работа [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]. В практиката е установено, че най-често срещаните повреди са лагерните възли на механизмите [1, 2].

Целта на работата е да се създаде начин за превантивен вибро-контрол удобен за използване в реални производствени условия, като не възпрепятства производствения процес. За осъществяване на целта е необходимо да се определят броя и мястото на контролните точки за измерване на вибрациите, така че с минимален брой измервателни точки да се получи достатъчна информация за вибрационното състояние на механизма подложен на контрол.

Обект на експерименталната работа е нищелковият механизъм на тъкачен стан с гъвкави папири "Vamatex Leonardo". От предварителни теоретични изследвания представени в [10] се установяват най-натоварените кинематични двоици от нищелковия механизъм. Контролът за текущото състояние е съсредоточен въз основа на получените резултати от направеното теоретично изследване.

## Физична постановка на експерименталната работа.

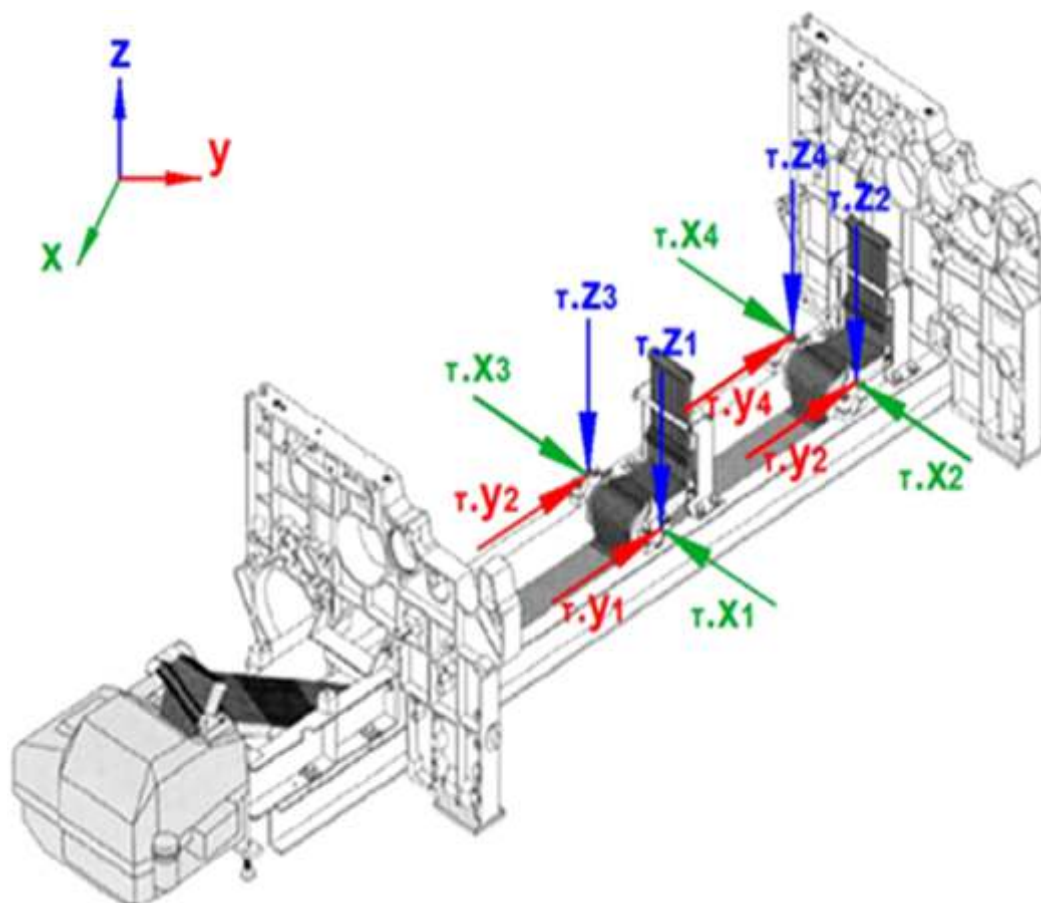
Чрез резултатите от теоретичното изследване на нищелковия механизъм са установени най-натоварените кинематични двоици от механизма. Това са точките  $C$  и  $C_1$ , показани на кинематичната схема представена на **Фигура 1**. Въз основа на това, измерването на вибрациите е съсредоточено в съответните точки.



**Фигура 1** Кинематична схема на нищелков механизъм на тъкачен стан "Vamatex Leonardo"

На **Фигура 2** са показани мястото и точките на измерване на вибрациите. Измерването се извършва в четири точки в три направления: аксиално (x), радиално-хоризонтално (y), и

радиално-вертикално (z). В зависимост от приетата последователност и вида на направлението на измерване са приети означенията представени в **Таблица 1**.



**Фигура 2** Място и направление на точките на измерване

**t. x** - аксиално направление, **t. y** - радиално хоризонтално, **t. z** - радиално вертикално

**Таблица 1**

Означения на точките на измерване на вибрациите

| № на измервателна точка | Направление на измерване | Означение |
|-------------------------|--------------------------|-----------|
| 1                       | аксиално                 | $x_1$     |
|                         | радиално-хоризонтално    | $y_1$     |
|                         | радиално-вертикално      | $z_1$     |
| 2                       | аксиално                 | $x_2$     |
|                         | радиално-хоризонтално    | $y_2$     |
|                         | радиално-вертикално      | $z_2$     |
| 3                       | аксиално                 | $x_3$     |
|                         | радиално-хоризонтално    | $y_3$     |
|                         | радиално-вертикално      | $z_3$     |
| 4                       | аксиално                 | $x_4$     |
|                         | радиално-хоризонтално    | $y_4$     |
|                         | радиално-вертикално      | $z_4$     |

### Резултати от проведеното измерване.

За целите на експеримента е необходимо и достатъчно да се използва само един от параметрите характеризиращи вибрациите. Регистрирана е средноквадратичната стойност на виброскоростта ( $V, mm/s RMS$ ) по направление

на измерване ( $v_x$ ,  $v_y$  и  $v_z$ ) и измервателни точки (т. 1, т. 2, т. 3 и т. 4). В таблица 2 са представени измерените стойности на виброскоростта за всички машини подложени на експерименталното изследване.

**Таблица 2**

Измерени стойности на виброскорост

| <b>Виброскорост, <math>v</math> (mm/s), <math>RMS</math></b> |                                                |              |              |              |              |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| № на тъкачната машина                                        | Измервателна точка<br>Направление на измерване | т. 1         | т. 2         | т. 3         | т. 4         |
| <b>L 306</b>                                                 | $v_x$                                          | 3,86         | 3,80         | 8,12         | 4,65         |
|                                                              | $v_y$                                          | 5,46         | 4,75         | 5,16         | 4,90         |
|                                                              | $v_z$                                          | 8,41         | 4,30         | 7,37         | 5,60         |
|                                                              | $v_{xyz}$                                      | <b>10,74</b> | <b>7,45</b>  | <b>12,12</b> | <b>8,77</b>  |
| <b>L 311</b>                                                 | $v_x$                                          | 3,89         | 4,89         | 5,19         | 5,93         |
|                                                              | $v_y$                                          | 3,52         | 9,41         | 7,35         | 6,99         |
|                                                              | $v_z$                                          | 9,45         | 11,08        | 10,89        | 2,62         |
|                                                              | $v_{xyz}$                                      | <b>10,81</b> | <b>15,34</b> | <b>14,13</b> | <b>9,53</b>  |
| <b>L 313</b>                                                 | $v_x$                                          | 5,64         | 3,89         | 7,09         | 5,03         |
|                                                              | $v_y$                                          | 6,76         | 4,88         | 9,961        | 5,37         |
|                                                              | $v_z$                                          | 7,42         | 10,70        | 0,32         | 9,39         |
|                                                              | $v_{xyz}$                                      | <b>11,71</b> | <b>12,39</b> | <b>16,00</b> | <b>12,33</b> |
| <b>L 305</b>                                                 | $v_x$                                          | 2,64         | 3,62         | 3,19         | 3,53         |
|                                                              | $v_y$                                          | 3,52         | 5,41         | 4,30         | 4,99         |
|                                                              | $v_z$                                          | 4,45         | 7,08         | 7,89         | 6,22         |
|                                                              | $v_{xyz}$                                      | <b>7,00</b>  | <b>9,62</b>  | <b>9,54</b>  | <b>8,72</b>  |
| <b>L 314</b>                                                 | $v_x$                                          | 3,31         | 3,93         | 3,74         | 2,96         |
|                                                              | $v_y$                                          | 4,86         | 4,67         | 3,95         | 3,92         |
|                                                              | $v_z$                                          | 5,37         | 8,32         | 5,83         | 6,63         |
|                                                              | $v_{xyz}$                                      | <b>7,96</b>  | <b>10,32</b> | <b>7,97</b>  | <b>8,25</b>  |
| <b>L 318</b>                                                 | $v_x$                                          | 2,93         | 3,42         | 3,91         | 3,31         |
|                                                              | $v_y$                                          | 4,62         | 5,12         | 4,95         | 4,92         |
|                                                              | $v_z$                                          | 5,07         | 6,32         | 5,97         | 6,46         |
|                                                              | $v_{xyz}$                                      | <b>7,46</b>  | <b>8,82</b>  | <b>8,69</b>  | <b>8,77</b>  |

С  $v_{xyz}$  е означена общата стойност на вибрациите по направление на измерване, която се определя по зависимостта:

$$v_{xyz} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (1)$$

От проведеното измерване се вижда, че стойностите на виброскоростта в радиално направление (по  $y$  и  $z$ ) са по-големи от тези в аксиално, което е обуславя посоката на движение на звената от механизма. В радиално-вертикално направление ( $z$ ) в повечето от точките на измерване са регистрирани най-

големи стойности, спрямо другите. Това се дължи на по-голямото натоварване във вертикална посока, което освен всички други величини влияещи на натовареността на звената, тук влияят и опъновите сили от основните нишки, пораждащи се от образуването на тъкачната уста.

Също така може да се направи сравнение между стойностите на измервания параметър на вибрациите в зависимост от машините с по-голям брой откази спрямо тези с по-малък, което показва, че станове с повече откази близо до установената горна контролна граница са регистрирани по-големи стойности.

Това доказва, че вибрациите могат да се използват като диагностични признаци и в тъкачните машини.

### Анализ и дискусия на експерименталните измервания на вибрациите.

В зависимост от поставените цел и задачи в настоящата глава статистическия анализ се характеризира като диагностичен. При този тип е подходящо да се използва корелационен анализ чрез, който може да се намалят броя на измервателните точки, което е една от задачите за постигане на целта.

Получените стойности на общата вибрация служат за статистически данни за определяне

на коефициенти на корелация, които с помощта на корелационен анализ определят до каква степен (количеството на силата на взаимовръзката) няколко множества от стойности са линейно свързани. В случая множествата се състоят от общата стойност на виброскоростта за всички машини в зависимост от различните измервателни точки.

Статистическата извадка необходима за провеждане на корелационния анализ е представена в **Таблица 3**. За удобство при извършване на анализа се приемат буквени означения вместо числови за измервателните точки, които са представени в същата таблица.

**Таблица 3**

Статистическа извадка за корелационен анализ

| Измервателна точка<br>Направление на измерване | Обща стойност на виброскорост<br>( $V_{xyz}$ , RMS, mm/s) |          |          |          |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------|----------|----------|
|                                                | т. 1                                                      | т. 2     | т. 3     | т. 4     |
|                                                | <i>a</i>                                                  | <i>b</i> | <i>c</i> | <i>d</i> |
| L 306                                          | 10,74                                                     | 7,45     | 12,12    | 8,77     |
| L 311                                          | 10,81                                                     | 15,34    | 14,13    | 9,53     |
| L 313                                          | 11,71                                                     | 12,39    | 16,00    | 12,33    |
| L 305                                          | 7,00                                                      | 9,62     | 9,54     | 8,72     |
| L 314                                          | 7,96                                                      | 10,32    | 7,97     | 8,25     |
| L 318                                          | 7,46                                                      | 8,82     | 8,69     | 8,77     |

### • Определяне на коефициента на корелация.

Коефициента на корелация се изчислява по зависимостта:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n \cdot s_x \cdot s_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

където  $\bar{x}$  и  $\bar{y}$  са средната аритметична стойност на множествата  $x_i$  и  $y_i$ ,

$s_x$  и  $s_y$  - стандартното отклонение на множествата  $x_i$  и  $y_i$ , което се изчислява по следни формули:

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad \text{и} \quad s_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n}} \quad (3)$$

$n$  - броят на стойностите на  $x$  и  $y$ .

В **Таблица 4** са представени показателите за изчисляване на корелационните коефициенти.

**Таблица 4**

Работна таблица за изчисляване коефициента на корелация

| $r_{ab}$ |                  |                 |                     |                   |                 |                     |                                         |
|----------|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|-----------------|---------------------|-----------------------------------------|
| №        | $a_i$            | $a_i - \bar{a}$ | $(a_i - \bar{a})^2$ | $b_i$             | $b_i - \bar{b}$ | $(b_i - \bar{b})^2$ | $(a_i - \bar{a}) \cdot (b_i - \bar{b})$ |
| 1        | 10,74            | 1,46            | 2,13                | 7,45              | -3,20           | 10,27               | -4,67                                   |
| 2        | 10,81            | 1,53            | 2,33                | 15,34             | 4,68            | 21,91               | 7,15                                    |
| 3        | 11,71            | 2,43            | 5,90                | 12,39             | 1,73            | 3,00                | 4,20                                    |
| 4        | 7,00             | -2,28           | 5,18                | 9,62              | -1,04           | 1,08                | 2,36                                    |
| 5        | 7,96             | -1,32           | 1,74                | 10,32             | -0,34           | 0,11                | 0,44                                    |
| 6        | 7,46             | -1,82           | 3,32                | 8,82              | -1,83           | 3,36                | 3,34                                    |
|          | $\bar{a} = 9,28$ |                 | $\Sigma 20,59$      | $\bar{b} = 10,66$ |                 | $\Sigma 39,73$      | $\Sigma 12,83$                          |

Продължение (Таблица 4)

| $r_{ac}$ |                   |                 |                     |                   |                 |                     |                                         |
|----------|-------------------|-----------------|---------------------|-------------------|-----------------|---------------------|-----------------------------------------|
| №        | $a_i$             | $a_i - \bar{a}$ | $(a_i - \bar{a})^2$ | $c_i$             | $c_i - \bar{c}$ | $(c_i - \bar{c})^2$ | $(a_i - \bar{a}) \cdot (c_i - \bar{c})$ |
| 1        | 10,74             | 1,46            | 2,13                | 12,12             | 0,71            | 0,51                | 1,04                                    |
| 2        | 10,81             | 1,53            | 2,33                | 14,13             | 2,72            | 7,40                | 4,16                                    |
| 3        | 11,71             | 2,43            | 5,90                | 16,00             | 4,59            | 21,09               | 11,15                                   |
| 4        | 7,00              | -2,28           | 5,18                | 9,54              | -1,87           | 3,50                | 4,26                                    |
| 5        | 7,96              | -1,32           | 1,74                | 7,97              | -3,43           | 11,78               | 4,52                                    |
| 6        | 7,46              | -1,82           | 3,32                | 8,69              | -2,72           | 7,40                | 4,96                                    |
|          | $\bar{a} = 9,28$  |                 | $\Sigma 20,59$      | $\bar{c} = 11,41$ |                 | $\Sigma 51,69$      | $\Sigma 30,09$                          |
| $r_{ad}$ |                   |                 |                     |                   |                 |                     |                                         |
| №        | $a_i$             | $a_i - \bar{a}$ | $(a_i - \bar{a})^2$ | $d_i$             | $d_i - \bar{d}$ | $(d_i - \bar{d})^2$ | $(a_i - \bar{a}) \cdot (d_i - \bar{d})$ |
| 1        | 10,74             | 1,46            | 2,13                | 8,77              | -0,62           | 0,39                | -0,91                                   |
| 2        | 10,81             | 1,53            | 2,33                | 9,53              | 0,14            | 0,02                | 0,21                                    |
| 3        | 11,71             | 2,43            | 5,90                | 12,33             | 2,93            | 8,61                | 7,12                                    |
| 4        | 7,00              | -2,28           | 5,18                | 8,72              | -0,68           | 0,46                | 1,54                                    |
| 5        | 7,96              | -1,32           | 1,74                | 8,25              | -1,15           | 1,31                | 1,51                                    |
| 6        | 7,46              | -1,82           | 3,32                | 8,77              | -0,63           | 0,39                | 1,14                                    |
|          | $\bar{a} = 9,28$  |                 | $\Sigma 20,59$      | $\bar{d} = 9,40$  |                 | $\Sigma 11,17$      | $\Sigma 10,62$                          |
| $r_{bc}$ |                   |                 |                     |                   |                 |                     |                                         |
| №        | $b_i$             | $b_i - \bar{b}$ | $(b_i - \bar{b})^2$ | $c_i$             | $c_i - \bar{c}$ | $(c_i - \bar{c})^2$ | $(b_i - \bar{b}) \cdot (c_i - \bar{c})$ |
| 1        | 7,45              | -3,20           | 10,27               | 12,12             | 0,71            | 0,51                | -2,28                                   |
| 2        | 15,34             | 4,68            | 21,91               | 14,13             | 2,72            | 7,40                | 12,73                                   |
| 3        | 12,39             | 1,73            | 3,00                | 16,00             | 4,59            | 21,09               | 7,95                                    |
| 4        | 9,62              | -1,04           | 1,08                | 9,54              | -1,87           | 3,50                | 1,94                                    |
| 5        | 10,32             | -0,34           | 0,11                | 7,97              | -3,43           | 11,78               | 1,16                                    |
| 6        | 8,82              | -1,83           | 3,36                | 8,69              | -2,72           | 7,40                | 4,99                                    |
|          | $\bar{b} = 10,66$ |                 | $\Sigma 39,73$      | $\bar{c} = 11,41$ |                 | $\Sigma 51,69$      | $\Sigma 26,49$                          |
| $r_{bd}$ |                   |                 |                     |                   |                 |                     |                                         |
| №        | $b_i$             | $b_i - \bar{b}$ | $(b_i - \bar{b})^2$ | $d_i$             | $d_i - \bar{d}$ | $(d_i - \bar{d})^2$ | $(b_i - \bar{b}) \cdot (d_i - \bar{d})$ |
| 1        | 7,45              | -3,20           | 10,27               | 8,77              | -0,63           | 0,39                | 1,99                                    |
| 2        | 15,34             | 4,68            | 21,91               | 9,53              | 0,13            | 0,02                | 0,64                                    |
| 3        | 12,39             | 1,73            | 3,00                | 12,33             | 2,93            | 8,61                | 5,08                                    |
| 4        | 9,62              | -1,04           | 1,08                | 8,72              | -0,68           | 0,46                | 0,70                                    |
| 5        | 10,32             | -0,34           | 0,11                | 8,25              | -1,15           | 1,31                | 0,39                                    |
| 6        | 8,82              | -1,83           | 3,36                | 8,77              | -0,63           | 0,39                | 1,15                                    |
|          | $\bar{b} = 10,66$ |                 | $\Sigma 39,73$      | $\bar{d} = 9,40$  |                 | $\Sigma 11,17$      | $\Sigma 9,45$                           |
| $r_{cd}$ |                   |                 |                     |                   |                 |                     |                                         |
| №        | $c_i$             | $c_i - \bar{c}$ | $(c_i - \bar{c})^2$ | $d_i$             | $d_i - \bar{d}$ | $(d_i - \bar{d})^2$ | $(c_i - \bar{c}) \cdot (d_i - \bar{d})$ |
| 1        | 12,12             | 0,71            | 0,51                | 8,77              | -0,63           | 0,39                | -0,44                                   |
| 2        | 14,13             | 2,72            | 7,40                | 9,53              | 0,13            | 0,02                | 0,37                                    |
| 3        | 16,00             | 4,59            | 21,09               | 12,33             | 2,93            | 8,61                | 13,47                                   |
| 4        | 9,54              | -1,87           | 3,50                | 8,72              | -0,68           | 0,46                | 1,26                                    |
| 5        | 7,97              | -3,43           | 11,78               | 8,25              | -1,15           | 1,31                | 3,93                                    |
| 6        | 8,69              | -2,72           | 7,40                | 8,77              | -0,63           | 0,39                | 1,71                                    |
|          | $\bar{c} = 11,41$ |                 | $\Sigma 51,69$      | $\bar{d} = 9,40$  |                 | $\Sigma 11,17$      | $\Sigma 22,31$                          |



По формулите от (4) до (9) са изчислени корелационните коефициенти.

$$r_{ab} = \frac{\Sigma(a_i - \bar{a})(b_i - \bar{b})}{\sqrt{\Sigma(a_i - \bar{a})^2 \Sigma(b_i - \bar{b})^2}} = \frac{12,83}{\sqrt{20,29.39,73}} = 0,45 \quad (4)$$

$$r_{ac} = \frac{\Sigma(a_i - \bar{a})(c_i - \bar{c})}{\sqrt{\Sigma(a_i - \bar{a})^2 \Sigma(c_i - \bar{c})^2}} = \frac{30,09}{\sqrt{20,29.51,69}} = 0,92 \quad (5)$$

$$r_{ad} = \frac{\Sigma(a_i - \bar{a})(d_i - \bar{d})}{\sqrt{\Sigma(a_i - \bar{a})^2 \Sigma(d_i - \bar{d})^2}} = \frac{10,62}{\sqrt{20,29.11,17}} = 0,70 \quad (6)$$

$$r_{bc} = \frac{\Sigma(b_i - \bar{b})(c_i - \bar{c})}{\sqrt{\Sigma(b_i - \bar{b})^2 \Sigma(c_i - \bar{c})^2}} = \frac{26,29}{\sqrt{39,73.51,69}} = 0,58 \quad (7)$$

$$r_{bd} = \frac{\Sigma(b_i - \bar{b})(d_i - \bar{d})}{\sqrt{\Sigma(b_i - \bar{b})^2 \Sigma(d_i - \bar{d})^2}} = \frac{9,45}{\sqrt{39,73.11,17}} = 0,48 \quad (8)$$

$$r_{cd} = \frac{\Sigma(c_i - \bar{c})(d_i - \bar{d})}{\sqrt{\Sigma(c_i - \bar{c})^2 \Sigma(d_i - \bar{d})^2}} = \frac{22,10}{\sqrt{51,69.13,59}} = 0,85 \quad (9)$$

Коефициентът на корелация трябва да удовлетворява следното неравенство:

$$-1 \leq r_{xy} \leq +1 \quad (10)$$

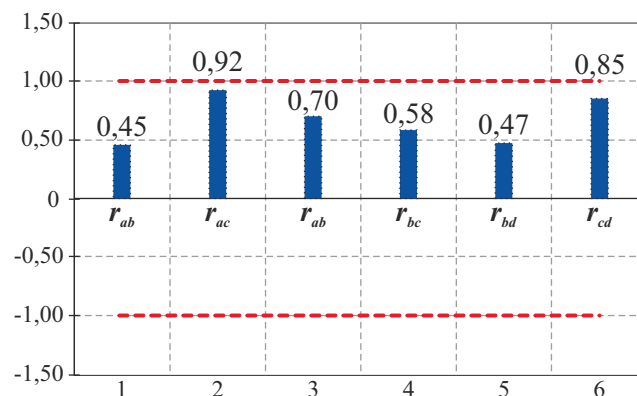
При  $r_{xy} = 0$  означава, че между показателите  $x_i$  и  $y_i$  не съществува корелационна зависимост, но и не съществува каквато и да е статистическа зависимост. Когато  $r_{xy} = \pm 1$  означава, че има пряка функционална зависимост между изследваните показатели, а знака показва посоката на връзката. За абсолютната стойност на коефициента на корелация съществуват някои емпирични правила, които могат да се използват при интерпретацията му [11, 12, 13] (**Таблица 5**):

**Таблица 5**

Емпирични правила за интерпретация на корелационния коефициент

| Стойност на $r_{xy}$ | Големината на силата на зависимост |
|----------------------|------------------------------------|
| 0,00 ÷ 0,30          | слаба                              |
| 0,31 ÷ 0,50          | умерена                            |
| 0,51 ÷ 0,70          | значителна                         |
| 0,71 ÷ 0,90          | силна                              |
| 0,91 ÷ 1,00          | много силна                        |

На **Фигура 3** са изобразени графично получените корелационни коефициенти.



**Фигура 3** Изчислени коефициенти на корелация

Резултатите от изчислените стойности на корелационните коефициенти показват различни по сила взаимовръзки между отделните измервателни точки. Според емпиричните правила за интерпретация на корелационния коефициент, може да се сравнят изчислените стойности с представените в **Таблица 5**.

От графика на **Фигура 3** се вижда, че  $r_{ac}$ ,  $r_{cd}$  и  $r_{ad}$  са с много силна, силна и значителна зависимост, а останалите са умерена зависимост. Следователно вибросигналите от измервателните точки, които имат голяма степен на взаимовръзка са статистически линейно зависими. Тогава може да се избере само по една от точките на измерване.

В следствие на получените стойности за корелационните коефициенти  $r_{ac}$ ,  $r_{cd}$  и  $r_{ad}$  са обект на проверка за потвърждаване на хипотезата, която се представя. За доказване на това твърдение за статистическата сигурност на изчислените коефициенти на корелация ( $r_{ac}$ ,  $r_{cd}$  и  $r_{ad}$ ) може да се направи чрез  $t$ -критерий (критерий на Стюдънт):

$$t_{ac} = \frac{|r_{ac}|}{\sqrt{1-r_{ac}^2}} \cdot \sqrt{n-2} = \frac{0,92}{\sqrt{1-0,92^2}} \cdot \sqrt{6-2} = 4,69$$

$$t_{ad} = \frac{|r_{ad}|}{\sqrt{1-r_{ad}^2}} \cdot \sqrt{n-2} = \frac{0,70}{\sqrt{1-0,70^2}} \cdot \sqrt{6-2} = 1,96 \quad (11)$$

$$t_{cd} = \frac{|r_{cd}|}{\sqrt{1-r_{cd}^2}} \cdot \sqrt{n-2} = \frac{0,85}{\sqrt{1-0,85^2}} \cdot \sqrt{6-2} = 3,23$$

Получените стойности за  $t_{ac}$ ,  $t_{ad}$  и  $t_{cd}$  се съпоставят с данни от таблици приложени в статистическата литература за степен на свобода  $f = n - 2$ , където ( $n = 6$ ) е броят на изследваните величини. Теоретичната стойност за критерия на Стюдънт при статистическа вероятност  $S = 95\%$  и степени на свобода  $f = 4$  е  $t_T = 2,78$ . Следователно за  $r_{ac}$  и  $r_{cd}$  може да се твърди, че е налице пряка корелационна връзка, тъй като  $t_{ac} = 4,69 > t_T = 2,78$  и  $t_{cd} = 3,23 > t_T = 2,78$ , а при  $t_{ad} = 1,96 < t_T = 2,78$  не е налице такава. Въз основа на това хипотезата за линейна зависимост на статистическите показатели (виброскорост) между точки на измерване **a** (т.1) и **c** (т. 3), **c** (т. 3) и **d** (т. 4) се приема, а между **a** (т. 1) и **d** (т. 4) се отхвърля.

### Заклучение

Резултатите от проведения статистически анализ показват, че е достатъчно да се използва само една от точките на измерване (т. 1, т. 3 и т. 4), която да бъде приета като контролна или представителна за вибрационното поведение на нищелковия механизъм.

Минимизацията на контролни точки за измерване на вибрациите в отделните работни органи на тъкачния стан е подходяща за тъкачната техника, поради нейната сложна конструкция. С това се облекчава недостъпността на някои от контролните точки.

Предложеният модел в разработката е неизменна част от съставяне на маршрут за цялостен вибро-контрол на тъкачната машина. Използването на представената последователност позволява да се установят представителни точки за определяне на техническото състояние посредством вибрациите и на останалите механизми в тъкачната машина. Това от своя страна представя общата картина на вибрационното състояние на тъкачния стан.

С периодичното регистриране и архивиране на данни за механичните трептения се дава възможност за съставяне на статистическа извадка за определяне на контролни граници на измерваните величини. Това позволява бързо и ефективно диагностициране и прогнозиране на техническото състояние на конкретните машини и механизми. Като Определянето на равнището на възникващите вибрации в изследвания механизъм е предмет на следваща разработка.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Minchev, N., V. Grigorov, Vibro-diagnostics na rotatzionni i butalni mashini, Tehnika, Sofia, 1988.
2. Klimova, V., Tekhnicheskaya diagnostika mashin tekstil'noy i legkoy promyshlenosti, Moskva, 1982.
3. Genkin, M., A. Sokolova, Vibroakusticheskaya diagnostika mashin i mekhanizmov, Mashinistroyeniye, Moskva, 1987.
4. Gerike, B., Monitorinr i diarnostika tekhnicheskoro sostoyaniye mashinnyx i agepatov, Chast 1, Kamerovo, 1999.
5. Gerike, B., Monitorinr i diarnostika tekhnicheskoro sostoyaniye mashinnyx i agepatov, Chast 2, Kamerovo, 1999.
6. Shirman, A., A. Solov'yev, Prakticheskaya vibrodiagnostika i monitoring sostoyaniya mekhanicheskogo oborudovaniya, Moskva, 1996.
7. 64 Al-Badour, F., L. Cheded, B. Isayed, "Vibration monitoring and fault detection using time-frequency techniques", in: 4th IEEE International Multi- Conference on Systems, Signals and Devices SSD07, Hamamet, Tunisia, 2007.
8. Gorelik, A., The general approach to construction of technical diagnostics systems, Riga, 1983.
9. Sasaki, T., Y. Nakamura, Real-time bispectral analysis of gear noise application to contactless diagnosis. J. of Acoust. Soc. of America, 1977, v.62, No.2, p382.
10. Dimitrov, K., M. Tzoneva, I. Rahnev, P. Genova, Silov analiz na nishtelkov mehanizam na takachen stan s gavkavi rapiri "Vamatex Leonardo", Mehanika na mashinite, 2015.
11. Kevorkyan, A., J. Jelev, L., Lozanov, N. Lozanov, I. Dimitrova, N. Nikolova, Statisticheski kontrol v tekstilnata i shevnata promishlenost, Tehnika, Sofia, 1980.
12. Kevorkyan A., G. Georgiev, Prilozhenie na matematicheskata statistika v tekstilnata promishlenost, Tehnika, Sofia, 1969.
13. Smith, M. J., Statistical Analysis Handbook, The Winchelsea Press, Winchelsea, UK, 2015.