

რამაზ ცერცვაძე

ტექნოლოგიური აგრეგატების ელექტროავტომატიკის სქემების
სტანდარტიზაციისა და ოპტიმიზაციის მეთოდების დამუშავება და
გამოკვლევა

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
ივლისი 2008

საავტორო უფლება © 2008 „რამაზ ცერცვაძე, 2008“

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით რამაზ ცერცვაძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: ტექნოლოგიური აგრეგატების ელექტროავტომატიკის სქემების სტანდარტიზაციისა და ოპტიმიზაციის მეთოდების დამუშავება და გამოკვლევა და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

ხელმძღვანელი: _____ ი. ზედგინიძე

რეცენზენტი: _____

რეცენზენტი: _____

რეცენზენტი: _____

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2009

ავტორი: რამაზ ცერცვაძე

დასახელება: ტექნოლოგიური აგრეგატების ელექტროავტომა-
ტიკის სქემების სტანდარტიზაციისა და ოპტიმი-
ზაციის მეთოდების დამუშავება და გამოკვლევა

ფაკულტეტი : ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების

ხარისხი: დოქტორის აკადემიური ხარისხი

სხდომა ჩატარდა:

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ
ზემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის
შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების
უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც
მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან
სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი
ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო
უფლებებით დაცული მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა
ის მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ
მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია
სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს
პასუხისმგებლობას.

რ ე ზ ი უ მ ე

სადისერტაციო ნაშრომის მიზანია სხვადასხვა ტექნოლოგიური აგრეგატების მართვის სქემებში გამოყენებული სარელეო აპარატებისათვის ოპტიმალური პარამეტრული რიგების შერჩევა და ასევე ახალი მეთოდებით მართვის სქემების გამოსახვის, შედგენისა და აღწერის ეფექტურობის განსაზღვრა.

სარელეო აპარატების ერთ-ერთ ძირითად მახასიათებელს წარმოადგენს ჩამკეტი და გამსხნელი კონტაქტების რაოდენობა, რომლებიც ახდენენ ძირითად გავლენას როგორც ელექტროაპარატის ფასზე, ასევე მის სტრუქტურაზე.

იმისათვის, რომ დადგინდეს რეალურად მოქმედი კონტაქტების განაწილების კანონები, ცხრილების დახმარებით მოხდა შემთხვევითი სიდიდეების ($X_o, X_p, Y_o, Y_p, Z_o, Z_p$) ფარდობითი სიხშირეების პოლიგონების აგება.

მათემატიკური მოლოდინი W_o საშუალოდ ორჯერ აღემატება ასეთივეს W_p . ეს იმის მანიშნებელია, რომ ადგილი აქვს საწარმოო სიმძლავრეებისა და ელექტროაპარატების ქარხნების რესურსების გადახარჯვას.

ჩატარებულმა ანალიზმა გვაჩვენა, რომ არსებობს დამოკიდებულება როგორც X_o და Y_o , ასევე X_p და Y_p -ს შორის.

პრინციპიალური და სამონტაჟო სქემების სტატისტიკური დამუშავების შედეგად განისაზღვრა მათ შორის კორელაციური დამოკიდებულებები. და აგრეთვე განისაზღვრა დისკრეტულ ორგანზომილებიანი შემთხვევითი სიდიდის განაწილების კანონი, როგორც ემპირიული, ასევე თეორიული.

პარამეტრული რიგის ოპტიმიზაციისათვის აუცილებელია ვიცოდეთ „მოთხოვნის ფუნქცია“ და „ხარჯვის ფუნქცია“.

სარელეო აპარატის ფასი იზრდება ჩამკეტი და გამსხნელი კონტაქტების Z ჯამური რაოდენობის ზრდასთან ერთად. სადისერტაციო ნაშრომში გადაწყვეტილია ერთპარამეტრიანი რიგის $\{Z_n\}$ ოპტიმიზაციის ამოცანა. მაგრამ საბოლოო ჯამში ჩვენთვის საინტერესოა არა ერთ-

პარამეტრიანი ოპტიმალური რიგი $\{Z_n\}$, არამედ ორპარამეტრიანი რიგი.

ოპტიმალურ ერთპარამეტრიან რიგს $\{Z_n\}$ შეესაბამება რამდენიმე ორპარამეტრიანი რიგი. ელექტროაპარატების ოპტიმალური ორპარამეტრიანი რიგის ამოცანა იყოფა ორ ნაწილად. პირველ ნაწილში აირჩევა პარამეტრული რიგი $\{Z_n\}$, რომელიც უზრუნველყოფს დანახარჯების ფუნქციის მინიმუმს, ხოლო მეორე ნაწილში მოხდება პარამეტრული რიგის ოპტიმიზაცია იმ პირობებში, რომ ადგილი ჰქონდეს მართვის სქემებში ელექტროაპარატის კონტაქტების ნაკლებ გადახარჯვას და მათ თანაბრად წარდგენას.

დანახარჯების ფუნქცია გამოთვლილია რ. ბელმანის ფორმულით.

დანახარჯების ფუნქციის მინიმუმის გათვალისწინებით ჩატარებული ოპტიმიზაციამ გვაჩვენა, რომ ჩარხების მართვის სქემებში ყველა ელექტროაპარატი ჯამური კონტაქტებით 2 და 3 შეიძლება შეიცვალოს ელექტროაპარატებით ჯამური კონტაქტით 4.

ჩატარებული ოპტიმიზაციის შედეგად ელექტროაპარატების სახეობები შემცირდა 19-დან 14-მდე, ხოლო ჯამური დანახარჯები შემცირდა 2,449-დან 2,2372 პირობით ერთეულამდე.

ელექტროავტომატიკის სქემების ანალიზმა აჩვენა რომ თანამედროვე პირობებში არ არსებობს სხვადასხვა ტექნოლოგიური მანქანების მართვის სქემების დაპროექტების, გამოსახვისა და აღწერის ერთიანი სისტემა.

სადისერტაციო ნაშრომში წარმოდგენილია რიგი მარტივი მეთოდებისა, რომლებიც უზრუნველყოფენ მართვის სქემების გამოსახვისა და აღწერის მოწესრიგებას.

მართვის სქემების გამოსახვის კოორდინატული მეთოდი მდგომარეობს შემდეგში:

ყველა ელექტროაპარატი პრინციპიალურ სქემებზე აღინიშნება ერთასოიანი ინდექსირებული სიმბოლოებით. კონტაქტები პრინციპიალურ სქემებზე აღინიშნება ისეთივე ინდექსირებული სიმბოლოებით, როგორც ელექტროაპარატები, რომელთაც ისინი მიეკუთვნებიან. კონტაქტები, რომლებიც ეკუთვნიან ერთ ელექტროაპარატს, უნდა განვალაგოთ ვერტიკალურ ხაზებში.

ამ მეთოდის გამოყენების შედეგად სქემა ხდება უფრო თვალსა-

ჩინო და ადვილდება თითოეული აპარატის კონტაქტების აღრიცხვა.

პრინციპიალური სქემების გამოსახვის კოორდინატული მეთოდი საშუალებას იძლევა, ელექტრული სქემების მუშაობის პრინციპის აღწერა მოხდეს არა სიტყვიერი ფორმით, არამედ ციფრების დახმარებით მატრიცული სახით.

მართვის სქემების მატრიცული მეთოდით წარმოდგენა – ეს არის მათი გამოსახვა კვადრატულ ბადეზე, რომელთა უჯრედებში უნდა იქნეს მითითებული, ჩართულია თუ არა იქ კონტაქტი და თუ არის, კონკრეტულად რომელი.

წარმოდგენილ სადისერტაციო ნაშრომში ჩატარებული გამოკვლევები საშუალებას იძლევა გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნები:

1. ელექტროავტომატიკის სქემების დაპროექტებაში, გამოსახვასა და აღწერაში არ არსებობს ერთიანი სისტემა.

2. პრინციპიალური სქემების მონაცემებზე დაყრდნობით გამოვლენილი სტატისტიკური დამოკიდებულებები გვიჩვენებს, რომ საშუალოდ ერთ ელექტროაპარატზე მოდის 3,19 კონტაქტი, მათგან 2,33 ჩამკეცია, 0,86 – გამხსნელი.

3. გამოკვლეული პრინციპიალური ელექტროსისტემების ანალიზმა საშუალება მოგვცა, გვეპოვა ჩამკეც და გამხსნელ კონტაქტებს შორის განაწილების ემპირიული კანონები.

4. ელექტრული სქემების ანალიზის შედეგად დადგინდა, რომ არსებობს კორელაციური დამოკიდებულება ჩამკეც და გამხსნელ კონტაქტებს შორის და ეს დამოკიდებულება აღწერილია ანალიტიკურად.

5. შემთხვევითი სიდიდეების: X_0 , Y_0 და X_p , Y_p განაწილების შედარებითმა ანალიზმა გვაჩვენა, რომ მართვის სქემებში ადგილი აქვს ძვირადღირებული დეფიციტური მასალების გადახარჯვას, რის გამოც აუცილებელია დამუშავდეს ელექტროაპარატების კონტაქტებისთვის პარამეტრული რიგების ოპტიმიზაციის ახალი კრიტერიუმები.

6. კონკრეტული ოპტიმიზაციის ამოცანის გადასაწყვეტად გამოყენებულ იქნა დინამიკური პროგრამირების მეთოდი.

7. ნაშრომში გადაჭრილია მართვის სქემებში ელექტროაპარატის ორპარამეტრიანი რიგის განსაზღვრის ამოცანა მინიმალური დანახარჯებით და მათი მართვის სქემებში თანაბრად წარმოდგენით.

8. ჩატარდა ელექტროაპარატების პარამეტრული რიგის ოპტიმიზაცია კონკრეტულად აღებული ერთი მოდიფიკაციის ჩარხებისათვის, რის შედეგადაც მოთხოვნილი აპარატების ნომენკლატურა შემცირდა 19-დან 14-მდე, ხოლო დანახარჯები შემცირდა 2,449-დან 2,3272 პირობით ერთეულამდე.

9. დამუშავებულია ტექნოლოგიური აგრეგატების მართვის სქემების გამოსახვის, აღწერისა და წარმოდგენის კოორდინატული და მატრიცული მეთოდები.

Abstract

Increases in production of high-productive technological aggregates are solving problems of research and standardization of various schemes in a more accurate way of various system of management, executed on RELE apparatus.

Improvement of schemes in electro-automatic allows decreasing consumable (expandable) overall dimension. This allows project managers as well as consumers management systems to use more comfortable and graphic schemes.

In terms of generalized parameters and electric-automatic machinery were produced number of enclosed (X_o , X_p) and open (Y_o , Y_p) contact couples. Those couples are the most influential in the structure of RELE.

In order to define selection we have to make equation of two remote numbers:

1. "Remove average" and 2. "average remote".

Having conducted analyze with precise accuracy ($\epsilon=0,02$) it turned out that it is possible that it is over already at the stage when it is $j=50+52$ organizations.

The next stage is devoted to the research of quality analyze of statistical results of overall research of actual RELE machinery.

In order to apply some order in settlement of actual contacts based on table, there were constructed series of accidental multiplication ($X_o X_p Y_o Y_p$).

In order to apply some order in settlement of actual contacts based on table, there were constructed series of accidental multiplication ($X_o X_p Y_o Y_p$).

However this kind of division is in conflict with each other. In mathematics it is expected W_o to be in average and turn in to W_p . This means that it has a lot of space to change often based on the resources and plant reproduction.

Conducted research proved that there is dependence between X_o and Y_o as well as X_p and Y_p . Based on statistical data there is correlation dependence between $X_o X_p$ and $Y_o Y_p$ as well as there was defined law on division of discreet double accidental increase, in empirical as well as in theoretical fields.

For the optimization of the parametric series, it is necessary to define "function of demand", based on the needs in the apparatus with the different numbers of contacts; and to define "function of expenditure (outlay)", based on the connection of the different types of apparatus and with expenditure of their production and exploitation. Each RELE apparatus has 2 main parameters: X_j and Y_j . Where $i=1, \dots$

.,m; j=1, . . .,n;

$$X_j < X_2 < . . . < X_1 < X_m;$$

$$Y_j < Y_2 < . . . < Y_1 < Y_n;$$

If the “function of demand” is put in the form of matrix Π b_{ij} Π where b_{ij} – demand on manufacture $x_i y_i$, and function of outlay, which defines expenditures on single manufacture of $x_i y_i$, then the task of the optimization goes along with twodimensional apparatus:

$$\{X_{i1} Y_{j1}; X_{i2} Y_{j2}; . . . ; X_{iN} Y_{jN}\}$$

Deference between the $\Delta u_i = u_i - u_{ij}$ and difference in total expenditures serves as criteria to judge the purposefulness to make more precise “function of demand”.

Total expenditures for the parameter lines $Z^N = (Z_1, Z_2, . . . , Z_n)$ is presented as a sum.

x – can be several manufactures.

$g^0(z)$ – permanent expenditures, not depending on the production of these dimension-type.

The price of the apparatus depends on the total quality of the Z enclosed and dispatched contacts.

Based on all these researches we can conclude following:

1. In the electro-automatic schemes there is lack of methods how to use, make it systematic and compare on the typical elements.

2. Reveling of the statistical interdependence, shows that average on 1 RELE apparatus there is 3,19 contacts from where 2,33 enclosed and 0,86 detached.

3. Representation of research on the SEA gave opportunity to find the empiric laws on the distribution of number of enclose and detached contacts.

4. to make an observation on the data of the assembles schemes, created space to define level of fluffiness (plenitude) of the co-related interdependence between X and Y .

5. Comparable analyze of distribution and accidental numerical multiplication $X_o Y_o$ and $X_p Y_p$ indicates on the considerable over-expenditure of the state sources in the assembling of.

6. Based on the research of the using different mathematical methods to resolve optimal tasks.

7. The question of the detention of the single-parameter devices of SEA is solved under the terms of minimizing function of the apparatus.

8. The optimization of the parametric apparatus in the assembled schemes is conducted. As a result, ranking of the needed RELE apparatus decreased from 19 to 14. And expenses on the single scheme decreased from 2,4490 to 2,3272.

9. The coordinates and matrix methods for the illustration, description and presentation of the electro-automatic schemes for the technical equipment is conducted.

Резюме

Целью настоящей работы является определение возможностей создания оптимальных параметрических рядов для релейных аппаратов, применяемых в схемах электроавтоматики (СЭА) устройств автоматического управления (УАУ), а также определить фактическую эффективность в связи применением новых методов изображения, представления, составления и описания СЭА.

В качестве обобщенных параметров электроаппаратов были выбраны число замыкающих (X_o , X_p) и размыкающих (Y_o , Y_p) контактных пар, которые оказывают наибольшее влияние на стоимость и структуру реле.

Чтобы установить законы распределения реально задействованных контактов по данным таблиц были построены полигоны относительных частот случайных величин (X_o X_p Y_o Y_p Z_o Z_r).

Математические ожидания W_o в среднем вдвое превышают таковые W_p . Это означает, что имеет место огромный перерасход средств, производственных мощностей и ресурсов на электроаппаратных заводах.

Проведенный анализ показал, что существует зависимость как между X_o и Y_o так и X_p и Y_p . По данным статистической обработки монтажных и принципиальных СЭА УАУ были определены корреляционные зависимости X_o , Y_o и X_p , Y_p а также были определены законы распределения дискретной двумерной случайной величины как эмпирические так и теоретические.

Для оптимизации параметрического ряда были определены «функция спроса» и «функция затрат».

Стоимость аппарата возрастает в зависимости от суммарного количества Z замыкающих и размыкающих контактов в нем.

Решена оптимизационная задача выбора однопараметрического ряда $\{Z_n\}$. Однако, окончательно нас интересует не оптимальный ряд $\{Z_n\}$, а двухпараметрический ряд. Оптимальному однопараметрическому ряду $\{Z_n\}$ соответствует несколько двухпараметрических рядов.

Задача отыскания оптимального двухпараметрического ряда аппаратов распадается на две. В первой задаче выбирается ряд $\{Z_n\}$, обеспечивающий минимум функции затрат, во второй - производится оптимизация ряда из условия наименьшей избыточности в контактах аппаратов СЭА в условиях

равного их представительства. Функция затрат подсчитана по формуле Р. Беллмана $S(m) = \min [S(i) + f(i,m)]$.

Проведенная оптимизация по минимуму функции затрат показывает, что в СЭА станков все аппараты с суммарным количеством контактов, равным 2 и 3, должны быть заменены аппаратами с суммарным количеством контактов, равным 4.

В результате проведенной оптимизации число видов аппаратов сократилось с 19 до 14, а суммарные затраты на изготовление уменьшились с 2,4490 до 2,3273 в условных единицах.

Анализ электросхем показал, что в настоящее время не существует единого подхода при проектировании, изображении и описании СЭА УАУ различными технологическими машинами.

В работе был разработан ряд простых методов, обеспечивающих упорядоченность изображения и описания принципиальных схем электроавтоматики.

Координатный метод изображения СЭА предусматривает возможность автоматизации процесса проектирования и изображения цикловых схем электроавтоматики.

Согласно алгоритму координатного метода изображения схем управления цикловым оборудованием:

- все электроаппараты обозначаются на принципиальных схемах УАУ индексированными однобуквенными символами. Контакты аппаратуры принципиальных схем обозначаются тем же индексированным символом, что и аппараты, которым они принадлежат;

- контакты, относящиеся к одному аппарату, во всех строках следует располагать в одном и том же столбце.

Все это повышает наглядность схем и облегчает подсчет числа контактов каждого аппарата.

Предлагаемый координатный способ изображения принципиальных СЭА УАУ позволяет представлять их описание не в словесной, а в цифровой матричной форме.

Матричный способ изображения СЭА – это изображение их на квадратной сетке, в ячейках которой нужно лишь указать, задействован ли в ней контакт и, если да, то какой именно.

Проведенные в настоящей работе исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. В схемах электроавтоматики отсутствуют методы их упорядочения, систематизации, сравнения и расчленения на типовые элементы, которые можно было бы нормализовать в первую очередь и впредь использовать в качестве стандартных элементов СЭА.

2. Выявленные по данным принципиальных схем статистические зависимости показывают, что в среднем на один релейный аппарат приходится 3,19 контактов, из которых 2,33 замыкающих и 0,86 размыкающих контактов.

3. Репрезентативность выборки исследуемых принципиальных СЭА позволила найти эмпирические законы распределения числа замыкающих и размыкающих контактов.

4. Обработка наблюдений по данным схем позволила выявить степень полноты корреляционной зависимости между X и Y , описать эту зависимость аналитически.

5. Сравнительный анализ распределений и числовых характеристик случайных величин X_0 , Y_0 и X_p , Y_p указывает на значительный перерасход государственных средств и дорогостоящих дефицитных материалов за счет избыточного их представительства СЭА УАУ, что приводит к необходимости разработки новых критериев оптимизации рядов аппаратов.

6. Произведен анализ применения различных математических методов решения оптимизационных задач, в результате которого для решения конкретной задачи был выбран метод динамического программирования.

7. Поставлена и решена задача определения двухпараметрического ряда аппаратов СЭА при условии минимизации функции затрат, определенной с учетом влияния фактора серийности, а также при условии равномерного представительства аппаратов в схеме.

8. Проведена оптимизация параметрического ряда аппаратов в монтажных схемах группы шлифовальных станков, в результате чего номенклатура требуемых релейных аппаратов уменьшилась с 19 до 14 типов, а стоимость затрат на одну схему снизилась с 2,4490 до 2,3273 условных единиц в оптимизированной схеме.

9. Разработаны координатный и матричный методы изображения, описания и представления схем электроавтоматики для технологического оборудования.

Содержание

	ВВЕДЕНИЕ	21
ГЛАВА 1.	МЕТОДОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СХЕМ ЭЛЕКТРОАВТОМАТИКИ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ	29
1.1.	Анализ методов построения схем электроавтоматики для циклового управления технологическим оборудованием	29
1.2.	Исследование возможности оптимизации схем электроавтоматики по критерию минимальной избыточности Выводы	35 38
ГЛАВА 2.	ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ ЭЛЕКТРОАВТОМАТИКИ ДЛЯ ЦИКЛОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ	39
2.1.	Статистический анализ существующих систем циклового управления технологическим оборудованием	39
2.2.	Определение стохастических связей между количествами закрывающих и размыкающих контактов в аппаратах СЭА ... Выводы	63 94
ГЛАВА 3.	ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ РЯДОВ АППАРАТОВ СХЕМ ЭЛЕКТРОАВТОМАТИКИ	95
3.1.	Математическая модель определения оптимального параметрического ряда	95
3.2.	Особенности задачи оптимизации параметрического ряда аппаратов СЭА	99
3.3.	Выбор математического аппарата метода оптимизации	103
3.4.	Алгоритм вычисления и определение оптимального параметрического ряда на примере СЭА группы шлифовальных станков	105
	Выводы	110
ГЛАВА 4.	МЕТОДЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ И ОПИСАНИЯ ЦИКЛОВЫХ СХЕМ ЭЛЕКТРОАВТОМАТИКИ	111
4.1.	Матричный метод представления и описания СЭА	113
	Выводы	121
	Заключение	122
	Приложение	125
	Литература	133

Список таблиц

Таблица 1. Обозначения, термины и определения	40
Таблица 2. Статистические данные по количеству схем и контактов	46
Таблица 3. Протокол расчета удельных характеристик	47
Таблица 4. Данные для построения гистограмм	49
Таблица 5. Данные для построения гистограмм	49
Таблица 6. Сводка основных результатов	52
Таблица 7. Результаты по статистикам прямых характеристик	55
Таблица 8. Данные по представительству замыкающих контактов	56
Таблица 9. Данные по представительству размыкающих контактов	57
Таблица 10. Данные по представительству общего числа контактов	58
Таблица 11. Корреляционная таблица связей X_0 и Y_0 (монтажные схемы) . .	63
Таблица 12. Корреляционная таблица связей X_p и Y_p (принципиальные схемы)	64
Таблица 13. Закон распределения вероятностей $p(y_0$ и $x_0)$	65
Таблица 14. Закон распределения вероятности $p(y_p$ и $x_p)$	66
Таблица 15. Средние значения \bar{y}_0 / x_0	67
Таблица 16. Средние значения \bar{x}_0 / y_0	67
Таблица 17. Средние значения \bar{y}_p / x_p	67
Таблица 18. Средние значения \bar{x}_p / y_p	67
Таблица 19. Таблица значений X и Y	72
Таблица 20. Ряд распределения замыкающих контактов (X_p) для принципиальных схем	72
Таблица 21. Ряд распределения размыкающих (Y_p) контактов для принципиальных схем	72
Таблица 22. Корреляционная таблица связей X_0 и Y_0 шлифовальной группы	75
Таблица 23. Корреляционная таблица связей X_p и Y_p шлифовальной группы	75
Таблица 24. Закон распределения вероятностей $P(X_0 Y_0)$ шлифовальной группы	76

Таблица 25. Закон распределения вероятностей $P(X_p Y_p)$ шлифовальной группы	76
Таблица 26. Средние значения $\frac{\overline{y_0}}{x_0}, \frac{\overline{x_0}}{y_0}, \frac{\overline{y_p}}{x_p}, \frac{\overline{x_p}}{y_p}$ для шлифовальной группы	77
Таблица 27. Ряд распределения X_p для принципиальных схем шлифовальной группы	77
Таблица 28. Ряд распределения Y_p для принципиальных схем шлифовальной группы	78
Таблица 29. Корреляционная таблица связей X_0 и Y_0 фрезерной группы	79
Таблица 30. Ряд распределения X_p для принципиальных схем фрезерной группы	79
Таблица 31. Ряд распределения Y_p для принципиальных схем фрезерной группы	80
Таблица 32. Корреляционная таблица связей X_p и Y_p фрезерной группы	80
Таблица 33. Закон распределения вероятностей $P(X_0 Y_0)$ фрезерной группы	80
Таблица 34. Закон распределения вероятностей $P(X_p, Y_p)$ фрезерной группы	81
Таблица 35. Средние значения $\frac{\overline{y_0}}{x_0}, \frac{\overline{x_0}}{y_0}, \frac{\overline{y_p}}{x_p}, \frac{\overline{x_p}}{y_p}$ для фрезерной группы	81
Таблица 36. Ряд распределения X_p для принципиальных схем фрезерной группы	82
Таблица 37. Ряд распределения Y_p для принципиальных схем фрезерной группы	82
Таблица 38. Корреляционная таблица связей X_0 и Y_0 координатно-расточной группы	84
Таблица 39. Корреляционная таблица связей X_p и Y_p координатно-расточной группы	84
Таблица 40. Закон распределения вероятностей $P(X_0, Y_0)$ координатно-расточной группы	85

Таблица 41. Закон распределения вероятностей $P(X_p, Y_p)$ для координатно-расточной группы	85
Таблица 42. Средние значения для координатно-расточной группы	86
Таблица 43. Ряд распределения X_p для принципиальных схем координатно-расточной группы	87
Таблица 44. Ряд распределения Y_p для принципиальных схем координатно-расточной группы	87
Таблица 45. Корреляционная таблица связей X_0 и Y_0 токарной группы	89
Таблица 46. Корреляционная таблица связей X_p и Y_p токарной группы	89
Таблица 47. Средние значения $\frac{\overline{y_0}}{x_0}, \frac{\overline{x_0}}{y_0}, \frac{\overline{y_p}}{x_p}, \frac{\overline{x_p}}{y_p}$ для токарной группы	90
.	
Таблица 48. Закон распределения вероятностей $P(X_0 Y_0)$ токарной группы	91
Таблица 49. Закон распределения вероятностей $P(X_p Y_p)$ токарной группы	92
Таблица 50. Ряд распределения X_p для принципиальных схем токарной группы	92
Таблица 51. Ряд распределения Y_p для принципиальных схем токарной группы	92
Таблица 52. Данные функции спроса и себестоимости аппаратов	105
Таблица 53. Потребность в аппаратах для станков шлифовальной группы	108

Список рисунков

Рис. 1. Графики удельных характеристик	45
Рис. 2. Гистограмма случайной величины $\frac{z_j}{n_j}$ при ширине классов группирования $\sigma \frac{W}{n}$	50
Рис. 3. Гистограмма случайной величины $\frac{z_j}{n_j}$ при ширине классов группирования $\frac{\sigma \left(\frac{W}{n} \right)}{2}$	50
Рис. 4. Распределение количества контактов в схемах	52
Рис. 5. Полигоны относительных частот для замыкающих контактов x_0, x_1	59
Рис. 6. Полигоны относительных частот для размыкающих контактов y_0, y_p	59
Рис. 7. Полигоны относительных частот для общего количества контактов z_0, z_p	60
Рис. 8. Распределение средней удельных и прямой характеристики	60
Рис. 9. Распределение для величин $\overline{W}_o, \overline{W}_p$	61
Рис. 10. Теоретические и эмпирические распределения замыкающих контактов x_p	74
Рис. 11. Теоретические и эмпирические распределения размыкающих контактов y_p	74
Рис. 12. Теоретические и эмпирические распределения замыкающих контактов x_p шлифовальной группы	78
Рис. 13. Теоретические и эмпирические распределения размыкающих контактов y_p шлифовальной группы	79
Рис. 14. Теоретические и эмпирические распределения замыкающих контактов x_p фрезерной группы	83
Рис. 15. Теоретические и эмпирические распределения размыкающих контактов y_p фрезерной группы	83

Рис. 16. Теоретические и эмпирические распределения замыкающих контактов x_p координатно-расточной группы	88
Рис. 17. Теоретические и эмпирические распределения размыкающих контактов y_p координатно-расточной группы	88
Рис. 18. Теоретические и эмпирические распределения замыкающих контактов x_p токарной группы	93
Рис. 19. Теоретические и эмпирические распределения размыкающих контактов y_p токарной группы	93
Рис. 20. График зависимости стоимости аппарата от количества контактов	102
Рис. 21. Фрагмент принципиальной схемы фрезерно-расточного станка в обыч-ном исполнении	114
Рис. 22. Фрагмент принципиальной схемы фрезерно-расточного станка в коор-динатном исполнении	115
Рис. 23. Фрагмент принципиальной электросхемы фрезерно-расточного станка в матричном изображении	116
Рис. 24. Описание фазы ЦЗ – «отжатие бабки» в циклограмме работы фрезерно-расточного станка	117
Рис. 25. Схема бинарного реле для использования в платах	118
Рис. 26. фрагмент платы матричной СЭА	120

Список аббревиатуры

СПКС – система программ комплексной стандартизации	21
ЕСКД – единая система конструкторской документации	23
НИИ – научно-исследовательский институт	23
УАУ – устройства автоматического управления	24
ОС – ограничительные стандарты	24
ЭА – электроаппараты	25
СУ – система управления	26
СКБ – специальное конструкторское бюро	26
СЭА – схема электроавтоматики	27
ТДА – теория дискретных автоматов	30
НИИТЯЖМАШ – научно-исследовательский институт тяжелого машиностроения	32
ВС – внешний сигнал	118
МЗКРС – Московский завод координатно-расточных станков	121

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшим фактором интенсификации научно-технического прогресса, роста производительности труда и улучшения качества выпускаемой продукции является совершенствование нормативно-технической документации по стандартизации.

Систематическое повышение качества продукции является обязательным требованием развития экономики. Научно-технический прогресс должен быть нацелен на радикальное улучшение использования природных ресурсов, сырья, материалов, топлива и энергии на всех стадиях - от добычи и комплексной переработки сырья до выпуска и использования конечной продукции. Необходимо ускорить темпы снижения материалоемкости, металлоемкости и энергоемкости продукции. Ресурсосбережение станет решающим источником удовлетворения прироста потребностей народного хозяйства в топливе, энергии, сырье и материалах. В центр экономической политики и практической работы выдвигается задача всемерного повышения технического уровня и качества продукции.

С обеспечением качества выпускаемой продукции связаны все стадии процесса воспроизводства - научные исследования, проектирование, изготовление, транспортирование, хранение, эксплуатация, потребление, техническое обслуживание, ремонт и т.д.

Организация работ по стандартизации дала возможность разработки крупных межотраслевых комплексных систем стандартов. Среди них можно отметить Государственную систему стандартизации, Единую систему конструкторской документации, Единую систему технологической документации, Единую систему технологической подготовки производства, системы технической, производственной, плановой, деловой документации и др.

Эти комплексные системы стандартов имеют большое значение для повышения эффективности производства, производительности труда и улучшения качества продукции [34].

В настоящее время разработана система программ комплексной стандартизации (СПКС). Одними из основных задач СПКС являются:

- улучшение использования природных ресурсов, повышение полноты и степени использования сырья;

- улучшение качества металлов, сплавов и изделий из них;
- оптимизация типоразмерных рядов полуфабрикатов из металлов и сплавов;
- снижение норм расхода металлов и сплавов;
- сокращение потерь металлов на всех стадиях производства и потребления - от добычи сырья до эксплуатации готовых изделий;
- совершенствование нормативно-технической документации по стандартизации.

Проблема управления качеством продукции целиком зависит от таких факторов, как:

- технико-экономическое обоснование целесообразности разработки новой продукции;
- выбор номенклатуры материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий;
- оптимизация конструкторских решений;
- испытания, контроль и оценка технического уровня разрабатываемых изделий;
- организационное обеспечение процесса разработки;
- планирование производства и его технической подготовки;
- управление точностью технологических процессов;
- организационное обеспечение производственных процессов;
- управление надежностью выпускаемых изделий;
- управление качеством на стадии эксплуатации.

В настоящее время объектами стандартизации являются как конкретная продукция, так и нормы, правила и обозначения, имеющие перспективу многократного применения. Разнобой в оформлении, содержании и комплектности технической документации осложняет совершенствование организации труда, затрудняет работу по дальнейшей специализации и кооперированию производства, затрудняет передачу производства изделий с одного предприятия на другое.

Поэтому целесообразно разработать единую систему технической документации. Решением НТК, состоящей из специалистов научно-исследовательского института по нормализации в машиностроении и кафедры «Измерительной техники, экспертизы и менеджмента Качества», разработана программа

работ по дальнейшему развитию и совершенствованию ЕСКД.

Планируемый к разработке комплекс государственных стандартов и руководящих документов имеет целью установление единых правил разработки, оформления и обращения конструкторской документации в условиях функционирования автоматизированного проектирования.

Совершенствование ЕСКД предполагает проведение научно-исследовательских работ по основным положениям системы:

- проведение экспериментальных работ по проверке положений с использованием ЭВМ, микрофильмирующей и множительной аппаратуры;
- изменение действующих стандартов ЕСКД и руководящих документов в условиях автоматизации проектирования;
- разработку принципиально новых стандартов.

Разрабатываемый комплекс государственных стандартов и руководящих документов позволит:

- ускорить процесс проектирования и изготовления изделий;
- улучшить качество проектирования изделий;
- повысить эффективность процессов обмена документацией;
- облегчить и ускорить процесс перехода промышленности к автоматизированному проектированию.

Одной из наиболее важных задач в области стандартизации является создание комплекса стандартов по унификации деталей, сборочных единиц и функциональных элементов электрооборудования и систем управления.

Разработка и освоение в производстве унифицированных серий электрооборудования осуществляется более чем по двадцати комплексным программам. К работам по этим программам привлечены не только НИИ и предприятия, но и организации и предприятия стран-участниц Международной организации по научно-техническому и экономическому сотрудничеству в области электротехники (Интер-электро).

Ускорению научно-технического прогресса способствуют работы по унификации, направленные на ограничение неоправданного многообразия номенклатуры электротехнических изделий, находящихся в производстве. Этим целям служат 130 стандартов на параметрические ряды, 150 стандартов на конструкции и размеры деталей и сборочных единиц и около 100 стандартов на

типоразмерные ряды изделий (типажи).

В подавляющем большинстве случаев управление технологическим оборудованием осуществляется посредством устройств автоматического управления (УАУ), выполненных на базе релейно-контактных элементов. Это обусловлено тем, что применение релейных элементов в системах управления для широкой номенклатуры технологического оборудования экономически целесообразно и технически обосновано большим коэффициентом управления, высоким уровнем управляющих сигналов, при которых влияние помех практически исключается, легкостью размножения и преобразования сигналов, разнообразием выполняемых логических операций.

В настоящее время на постсоветском пространстве действующий парк технологического оборудования промышленности состоит более чем из двух миллионов станков-автоматов.

В технологических агрегатах используются десятки и сотни циклических элементов, обеспечивающих заданную последовательность движения рабочих органов управления объекта и введение блокировок, исключающих поломку при неблагоприятных сочетаниях внешних воздействий и ошибках оператора.

В УАУ, как правило, входит свыше 20 электроаппаратов, стоимость которых от 50 рублей до 1500 и более рублей. Принимая, что все аппараты имеют среднюю стоимость 150 рублей, не трудно подсчитать в этом случае общие капиталовложения в УАУ. Они превосходят сумму 200 млн. руб. Сумма эта убедительно показывает на необходимость проведения работ по улучшению эффективности и качества, как самих УАУ, так и элементов, на которых они создаются.

Релейные аппараты, применяемые в УАУ машиностроительной промышленности, имеют весьма широкую номенклатуру, определяемую многообразием предъявляемых к ним требований, зависящих в первую очередь, от их одинакового функционального назначения.

Исследования по ограничению номенклатуры применяемых объектов (стандартизированных деталей, сборочных единиц, функциональных элементов и т.д.), их типоразмеров и марок в изделиях машиностроительной промышленности [1] ещё раз подтверждают необходимость разработки и применения ограничительных стандартов (ОС) для УАУ и их элементов.

Однако, как показано, в работе [2] "... не все типоразмеры и марки,

внесенные в стандарты, находят применение при проектировании и изготовлении изделий ...".

В настоящее время существуют стандарты, посвященные правилам выполнения и описания схем управления на релейных аппаратах, однако ряд вопросов в стандартах освещен не полностью. Условные обозначения в электрических схемах неудобны, они в свою очередь затрудняют чтение схем, составление перечня элементов и текстовых документов, а типоразмерных рядов на электроаппараты (ЭА) в машиностроительной промышленности вообще не существует. Отсутствие нормативных документов, регламентирующих проектирование, изготовление, контроль и испытание средств электроавтоматики устройств автоматического управления не только приводит к снижению серийности производства, повышению трудоемкости и сложности устройств автоматического управления, но и к существенному усложнению ремонта вышедших из строя средств электроавтоматики, невозможности эффективного использования основных методов стандартизации-унификации, агрегатирования и также взаимозаменяемости, что в свою очередь влияет на качество выпускаемой продукции, сложным оказывается также организация проверки, испытания и контроля качества УАУ.

Важнейшими исследованиями по теории релейных схем, способствующими повышению технического уровня, надежности и качества электромагнитных коммутационных элементов, являются работы О. Б. Брона, Б. К. Буля, М. И. Витенберга, И. Е. Декабрун, А. Н. Юрасова, М. А. Гаврилова, В. Н. Рогинского, О. Б. Ершовой, Н. Б. Суторихина, А. В. Гордона, К. К. Намитокова, В. Т. Омельченко, Й. И. Пек-кера, А. В. Дулиня, М. Г. Кобленца, Р. С. Кузнецова, Б. С. Сотскова, М. А. Любчика, А. Г. Сливинской, И. С. Таева, Т. К. Штемберга и зарубежные - Х. Вирни, Х. Майера, В. Мерла, Р. Холма, А. Сека и других.

В последние годы в ряде стран мира, опубликовано большое количество статей в периодической технической литературе и изданы монографии [3-14], посвященные вопросам определения оптимальных параметрических рядов промышленных изделий, унификации и стандартизации элементов и схем УАУ.

На основании этих работ можно сформулировать следующие основные принципы комплексного подхода к построению УАУ:

- единство базовых элементов;

- проблемно-целевая направленность структур;
- широкое использование стандартных и унифицированных элементов и типовых решений;
- системность разработки, внедрения и развития схем;
- автоматизация проектирования систем управления (СУ).

Увеличение выпуска высокопроизводительных технологических агрегатов делает весьма актуальной задачу исследования различных схем управления, выполненных на циклических элементах, имеющих наибольшее применение в станкостроении; невторостепенным является также вопрос об усовершенствовании схем электроавтоматики устройств автоматического управления. Усовершенствование схем электроавтоматики позволяет удешевить их и уменьшить расходуемые габариты, дает возможность как проектировщикам, так и потребителям схем управления пользоваться более удобными и наглядными схемами, что в свою очередь обеспечит улучшение качества выпускаемой продукции и соответственно даст экономический эффект.

До настоящего времени в станкостроительной промышленности вопросы совершенствования связей между предприятиями разрабатывающими УАУ и заводами-изготовителями до сих пор остаются актуальными, поскольку от этого зависят не только сроки внедрения, но и качество нового изделия. Одним из путей совершенствования этих связей является оптимизация типоразмерных рядов элементов УАУ и совершенствование нормативно-технической документации по стандартизации схем систем управления.

В настоящей работе исследованы вопросы выбора типоразмерных рядов для релейных аппаратов, используемых в УАУ станкостроительной промышленности, и принципы проектирования, испытания, контроля, описания, представления и изображения схем релейной электроавтоматики.

Внедрение в станкостроение разработанной методики предусматривает:

- обобщение результатов, полученных после разработки схем управления по новой методике;
- контроль качества применяемых в схемах управления циклических элементов;
- установление номенклатуры для ряда циклических элементов;
- разработку рекомендаций СКБ и станкозаводам по рациональному выбору

и применению малоcontactных циклических элементов

- в системах управления технологическими агрегатами;
- систематизацию схем управления, сравнение и расчленение на типовые элементы, которые используются в качестве стандартных элементов;
- унификацию функциональных блоков схем управления технологическими агрегатами, который позволит ускорить процесс проектирования и изготовления управляющих схем;
- повышение уровня эксплуатации электрооборудования технологических агрегатов на основе применения для циклических элементов защитных средств;
- разработку технически обоснованных требований к предприятиям и организациям по повышению качества и надежности, выпускаемых и проектируемых циклических элементов электрооборудования технологических агрегатов.

Это позволит уменьшить номенклатуру релейных аппаратов, используемых в настоящее время при проектировании УАУ в станкостроительной промышленности, а также повысить эффективность организации проверки испытания и контроля средств электроавтоматики с помощью стендов имитаторов.

В разработке комплекса стандартов по системе управления качеством продукции, а именно, организации контроля схем электроавтоматики (СЭА) устройств автоматического управления технологических агрегатов участвовали: научно-исследовательский отдел стандартизации технологических процессов оборудования и оснащения для обрабатывающего производства и кафедра «Измерительной техники, экспертизы и менеджмента качества» Грузинского технического университета.

В настоящее время разработан и внедрен комплекс стандартов по системе управления качеством продукции в части организации контроля схем электроавтоматики на Московском заводе координатно-расточных станков.

Работа содержит четыре главы и приложение.

В первой главе проведен анализ методов построения схем электроавтоматики и исследованы возможности их оптимизации по критерию минимальной избыточности с целью выбора оптимальных параметрических

рядов аппаратов СЭА, а также для создания единого подхода при проектировании, описании, построении и контроле схем электроавтоматики.

Во второй главе приведен статистический анализ систем циклового управления технологическим оборудованием и определены стохастические связи между количеством размыкающих и замыкающих контактов в аппаратах СЭА.

В третьей главе разработана математическая модель и алгоритм определения оптимального параметрического ряда для аппаратов СЭА.

В четвертой главе с помощью системного подхода разработаны способы изображения, описания и контроля СЭА устройств автоматического управления.

ГЛАВА I. МЕТОДОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СХЕМ ЭЛЕКТРОАВТОМАТИКИ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ.

1.1. Анализ методов построения схем электроавтоматики для циклового управления технологическим оборудованием.

Научно-техническая революция середины прошлого века базируется на кибернетике и её идеях. Сущность кибернетического подхода состоит в решительном и полном разделении силовых и управленческих функций, в полном разделении задач, поставленных перед устройствами передачи усилий и устройствами передачи сигналов управления, т.е. в осознании принципиальной независимости и совершенно особых свойств и законов передачи и преобразования энергетических и информационных потоков. Поэтому в схемах электроавтоматики устройств управления стала выделяться в самостоятельную часть логика процесса управления, с помощью которой в установленном порядке выдаются и обрабатываются команды, включающие сервоприводы функциональных устройств агрегата, работа которых и осуществляет фазы требуемых от агрегата технологических воздействий.

Результатом такого подхода явилось то, что в принципе изменилась компоновка технологических агрегатов: их устройство теперь состоит из функциональных узлов, СЭА управления и сервомеханизмов, осуществляющих силовой привод функциональных узлов по информационным сигналам, получаемым от СЭА агрегата, т.е. под термином схема электроавтоматики устройств автоматического управления (СЭА УАУ) будет иметься ввиду именно эта их часть.

Современные схемы электроавтоматики устройств автоматического управления металлорежущих станков и других технологических агрегатов содержат от нескольких десятков до нескольких сотен циклических электроаппаратов.

Процесс проектирования схем электроавтоматики устройств автоматического управления технологическими агрегатами можно условно разделить на три последовательных этапа.

Первый этап чисто инженерный и состоит в составлении технического задания на проектирование схем электроавтоматики. Его основную часть составляет циклограмма требуемой работы управляемого агрегата, указывающая необходимую последовательность и согласование в пространстве и времени изменения технологических координат.

Второй этап состоит в проектировании схем электроавтоматики управления, обеспечивающих отработку циклограмм технического задания. Такое проектирование требует от разработчика высокой квалификации и большого опыта.

Теоретической основой проектирования является ставшая уже классической "Теория дискретных автоматов" (ТДА), теория построения структуры релейных устройств, которая решает 3 основные задачи:

- синтеза, то есть получение структуры релейного устройства по заданным для неё условиям работы (например, циклограмм, таблицы включения, заданной последовательности во времени срабатывания элементов устройства и т.д.);
- минимизация (равносильные преобразования), то есть получение наиболее простой структуры при точном сохранении соответствия заданным для неё условиям работы;
- анализа, то есть определение для уже готовой структуры устройства условий её работы (например, определение последовательности действующих во времени сигналов, выявление действия устройства при повреждении и т.д.).

В последние годы многочисленные работы А. А. Маркова, А. Г. Лунца, В. Н. Рогинского, Б. А. Трахтенброта, В. И. Шестакова и др., а также ряда зарубежных авторов: Колдуэлла, Мак-Класки и др. и привели к появлению весьма простых и эффективных методов построения их структуры.

Прежние, чисто интуитивные методы построения релейных устройств заменяются методами, основанными на точно сформулированных и строго обоснованных правилах, что дает огромное преимущество в отношении объективности и полноты получаемых решений.

Практическое применение ТДА дает значительный эффект в отношении сокращения времени, необходимого для разработки структуры устройства и получения более совершенных схемных решений.

Представляя структуру в виде некоторых аналитических выражений,

теория позволяет не заботиться о получении наиболее простых решений. Достаточно получить любую структуру, обеспечивающую заданные условия работы. Используя формулы преобразования, можно быстро провести минимизацию и привести полученную структуру к виду, содержащему наименьшее число элементов или удовлетворяющую каким-либо другим требованиям.

Однако, с точки зрения проектировщика автоматический агрегат, отработывая шаг за шагом циклограмму своего действия, сам является в некотором смысле командоаппаратом и многие пройденные фазы цикла физически уже не могут повториться. Поэтому в полном логически непротиворечивом описании последовательности ситуаций в схемах электроавтоматики часто прямой необходимости нет, что позволяет существенно упростить схемы электроавтоматики, а сами устройства выполнять более дешевыми.

Проектировщик вводит блокировки только против очевидных опасностей. Конечно, удешевление схем электроавтоматики, достигаемое подобным образом, в конечном счете дается не "бесплатно". В ходе эксплуатации автоматических технологических агрегатов, вследствие так называемых "ложных команд" и отсутствия полных блокировок имеют место и брак выпускаемой продукции и аварии оборудования. Поэтому обычно, по мере накопления опыта эксплуатации автоматических агрегатов их системы электроавтоматики постепенно модернизируются, одни блокировки снимаются, другие вводятся и т.д. Однако, в целом такие схемы электроавтоматики устройств автоматического управления и после модернизации остаются недоопределенными.

Третий этап проектирования схем электроавтоматики устройств автоматического управления технологическими агрегатами заключается в следующем: он состоит в конкретном подборе типов электроаппаратов и средств коммутации, удовлетворяющих схеме электроавтоматики и общим инженерным требованиям технического задания, прежде всего в части защиты и обеспечения надежности действия аппаратуры и конструировании монтажной схемы устройств автоматического управления.

Проектирование схем электроавтоматики устройств автоматического управления технологическими агрегатами осуществляют различные организации, каждая из них исходит при проектировании из собственных соображений и не на последнем месте является облегчение плана выпуска продукции на собственном предприятии, использование имеющихся в наличии электро-

аппаратов.

Все это привело к появлению множества схем электроавтоматики. Нередко можно встретить устройства автоматического управления одних и тех же автоматических технологических агрегатов с совершенно разными схемами электроавтоматики. Использование же в одном электрошкафе циклических аппаратов с самым различным питанием имеет место повсеместно, для обеспечения чего необходима организация целых трансформаторных подстанций, выдающих различные напряжения от 127 до 12 вольт, установка выпрямителей разных мощностей и др. Следствием этого является высокая трудоемкость и стоимость устройств автоматического управления по поставкам и в эксплуатации.

На заводах часто практикуется замена одних электроаппаратов другими, замена цветов проводов, одноцветный монтаж и др. Все это прямо влияет на качество схем управления и далее на работу технологических агрегатов и, естественно, на качество выпускаемой продукции.

С целью обзора статистической информации относительно применяемых в настоящее время схем электроавтоматики устройств автоматического управления различных технологических агрегатов были разосланы запросы на предприятия, занимающиеся разработкой, проектированием и выпуском схем электроавтоматики циклового автоматического управления технологическими агрегатами.

Материал получен от таких крупных предприятий, как Московский завод координатно-расточных станков, Самарский завод координатно-расточных станков, Ивановское СКБ расточных станков, Петербургский станкостроительный завод, Московский станкостроительный завод им. Ефремова, «Красный пролетарий» Витебский станкостроительный завод имени Коминтерна, СКБ при Рязанском станкостроительном заводе, Горьковский завод фрезерных станков, Тбилисский станкостроительный завод, Петербургское особое конструкторское бюро станкостроения, Минский станкостроительный завод, Витебское КБ зубообрабатывающих, шлифовальных и заточных станков, Краматорский завод тяжелого машиностроения, НИИТЯЖМАШ, завод тяжелого машиностроения, московский станкостроительный завод и др., всего более пятидесяти предприятий и организаций. Данные приведены в таблице Приложения.

В результате анализа применяемых схем электроавтоматики можно

прийти к следующему заключению: в практике проектирования, испытания, контроля, описания, представления и изображения схем электроавтоматики не существует единого подхода.

Анализ обозначений электроаппаратов, цепей и коммуникаций позволяет заключить, что проектировщики пользуются следующими тремя правилами:

- а) Приборы обозначаются произвольными буквенными аббревиатурами с цифровыми индексами;
- б) Цепи нумеруются порядковыми номерами построчно;
- в) Коммуникации нумеруются порядковыми номерами со сквозной нумерацией.

Правила эти не оптимальны. Аббревиатурное обозначение аппаратов схемы призвано отражать функциональную роль в схемах электроавтоматики. Пока аппаратов в схеме мало, это облегчает работу проектировщика, а при эксплуатации - работу наладчика-электрика. Однако, увеличение числа электроаппаратов существенно затрудняет запоминание функций и аббревиатуры многих десятков приборов.

Другой недостаток применяемых обозначений цепей состоит в том, что в настоящее время эта нумерация используется очень редко. Практически все схемы электроавтоматики технологических агрегатов в ходе отладки и эксплуатации изменяются и модернизируются. При этом вся система сквозной нумерации строк принципиальной схемы и их коммуникации меняется.

Неудовлетворительно обстоит дело и с описанием принципиальных схем электроавтоматики и их действий. Из-за отсутствия системности в их изображении и обозначении элементов применяется лишь только один метод описания схем электроавтоматики - словесные описания. Этот метод громоздкий и неудобный.

Такие словесные описания трудно составлять, читать и изучать. Нужно учесть также и то, что чертежи принципиальных схем сильно засорены метками, каждый контакт нужно разыскивать отдельно, а держать в памяти словесное описание не только всей схемы электроавтоматики в целом, но даже её отдельных частей, невозможно. Именно в несовершенстве и бессистемности существующих в настоящее время описаний схем электроавтоматики технологического оборудования кроется низкий уровень обслуживания его устройств автоматического управления электриками-эксплуатационщиками.

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. В настоящее время не существует единого способа проектирования, изображения, изготовления, описания и представления схем электроавтоматики устройств автоматического управления разных технологических агрегатов.
2. Многообразие схем электроавтоматики велико, отсутствуют методы их упорядочения, систематизации, сравнения и расчленения на типовые элементы, которые можно было бы нормализовать в первую очередь и впредь использовать в качестве стандартных элементов схем электроавтоматики.

Поэтому актуальным является поиск единого, удобного способа изображения, изготовления, описания, чтения и представления схем электроавтоматики.

1.2. Исследование возможности оптимизации схем электроавтоматики по критерию минимальной избыточности

В большинстве схем электроавтоматики наблюдается как аппаратная, так и временная избыточность. Аппаратная избыточность схем характеризуется тем, что в них используется лишняя аппаратура, элементы, контакты, коммуникации, разветвления и т.д. Эта избыточность объясняется ограниченностью наличия нужных элементов (в релейных и логических схемах), либо модульным принципом (в интегральных схемах). Часто она вводится сознательно для повышения надежности схем управления. В других случаях аппаратная избыточность возникает за счет недостаточной проработки электросхем на стадии проектирования, опытного монтажа, отладки и стендовых испытаний.

Под временной избыточностью электросхем подразумевается неравномерная загруженность их элементов и аппаратов в процессе отработки циклограммы работы объекта.

Избыточность СЭА приводит к удорожанию систем циклового управления технологическим оборудованием, перерасходу людских и материальных ресурсов, особенно при их массовом производстве. Поэтому задача объективного установления количественных соотношений по избыточности тех или иных элементов в схемах электроавтоматики станков имеет большое практическое значение.

Для проведения статистического обследования были разосланы запросы в большинство ведущих проектирующих организаций и станкостроительным заводам с целью сбора информации в части изображения, описания, испытаний схем электроавтоматики, а также на предмет установления количества и характера релейных аппаратов и контактов в них с целью установления объективной картины по избыточности контактов в аппаратах СЭА.

В итоге проведенного статистического обследования было обработано 208 принципиальных и монтажных схем, полученных из 52 организаций (Приложение I).

Предварительный анализ ряда присланных схем и описаний к ним показывает, что наряду с отсутствием единых методов в изображении, опи-

сании, контроле и испытании СЭА наблюдается контактная избыточность в аппаратах схем. Поэтому представляет интерес проведение статистического анализа, выявляющего количественные соотношения контактов в аппаратах СЭА и установление стохастических связей между различными параметрами элементов с целью выработки критериев для назначения оптимальных параметрических рядов аппаратов в СЭА.

Остановимся подробнее на вопросе планирования и организации статистического обследования (эксперимента). Задачи, для решения которых используются методы планирования эксперимента, весьма разнообразны. Выбор оптимальных условий процесса, построение интерполяционных формул, выбор существенных и отброс несущественных факторов, оценка и уточнение полуэмпирических коэффициентов теоретических моделей и т.д. - вот примеры задач, при решении которых возникает необходимость выбора метода проведения эксперимента. Если цель задачи состоит в поиске экстремума некоторой функции, то задача называется экстремальной, если требуется выявить связь между факторами, присутствующими в задаче, то она называется интерполяционной. Если в ходе проведения эксперимента факторы выбираются так, что позволяют двигаться к оптимуму, то эксперимент называется активным. Если возникнет необходимость установления связи между параметром оптимизации и фактором по результатам пассивных наблюдений, то эксперимент называется пассивным [15, 35, 36].

Методы эмпирического поиска оптимальных условий долгое время не были формализованы. Экспериментаторы выбирали метод исследования, базирясь на своем опыте, интуиции, на работах предшественников. Лишь сравнительно недавно стала развиваться математическая теория экстремальных экспериментов, позволяющая выбирать оптимальную стратегию при неполном знании процесса. Существенным фактором является здесь то, что при применении этой теории исследователь может построить приближенную математическую модель процесса. Эта теория использует методы регрессионного анализа [16]. Классический регрессионный анализ базируется на обработке пассивных экспериментов, то есть экспериментов, в которых экспериментальные точки в факторном пространстве выбираются случайно. Опыт показал, что применение классического регрессионного анализа связано с постановкой очень большого числа экспериментов, а также с трудностью

интерпретации уравнений регрессии (т.к. коэффициенты этих уравнений оказываются в корреляционной зависимости друг от друга). Однако в последнее время в регрессионный анализ были внесены идеи планирования эксперимента, предложенные Р.Фишером, положившим начало дисперсионному анализу, позволяющему оценивать вклад, вносимый отдельными факторами в суммарную дисперсию. Однако аппарат регрессионного анализа также может оказаться действенным при анализе результатов пассивного эксперимента. Здесь очень важной может оказаться информация о коэффициентах корреляции между независимыми переменными. Практически полезным является построение гистограмм для исследуемых случайных величин и определение числовых характеристик этих величин. Сравнительный статистический анализ этих характеристик позволяет сопоставлять работу разных схем, агрегатов, цехов и т.д., обнаруживать изменения в ходе процесса, устанавливать корреляционные зависимости между случайными величинами.

Результаты пассивных экспериментов используются для контроля за устойчивостью отдельных звеньев производственных процессов. В некоторых случаях по данным пассивных наблюдений, возможно, прогнозировать течение процесса. Информация, полученная при пассивных экспериментах, может при наличии действия новых факторов, действующих на параметр оптимизации, решать задачу оптимизации его с учетом действия новых факторов.

В нашем случае в процессе проведения эксперимента (сбора информации) требовалось исследовать возможность стандартизации и унификации в части изображения и описания схем УАУ (качественная сторона эксперимента) и установить количественные соотношения аппаратов и контактов в этих схемах (количественная сторона). Следовательно, проведенное статическое обследование относится к пассивному эксперименту, однако, результаты его будут использованы для определения функции спроса при оптимизации параметрического ряда аппаратов СЭА.

Методика эксперимента включает:

- определение минимально необходимого объема выборки (количества схем), обеспечивающего принятую в инженерной практике представительность экспериментальных данных с последующим уточнением. Принятая для расчета надежность составляет 95%;
- организацию обработки поступившей информации согласно принятым

методам обработки результатов пассивного эксперимента;

- анализ полученных экспериментальных данных с точки зрения использования его результатов для выбора оптимальных рядов аппаратов СЭА.
- Анализ экспериментальных данных был произведен после выхода принятых статистических характеристик на заданный стационарный уровень (см. гл.2).

Выводы

1. Анализ, проведенный в главе I показывает, что проектируемая схема УАУ может рассматриваться как объект управления, оптимизация параметров которого происходит за счет правильного выбора факторов, к числу которых относятся: выявление новых приемов в методах проектирования УАУ, повышение надежности схем, уменьшение номенклатуры и себестоимости за счет выбора оптимальных параметрических рядов аппаратов СЭА, стандартизация и унификация при изображении, описании и контроле схем и т.д.
2. Целью настоящей работы, проводившейся в течение нескольких лет кафедрой «Измерительной техники, экспертизы и менеджмента качества» Грузинского технического университета с участием автора, является оптимизация СЭА УАУ станков в части отработки единого удобного для проектирования и использования в инженерной практике способа изображения и описания схем электроавтоматики, а также выбор оптимальных параметрических рядов аппаратов СЭА с точки зрения минимизации степени избыточности и себестоимости этих схем.
3. Для решения поставленных задач был выбран метод проведения эксперимента и составлена методика проведения эксперимента и анализа экспериментальных данных, изложенных в главе 2.

ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ ЭЛЕКТРОАВТОМАТИКИ ДЛЯ ЦИКЛОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ

2.1. Статистический анализ существующих систем циклового управления технологическим оборудованием.

Для проведения статистического обследования случайных величин - средних количеств замыкающих (З. К.) и размыкающих (Р. К.) контактов в различных аппаратах и схемах станочного оборудования необходимо, прежде всего, определить объем выборки, характеризующий достаточно высокую степень надежности полученных обследованием результатов.

В силу того, что закон распределения и числовые характеристики этих случайных величин были неизвестны, предварительно производилась грубая оценка потребного объема выборки. Для этого по 50 схемам были грубо оценены значения средних квадратических отклонений для указанных случайных величин $\sigma_{xp} = 2,5$; $\sigma_{yp} = 1$; (Данные приведены для принципиальных схем), а затем задаваясь доверительной вероятностью $\alpha = 0,95$, точностью $\delta = 0,5$ и считая, что закон распределения этих случайных величин нормальный, находим n по формуле

$$\Phi\left(\frac{\delta\sqrt{r}}{\sigma}\right) = 0,95,$$

где $\Phi(x)$ - функция Лапласа.

Среди полученных двух значений n выбираем наибольшее. Оно оказалось равным 36. В работе [17] приводится таблица, дающая поправку объема выборки, возникающую от незнания закона распределения случайных величин. Согласно этой таблице при доверительной вероятности 0,95 полученный объем $n = 36$ следует умножить на 5,2 т.е. получим $n = 188$. После получения данных от различных организаций, приславших схемы аппаратов, репрезентативность выборки уточнялась.

Для краткости изложения и удобства чтения в дальнейшем тексте используются обозначения и термины, приведенные в таблице 1.

Обозначения, термины и определения

№	Обозначения	Термины и определения, принятые в работе
1	j	Номер организации, приславшей материалы
2	K_j	Количество СЭА УАУ, присланных организацией номера j
3	$\sum_{j=1}^i K_j$	Накопленное значение количества СЭА УАУ для всех организаций номеров от 1 до i включительно
4	n_j	Количество релейных аппаратов, присланных в схемах от каждого предприятия
5	$\sum_{j=1}^i n_j$	Накопленное количество релейных аппаратов
6	$\overline{n_j}$	Среднее количество релейных аппаратов на одну схему
7	x_j, y_j, z_j	Количество (З.К.), (Р.К.) и (З.К. + Р.К.) в схемах, присланных j -той организацией
8	$\sum_{j=1}^i x_j, \sum_{j=1}^i y_j, \sum_{j=1}^i z_j$	Накопленное количество (З.К.), (Р.К.) и (З.К. + Р.К.) в схемах
9	$\overline{(x_k)_j}, \overline{(y_k)_j}, \overline{(z_k)_j}$	Среднее количество (З.К.), (Р.К.) и (З.К. + Р.К.) на одну схему
10	$\frac{x_j}{n_j}, \frac{y_j}{n_j}, \frac{z_j}{n_j}$	Среднее количество (З.К.), (Р.К.) и (З.К. + Р.К.) на один релейный аппарат
11	$\sum_{j=1}^i \left(\frac{x_k}{n_k} \right)_j, \sum_{j=1}^i \left(\frac{y_k}{n_k} \right)_j, \sum_{j=1}^i \left(\frac{z_k}{n_k} \right)_j$	Накопленное количество (З.К.), (Р.К.) и (З.К. + Р.К.) на один релейный аппарат
12	W	Общее обозначение для x, y и z
13	ε	Заданная точность статистического анализа

14	$\frac{\overline{W}}{n}$	Удельная средних
15	$\overline{\left(\frac{W}{n}\right)}$	Средняя удельных
16	$\overline{\left(\frac{x_k}{n_k}\right)_j}, \overline{\left(\frac{y_k}{n_k}\right)_j}, \overline{\left(\frac{z_k}{n_k}\right)_j}$	Средняя удельных для (З.К.), (Р.К.) и (З.К. + Р.К.)
17	$\frac{\overline{x_j}}{n_j}, \frac{\overline{y_j}}{n_j}, \frac{\overline{z_j}}{n_j}$	Удельная средних для (З.К.), (Р.К.) и (З.К. + Р.К.)
18	$\frac{x_j}{n_j}k_j, \frac{y_j}{n_j}k_j, \frac{z_j}{n_j}k_j$	Среднее количество (З.К.), (Р.К.) и (З.К. + Р.К.) на одну организацию
19	$\sum_{j=1}^i \frac{x_j}{n_j}k_j; \sum_{j=1}^i \frac{y_j}{n_j}k_j; \sum_{j=1}^i \frac{z_j}{n_j}k_j$	Накопленное количество (З.К.), (Р.К.) и (З.К. + Р.К.) на одну организацию
20	$\frac{\sum_{j=1}^i \frac{x_j}{n_j}k_j}{\sum_{j=1}^i k_j}; \frac{\sum_{j=1}^i \frac{y_j}{n_j}k_j}{\sum_{j=1}^i k_j}; \frac{\sum_{j=1}^i \frac{z_j}{n_j}k_j}{\sum_{j=1}^i k_j}$	Среднее накопленное количество (З.К.), (Р.К.) и (З.К. + Р.К.) на одну организацию

В настоящей работе использованы две удельные числовые характеристики:

1. «удельная средних»
2. «средняя удельных»

Ниже приведены аналитические зависимости для расчета удельных характеристик:

$$\sum_{j=1}^i k_j = \sum_{j=1}^{j-1} k_{j-1} + k_j$$

- накопленное количество схем организации j;

$$\sum_{j=1}^i (n_k)_j = \sum_{j=1}^{j-1} (n_k)_{j-1} + (n_k)_j$$

- накопленное количество аппаратов организации j;

$$(n_k)_j = \frac{\sum_{j=1}^i (n_k)_j}{\sum_{j=1}^i k_j}$$

- среднее количество релейных аппаратов на одну схему;

$$\sum_{j=1}^i (W_k)_j = \sum_{j=1}^{j-1} (W_k)_{j-1} - (W_k)_j$$

- накопленное количество контактов в схемах организации j;

$$(\overline{W_k})_j = \frac{\sum_{j=1}^i (W_k)_j}{\sum_{j=1}^i k_j}$$

- среднее количество контактов на одну схему;

$$\sum_{j=1}^i \frac{(W_k)_j}{(n_k)_j} = \sum_{j=1}^{j-1} \frac{(W_k)_{j-1}}{(n_k)_{j-1}} + \frac{(W_k)_j}{(n_k)_j}$$

- накопленное количество контактов на один релейный аппарат;

$$\left[\frac{(W_k)_j}{(n_k)_j} \right] = \frac{\sum_{j=1}^i (W_k)_j}{\sum_{j=1}^i (n_k)_j}$$

- накопленное среднее количество контактов на один релейный аппарат организации j;

$$\sum_{j=1}^i \frac{(W_k)_j}{(n_k)_j} k_j = \sum_{j=1}^{j-1} \frac{(W_k)_{j-1}}{(n_k)_{j-1}} k_{j-1} + \frac{(W_k)_j}{(n_k)_j} k_j$$

- накопленное количество контактов на одну организацию j;

$$\left[\frac{(W_k)_j}{(n_k)_j} \right] = \frac{\sum_{j=1}^i \frac{(W_k)_j}{(n_k)_j} k_j}{\sum_{j=1}^i k_j}$$

среднее накопленное количество контактов на одну организацию;

$$i = \min_{\varepsilon} \left\{ \max_j \left\{ \begin{array}{l} \left| \left(\frac{\bar{z}}{n} \right) - \left(\frac{\bar{z}}{n} \right) \right| \leq \varepsilon \\ \left| \left(\frac{\bar{x}}{n} \right) - \left(\frac{\bar{x}}{n} \right) \right| \leq \varepsilon \\ \left| \left(\frac{\bar{y}}{n} \right) - \left(\frac{\bar{y}}{n} \right) \right| \leq \varepsilon \end{array} \right. \right.$$

- максимальное количество исследуемых предприятий при минимальной ε .

«Удельная средних» определялась как отношение $\frac{\overline{W}}{n}$, то есть отношение

накопленного среднего числа контактов вида W в схемах из опрошенных организаций к накопленному среднему числу предусмотренных в этих схемах циклических электроаппаратов.

«Средняя удельных» определялась как величина $\overline{\left(\frac{W}{n}\right)}$, т.е. как накопленная средняя для удельных по опрошенным организациям значений отношений числа контактов вида W в схемах данной организации к числу предусмотренных в этих схемах циклических электроаппаратов.

Накопленные средние во всех случаях определялись по номерам опрошенных организаций; номера эти присваивались организациям по мере получения от них ответов (от номера $j=1$ до текущего номера i). Поскольку разные организации прислали разное количество СЭА при определении числовых значений накопленных средних, одновременно учитывался вес данных соответствующей организации среди уже полученных данных.

Для уточнения репрезентативности опорных данных исследования обе введенные характеристики были подвергнуты сравнительному последовательному анализу.

Как известно, при большом количестве организаций, представляющих исходные данные, т.е. при $j \rightarrow \infty$ обе введенные удельные характеристики по их числовым значениям должны совпадать

$$\left(\frac{\overline{W}}{n}\right)_{j \rightarrow \infty} = \overline{\left(\frac{W}{n}\right)}_{j \rightarrow \infty} .$$

Выборка может быть признана репрезентативной и последовательный анализ завершенным, когда обе сравниваемые удельные статистические характеристики с наперед заданной точностью ε вышли на один и тот же стационарный уровень.

Материалы, присылавшиеся опрошенными организациями, регистрировались (присвоение номеров j) и подвергались изучению и извлечению из них исходных числовых данных в порядке их поступления. В таблице 2 приведены примеры представления подобных данных, отображающих полученные принципиальные СЭА УАУ.

В таблице 3 приведены формы протокола расчета обеих удельных характеристик, - «средней удельных» и «удельной средних», - искомым пара-

метров их статистик.

В приложении 1 приведены сами протоколы расчета изучавшихся характеристик. На рис. 1 приведено графическое изображение результатов расчетов по таблице приложения 1 для накопленных значений обеих удельных характеристик, которые даны на указанных рисунках соответственно попарно.

Как видно из приведенных на рисунках графиков, характер изменения обеих удельных характеристик качественно примерно одинаков, а сами они количественно весьма близки и быстро сходятся к одному и тому же постоянному значению [44].

Проведенный последовательный анализ при принятой точности $\varepsilon = 0,02$ оказалось возможным считать завершенным уже при значениях номеров $j = 50 \div 52$ организаций, приславших запрошенные материалы. В зоне указанных значений j при названной точности ε для обеих изучавшихся удельных характеристик имеет место выход на единый стационарный уровень. Соответственно таблица приложения 1 отражает техническую документацию лишь первых 52 организаций, приславших запрошенные материалы.

Анализ полученных результатов показывает, что числовые данные, характеризующие принципиальные СЭА выборки, являются вполне репрезентативными для обеих найденных характеристик и для «удельной средних»,

базовое значение которой определено как $\frac{\overline{W_j}}{n_j}$, и для «средней удельных», база

которой определяется отношением $\left(\frac{\overline{W_j}}{n_j} \right)$. Таким образом, получается, что для

проведения основного статистического исследования формально годится любая из этих баз.

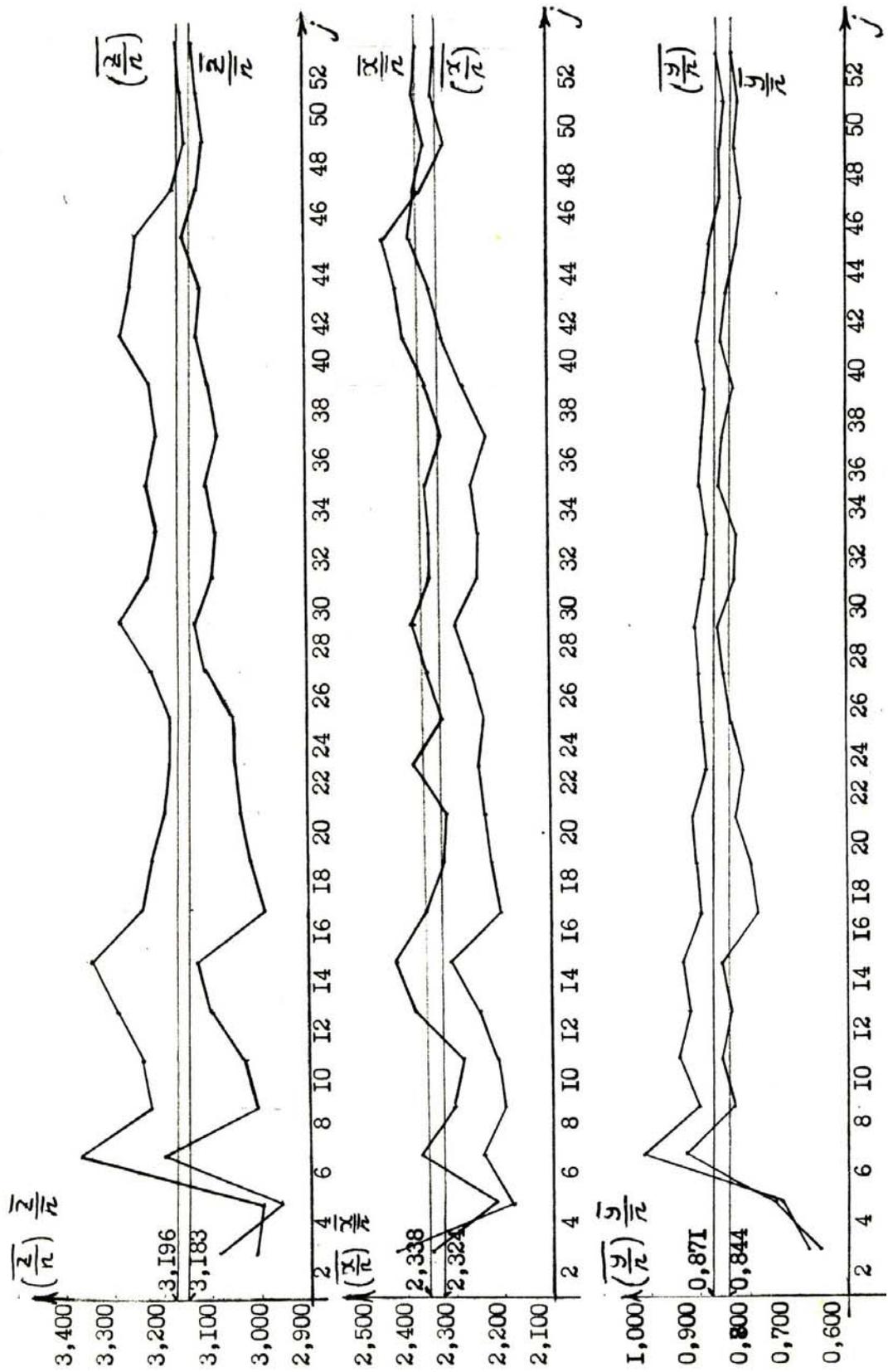


Рис. 1. Графики удельных характеристик

Таблица 2

Статистические данные по количеству схем и контактов

j	k_j	$(n_k)_j$	$(z_k)_j$	$(x_k)_j$	$(y_k)_j$		j	k_j	$(n_k)_j$	$(z_k)_j$	$(x_k)_j$	$(y_k)_j$
1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
1	3	41	108	76	32		27	3	41	106	71	35
2	5	119	386	312	74		28	5	75	358	259	99
3	1	54	127	82	45		29	2	38	124	77	47
4	1	24	85	51	34		30	9	245	592	469	123
5	3	50	190	120	70		31	5	115	348	260	88
6	5	40	154	101	53		32	1	5	19	13	6
7	2	24	102	78	24		33	2	31	135	78	57
8	10	300	824	609	215		34	1	47	192	115	77
9	3	61	201	158	43		35	3	82	221	164	57
10	2	18	58	28	30		36	1	46	103	62	41
11	4	54	197	163	34		37	2	30	108	62	46
12	2	19	66	45	21		38	6	188	622	521	101
13	2	20	85	58	27		39	1	41	150	118	32
14	3	25	92	74	18		40	5	106	516	371	145
15	5	54	159	113	46		41	1	8	27	19	8
16	6	323	825	623	202		42	9	133	416	334	82
17	6	111	282	190	92		43	3	47	107	77	30
18	3	83	352	264	88		44	16	568	1933	1487	446
19	3	87	215	148	67		45	11	86	166	124	42
20	10	276	936	669	267		46	2	170	573	411	162
21	10	127	402	308	94		47	11	133	394	262	132
22	1	30	91	73	18		48	2	15	40	30	10
23	2	45	166	113	58		49	1	25	116	102	14
24	2	61	179	111	68		50	1	14	49	41	8
25	1	4	19	10	9		51	2	26	100	66	34
26	2	83	344	262	82		52	6	210	668	461	207

Протокол расчета удельных характеристик

№	Обозначение	Определение
1	j	дано
2	k_j	дано
3	$\sum_{j=1}^i k_j$	$3j = 3(j-1) + 2j$
4	$(n_k)_j$	дано
5	$\sum_{j=1}^i (n_k)_j$	$5j = 5(j-1) + 4j$
6	$(\bar{n}_k)_j$	$6j = \frac{5j}{3j}$
7	$(W_k)_j$	дано
8	$\sum_{j=1}^i (W_k)_j$	$8j = 8(j-1) + 7j$
9	$(\bar{W}_k)_j$	$9j = \frac{8j}{3j}$
10	$\frac{(W_k)_j}{(n_k)_j}$	$10j = \frac{7j}{4j}$
11	$\sum_{j=1}^i \frac{(W_k)_j}{(n_k)_j}$	$11j = 11(j-1) + 10j$
12	$\left(\frac{\bar{W}}{n}\right)_j$	$12j = \frac{11j}{1j}$
13	$\frac{(\bar{W}_k)_j}{(\bar{n}_k)_j}$	$13j = \frac{9j}{6j}$
14	$\frac{(\bar{W}_k)_j}{(\bar{n}_k)_j} \times k_j$	$14j = 10j \times 2j$
15	$\sum_{j=1}^i \frac{(\bar{W}_k)_j}{(\bar{n}_k)_j} \times k_j$	$15j = 15(j-1) + 14j$
16	$\left(\frac{W_k}{n_k}\right)_j$	$16j = \frac{15j}{3j}$

В проведенной работе в качестве ведущей характеристики выбрана

«средняя удельных», а в качестве аргумента её распределения взята независимая по организациям, приславшим изучавшиеся материалы по СЭА УАУ, случайная величина вида $\frac{W_j}{n_j}$.

Основное исследование состояло в построении статистик для аргументов вида $\frac{W_j}{n_j}$, т.е. для случайных величин $\frac{z_j}{n_j}$, $\frac{x_j}{n_j}$, $\frac{y_j}{n_j}$. По данным таблицы приложения I, где указаны значения величин z_j , x_j , y_j и n_j по всем организациям от 1 до j , были определены соответствующие случайные значения аргументов распределений, которые представлены в виде гистограмм. В целях увеличения объективности представления статистических данных соответствующими гистограммами, выбираем ширину классов группирования в зависимости от величины среднего квадратического отклонения представляемых данных, принимая за базу отсчета положение на оси аргумента математического ожидания соответствующего аргумента.

Данные для построения гистограмм для случайной $\frac{z_j}{n_j}$ величины при ширине классов группирования, равной $\sigma\left(\frac{W}{n}\right)$ и $\frac{\sigma\left(\frac{W}{n}\right)}{2}$, приведены соответственно в таблицах 4 и 5. В обоих случаях значения математических ожиданий «средней удельных» $\frac{\bar{z}}{n}$ и соответствующих среднеквадратических отклонений $\sigma\left(\frac{W}{n}\right)$ взяты по итоговым строкам таблицы приложения 1.

Гистограммы, отвечающие описанной методике их построения для обоих принятых вариантов отображения имеющихся данных по значениям случайной величины $\frac{W_j}{n_j}$, приведены на рис. 2 (первый вариант) и на рис. 3 (второй вариант).

При обсуждении наблюдаемых статистических картин следует опираться на многостолбиковые гистограммы с шириной классов группирования, равной

$\frac{\sigma\left(\frac{W}{n}\right)}{2}$. Малостолбиковые гистограммы могут, однако, быть привлекаемы в случаях сравнительного анализа.

Таблица 4

Данные для построения гистограмм

№	Диапазон	Количество	%
1	1,399-2,118	11	5,28
2	2,118-2,837	50	24,03
3	2,837-3,55	10	48,06
4	3,555-4,274	33	15,86
5	4,274-4,993	14	6,73
	Σ	208	99,9

Таблица 5

Данные для построения гистограмм

№	Диапазон	Количество	%
1	1,760-2,119	11	5,28
2	2,119-2,478	17	8,17
3	2,478-2,837	33	15,86
4	2,837-3,196	49	23,55
5	3,196-3,555	51	24,51
6	3,555-3,914	23	11,05
7	3,914-4,273	10	4,8
8	4,273-4,632	2	0,96
9	4,632-4,991	12	5,76
	Σ	208	99,94

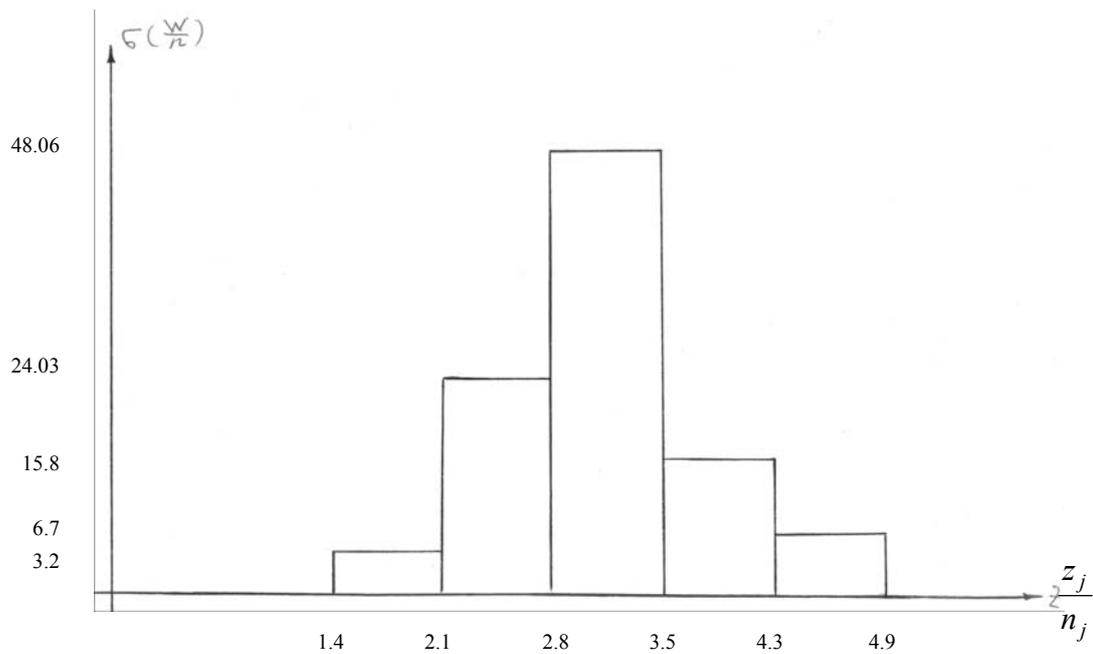


Рис. 2. Гистограмма случайной величины $\frac{z_j}{n_j}$ при ширине классов группирования $\sigma \frac{W}{n}$

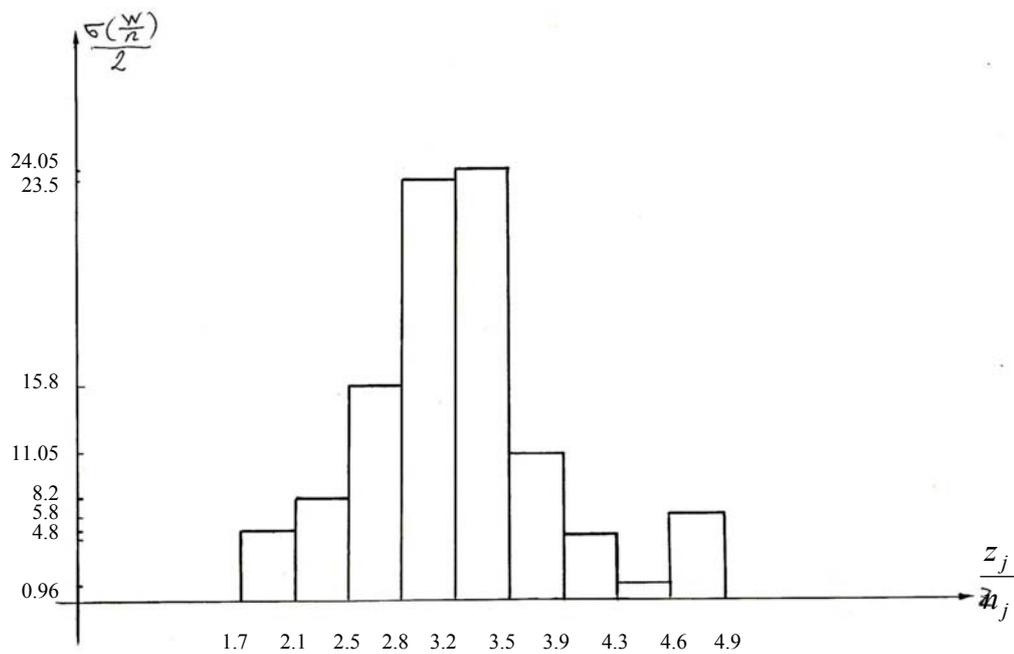


Рис. 3. Гистограмма случайной величины $\frac{z_j}{n_j}$ при ширине

классов группирования $\frac{\sigma\left(\frac{W}{n}\right)}{2}$

Сводка основных результатов приведена в таблице 6. Из неё видно, что в среднем в СЭА УАУ на одно реле приходится немногим более, чем три контакта, из которых, примерно 3/4 замыкающих и 1/4 - размыкающих.

Далее из таблицы 6 видно, что во всех случаях среднеквадратические отклонения превышают 1/6 диапазонов варьирования соответствующих случайных величин, что с одной стороны говорит об отклонениях соответствующих распределений от нормальности, а с другой - о наличии побочного возмущающего фактора. Действительно такой возмущающий фактор имеется, он отражает дисперсию технической политики различных проектирующих организаций. Распределение количеств присланных схем различными организациями приведено на рис. 4. Из него видно, что при среднем числе схем на организацию $\bar{k} = 4$, среднеквадратическое отклонение для «К» составляет $\sigma(k) = 3,345$, т.е. существенную величину. Здесь остановимся на той особенности рассматриваемых статистик, которая связана с безусловным выполнением условий

$$\left(\frac{\bar{z}_j}{n_j}\right) = \left(\frac{\bar{y}_j}{n_j}\right) + \left(\frac{\bar{x}_j}{n_j}\right)$$

и

$$z_j = y_j + x_j.$$

Обращаясь к данным таблицы 6 видим, что первое условие выполняется. Второе условие, если его переписать в форме

$$\frac{z_j}{n_j} = \frac{x_j}{n_j} + \frac{y_j}{n_j}$$

и смотреть на слагаемые правой части, как на независимые случайные величины, означает, что распределение для $\frac{z_j}{n_j}$ должно было быть композицией

распределений $\frac{x_j}{n_j}$ и $\frac{y_j}{n_j}$. Однако, из таблицы 6 видно, что

$$\left(\frac{\bar{z}_j}{n_j}\right) = \left(\frac{\bar{y}_j}{n_j}\right) + \left(\frac{\bar{x}_j}{n_j}\right)$$

$$\left(\frac{\bar{z}_j}{n_j}\right)_{\min} > \left[\left(\frac{\bar{x}_j}{n_j}\right)_{\min} + \left(\frac{\bar{y}_j}{n_j}\right)_{\min} \right] > \left(\frac{\bar{x}_j}{n_j}\right)_{\min} > \left(\frac{\bar{y}_j}{n_j}\right)_{\min}$$

Сводка основных результатов

1	2	3	4	5	6	7
$\frac{W_j}{n_j}$	$\left(\frac{\bar{W}}{n}\right)$	$\left(\frac{W_j}{n_j}\right)_{\min}$	$\left(\frac{W_j}{n_j}\right)_{\max}$	4-3	$\sigma\left(\frac{W_j}{n_j}\right)$	Характеристики
$\frac{z_j}{n_j}$	3.196	1.760	4.991	3.231	0.719	Нормального типа
$\frac{x_j}{n_j}$	2.324	1.188	4.028	2.840	0.568	С небольшой правой асимметрией
$\frac{y_j}{n_j}$	0.871	0.483	2.423	1.940	0.389	С выраженной левой асимметрией

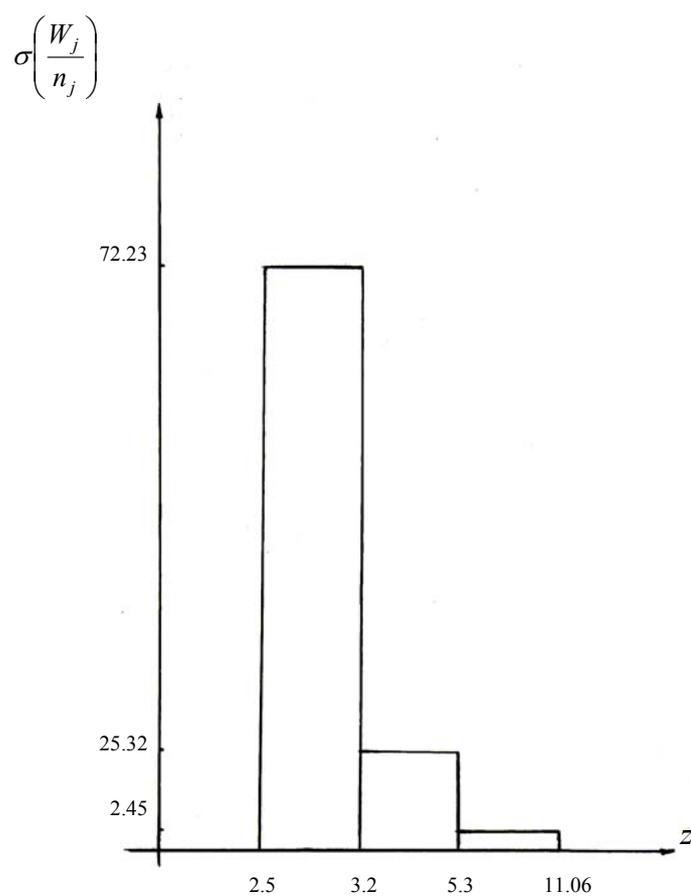


Рис. 4. Распределение количества контактов в схемах

$$\text{и что } \left[\left(\frac{x_j}{n_j} \right)_{\max} + \left(\frac{y_j}{n_j} \right)_{\max} \right] > \left(\frac{z_j}{n_j} \right)_{\max} > \begin{cases} \left(\frac{x_j}{n_j} \right)_{\max} \\ \left(\frac{y_j}{n_j} \right)_{\max} \end{cases}.$$

Из этих соотношений следует, что здесь статистика для $\frac{z_j}{n_j}$ не является композицией распределений $\frac{x_j}{n_j}$ и $\frac{y_j}{n_j}$, что возможно лишь в тех случаях, когда два последних аргумента являются зависимыми.

Из вышесказанного следует, что подобная внутренняя зависимость указанных аргументов при проектировании СЭА УАУ всегда имеется: чем больше замыкающих контактов, тем больше и размыкающих контактов [42].

Как видно из таблицы 6, после статистической обработки анализируемых схем для случайных величин установлены математические ожидания:

$$\left(\frac{\bar{z}}{\bar{n}} \right) \cong 3,2; \left(\frac{\bar{x}}{\bar{n}} \right) \cong 2,4; \left(\frac{\bar{y}}{\bar{n}} \right) \cong 0,8.$$

Приведенные результаты опираются на анализ статистик удельных характеристик и поэтому требуют подтверждения анализом статистик прямых характеристик.

Для анализа были рассмотрены монтажные схемы управления автоматическими технологическими агрегатами (1113 циклических аппаратов).

В таблице 7 приведены общие результаты статистики прямых характеристик. В конце таблицы 7 приведены средние значения чисел контактов в одном аппарате.

Ниже анализируются и обсуждаются данные проведенного обследования, прежде всего в части статистики общего и реального (рабочего) количества и характера контактов, используемых в схемах электроавтоматики управления технологическими агрегатами.

В таблице 8 приведены данные, касающиеся замыкающих контактов (x_0 - общее количество замыкающих контактов, x_p - реальное количество тех же контактов). Из таблицы 8 видно, что во всех исследуемых схемах количество замыкающих контактов колеблется от 0 до 10.

Чтобы установить законы распределения реально задействованных

замыкающих контактов, по данным таблицы 8 были построены полигоны относительных частот случайных величин X_0 и X_p , которые показаны на рис. 5.

Из графиков на рис. 5 видно, что оптимальное количество замыкающих контактов в СЭА и УАУ должно быть определено двумя парами контактов, а на самом деле их употребляется вдвое больше.

Проанализировав графики для прямых характеристик размыкающих (Y_0 и Y_p) контактов (табл. 9, рис. 6) и общего количества (X_0+Y_0 и X_p+Y_p) контактов (табл. 10, рис. 7), приходим к выводу, что они по характеру имеют такой же вид, что и графики, изображенные на рис. 5.

По вышеприведенным данным схем электроавтоматики были построены кривые распределения прямых характеристик вида W_a . Символ W как и для «средней удельных» является обобщенным обозначением числа контактов ($W=Z; X; Y$), но здесь для отдельного циклического аппарата схемы. Индекс “a” у символа W указывает, какое число контактов вида W имеется ввиду: если $a=0$, то речь идет обо всех контактах циклического аппарата, если же $a=p$, то речь идет только о задействованных в рассматриваемом аппарате контактах соответствующего вида.

На рис. 8 во взаимном сопоставлении приведено схематическое изображение распределений для «средней удельных» $\left(\frac{\overline{W}}{n}\right)$; и прямой характеристики

\overline{W}_p того же вида. Из него видно, что оба распределения близки друг к другу, но второе из них имеет правую асимметрию за счет сравнительно далеко оттянутого правого "хвоста", так что математическое ожидание для величины W_p

несколько больше, чем для ранее указанных значений $\left(\frac{\overline{W}}{n}\right)$; здесь $\bar{z} \cong 3,5$;

Таблица 7

Результаты по статистикам прямых характеристик

1	2		3		4		5	1	2		3		4		5
№	Z		X		Y		n	№	Z		X		Y		n
	z_0	z_p	x_0	x_p	y_0	y_p			z_0	z_p	x_0	x_p	y_0	y_p	
1	252	10	145	72	107	29	32	33	323	184	202	147	121	37	44
2	201	92	141	68	60	24	30	34	88	34	44	20	44	14	13
3	189	87	139	63	50	24	25	35	94	38	47	22	47	16	15
4	172	67	129	58	43	9	22	36	104	45	52	27	52	18	13
5	168	77	126	69	42	8	21	37	78	51	48	35	30	16	10
6	128	79	64	48	64	31	17	38	124	84	78	58	46	26	18
7	80	62	40	35	40	27	10	39	24	8	12	8	12	0	4
8	52	51	28	28	24	23	7	40	6	2	3	2	3	0	1
9	100	59	58	40	42	19	15	41	6	3	3	3	3	0	1
10	40	20	20	15	20	5	6	42	36	13	18	12	18	1	5
11	36	12	24	6	12	6	6	43	182	103	137	94	45	9	24
12	256	108	146	70	110	38	35	44	36	30	20	18	16	12	10
13	32	25	16	13	16	12	5	45	608	423	456	304	153	119	122
14	25	14	16	10	9	4	3	46	40	17	21	11	19	6	9
15	115	96	77	68	38	28	17	47	58	33	29	20	29	13	18
16	178	61	123	39	55	22	18	48	140	66	74	53	66	13	21
17	120	40	84	30	36	10	12	49	128	56	94	32	34	24	17
18	146	79	100	52	46	37	20	50	224	50	176	43	48	7	22
19	119	55	85	48	34	7	17	51	125	28	81	21	44	7	14
20	336	175	220	125	116	50	43	52	216	53	124	44	92	9	23
21	130	103	93	74	37	29	16	53	284	105	164	66	120	39	30
22	228	81	114	73	114	8	19	54	78	42	54	33	24	9	12
23	228	57	114	42	114	15	19	55	120	34	72	27	48	7	12
24	250	103	145	69	105	34	37	56	196	89	96	60	100	29	27
25	136	72	94	63	42	9	23	57	77	30	49	23	28	7	11
26	80	50	62	37	18	13	11	58	80	32	42	28	38	4	10
27	130	65	97	44	33	21	16	59	56	40	40	40	16	0	8
28	43	17	27	13	16	4	6	60	42	30	30	30	12	0	6
29	66	51	49	43	17	8	14	61	128	60	70	37	58	23	16
30	20	13	16	9	4	4	4	62	66	31	33	17	33	14	9
31	33	31	23	24	10	7	13	63	52	42	28	22	24	20	8
32	78	50	42	34	36	16	10	64	88	41	48	32	40	9	11
									8075	3950	5104	2871	2971	1079	1113
									7.2552	3.549	4.5858	2.5795	2.6694	0.9694	

Таблица 8

Данные по представительству замыкающих контактов

1	2	3	4	5	6
№	Кол-во контактов для x_0 и x_p	Кол-во циклических аппаратов с данным числом контактов для x_0	% для x_0	Кол-во циклических аппаратов с данным числом контактов для x_p	% для x_p
1	0	1	0,089	51	4,582
2	1	28	2,516	252	22,641
3	2	76	6,828	301	27,044
4	3	79	7,098	207	18,598
5	4	448	40,162	170	15,274
6	5	131	11,770	89	7,996
7	6	269	24,259	36	3,234
8	7	34	3,055	3	0,269
9	8	40	3,694	2	0,179
10	9	20	0,179	2	0,179
11	10	5	0,449	0	0,000
%	Σ	1113	99,9999%	1113	99,996%

Таблица 9

Данные по представительству размыкающих контактов

1	2	3	4	5	6
№	Кол-во пар контактов для y_0 и y_p	Кол-во циклических аппаратов с данным числом контактов для y_0	% для y_0	Кол-во циклических аппаратов с данным числом контактов для y_p	% для y_p
1	0	41	3.684	440	39.533
2	1	124	11.231	391	35.130
3	2	470	42.228	200	17.969
4	3	94	8.445	47	4.223
5	4	341	30.548	33	2.965
6	5	2	0.179	0	0.000
7	6	39	3.504	0	0.000
8	7	0	0.000	1	0.089
9	8	1	0.089	0	0.000
	Σ	1113	99.997%	1113	99.998

Таблица 10

Данные по представительству общего числа контактов

1	2	3	4	5	6
№	Кол-во пар контактов для z_0 и z_p	Кол-во циклических аппаратов с данным числом контактов для z_0	% для z_0	Кол-во циклических аппаратов с данным числом контактов для z_p	% для z_p
1	1	9	0.808	176	15.813
2	2	27	2.426	204	18.329
3	3	3	0.269	237	21.294
4	4	67	6.020	174	15.633
5	5	126	11.321	128	11.50
6	6	123	11.051	101	9.075
7	7	130	11.680	53	4.762
8	8	470	42.228	35	3.145
9	9	2	0.179	1	0.089
10	10	107	9.614	1	0.089
11	11	0	0.000	1	0.089
12	12	41	3.683	0	0.000
13	13	1	0.089	0	0.000
14	14	5	0.449	0	0.000
15	15	0	0.000	1	0.089
16	16	1	0.089	0	0.000
17	17	0	0.000	1	0.089
18	18	1	0.089	0	0.000
	Σ	1113	99.995%	1113	99.996%

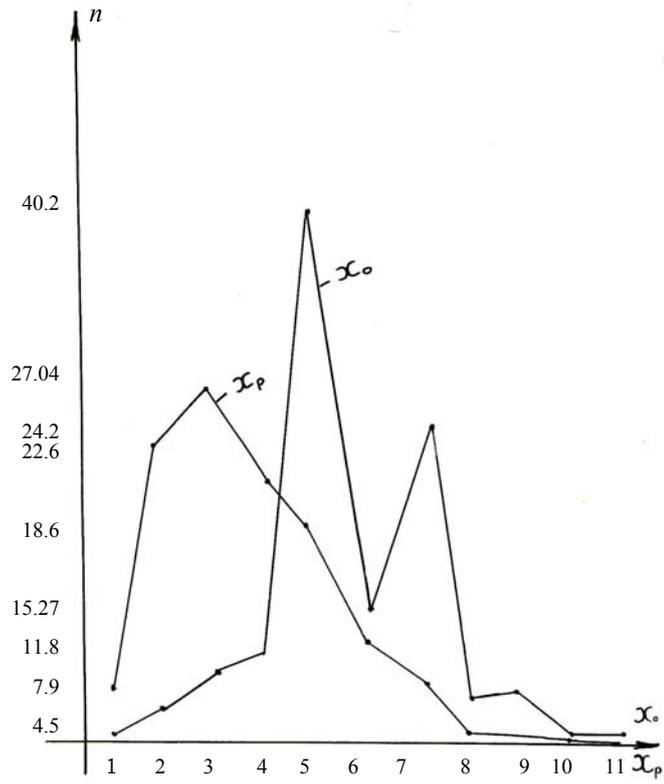


Рис. 5. Полигоны относительных частот для замыкающих контактов x_0, x_p

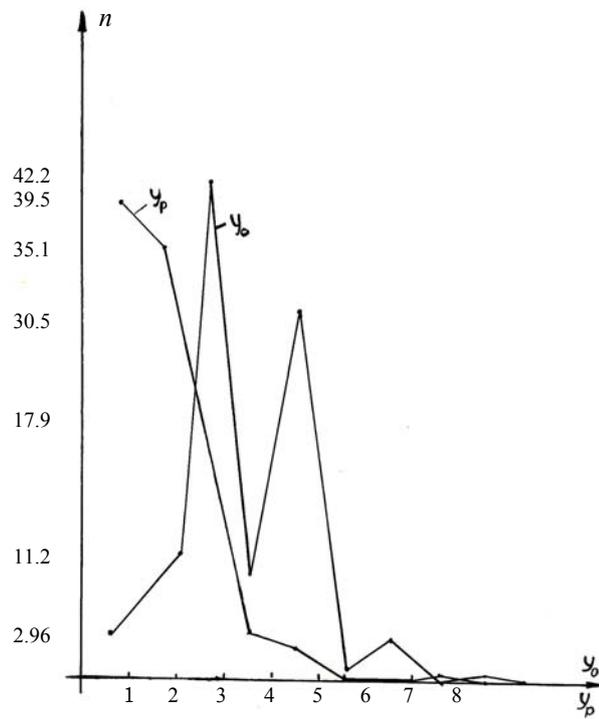


Рис. 6. Полигоны относительных частот для размыкающих контактов y_0, y_p

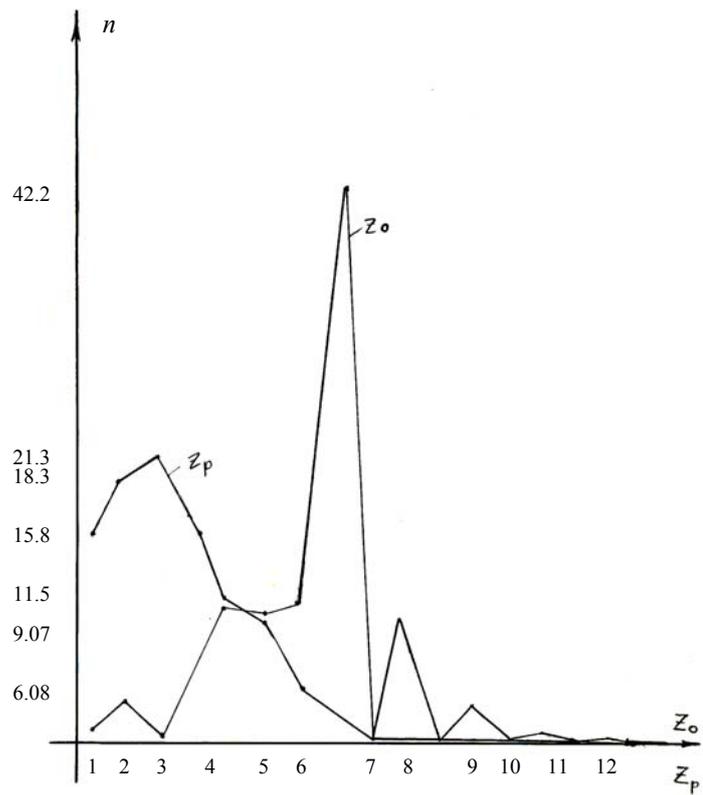


Рис. 7. Полигоны относительных частот для общего количества контактов z_0, z_p

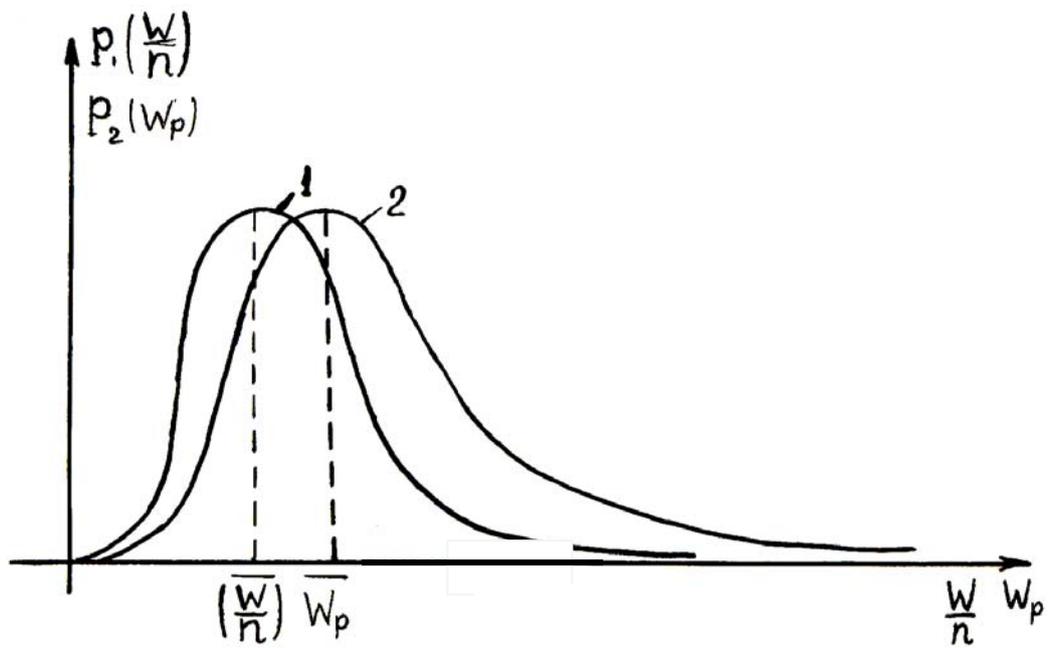


Рис. 8. Распределение средней удельных и прямой характеристики

$\bar{x}_p \cong 2,7$ и $\bar{y}_p \cong 0,9$. Важно отметить, что и по прямым характеристикам доля замыкающих контактов $3/4$, то есть соотношения количеств соответствующих контактов остались теми же, что и в принципиальных схемах.

На рис. 9 также схематически и во взаимном сопоставлении приведены распределения для величин \bar{W}_0 и \bar{W}_p одного и того же рода. Здесь имеем следующую картину: эти распределения находятся в полном противоречии друг с другом. Математические ожидания W_0 в среднем вдвое превышают таковые \bar{W}_p . Это означает, что имеет место огромный перерасход средств, ресурсов и производственных мощностей на электроаппаратных заводах. Подробный анализ показал, что этот недостаток характерен не для какой-нибудь одной организации или завода, а просматривается во многих схемах [45].

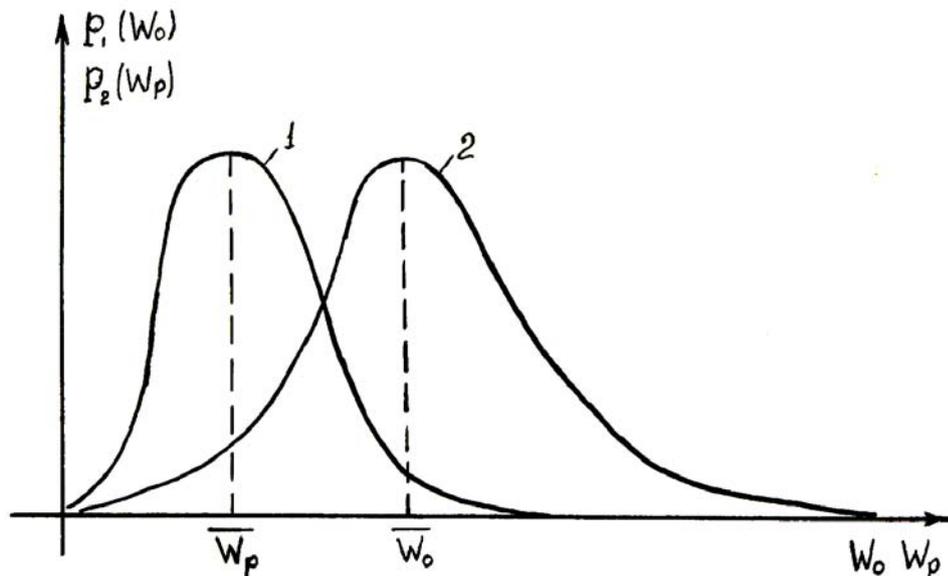


Рис. 9. Распределение для величин \bar{W}_0 \bar{W}_p

Кроме того, из графиков видно, что доля аппаратов с большим числом контактов ($w > 11$) весьма незначительна.

Такое положение обязывает дать проектировщикам схем электроавтоматики рекомендацию ограниченно использовать многоконтактные циклические аппараты, следует применять лишь аппараты с числом контактов, не превышающим указанные ранее средние значения. В тех редких случаях, когда действительно требуется большее число контактов, следует идти на дублирование соответствующего циклического аппарата. Эта рекомендация подтвер-

ждена и соображениям её экономической эффективности. Дело в том, что при использовании малоконтактных циклических аппаратов уменьшается необходимая мощность катушек их привода, вес меди, габариты аппарата и, что самое важное, вес и количество употребляемого серебра, которое является одним из основных контактных материалов.

С другой стороны, оптимизация ряда циклических аппаратов схем УАУ может осуществляться с позиций уменьшения себестоимости некоторых видов аппаратов за счет сокращения номенклатуры аппаратов. Пример такой оптимизации показан в главе 3.

Анализ проведенного статистического исследования позволяет констатировать следующее:

- выявленные статистические зависимости по данным принципиальных схем, присланных проектирующими организациями, показывают, что в среднем на один релейный аппарат приходится 3,19 контактов, из которых 2,33 замыкающих и 0,86 размыкающих, что дает приблизительную оценку потребности в релейных аппаратах определенного вида при создании реальных СЭА по металлорежущим станкам;
- репрезентативность выборки собранных принципиальных СЭА позволила найти эмпирические законы распределения числа замыкающих и размыкающих контактов и общего числа контактов в одном аппарате, а также обнаружить зависимость этих чисел, что является важным для последующих исследований по оптимизации, стандартизации и унификации релейных аппаратов СЭА;
- проведенное аналогичное статистическое обследование монтажных СЭА позволило установить, что в реально действующих схемах металлорежущих станков среднее число контактов вдвое превышает таковое в принципиальных СЭА, что обнаруживает огромный перерасход дефицитных материалов и средств;
- из статистически найденных закономерностей установлено, что доля релейных аппаратов со значительным числом контактов $w \geq 11$ в монтажных схемах весьма незначительна, поэтому, учитывая высокую их стоимость, рекомендуется в случае надобности в таких аппаратах применять дублирование циклического аппарата.

2.2. Определение стохастических связей между количествами замыкающих и размыкающих контактов в аппаратах СЭА

Анализ, проведенный в предыдущем параграфе, показал, что существует зависимость между x_0 и y_0 , то есть между числом замыкающих контактов и числом размыкающих контактов в аппаратах СЭА УАУ в монтажных схемах, так и между x_p и y_p , т.е. между числами тех же контактов в принципиальных схемах.

По данным статистической обработки монтажных и принципиальных СЭА УАУ, были составлены корреляционные таблицы между X и Y для аппаратов монтажных схем (таблица 11) и для аппаратов принципиальных схем (таблица 12).

Таблица 11

Корреляционная таблица связей X_0 и Y_0
(монтажные схемы)

X_0/Y_0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	n_{y_0}
0	-	8	9	1	2	-	4	-	17	41
1	1	18	1	4	98	2	-	-	-	124
2	-	-	60	22	72	122	173	-	20	470
3	-	-	6	45	2	5	2	34	-	95
4	-	-	-	7	275	-	51	-	2	335
5	-	-	-	-	-	2	-	-	-	2
6	-	-	-	-	-	-	38	-	-	39
n_x	1	28	76	79	449	131	269	34	39	1106

Таблица 12

Кореляционная таблица связей X_p и Y_p
(принципиальные схемы)

x_p / y_p	0	1	2	3	4	5	6	n_{y_p}
0	-	138	121	78	50	35	16	438
1	38	77	124	71	56	29	7	391
2	6	33	45	39	37	25	13	198
3	3	4	8	15	16	-	-	46
4	4	-	4	4	21	-	-	33
n_{x_p}	51	252	301	207	170	89	36	Π06

По данным таблиц 11 и 12 можно определить закон распределения дискретной двумерной случайной величины (X, Y) . Первая строка содержит всевозможные значения составляющей "X", а первый столбец - составляющей "Y". В клетке, стоящей на пересечении столбца "X" и строки "Y", указана частота значения (x_i, y_i) , Законы распределения вероятностей $P(x_0 y_0)$ и $P(x_p y_p)$, а также законы распределения составляющих двумерной случайной величины $P(x_0)$, $P(y_0)$, $P(x_p)$ и $P(y_p)$ представлены в таблицах 13 и 14.

По таблицам 13 и 14 можно определить с помощью методов корреляционного анализа взаимосвязь между x_0 и y_0 , x_p и y_p , как для принципиальных, так и для монтажных схем.

Ковариацию $(X Y)$ определяем по формуле:

$$C_{xy} = \frac{\sum(x \sum n_{xy} y)}{n} - \bar{x} \bar{y},$$

где:

n_{xy} - частота пары значений X, Y;

\bar{x} - средняя значений X;

\bar{y} - средняя значений Y;

Закон распределения вероятностей $p(y_0 \text{ и } x_0)$

$y_0 x_0$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	$p(y_0)$	Ряд распределения составляющей y_0
0	-	0,007	0,008	0,001	0,002	-	0,0036	-	0,0154	0,037	
1	0,001	0,01	0,001	0,0036	0,0887	0,0018	-	-	-	0,1121	
2	-	0,001	0,0543	0,02	0,065	0,110	0,152	-	0,018	0,4243	
3	-	0,001	0,005	0,041	0,001	0,005	0,002	0,031	-	0,086	
4	-	-	-	0,006	0,249	-	0,046	-	0,002	0,303	
5	-	-	-	-	-	0,002	-	-	-	0,002	
6	-	-	-	-	-	-	0,0363	-	-	0,0353	
Ряд распределения составляющей X_0											

n_x - частота соответствующих значений x ;

n_y - частота соответствующих значений y ;

n - общее число наблюдений;

x_y – соответствующие значения количества замыкающих и размыкающих контактов.

Для определения средних значений по сечениям воспользуемся зависимостями:

$$\bar{y}_x = \frac{\sum n_{xy} y}{\sum n_x} - \text{средние значения } Y \text{ при соответствующих значениях } X;$$

$$\bar{x}_y = \frac{\sum n_{xy} x}{\sum n_y} - \text{средние значения } X \text{ при соответствующих значениях } Y.$$

Таблица 14

Закон распределения вероятности $p(y_p \text{ и } x_p)$

$y_p x_p$	0	1	2	3	4	5	6	$p(y_o)$	Ряд распределения составляющей y_p
0	-	0.1248	0.1094	0.0705	0.0452	0.0316	0.0145	0.396	
1	0.0344	0.0696	0.1112	0.0642	0.0416	0.0262	0.0063	0.3535	
2	0.0034	0.0298	0.0407	0.0352	0.0325	0.0226	0.0117	0.1789	
3	0.0027	0.0036	0.0072	0.0136	0.0144	-	-	0.0415	
4	0.0036	-	0.0036	0.0036	0.0190	-	-	0.0298	
$p(y_o)$	0.0461	0.2278	0.2721	0.1871	0.1537	0.0804	0.0325	0.9999	
Ряд распределения составляющей X_p									

В таблицах 15, 16, 17, 18 приведены средние значения $\overline{Y/x}$ и $\overline{X/y}$.

Математические ожидания X и Y будут соответственно: $x_0=4,65$; $y_0=2,651$; $x_p=2,546$, $y_p=0,955$, т.е. в монтажных схемах использовано в среднем в два раза больше контактов, чем в принципиальных, кроме того, имеются случаи применения дорогостоящих аппаратов с неоправданно завышенным числом контактов (~10% случаев).

Коэффициенты корреляции определяются по формуле:

$$r_{xy} = \frac{C_{xy}}{\sigma_x \sigma_y},$$

Таблица 15

Средние значения \bar{y}_0/x_0

x_0	0	1	2	3	4	5	6	7	8
\bar{y}_0/x_0	1	0.821	1.829	2.671	3.002	2.069	2.937	3.000	1.231

Таблица 16

Средние значения \bar{x}_0/y_0

x_0	0	1	2	3	4	5	6
\bar{x}_0/y_0	4.804	3.500	4.857	4.542	2.300	5.000	6.000

Таблица 17

Средние значения \bar{y}_p/x_p

x_p	0	1	2	3	4	5	6
\bar{y}_p/x_p	1.47	0.615	0.840	1.014	1.482	0.887	0.917

Таблица 18

Средние значения \bar{x}_p/y_p

y_p	0	1	2	3	4
\bar{x}_p/y_p	2.477	2.319	2.985	2.804	3.151

где

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum n_x x^2}{n} - \bar{x}^2} \text{ среднее квадратическое отклонение величины X;}$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum n_y y^2}{n} - \bar{y}^2} \text{ среднее квадратическое отклонение величины Y;}$$

Проверка отличия от нуля выборочного коэффициента корреляции с заданной вероятностью $P=0,99$ и числом $n=1106$ наблюдений производилась по критерию [18]:

$$\sqrt{n-1}|\sigma_n| < 3.$$

Коэффициенты корреляции и среднеквадратические отклонения будут

равны:

$$\begin{aligned}r_{x_0y_0} &= 0,085; & r_{x_p y_p} &= 0,1243; \\ \sigma_{x_0} &= 1,490; & \sigma_{x_p} &= 1,470; \\ \sigma_{y_0} &= 1,310; & \sigma_{y_p} &= 1,004;\end{aligned}$$

Как видно из полученных значений коэффициентов корреляции и средне-квадратических отклонений, зависимость между Y и X не является линейной. Поэтому требуется исследовать возможность существования нелинейных зависимостей между этими величинами.

Выборочные прямые регрессии Y и X и их выборочные прямые регрессии X и Y соответственно запишутся уравнениями:

$$\begin{aligned}\overline{y_0} &= 0,0726x + 2,3197; & \overline{y_p} &= 0,085x + 0,739; \\ \overline{x_0} &= 0,0697y + 4,294; & \overline{x_p} &= 0,1819y + 0,372.\end{aligned}$$

Уравнения регрессии более высоких порядков имели следующий вид:

$$\begin{aligned}\overline{x_0} &= 0,099y^2 - 0,383y + 4,467; \\ \overline{x_0} &= 0,007y^3 - 0,036y^2 - 0,243y + 4,52; \\ \overline{x_0} &= 0,0353y^4 - 0,416y^3 + 1,605y^2 - 2,03y + 4,00; \\ \overline{y_0} &= -0,0969x^2 + 0,9246x + 0,5528; \\ \overline{y_0} &= -0,1768x^3 + 0,1152x^2 + 0,2863x + 0,85; \\ \overline{y_0} &= -0,0024x^4 + 0,0044x^3 + 0,00545x^2 + 0,4583x + 0,8167; \\ \overline{x_p} &= 0,0116y^2 + 0,1367y + 2,4; \\ \overline{x_p} &= 0,02466y^3 + 0,1596y^2 - 0,0754y + 2,433; \\ \overline{x_p} &= 0,127y^4 - 0,0104y^3 + 2,64y^2 - 1,89y + 2,477; \\ \overline{y_p} &= 0,0108x^2 - 0,0821x + 1,137; \\ \overline{y_p} &= -0,0407x^3 + 0,3776x^2 - 0,897x + 1,381; \\ \overline{y_p} &= 0,01914x^4 - 0,2704x^3 + 1,228x^2 - 1,865x + 1,48.\end{aligned}$$

Сравнение результатов, полученных по вышеприведенным формулам с табличными, показывает, что уже при параболической корреляции кривые достаточно хорошо описывают форму и тесноту связи X и Y .

Полученные взаимосвязи между X и Y позволяют определить среднее число замыкающих контактов при заданном числе размыкающих контактов и наоборот.

Как принято в практике статистических расчетов, после получения корреляционных зависимостей необходимо проверить силу и тесноту корреляционной связи между переменными, а также оценить точность и надежность входящих в зависимость коэффициентов регрессии. Будем исследовать вышеуказанные факторы на примере квадратичной корреляционной зависимости

$$\overline{y_p} = b'x^2 + bx + a$$

где из формулы: $a = 1,137, b = -0,0821; b' = 0,0108$.

Теснота корреляционной зависимости может определяться индексом корреляции i_{xy} , или коэффициентом корреляции R , вычисленными по формулам

$$i_{xy} = \sqrt{1 - \frac{S_z^2}{S_y^2}}, \quad R = 1 - \frac{S_{y'(x)}^2}{S_y^2},$$

где $S_z = \sqrt{\frac{\sum z^2 - nM_z^2}{n}}$ - среднеквадратическое отклонение величины

$$z = y(x) - y''(x)$$

$y(x)$ - наблюдаемое значение зависимой переменной,

$y''(x)$ - значение y , вычисленное для данного по уравнению регрессии,

n - объем выборки,

S_y - среднеквадратическое отклонение Y.

Доверительные границы для коэффициента корреляции находятся с помощью z - преобразования Фишера [19]: $z = \frac{1}{2} \ln \frac{1+R}{1-R}$. Распределение z является приближенно нормальным со средним

$$M_z = \frac{1}{2} \ln \frac{1+R_0}{1-R_0} + \frac{R_0}{2(n-1)},$$

где R_0 - оценка R по нашей выборке; и дисперсией $\sigma_z = \frac{1}{n-3}$. Тогда величина

$\frac{z - M_z}{\sigma_z}$ имеет нормальное распределение со средним равным 0 и дисперсией

равной 1, следовательно, при надежности оценки z , равной 0,95 из [22], имеем

$$\left| \frac{z - M_z}{\sigma_z} \right| < 1.96.$$

или

$$z = M_z \pm 1.96\sigma_z.$$

Откуда

$$R = R_0 \pm 0.001.$$

Произведем оценки точности S_b и $S_{b'}$, коэффициентов регрессии b и b' , входящих в квадратичную корреляционную зависимость, как это делается в работе [20].

Вычислим стандартную ошибку $S_{y'f(x)}^2$ оценки кривой регрессии по формуле

$$S_{y'f(x)}^2 = S_z^2 \left(\frac{n}{n-m} \right),$$

где

M_z - математическое ожидание случайной величины z ,

$m=3$ - число параметров нашей корреляционной зависимости.

Так как $n=1106$ - велико, то $\frac{n}{n-m} \cong 1$.

Тогда $S_{y'f(x)}^2 \cong S_z^2$.

Стандартные ошибки коэффициентов регрессии b и b' вычисляются по формулам:

$$S_b = S_{y'f(x)}^2 \sqrt{C_{22}}, \quad S_{b'} = S_{y'f(x)}^2 \sqrt{C_{33}},$$

где C_{22} и C_{32} определяются из систем уравнений:

$$\begin{cases} \sum (x_2)^2 C_{22} + \sum (x_2 x_3) C_{23} = 1 \\ \sum (x_2 x_3) C_{22} + \sum (x_3)^2 C_{23} = 0 \end{cases}; \quad \begin{cases} \sum (x_2)^2 C_{32} + \sum (x_2 x_3) C_{33} = 0 \\ \sum (x_2 x_3) C_{32} + \sum (x_3)^2 C_{33} = 1 \end{cases};$$

где

$$A = \sum (x_2)^2 = \sum (x - M_x)^2, \quad B = \sum (x_2 x_3) = \sum (x^2 - M_x^2)(x - M_x),$$

$$C = \sum (x_3)^2 = \sum (x^2 - M_x^2)^2,$$

M_x и M_x^2 - математические ожидания x и x^2 .

Надежность вычисленных коэффициентов b и b' определяется по таблице 2.3 [20]. Затем для каждого X можно определить ширину зоны, в которой может находиться кривая регрессии.

$$S_{1.2.2^2}^2 = \frac{S_{yf(x)}^2}{n} + (S_b x_b)^2 + 2S_b S_b' U + (S_b' U)^2,$$

где

$x_2 = x - M_x$, $U = x^2 - M_x^2$, $S_{1.2.2^2}$ - половина ширины указанной зоны.

Вычисления всех параметров корреляционной зависимости производились на ЭВМ.

Результаты вычислений:

Объем выборки $n=1106$;

$M_y=0,955$;

$S_y=1,004$;

$S_{yf(x)}=0,71$;

$M_z=-0,0656$;

$S_z=0,71$;

$i_{xy}=0,715$;

$S_b = 0,075$;

$S_b' = 0,011$;

$Max(S_{1.2.2^2}) = 0,42$.

Для правильного назначения модулей выпускаемых электроаппаратов необходимо определить законы распределения величин X_p и Y_p .

В таблицах 13, 14 приведены законы распределения $P(X_0)$, $P(Y_0)$, $P(X_p)$, $P(Y_p)$. Наибольший интерес представляет определение теоретических распределений X_p и Y_p в принципиальных, а не монтажных схемах, т.к. эти схемы обладают минимальной избыточностью контактов и указывают на потребное количество замыкающих и размыкающих контактов.

В таблицах 20, 21 представлены ряды распределения величин X_p и Y_p , как эмпирических, так и выравненных (теоретических).

Таблица 19

Таблица значений X и Y

$y \backslash x$	0	1	2	3	4	5	6	n_y
0	0	138	121	78	50	35	16	438
1	38	77	123	71	46	29	1	391
2	6	33	45	39	37	25	13	198
3	3	4	8	15	16	0	0	46
4	4	0	4	4	4	0	0	33
n_x	51	252	301	207	170	89	36	1106
Оцененные значения $y''(x)$ по уравнению регрессии								
X	0	1	2	3	4	5	6	
$y'(x)$	0	1.0657	1.116	0.9879	0.8814	0.9965	1.0332	

Таблица 20

Ряд распределения замыкающих контактов (X_p) для принципиальных схем

Параметр (X_p)	0	1	2	3	4	5	6
Эмпирический ряд $p(x_p)_Э$	0,0461	0,2278	0,2721	0,1871	0,1537	0,0804	0,0325
Теоретический ряд $p(x_p)_Т$	0,091	0,2180	0,2620	0,2090	0,1265	0,061	0,024

Таблица 21

Ряд распределения размыкающих (Y_p) контактов для принципиальных схем

Параметр Y_p	0	1	2	3	4
Эмпирический ряд $p(y_p)_Э$	0,396	0,3535	0,178	0,0415	0,0298
Теоретический ряд $p(y_p)_Т$	0,383	0,366	0,178	0,0557	0,0132

Теоретические ряды распределения были получены в предположении, что случайные величины X_p и Y_p распределены по закону Пуассона. Это предположение, как известно, принимается в случае близости оценок математических ожиданий и дисперсий эмпирического распределения вероятностей, как это наблюдается в нашем случае.

Теоретические распределения параметров X_p и Y_p описываются соответственно формулами:

$$P(x_p) = \frac{2,4^{x_p}}{x_p!} e^{-2,4}, \quad P(y_p) = \frac{0,955^{y_p}}{y_p!} e^{-0,955}.$$

Графики теоретического и эмпирического распределений для $P(X_p)$, $P(Y_p)$, представлены на рисунках 10 и 11.

Анализируя таблицы 13, 14, 20, 21 и рис. 10-11 видим, что максимальное число замыкающих и размыкающих контактов в аппаратах принципиальных схем составляет соответственно 6 и 4, причем представительство аппаратов с этим числом контактов в СЭА незначительно (соответственно 3,25% и 2,98%), что ещё раз указывает на возможность оптимизации с помощью, например, замены редко встречающихся видов аппаратов аппаратами, выпускающимися крупной серией, и дублирования более дешевыми аппаратами с меньшим числом контактов.

Проведенный анализ стохастических связей между числом замыкающих и размыкающих контактов позволил выявить ряд закономерностей, учитывая которые следует планировать выпуск нужного числа контактных аппаратов в ряде отраслей станкостроительной промышленности [42]. Однако, схемы управления различных видов станков значительно отличаются друг от друга как конструктивно, так и по количеству применяемых аппаратов и виду контактов в них, поэтому для выдачи рекомендаций по планированию количества различных аппаратов по отдельным группам станков следует провести подобный анализ по этим группам.

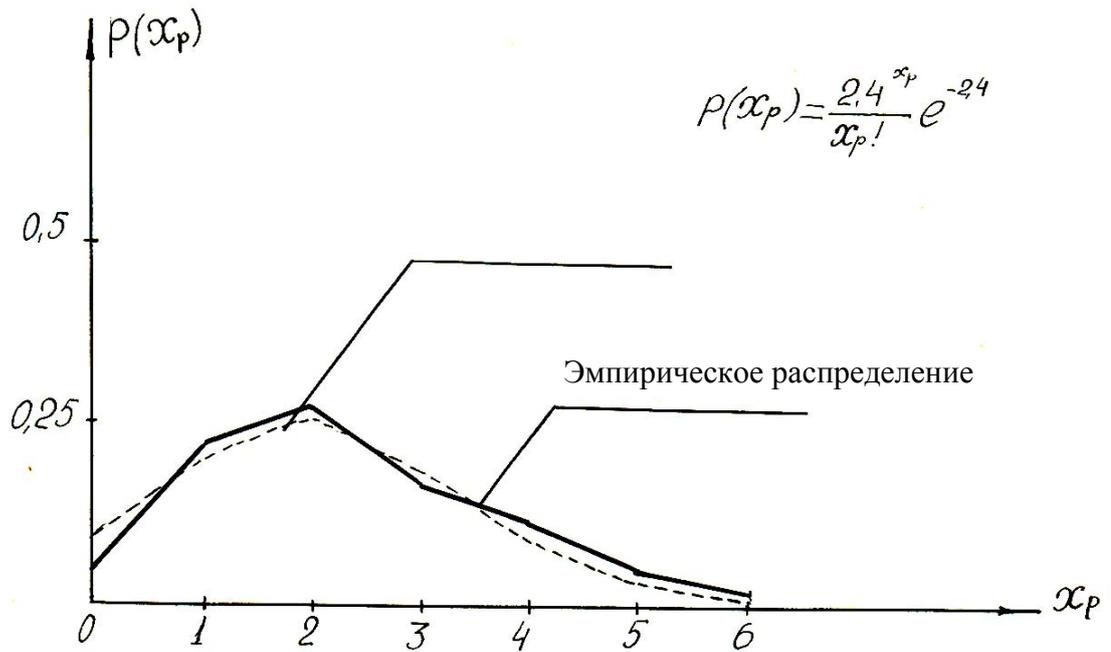


Рис. 10. Теоретические и эмпирические распределения замыкающих контактов x_p

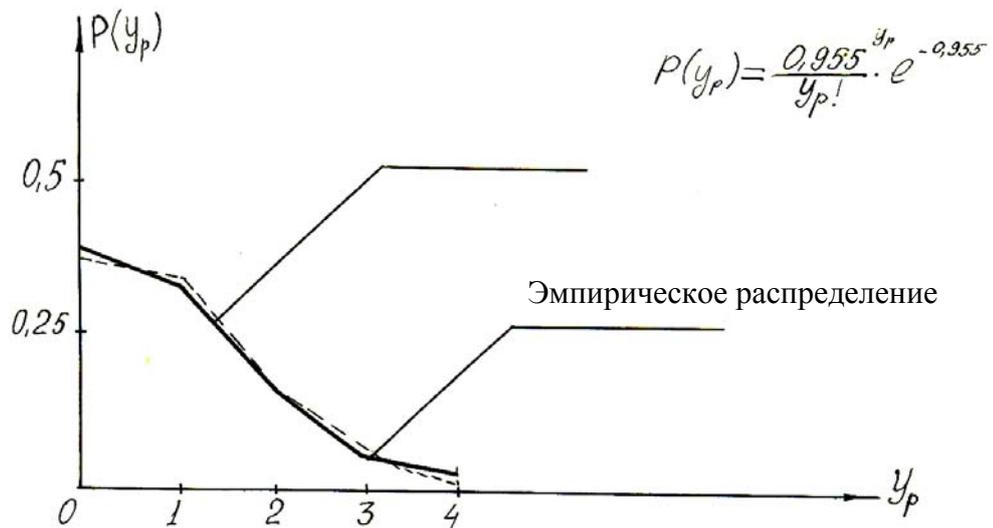


Рис. 11. Теоретические и эмпирические распределения размыкающих контактов y_p

Для определения зависимостей X и Y от вида систем управления агрегатов все принципиальные и монтажные схемы были дифференцированы по технологическим принципам исполняемых операций на следующие классы:

- I. Шлифовальная группа;
- II. Фрезерная группа;
- III. Координатно-расточная группа;
- IV. Токарные автоматы.

Результаты исследования и исходные данные по данным группам приведены в таблицах:

I. ШЛИФОВАЛЬНАЯ ГРУППА

Таблица 22

Корреляционная таблица связей X_0 и Y_0 шлифовальной группы

$Y_0 \setminus X_0$	0	1	2	3	4	5	6	n_y
0	-	-	-	-	-	-	-	0
1	-	1	-	-	-	-	-	1
2	-	-	6	-	-	18	11	35
3	-	-	-	-	-	-	-	0
4	-	-	-	-	47	-	-	47
n_x	-	1	6	-	47	18	11	83

Таблица 23

Корреляционная таблица связей X_p и Y_p шлифовальной группы

$Y_p \setminus X_p$	0	1	2	3	4	5	6	n_y
0	-	3	6	3	7	4	2	25
1	2	8	8	10	5	5	-	38
2	-	3	2	3	-	3	1	12
3	2	-	-	-	6	-	-	8
n_x	4	14	16	16	18	12	3	83

Таблица 24

Закон распределения вероятностей $P(X_0Y_0)$ шлифовальной группы

$Y_0 \setminus X_0$	0	1	2	3	4	5	6	$P(Y_0)$	
0	-	-	-	-	-	-	-	-	Ряд распределения составляющей Y_0
1	-	0,012	-	-	-	-	-	0,012	
2	-	-	0,0723	-	-	0,2168	0,1325	0,4216	
3	-	-	-	-	-	-	-	-	
4	-	-	-	-	0,5663	-	-	0,5663	
$P(X_0)$	-	0,012	0,0723	-	0,5663	0,2168	0,1325	0,9999	
Ряд распределения составляющей X_0									

Таблица 25

Закон распределения вероятностей $P(X_pY_p)$ шлифовальной группы

$Y_p \setminus X_p$	0	1	2	3	4	5	6	$P(Y_p)$	
0	-	0,0360	0,0723	0,0360	0,0723	0,0482	0,0241	0,2889	Ряд распределения составляющей Y_p
1	0,0241	0,0964	0,0964	0,1250	0,0602	0,0602	-	0,4623	
2	-	0,0360	0,0241	0,0360	-	0,0360	0,0120	0,1441	
3	0,0241	-	-	-	0,0723	-	-	0,0964	
$P(X_p)$	0,0482	0,1684	0,1928	0,1970	0,2048	0,1444	0,0361	0,9917	
Ряд распределения составляющей X_p									

Математические ожидания и среднеквадратические отклонения для X и Y шлифовальной группы

$$\bar{x}_0 = 4,301, \quad \bar{x}_p = 2,94,$$

$$\bar{y}_0 = 3,1205, \quad \bar{y}_p = 1,036,$$

$$\sigma_{x_0} = 1,027, \quad \sigma_{x_p} = 1,554,$$

$$\sigma_{y_0} = 1,011, \quad \sigma_{y_p} = 0,8306.$$

Таблица 26

Средние значения $\frac{\overline{y_0}}{x_0}, \frac{\overline{x_0}}{y_0}, \frac{\overline{y_p}}{x_p}, \frac{\overline{x_p}}{y_p}$ для шлифовальной группы

x_0	0	1	2	3	4	5	6
$\overline{y_0}/x_0$	0	1	2	0	4	2	2
y_0	0	1	2	3	4	-	-
$\overline{x_0}/y_0$	0	1	4,8	0	4	-	-
x_p	0	1	2	3	4	5	6
$\overline{y_p}/x_p$	2	1	0,75	1	1,278	0,917	0,667
y_p	0	1	2	3	4	-	-
$\overline{x_p}/y_p$	3,36		3,083	3	4	-	-

Уравнения регрессии:

линейные

$$\overline{y_0} = 0,2845x + 1,897;$$

$$\overline{y_p} = -0,129x + 1,47;$$

$$\overline{x_0} = 0,2936y + 3,385;$$

$$\overline{y_p} = 0,0602y + 3,102;$$

квадратичные

$$\overline{y_0} = -0,093x^2 + 0,928x + 0,0238;$$

$$\overline{y_p} = 0,387x^2 - 0,362x + 1,67;$$

$$\overline{x_0} = -0,1867y^2 + 1,442y + 0,1885;$$

$$\overline{x_p} = 0,168y^2 - 0,5642y + 3,27.$$

Таблица 27

Ряд распределения X_p для принципиальных схем шлифовальной группы

Параметр	X_p	0	1	2	3	4	5	6
Эмпирический ряд	$P(X_p)_э$	0,0482	0,1684	0,1828	0,1925	0,2168	0,1444	0,0360
Теоретический ряд	$P(X_p)_т$	0,05	0,15	0,225	0,225	0,164	0,101	0,05

Ряд распределения Y_p для принципиальных схем шлифовальной группы

Параметр	Y_p	0	1	2	3
Эмпирический ряд	$P(y_p)_э$	0,301	0,4578	0,14415	0,0964
Теоретический ряд	$P(y_p)_т$	0,31	0,342	0,186	0,07

Теоретические распределения X_p и Y_p шлифовальной группы описываются законом Пуассона:

$$P(x_p) = \frac{3^{x_p}}{x_p!} e^{-3}, \quad P(y_p) = \frac{1.1^{y_p}}{y_p!} e^{-1.1}$$

Графики зависимостей для шлифовальной группы представлены на рис. 12 и 13.

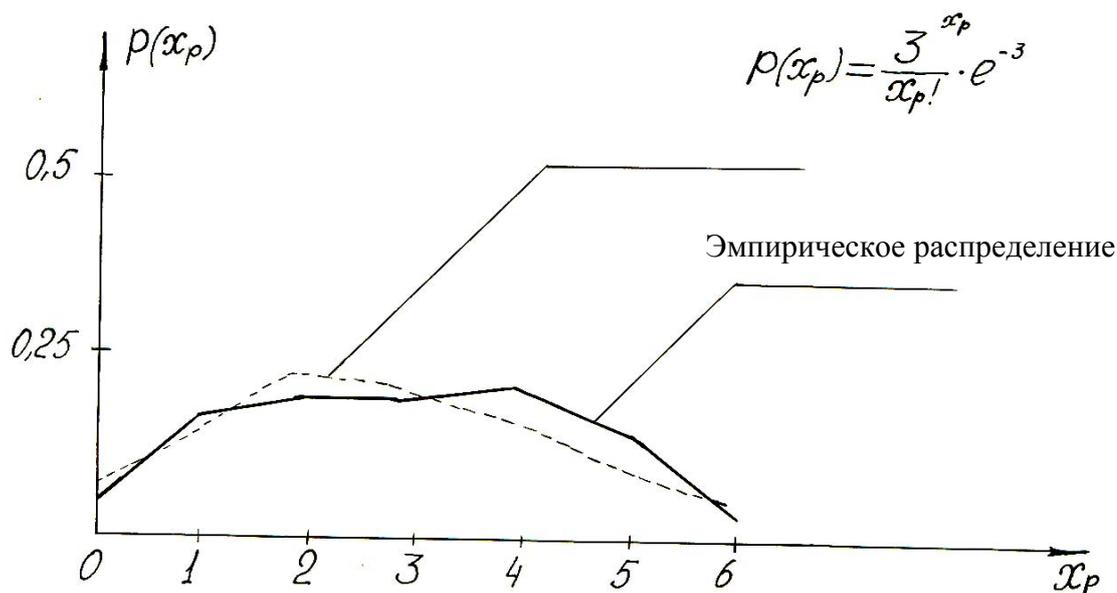


Рис. 12. Теоретические и эмпирические распределения замыкающих контактов x_p шлифовальной группы



Рис. 13. Теоретические и эмпирические распределения размыкающих контактов y_p шлифовальной группы

II. ФРЕЗЕРНАЯ ГРУППА

Таблица 29

Корреляционная таблица связей X_0 и Y_0 фрезерной группы

$Y_0 \setminus X_0$	0	1	2	3	4	5	6	n_y
0	-	-	8	-	-	-	-	8
1	1	2	-	-	-	-	-	3
2	-	-	37	-	4	68	101	210
3	-	-	-	37	-	-	7	44
4	-	-	-	-	91	-	-	91
5	-	-	-	-	-	-	4	4
n_x	1	2	45	37	95	68	112	360

Таблица 30

Ряд распределения X_p для принципиальных схем фрезерной группы

Параметр	X_p	0	1	2	3	4	5	6
Эмпирический ряд	$P(X_p)_э$	0,052	0,23	0,18	0,2301	0,127	0,1054	0,0580
Теоретический ряд	$P(X_p)_Т$	0,055	0,1595	0,2312	0,2236	0,164	0,094	0,04

Таблица 31

Ряд распределения Y_p для принципиальных схем фрезерной группы

Параметр	Y_p	0	1	2	3	4
Эмпирический ряд	$P(y_p)_э$	0,3614	0,3778	0,1861	0,0472	0,0278
Теоретический ряд	$P(y_p)_т$	0,368	0,3678	0,1839	0,061	0,0153

Таблица 32

Корреляционная таблица связей X_p и Y_p фрезерной группы

$Y_p \setminus X_p$	0	1	2	3	4	5	6	$P(Y_p)$
0	-	45	24	35	13	7	6	130
1	13	30	27	31	13	17	5	136
2	4	10	11	9	11	12	10	67
3	1	-	4	6	6	-	-	17
4	1	-	2	2	3	2	-	10
$P(X_p)$	19	85	68	83	46	38	21	360

Таблица 33

Закон распределения вероятностей $P(X_0 Y_0)$ фрезерной группы

$Y_0 \setminus X_0$	0	1	2	3	4	5	6	$P(Y_0)$	
0	-	-	0,0222	-	-	-	-	0,0222	Ряд распределения составляющей Y_0
1	0,0028	0,0055	-	-	-	-	-	0,00835	
2	-	-	0,1028	-	0,0111	0,190	0,2805	0,57498	
3	-	-	-	0,1028	-	-	0,0194	0,1306	
4	-	-	-	-	0,2528	-	-	0,2528	
5	-	-	-	-	-	-	0,01111	0,01111	
$P(X_0)$ Ряд распределения составляющей X_0									

Таблица 34

Закон распределения вероятностей $P(X_p, Y_p)$ фрезерной группы

$Y_p \setminus X_p$	0	1	2	3	4	5	6	$P(Y_p)$	
0	-	0.125	0.067	0.0972	0.0361	0.0194	0.0167	0.3614	Ряд распределения составляющей Y_p
1	0.0361	0.833	0.075	0.0861	0.0361	0.0472	0.01389	0.3778	
2	0.0111	0.0278	0.0305	0.025	0.0305	0.0333	0.0278	0.1861	
3	0.0028	-	0.0111	0.0166	0.0166	-	-	0.04725	
4	0.0028	-	0.0055	0.0055	0.00333	0.0055	-	0.0278	
$P(X_p)$	0.0527	0.2361	0.189	0.2304	0.127	0.1054	0.05839	1.000	
Ряд распределения составляющей X_p									

Таблица 35

Средние значения $\frac{\overline{y_0}}{x_0}, \frac{\overline{x_0}}{y_0}, \frac{\overline{y_p}}{x_p}, \frac{\overline{x_p}}{y_p}$ для фрезерной группы

x_0	0	1	2	3	4	5	6
$\overline{y_0}/x_0$	1,000	1,000	1,644	3	3,915	2,000	2,169
y_0	0	1	2	2	3	4	5
$\overline{x_0}/y_0$	2	-	0,666	4,933	3,477	4,0	6,0
x_p	0	1	2	3	4	5	6
$\overline{y_p}/x_p$	1,474	0,588	1,015	0,9036	1,413	1,289	1,190
y_p	0	1	2	3	4		
$\overline{x_p}/y_p$	2,469	2,529	3,328	2,941	3,200		

Математические ожидания и средние квадратические отклонения X и Y фрезерной группы:

$$\overline{x_0} = 4,431, \quad \overline{x_p} = 2,694,$$

$$\begin{aligned} \bar{y}_0 &= 2.608, & \bar{y}_p &= 1.003, \\ \sigma_{x_0} &= 1.393, & \sigma_{x_p} &= 1.61, \\ \sigma_{y_0} &= 0.981, & \sigma_{y_p} &= 0.993. \end{aligned}$$

Уравнения регрессии:

линейные

$$\begin{aligned} \bar{y}_0 &= -0,0732x + 2,932; & \bar{y}_p &= 0,102x + 0,729; \\ \bar{x}_0 &= -0,1477y + 4,816; & \bar{x}_p &= 0,267y + 2,4257. \end{aligned}$$

квадратичные

$$\begin{aligned} \bar{y}_0 &= -0,1527x^2 + 1,194x + 0,5068; & \bar{y}_p &= -0,0288x^2 - 0,139x + 1,167; \\ \bar{x}_0 &= 0,0325y^2 + 0,664y + 1,574; & \bar{x}_p &= 0,563y^2 - 0,412y + 2,4. \end{aligned}$$

Таблица 36

Ряд распределения X_p для принципиальных схем фрезерной группы

Параметр	x_p	0	1	2	3	4	5	6
Эмпирический ряд	$P(X_p)_э$	0,0527	0,2361	0,1890	0,2301	0,127	0,1054	0,0583
Теоретический ряд	$P(X_p)_т$	0,055	0,1595	0,2312	0,2236	0,162	0,094	0,0454

Таблица 37

Ряд распределения Y_p для принципиальных схем фрезерной группы

Параметр	Y_p	0	1	2	3	4
Эмпирический ряд	$P(y_p)_э$	0,3614	0,3778	0,1861	0,04725	0,0278
Теоретический ряд	$P(y_p)_т$	0,3678	0,3678	0,1839	0,0613	0,0153

Теоретические распределения X_p и Y_p для фрезерной группы описываются законом Пуассона:

$$P(x_p) = \frac{2.9^{x_p}}{x_p!} e^{-2.9}, \quad P(y_p) = \frac{1^{y_p}}{y_p!} e^{-1}.$$

Графики зависимости для фрезерной группы представлены на рис. 14 и 15.

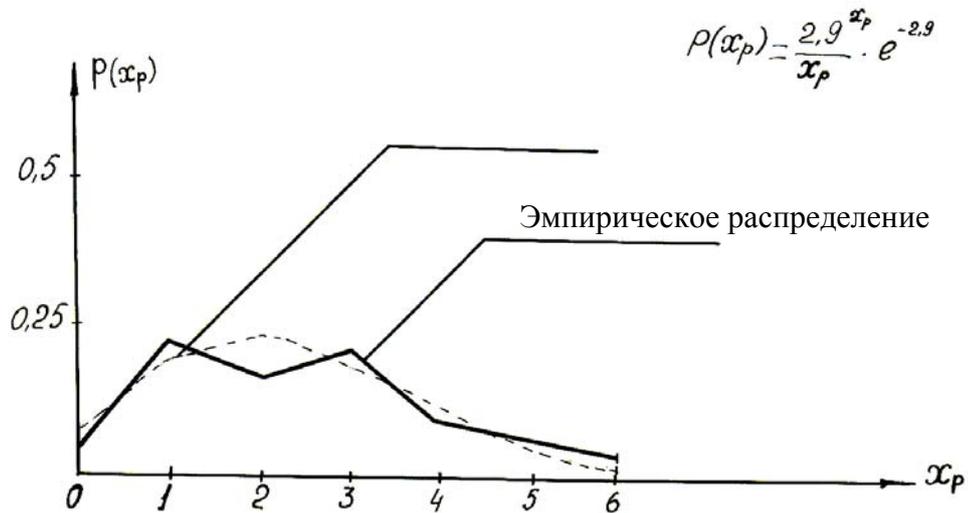


Рис. 14. Теоретические и эмпирические распределения замыкающих контактов x_p фрезерной группы

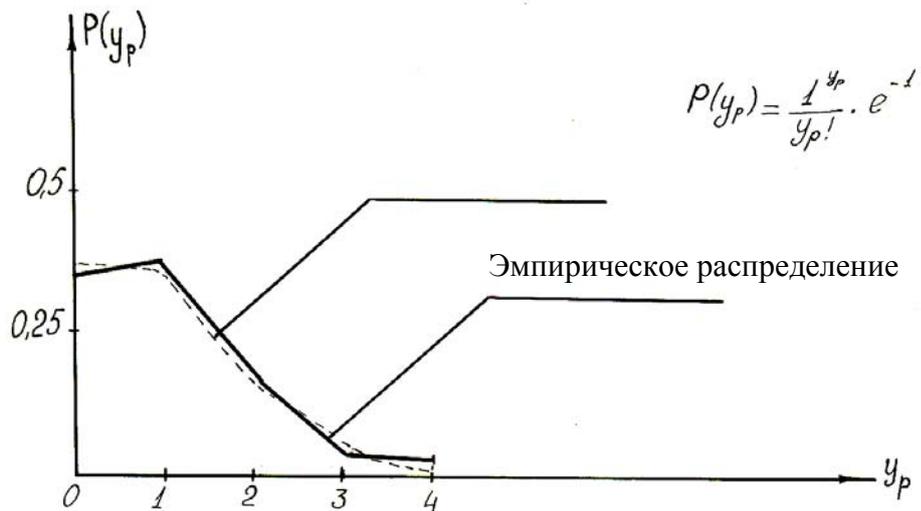


Рис. 15. Теоретические и эмпирические распределения размыкающих контактов y_p фрезерной группы

III. КООРДИНАТНО-РАСТОЧНАЯ ГРУППА

Таблица 38

Корреляционная таблица связей X_0 и Y_0 координатно-расточной группы

$Y_0 \backslash X_0$	0	1	2	3	4	5	6	n_y
0	-	-	-	-	-	-	0	0
1	-	2	-	35	-	-	-	37
2	-	-	4	-	12	38	24	78
3	-	-	-	-	-	-	-	0
4	-	-	-	-	14	-	241	255
n_x	0	2	4	35	26	38	265	370

Таблица 39

Корреляционная таблица связей X_p и Y_p координатно-расточной группы

$Y_p \backslash X_p$	0	1	2	3	4	5	6	n_y
0	-	41	35	47	6	4	-	133
1	9	30	25	32	7	8	9	120
2	8	5	11	17	20	12	5	78
3	2	2	4	2	12	3	5	30
4	-	-	2	2	1	2	2	9
n_x	19	78	77	100	46	29	21	370

Таблица 40

Закон распределения вероятностей $P(X_0, Y_0)$ координатно-расточной группы

$Y_0 \setminus X_0$	0	1	2	3	4	5	6	$P(Y_0)$	Ряд распределения составляющей Y_0
0	0	0.054	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	0	0.1	
2	0	0	0.0108	0.0946	0.0324	0.130	0.0648	0.2108	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0.0378	0	0.651	0.6888	
$P(X_0)$	0	0.054	0.0108	0.0946	0.0702	0.0130	0.7158	1.000	
Ряд распределения составляющей X_0									

Таблица 41

Закон распределения вероятностей $P(X_p, Y_p)$ для координатно-расточной группы

$Y_p \setminus X_p$	0	1	2	3	4	5	6	$P(Y_p)$	Ряд распределения составляющей Y_p
0	0	0,1108	0,0946	0,127	0,0162	0,0108	0	0,359	
1	0,0243	0,0811	0,0675	0,0865	0,0189	0,0216	0,0243	0,325	
2	0,0216	0,0135	0,0297	0,0459	0,0540	0,0324	0,0135	0,210	
3	0,0054	0,0054	0,0108	0,0054	0,0324	0,0081	0,0135	0,081	
4	0	0	0,0054	0,0054	0,0027	0,0054	0,0054	0,024	
$P(X_p)$	0,0513	0,2108	0,208	0,2702	0,135	0,0783	0,0567	0,999	
Ряд распределения составляющей X_p									

Средние значения для координатно-расточной группы

x_0	0	1	2	3	4	5	6
$\overline{y_0/x_0}$	0	1	2	1	3,077	2	3,819
y_0	0	1	2	3	4		
$\overline{x_0/y_0}$	0	2,892	5	2	5,89		

x_p	0	1	2	3	4	5	6
$\overline{y_p/x_p}$	1,63	0,589	0,870	0,8	1,891	1,689	2,000
y_p	0	1	2	3	4		
$\overline{x_p/y_p}$	2,225	2,483	3,179	3,633	4,000		

Математические ожидания и среднеквадратические отклонения X и Y для координатно-расточной группы:

$$\begin{aligned} \overline{x_0} &= 5.403, & \overline{x_p} &= 2.667, \\ \overline{y_0} &= 3.278, & \overline{y_p} &= 1.086, \\ \sigma_{x_0} &= 1.088, & \sigma_{x_p} &= 1.534, \\ \sigma_{y_0} &= 1.107, & \sigma_{y_p} &= 1.052 \text{ ю} \end{aligned}$$

Уравнения регрессии:

линейные

$$\begin{aligned} \overline{y_0} &= 0,78x - 936; & \overline{y_p} &= 0,219x + 0,5; \\ \overline{x_0} &= 0,754y + 2,932; & \overline{x_p} &= 0,446y + 2,164; \end{aligned}$$

квадратичные

$$\begin{aligned} \overline{y_0} &= 0,00162x^2 + 0,528x + 0,277; & \overline{y_p} &= 0,0793x^2 - 0,321x + 0,1285; \\ \overline{x_0} &= -0,7943y^2 + 1,206y + 0,819; & \overline{x_p} &= 0,0017y^2 - 0,477y + 2,16. \end{aligned}$$

Таблица 43

Ряд распределения X_p для принципиальных схем координатно-расточной группы

Параметр	x_p	0	1	2	3	4	5	6
Эмпирический ряд	$P(X_p)_э$	0,0513	0,2108	0,208	0,2702	0,135	0,0783	0,0657
Теоретический ряд	$P(X_p)_Т$	0,067	0,181	0,244	0,22	0,148	0,080	0,036

Таблица 44

Ряд распределения Y_p для принципиальных схем координатно-расточной группы

Параметр	y_p	0	1	2	3	4
Эмпирический ряд	$P(Y_p)_э$	0,359	0,325	0,210	0,081	0,024
Теоретический ряд	$P(Y_p)_Т$	0,333	0,363	1,1996	0,0732	0,0201

Теоретические распределения X_p и Y_p для координатно-расточной группы описываются законом Пуассона:

$$P(x_p) = \frac{2,667^{x_p}}{x_p!} e^{-2,667}, \quad P(y_p) = \frac{1,052^{y_p}}{y_p!} e^{-1,052}$$

Графики зависимостей для координатно-расточной группы представлены на рис. 16 и 17.

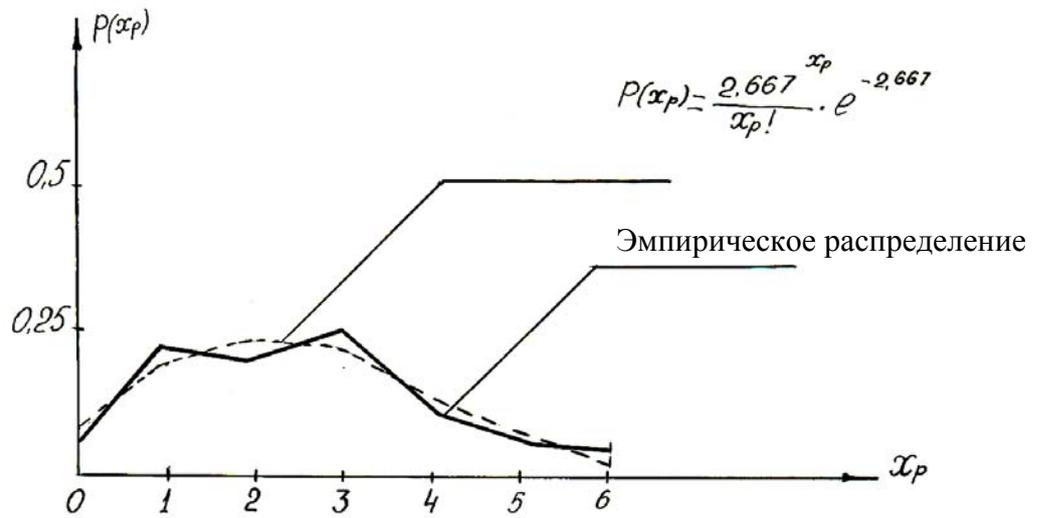


Рис. 16. Теоретические и эмпирические распределения замыкающих контактов x_p координатно-расточной группы

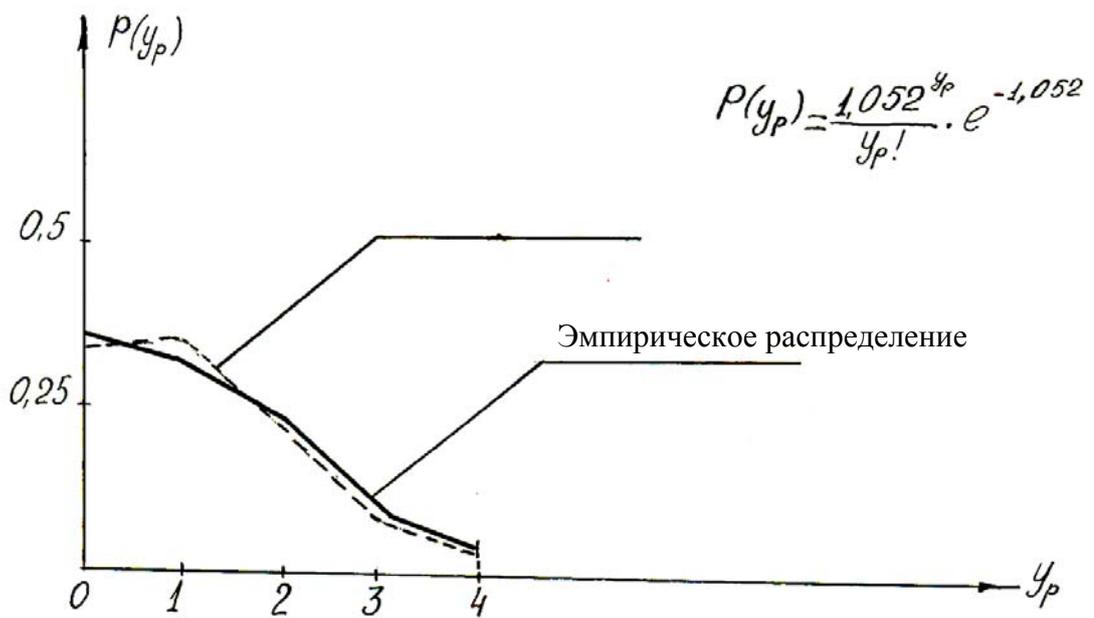


Рис. 17. Теоретические и эмпирические распределения размыкающих контактов y_p координатно-расточной группы

IV. ТОКАРНАЯ ГРУППА

Таблица 45

Корреляционная таблица связей X_0 и Y_0 токарной группы

$Y_0 \backslash X_0$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	n_y
0	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	3
1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
2	-	-	2	-	18	15	-	-	14	-	-	49
3	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	3
4	-	-	-	-	37	-	51	-	-	-	5	93
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
6	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	4
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
8	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	2
n_x	0	1	5	3	55	15	55	0	16	0	4	155

Таблица 46

Корреляционная таблица связей X_p и Y_p токарной группы

$Y_p \backslash X_p$	0	1	2	3	4	5	n_y
0	-	52	15	8	2	2	79
1	112	8	11	10	3	6	50
2	4	5	4	2	3	2	18
3	-	-	1	1	-	-	2
4	1	-	-	2	1	2	6
n_x	17	65	31	23	9	10	155

Средние значения $\frac{\overline{y_0}}{\overline{x_0}}$, $\frac{\overline{x_0}}{\overline{y_0}}$, $\frac{\overline{y_p}}{\overline{x_p}}$, $\frac{\overline{x_p}}{\overline{y_p}}$ для токарной группы

x_0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\overline{y_0} / x_0$	-	1	0,8	3	3,45	2	4,145	-	2,45	-	4
y_0	0	1	2	3	4	5	6	7	8		
$\overline{x_0} / y_0$	2	1	5,367	3	5,419	-	6	-	4		

x_p	0	1	2	3	4	5					
$\overline{y_p} / x_p$	0,8276	0,339	0,7096	1,0869	1,444	1,556					
y_p	0	1	2	3	4						
$\overline{x_p} / y_p$	1,42	2,04	1,72	2,50	3,10						

Математические ожидания и среднеквадратические отклонения X и Y для токарной группы:

$$\begin{aligned} \overline{x_0} &= 5,31, & \overline{x_p} &= 1,781, \\ \overline{y_0} &= 3,35, & \overline{y_p} &= 0,7871, \\ \sigma_{x_0} &= 1.678, & \sigma_{x_p} &= 1.533, \\ \sigma_{y_0} &= 1.256, & \sigma_{y_p} &= 1.152. \end{aligned}$$

Уравнения регрессии:

линейные

$$\begin{aligned} \overline{y_0} &= 0,194x + 2,318; & \overline{y_p} &= 0,312x + 0,235; \\ \overline{x_0} &= 0,347y + 4,148; & \overline{x_p} &= 0,552y + 1,346; \end{aligned}$$

квадратичные

$$\begin{aligned} \overline{y_0} &= -0,05x^2 + 0,652x + 0,405; & \overline{y_p} &= 0,168x^2 - 0,983x + 1,46; \\ \overline{x_0} &= -0,082y^2 + 0,706y + 1,997; & \overline{x_p} &= 0,225y^2 - 1,210y - 2,568. \end{aligned}$$

Таблица 48

Закон распределения вероятностей $P(X_0 Y_0)$ токарной группы

$Y_0 \backslash X_0$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$P(Y_0)$
0	-	-	0,0194	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0194
1	-	0,0065	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0063
2	-	-	0,0129	-	0,1116	0,0968	-	-	0,0903	-	-	0,3161
3	-	-	-	0,0194	-	-	-	-	-	-	-	0,0194
4	-	-	-	-	0,2387	-	0,3290	-	-	-	0,0322	0,599
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	0,0258	-	-	-	-	0,0258
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0129	-	-	0,0128
	-	0,0064	0,0323	0,0194	0,3346	0,0968	0,3548	-	0,1032	-	0,0322	0,9999
Ряд распределения составляющей X_0												

Ряд распределения составляющей Y_0

Таблица 49

Закон распределения вероятностей $P(X_p, Y_p)$ токарной группы

$Y_p \setminus X_p$	0	1	2	3	4	5	$P(Y_p)$	Ряд распределения составляющей Y_p
0	-	0,3355	0,0968	0,0516	0,0129	0,0129	0,5007	
1	0,0774	0,0516	0,0710	0,0654	0,0194	0,0387	0,0325	
2	0,0260	0,0322	0,0260	0,0129	0,0194	-	0,1162	
3	-	-	0,0064	0,0064	-	-	0,0129	
4	0,0064	-	-	0,0129	0,0064	0,0129	0,0387	
$P(X_p)$	0,1872	0,4193	0,2002	0,1483	0,0580	0,0645	1,000	
Ряд распределения составляющей X_p								

Таблица 50

Ряд распределения X_p для принципиальных схем токарной группы

Параметр	x_p	0	1	2	3	4	5
Эмпирический ряд	$P(X_p)_э$	0,1872	0,3419	0,2002	0,1483	0,058	0,0645
Теоретический ряд	$P(X_p)_т$	0,183	0,3100	0,264	0,149	0,0638	0,0216

Таблица 51

Ряд распределения Y_p для принципиальных схем токарной группы

Параметр	y_p	0	1	2	3	4
Эмпирический ряд	$P(Y_p)_э$	0.5097	0.3225	0.1162	0.0129	0.0387
Теоретический ряд	$P(Y_p)_т$	0.507	0.345	0.1172	0.0265	0.0045

Теоретические распределения X_p и Y_p для токарной группы описываются законом Пуассона:

$$P(x_p) = \frac{1.7^{x_p}}{x_p!} e^{-1.7}, \quad P(y_p) = \frac{0.68^{y_p}}{y_p!} e^{-0.68}$$

Графики зависимостей для токарной группы представлены на рис. 18 и 19.

Проверка согласия эмпирических и теоретически подобранных законов производилась по стандартной программе.

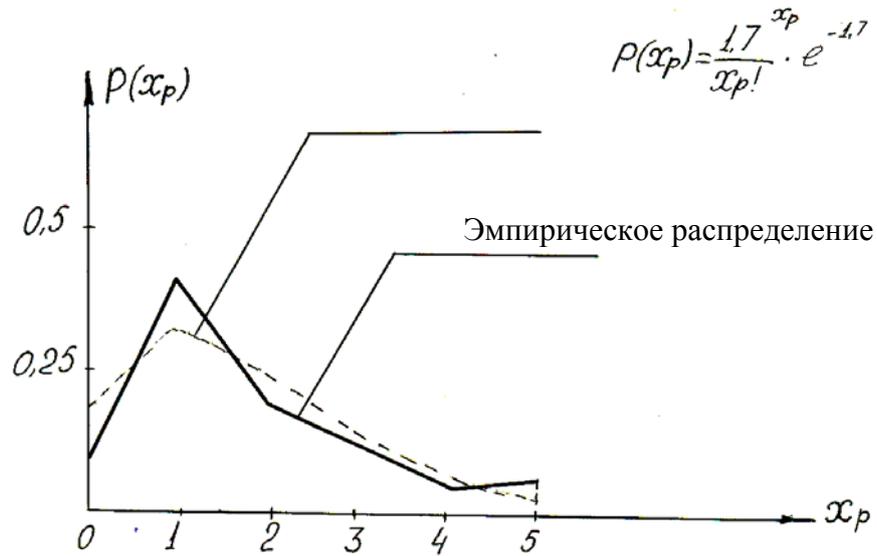


Рис. 18. Теоретические и эмпирические распределения замыкающих контактов x_p токарной группы

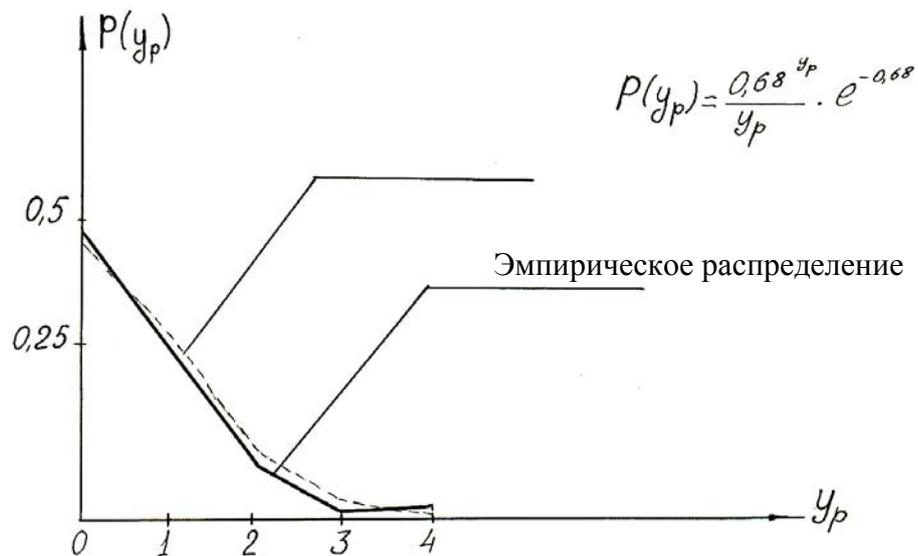


Рис. 19. Теоретические и эмпирические распределения размыкающих контактов y_p токарной группы

ВЫВОДЫ

1. Обработка наблюдений по данным принципиальных и монтажных схем позволила установить, что между количеством размыкающих и замыкающих контактов в релейных аппаратах в СЭА станочного оборудования существует достаточно сильная корреляционная зависимость (квадратичная), что позволяет производить оценку потребности в контактах различного типа для выпускаемого серийного станочного оборудования, а с учетом проведения оптимизации рядов аппаратов - для вновь проектируемого станочного парка.

2. Сравнительный анализ распределений случайных величин X_0 и X_p и Y_0 и Y_p показывает, что средние значения количеств замыкающих и размыкающих контактов в монтажных схемах вдвое превышают таковые в принципиальных схемах, что является причиной перерасхода государственных средств и дорогостоящих и дефицитных материалов.

3. Разукрупненное статистическое исследование вероятностных закономерностей по отдельным группам металлообрабатывающих станков позволило не только конкретизировать отмеченные выше вопросы борьбы с избыточностью релейных аппаратов в СЭА, но также подготовить данные по необходимому количеству аппаратов (функции спроса), необходимые для дальнейшей оптимизации их параметрических рядов.

ГЛАВА 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ РЯДОВ АППАРАТОВ СХЕМ ЭЛЕКТРОАВТОМАТИКИ

3.1. Математическая модель определения оптимального параметрического ряда

Как показали исследования, проведенные в главе 2, большинство реальных (монтажных) схем цикловых систем управления станочного оборудования имеют релейные электроаппараты с избыточным числом как замыкающих, так и размыкающих контактов независимо от видов технологического оборудования.

Найденные законы распределения вероятностей для числа замыкающих и размыкающих контактов релейных аппаратов в СЭА, а также корреляционные зависимости между ними, позволяют надеяться, что возможно создать оптимальные параметрические ряды электроаппаратов, применяемых в системах управления цикловым технологическим оборудованием станкоинструментальной промышленности, которые будут обладать минимальной контактной избыточностью в монтажных схемах по сравнению с принципиальными (что важно с точки зрения экономии дефицитных материалов) и в то же время обладать минимальной себестоимостью.

Следует также отметить, что оптимизация принципиальных схем, проводящаяся проектирующими организациями, часто не отвечает тем требованиям [21], которые предъявляются в настоящее время при назначении типоразмеров промышленных изделий. Так, например, влияние фактора массовости производства аппаратов и связанная с ней унификация производящего промышленного оборудования, как правило, не затрагиваются при назначении оптимальных типоразмеров рядов выпускаемых аппаратов. Производство схем и аппаратов УАУ является массовым, причем масштабы их выпуска ежегодно увеличиваются, поэтому учет вышеупомянутых факторов при определении необходимого количества выпускаемых изделий является актуальной необходимостью.

Представляет практический интерес выбирать оптимальный ряд релейных аппаратов, заменяя каждый многоконтактный аппарат несколькими малоконтактными, что создает благоприятные предпосылки для унификации

релейных аппаратов и их удешевления. Наконец, можно проводить оптимизацию параметрических рядов, используя одновременно два условия оптимизации: условие массовости и условие унификации за счет замены малоконтактными аппаратами. В дальнейшем будем рассматривать оптимизацию с использованием только условия массовости. Постановка и методы решения задач оптимизации параметрических рядов широко освещены в литературе. Однако, объем существующих методов и различие в допущениях, возникающие от специфики поставленных задач, затрудняют их использование, сравнение и проверку полученных результатов оптимизации.

Для оптимизации параметрического ряда необходимо определить "функцию спроса", характеризующую потребности в аппаратах с различным числом контактов, определить "функцию затрат", характеризующую связь между аппаратами различного типа и затратами на их изготовление и эксплуатацию, привести исходные данные (т.е. функции "спроса и затрат") к виду, соответствующему алгоритму оптимизации, выбрать наиболее подходящий математический метод и с помощью него найти оптимальный параметрический ряд. Каждый релейный аппарат характеризуется двумя параметрами x_i и y_j , где x_i - число замыкающих, y_j - число размыкающих контактов аппарата, причем

$$i = 1, \dots, m;$$

$$j = 1, \dots, n;$$

$$x_1 < x_2 < \dots < x_i < \dots < x_m ;$$

$$y_1 < y_2 < \dots < y_j < \dots < y_n .$$

Допускается, что каждый аппарат с параметрами $x_i y_j$ может быть использован для удовлетворения спроса в любом аппарате $x_l y_k$, где $x_l \leq x_i, y_k \leq y_j$. Если задана "функция спроса" в виде матрицы $\|b_{ij}\|$, где b_{ij} - потребность в изделии $x_i y_j$, и функция затрат, определяющая затраты на единицу изделия $x_i y_j$, то задача оптимизации сводится к определению двухмерного параметрического ряда аппаратов

$$\{x_i y_{j_1}; x_i y_{j_2}; \dots; x_i y_{j_n}\}.$$

Однако, поиск оптимального двухпараметрического ряда математически сложнее, чем однопараметрического. В п.2 этой главы показано, что наша задача может быть сведена к нахождению однопараметрического ряда.

Методы определения "функции спроса" можно классифицировать в зави-

симости от основного принципа её построения, способа учета изменений по времени и по организации работ. В зависимости от основного принципа построения "функции спроса" различают три группы методов:

- 1) обработка статистики спроса;
- 2) вычисление её как функции другой функции, определяющей спрос, или путем оптимизации;
- 3) поэтапное разукрупнение.

Обработка статистики спроса может заключаться в составлении уравнений регрессии, в которых функция спроса зависит от параметров, определяющих спрос. Например, в нашем случае таким параметром может служить общее количество замыкающих и размыкающих контактов в одном аппарате СЭА. В ряде случаев целесообразно "функцию спроса" $\varphi(x)$ представить через функцию распределения другой переменной y , которая определяет $\varphi(x)$.

Иногда "функцию спроса" определяют с помощью поэтапного разукрупнения, а именно, сначала одним из известных способов определяют спрос на всю продукцию, а затем последующим разукрупнением этого спроса для ряда более узких диапазонов внутри некоторого интервала значений параметров получают искомую функцию спроса. Весь предыдущий анализ схем, проведенный в работе, начиная с укрупненного, включающего всю совокупность схем для предприятий, выпускающих различные виды станков и кончая разукрупненным, т.е. анализом по группам однотипного оборудования (токарная, фрезерная группа и т.д.) представляет определение функции спроса в нашем случае.

Следует отметить, что функция спроса может быть определена лишь приближенно ввиду неопределенности множества факторов, от которых она зависит (влияние временных параметров, неучет зависимости самой "функции спроса" от параметров оптимизируемого ряда и т.д.). Поэтому было бы целесообразным для принятия решения по параметрическому ряду не только определить расчетный оптимальный ряд, но и чувствительность ряда к возможным отклонениям "функции спроса" от расчетного значения. Для этого по данной "функции спроса" определяют оптимальный параметрический ряд $\{U_i\}$, $i=1, 2, \dots, n$. Затем изменяют "функцию спроса" на величину предполагаемой ошибки её определения и вычисляют новый ряд $\{U_i\}_1$.

Разности членов $\Delta U_i = U_i - U_{i_1}$ и разности суммарных приведенных

затрат служат критериями для суждения о целесообразности уточнения функции спроса.

При определении общих затрат на удовлетворение потребностей в продукции в зависимости от специфики данной задачи построения параметрического ряда могут учитываться следующие виды затрат:

- затраты на разработку (проектирование и подготовку производства);
- затраты на изготовление продукции;
- затраты на эксплуатацию продукции в течение всего срока службы, включая и затраты на обращение (учет, хранение, транспортирование).

При определении суммарных приведенных затрат должны полностью или частично учитываться следующие факторы:

- одновременность затрат в указанных выше видах, путем приведения их к одному моменту времени;
- серийность и её влияние на себестоимость продукции, срок эксплуатации продукции, использование природных ресурсов, ущерб окружающей среде.

Суммарные приведенные затраты для параметрического ряда $z^N = (z_1, z_2, \dots, z_n)$ представляются в виде суммы

$$S = \sum_{z \in z^N} g^0(z) + \sum_{x \in X} \varphi(x) \cdot g_{z \in z^N}(z, x),$$

где X - множество возможных типов изделий;

$g^0(z)$ - постоянные затраты (т.е. общие затраты для всех изделий с параметром Z), не зависящие от числа изделий (объема продукции) этого типоразмера. В эти затраты включаются затраты на разработку, подготовку производства, часть затрат на производство и эксплуатацию, не зависящие от серийности;

$g_{z \in z^N}(z, x)$ - затраты на удовлетворение единичного спроса и изделия с параметром X , с помощью унифицированного изделия с параметром Z , которые пропорциональны объему производства данного типоразмера (переменные затраты).

Задачи оптимизации параметрического ряда состоят в выборе числа членов N , а также самих членов z_1, z_2, \dots, z_n при условии достижения функцией S минимума, причем каждое унифицированное изделие с порядковым номером i может заменять любое изделие с меньшим номером с сохранением затрат на изделие с номером i .

3.2. Особенности задачи оптимизации параметрического ряда аппаратов СЭА

В качестве примера, рассчитаем "функцию затрат" для оптимизации параметрического ряда аппаратов СЭА для группы шлифовальных станков. "Функция спроса" на аппараты этой группы, определенная по статистической обработке сведений от предприятий, представлена в табл. 24.

Учитывая, что стоимость аппарата возрастает в зависимости от суммарного количества z замыкающих и размыкающих контактов в нем (см. график на рис. 20, построенный по данным [22, 23], примем Z в качестве параметра оптимизируемого однопараметрического ряда аппаратов. Вводя допущение о приведенности затрат, указанных в оптовых ценах к текущему моменту времени, можно положить, что постоянные затраты равны 0 (т.е. речь идет о выпуске аппаратов, освоенных предприятиями). Затраты на изготовление единицы изделия с параметром $z = x_p + y_p$ будем считать постоянными для любых изделий 1 и 2, у которых $z_1 = z_2$, где $z_1 = x_{p_1} + y_{p_1}$, $z_2 = x_{p_2} + y_{p_2}$, причем x_{p_1} может быть не равно x_{p_2} и y_{p_1} может быть не равно y_{p_2} . Рассмотрим матрицу $\{a_{ij}\}$, где a_{ij} - аппарат СЭА, имеющий i замыкающих контактов и j размыкающих контактов

$$\begin{array}{ccc} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{array}$$

Матрица контактных аппаратов

Элементы с одинаковой суммой z числа замыкающих и размыкающих контактов расположены на побочных диагоналях этой матрицы. Из матрицы видно, что не все элементы с номером $z=i+j$ могут заменить элементы с меньшим значением параметра, но такие элементы всегда есть. Будем решать оптимизационную задачу выбора однопараметрического ряда $\{z_n\}$, где $n=1, \dots, N$ под условием минимума функции затрат. Однако, окончательно нас интересует не оптимальный ряд а двухпараметрический ряд. Очевидно, оптимальному одно-

параметрическому ряду $\{z_n\}$, соответствует несколько двухпараметрических рядов.

Приведем пример. Пусть матрица "функции спроса" имеет вид

$$\begin{matrix} a_{11} = 40 & a_{12} = 35 \\ a_{21} = 25 & a_{22} = 10 \end{matrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} 40 & 35 \\ 25 & 10 \end{pmatrix},$$

числа указывают потребность в аппарате a_{ij} .

В результате оптимизации получилась матрица

$$\begin{pmatrix} 30 & 40 \\ 30 & 10 \end{pmatrix},$$

тогда например, двухпараметрический ряд, задаваемый матрицей

$$\begin{pmatrix} 30 & 35 \\ 35 & 10 \end{pmatrix}$$

также доставляет минимум функции затрат. Таким образом, по отношению к двухпараметрическому ряду задача оптимизации решена не полностью. Чтобы обеспечить единственность решения, нужно задавать другие ограничения. В этом смысле существенным требованием к ряду является, например, обеспечение по возможности равномерного представительства в нем всех элементов (естественно, с учетом функции спроса при минимуме общих затрат). Выполнение этого требования, как известно, приводит к большей "густоте" ряда, а следовательно, к повышению спроса на его изделия [24]. В других случаях, наоборот, экономически выгодным является ряд с наименьшим числом членов, что приводит к унификации оборудования, повышению качества продукции. Для большинства предприятий, выпускающих аппараты СЭА, как мы видели, важным требованием является сведение к минимуму избыточности аппаратов в схемах. Однако, при одном и том же минимуме затрат и одинаковой степени избыточности задача оптимизации решается неоднозначно.

Например, пусть матрица спроса аппаратов имеет вид:

$$\begin{matrix} a_{11}=3 & a_{12}=1 & a_{13}=1 \\ a_{21}=3 & a_{22}=4 & \\ a_{31}=5 & & \end{matrix}$$

$a_{31}=5$ означает, что в схеме требуется 5 аппаратов с 3-мя замыкающими контактами и 1 размыкающим контактом. Пусть в результате минимизации функции затрат получен ряд

$$z_2=0, \quad z_3=2, \quad z_4=15.$$

Для этого ряда можно указать несколько схем, имеющих одну и ту же степень избыточности контактов.

Например, две из них:

$$a_{11}=0 \quad a_{12}=1 \quad a_{13}=3 \quad a_{11}=0 \quad a_{12}=1 \quad a_{13}=6$$

или

$$a_{21}=1 \quad a_{22}=4 \quad a_{21}=1 \quad a_{22}=4 \\ a_{31}=8 \quad a_{31}=5.$$

Следовательно, из этих схем, обладающих одинаковой степенью избыточности, можно, например, выбрать схему с равномерным представительством различных аппаратов (естественно, с учетом функции спроса).

Это требование мы и будем выполнять в качестве оптимизационного. Таким образом, задача отыскания оптимального двухпараметрического ряда аппаратов распадается на две. В первой задаче выбирается ряд $\{z_n\}$ обеспечивающий минимум функции затрат, во второй - производится оптимизация ряда из условия наименьшей избыточности в контактах аппаратов СЭА в условиях равного их представительства. Функция затрат подсчитывается по формуле Р. Беллмана $S(m) = \min[S(i) + f(i, m)]$, где $0 \leq i \leq m$, $m=1, 2, \dots, N$, N - число членов однопараметрического ряда (для нашего примера $N=9$).

$$f(i, m) = C_m (\Phi_m - \Phi_i), \text{ где}$$

$$\Phi_m = \sum_{j=1}^{j=m} \varphi_j, \quad \Phi_i = \sum_{j=0}^{j=i} \Phi_j, \text{ - функция спроса, берущаяся из табл. 24.}$$

C_m - затраты на удовлетворение спроса в единице продукции Z_m . Эти затраты без учета изменения их за счет влияния фактора серийности приведены на графике рис. 20. Учет влияния серийности на переменные затраты исследуется в работах [24, 25]. В работе [25] приводится формула для себестоимости единицы продукции до и после увеличения объема производства

$$C_2 = C_1 - \frac{N_1}{A_1} + \frac{N_2}{A_2},$$

где C_1, C_2 - себестоимость до после и увеличения объема производства;

N_1 - годовая сумма условно-постоянной части накладных расходов до увеличения объема производства;

A_1, A_2 - годовые выпуски соответственно до и после увеличения объема

продукции.

Эта формула преобразуется в более удобную для наших расчетов

$$C_m^1 = C_m \left(1 - r_0 \sum_{j=i}^{j=m-1} p_j \right),$$

$$r_0 = \frac{N_1}{C_1 A_1}.$$

Величина r_0 зависит от многих факторов, в числе которых степень оснащённости предприятия современной техникой, технологией, годовой выпуск предприятием данного вида аппаратов СЭА, накладные расходы и т.д. Выбор в качестве оптимизационной формулы Р.Беллмана продиктован видом функций C_m и C_m^1 [28].

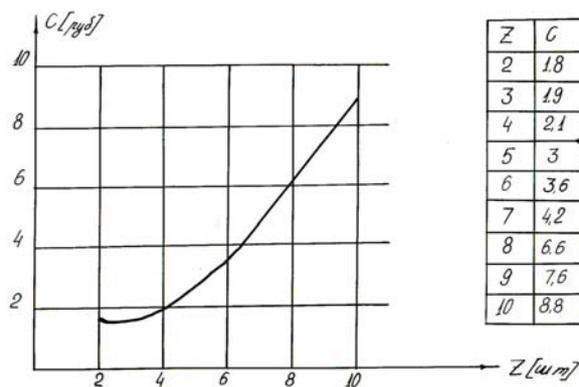


Рис. 20. График зависимости стоимости аппарата от количества контактов

3.3. Выбор математического аппарата метода оптимизации

В зависимости от использования математического аппарата методы нахождения оптимума функции делятся на 3 группы :

1) оптимизационные методы, используемые в тех случаях, когда выбор оптимального параметрического ряда заранее ограничен перебором рядов предпочтительных чисел [27] ;

2) классические методы нахождения минимума или максимума, основанные на необходимых условиях экстремума целевой функции общих затрат, получаемых приравнением нулю частных производных целевой функции по неизвестным параметрам [29, 31];

3) методы, основанные на принципе динамического программирования [26, 27, 33].

Эти методы позволяют находить решение задачи оптимизации при небольших затратах машинного времени, а в простых случаях -путем применения клавишной техники.

Укажем преимущества и недостатки указанных методов. Методы оптимизации, ограничивающие выбор параметрического ряда рядами предпочтительных чисел, являются наиболее простыми. Однако, и самыми неточными. Так, например, в результате применения этих методов в работе [34] для решения одной задачи оптимизации общие затраты увеличивались вдвое за счет ограничения рядами предпочтительных чисел. Поэтому методы группы 1 редко применяются в качестве решения конкретных задач оптимизации параметрических рядов. Сравнение классических методов оптимизации с методами динамического программирования указывает на ряд преимуществ последних. Действительно, в тех случаях, когда целевая функция может иметь не один, а несколько экстремумов, а также, когда абсолютный минимум этой функции достигается на границе области возможных значений оптимизируемых параметров, классические методы становятся неэффективными, а методы динамического программирования могут успешно применяться и в этих случаях.

В ситуации, когда функции спроса и затрат определены таблицами или графиками, их дифференцирование (при использовании классических методов) может приводить к накоплению суммарной ошибки. Методы динамического

программирования не обладают этим недостатком и не требуют ни аналитических аппроксимаций исходных функций спроса и затрат, ни дифференцирования последних.

В тех случаях, когда функции спроса и затрат не удастся определить с помощью простых аналитических выражений при использовании классических методов, система уравнений, получаемая из необходимых условий экстремума целевой функции, оказывается весьма сложной и может быть решена только с помощью численных методов. При этом решение этой системы уравнений часто оказывается более громоздким, чем прямое нахождение решения задач с помощью методов динамического программирования. К недостаткам методов динамического программирования нужно отнести ограниченность их применения, зависящую от требований, налагаемых на свойства целевой функции. Приведенные рассуждения и условия рассматриваемой задачи оптимизации показывают, что применение метода динамического программирования для решения поставленной задачи является наиболее эффективным.

3.4. Алгоритм вычисления и определение оптимального параметрического ряда на примере СЭА группы шлифовальных станков

Для удобства подсчетов по формуле, Р.Беллмана сведем данные по функции спроса и себестоимости аппаратов (график рис. 20) в таблицу 52.

Таблица 52

Данные функции спроса и себестоимости аппаратов

z_m	y_m	c_m	$\phi_m = \sum_{i=0}^m \phi_i$
0	0	0	0
1	0.0601	1.7	0.0601
2	0.1687	1.8	0.2288
3	0.1925	1.9	0.4213
4	0.2289	2.1	0.6502
5	0.1444	3	0.7946
6	0.0843	3.6	0.8789
7	0.1083	4.2	0.9872
8	0.01205	6.6	0.99925
9	0	7.6	0.99925

Чертой снизу будем подчеркивать член, при котором достигается минимум при вычислении $S(m)$ по формуле $S(m) = \min [S(i) + f(i, m)]$.

Полагаем $S(0) = 0$; $r_0 = 0,4$.

Первый шаг $m=1, i=0$.

$$S(1) = S(0) + f(0,1) = C_1^1(\Phi_1 - \Phi_0).$$

Из таблицы 53 и формулы $C_1^1 = 1,7$; $\Phi_1 = 0,0601$; $\Phi_0 = 0$.

$$S(1) = 1,7 \cdot 0,0601 = 0,1022.$$

Для вычислений на втором шаге полагаем $m=2, Q=0$. Параметр Q_k

показывает номер i , при котором $S(i)$ имеет минимум

Второй шаг

$$m = 2,$$

$$S(2) = \min_{i=0,1} [S(i) + f(i,2)] = \min[f(0,2), S(1) + f(1,2)]$$

$$f(0,2) = 1.8(1 - 0.4 \cdot 0.0601) \cdot 0.1687 = 0.3985$$

$$S(2) = \min[0.4019; 0.3985] \quad \theta = 1$$

Третий шаг

$$m = 3;$$

$$i = 1,2$$

$$S(3) = \min_{i=1,2} [S(i) + f(i,3)] = \min[S(1) + f(1,3); S(2) + f(2,3)]$$

$$S(1) + f(1,3) = 0.1022 + 1.9(1 - 0.4 \cdot 0.2288)(0.4213 - 0.601) = 0.7258$$

$$S(2) + f(2,3) = 0.3985 + 1.9(1 - 0.4 \cdot 0.1387) \cdot 0.1925 = 0.7396$$

$$S(3) = \min[0.7258; 0.7396], \quad Q_3 = 1$$

Четвертый шаг

$$m = 4$$

$$i = 1,2,3$$

(промежуточные выкладки будем опускать)

$$S(4) = \min_{i=1,2,3} [S(i) + f(i,4)]$$

$$S(1) + f(1,4) = 1.1326$$

$$S(2) + f(2,4) = 1.556$$

$$S(3) + f(3,4) = 1.1695$$

$$S(4) = f[1.1326 : 1.1556 : 1.1695] \quad Q_4 = 1$$

Пятый шаг

$$m = 5$$

$$i = 1,2,3,4$$

$$S(5) = \min_{i=1,2,3,4} [S(i) + f(i,5)]$$

$$S(1) + f(1,5) = 1.1326$$

$$S(2) + f(2,5) = 1.556$$

$$S(3) + f(3,5) = 1.1695$$

$$S(4) + f(4,5) = 1.5261$$

$$S(5) + f(1.1326 : 1.1556 : 1.1695 : 1.5261)$$

$$Q_5 = 4$$

Шестой шаг

$$m = 6$$

$$i = 1, 2, 3, 4, 5$$

$$S(6) = \min_{i=4,5} [S(i) + f(i,6)]$$

$$S(4) + f(4,6) = 1.8309$$

$$S(5) + f(5,6) = 1.8120$$

$$S(6) = \min[1.8309; 1.8120]$$

$$Q_6 = 5$$

Седьмой шаг

$$m = 7$$

$$i = 5, 6$$

$$S(7) = \min_{i=5,6} [S(i) + f(i,7)]$$

$$S(5) + f(5,7) = 2.2610$$

$$S(6) + f(6,7) = 2.251$$

$$S(7) = \min[2.2610; 2.251]$$

$$Q_7 = 6$$

Восьмой шаг

$$m = 8$$

$$i = 6, 7$$

$$S(8) = \min_{i=6,7} [S(i) + f(i,8)]$$

$$S(6) + f(6,8) = 2.4924$$

$$S(7) + f(7,8) = 2.3273$$

$$S(8) = \min[2.4924; 2.3273]$$

$$Q_8 = 7$$

Девятый шаг

$$m = 9$$

$$i = 7, 8$$

$$S(9) = \min_{i=7,8} [S(i) + f(i,9)]$$

$$S(7) + f(7,9) = 2.3383$$

$$S(8) + f(8,9) = 2.3273$$

$$S(9) = \min[2.3383; 2.3273]$$

$$Q_9 = 8$$

Чтобы выбрать оптимальный ряд, выбираем значения Q_k , обеспечивающие минимум функции затрат.

Получаем ряд $z^N = \{1, 4, 5, 6, 7, 8\}$. Полученная оптимизация по минимуму функции затрат показывает, что в СЭА шлифовальных станков все аппараты с суммарным количеством контактов, равным 2 и 3, должны быть заменены аппаратами с суммарным количеством контактов, равным 4.

Ввиду полной замены аппаратов с суммарным количеством контактов, равным 2 и 3, ряд является оптимальным также по степени избыточности при достигнутом минимуме затрат. Остается удовлетворить требованию равной вероятности выпуска аппаратов.

Итоговая оптимизированная таблица потребности в аппаратах для станков шлифовальной группы представлена в таблице 53.

Таблица 53

Потребность в аппаратах для станков шлифовальной группы

$Y_p \setminus X_p$	0	1	2	3	4	5	6
0	-	0,0360	-	-	0,1475	0,0482	0,0241
1	0,0241	-	-	0,1475	0,0602	0,0602	-
2	-	-	0,1475	0,0360	-	0,0360	0,0120
3	-	0,1475	-	-	0,0723	-	-

В результате проведенной оптимизации число видов аппаратов сократилось с 19 до 14, а суммарные затраты на изготовление уменьшились с 2,4490 (спрос взят из табл. 23) до 2,3273 в условных единицах [46].

Для принятия решения по параметрическому ряду на основе проведенной оптимизации полезно оценить чувствительность полученного оптимального ряда к отклонению входных данных. В частности, это полезно для решения вопроса о целесообразности уточнения входных данных, а также иногда для решения вопроса о целесообразности замены действующего параметрического ряда. Методика оптимизации параметрического ряда предполагает предварительное определение входных данных: "функции спроса" и "функции затрат". Возникает вопрос, с какой точностью эти функции нужно определить. Очевидно, что если при некотором изменении входных данных резко меняется вид оптимизированного ряда (при пересчете), то можно констатировать, что точность определения входных данных недостаточна. В работе [26] критерием, позволяющим принять расчетный оптимальный вид, является предположение о том, что изменения членов оптимального ряда пропорциональны изменениям входных данных. Иначе говоря, пусть, например, «функция спроса» $\varphi(x)$ в некоторой точке X получает отклонение $\Delta\varphi(x)$. В результате этого каждый член оптимального параметрического ряда $\{z_i\}$, где $i=1, 2, \dots, N$, получит соответственно отклонения $\Delta z_0 = z_{in} - z_i$, где z_{in} – новое значение i -го члена оптимального ряда, вычисленного при измененной и функции спроса. Согласно методике, предложенной в работе [26], можно вычислить коэффициенты чувствительности k_{in} без полного пересчета нового оптимального параметрического ряда, что существенно экономит вычисления.

ВЫВОДЫ

В результате исследований, проведенных в главе 3:

1. Показана актуальность существующей проблемы уменьшения избыточности и применения новых критериев оптимизации рядов аппаратов в реальных схемах цикловых систем управления станочного оборудования.
2. Поставлена задача определения однопараметрического ряда аппаратов СЭА при условии минимизации функции затрат, определенной с учетом влияния фактора серийности, а также при условии равномерного представительства аппаратов в схеме.
3. Произведен анализ применения различных математических методов решения оптимизационных задач, в результате которого для решения конкретной задачи был выбран метод динамического программирования.
4. Произведена оптимизация параметрического ряда аппаратов в монтажных схемах группы шлифовальных станков, в результате чего номенклатура требуемых релейных аппаратов уменьшилось с 19 до 14 типов, а стоимость затрат на одну схему снизилась с 2,4490 (в реальной схеме) до 2,3273 условных единиц в оптимизированной схеме.
5. Для определения погрешностей входных данных следует производить анализ чувствительности оптимизируемого ряда с помощью вычисления коэффициентов чувствительности.

ГЛАВА 4. МЕТОДЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ И ОПИСАНИЯ ЦИКЛОВЫХ СХЕМ ЭЛЕКТРОАВТОМАТИКИ

Существующие в настоящее время стандарты устанавливают правила выполнения электрических схем изделий всех отраслей промышленности. Поэтому в различных отраслях создаются отраслевые стандарты на правила построения, изображения и описания схем электроавтоматики, учитывающие специфику производства.

Анализ электросхем, проведенный в главе I, показал, что в настоящее время не существует единого подхода при проектировании, изображении, изготовлении и описании схем электроавтоматики устройств автоматического управления различными технологическими машинами.

Разработка новых компоновочных оформлений СЭА УАУ, которые обеспечивали бы расширение логических возможностей электросхем, допускали бы нормализацию и стандартизацию исполнений СЭА и на этой базе организацию их централизованного, а следовательно, более дешевого и высококачественного изготовления, является одной из наиболее актуальных задач.

Используя принцип системного подхода, был разработан ряд простых методов, обеспечивающих упорядоченность изображения, описания и контроля принципиальных схем электроавтоматики [38].

I. Координатный метод изображения СЭА

Координатный метод изображения СЭА предусматривает возможность автоматизации процесса проектирования и изображения цикловых схем электроавтоматики.

Алгоритм применения координатного метода изображения схем управления цикловым оборудованием следующий:

- обозначить все электроаппараты на принципиальных схемах УАУ индексированными однобуквенными символами, например, бинарные реле логических цепей - x_{n_x} , троичные (поляризованные) реле - y_{n_y} , реле включения сервоприводов (двигателей, электромагнитов, муфт и т.п.) - z_{n_z} и т.д.,

где n_x , n_y , n_z - порядковые номера, присвоенные соответствующим аппаратам по таблице, устанавливающей связь условных обозначений с функциональным назначением каждого аппарата. Контакты аппаратуры принципиальных схем следует обозначить тем же индексированным символом, что и аппараты, которым они принадлежат;

- аппараты СЭА метить строго по порядку, выделяя в отдельные части принципиальной схемы группы цепей приборов одного типа (x_{n_x} и т.д.) и в том же порядке располагать контакты этих приборов во всех строках схемы;
- контакты, относящиеся к одному аппарату, во всех строках располагать в одном и том же столбце(в этом случае отпадает необходимость метить контакты, достаточно пометить лишь столбцы).

Все это повышает наглядность схем и облегчает подсчет числа контактов каждого аппарата.

В качестве примера приведен фрагмент принципиальной схемы фрезерно-расточного станка в обычном (рис. 21) и координатном исполнении (рис. 22). При сравнении этих рисунков видно, что предлагаемое усовершенствование изображений принципиальных схем УАУ позволяет значительно их упростить.

Единственный недостаток координатного метода состоит в том, что для удобства изображения и обозначения элементов необходимо увеличить размер листа соответствующего чертежа по ширине, однако этот недостаток компенсируется удобствами пользования.

Предлагаемый координатный способ изображения принципиальных СЭА УАУ позволяет представлять их описание не в словесной, а в цифровой матричной форме.

4.1. Матричный метод представления и описания СЭА

Матричный способ изображения СЭА - это изображение их на квадратной сетке, в ячейках которой нужно лишь указать, задействован ли в ней контакт и, если да, то какой именно.

Пусть дана некая СЭА, содержащая n электроаппаратов. Если аппараты пронумерованы, то нет нужды изображать их на принципиальной схеме.

Примем следующее цифровое обозначение видов контактов: контакт в цепи не используется - нуль; используется замыкающий контакт - единица; используется размыкающий контакт - отрицательная единица; используется замыкающий контакт с выдержкой времени - тройка (запоминание); такой же размыкающий - отрицательная тройка.

Тогда изображаемую координатным способом принципиальную схему УАУ вместо сетки с ячейками можно представить и описать матрицей, нумерация строк и столбцов которой совпадает с их номерами на координатной сетке, а в клетках стоят цифры, указывающие вид контакта в цепи строки или его отсутствие. На рис. 23 показано матричное изображение фрагмента принципиальной электросхемы фрезерно-расточного станка, приведенной на рис. 21 и рис. 22.

Такое представление схем УАУ отличается простотой, обозримостью и компактностью. Оценим возможность предлагаемого метода по компактности, оценку сделаем на основе ЕСКД.

Опыт матричного представления электросхем показал, что целесообразно графить поле матрицы линиями разной толщины, например, через каждые пять граф более толстыми (это упрощает ориентировку). Целесообразно, кроме того, опускать нули, т.е. считать, что если клетка не заполнена, то соответствующий контакт электроаппарата не задействован.

Матричный способ представления схем УАУ позволяет также значительно упростить и описание последовательности работы (циклограмму) того или иного функционального блока технологического агрегата.

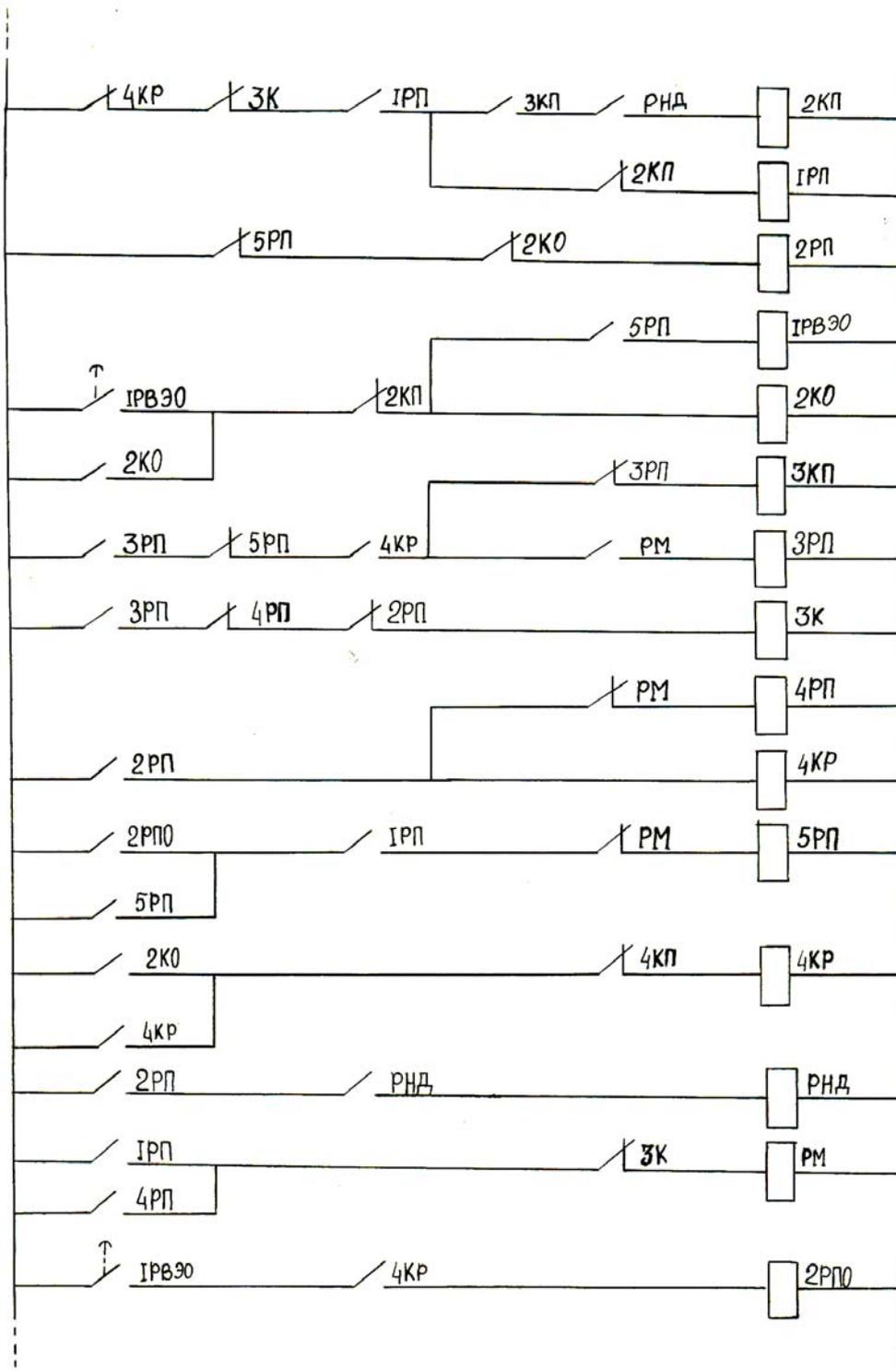


Рис 21. Фрагмент принципиальной схемы фрезерно-расточного станка в обычном исполнении

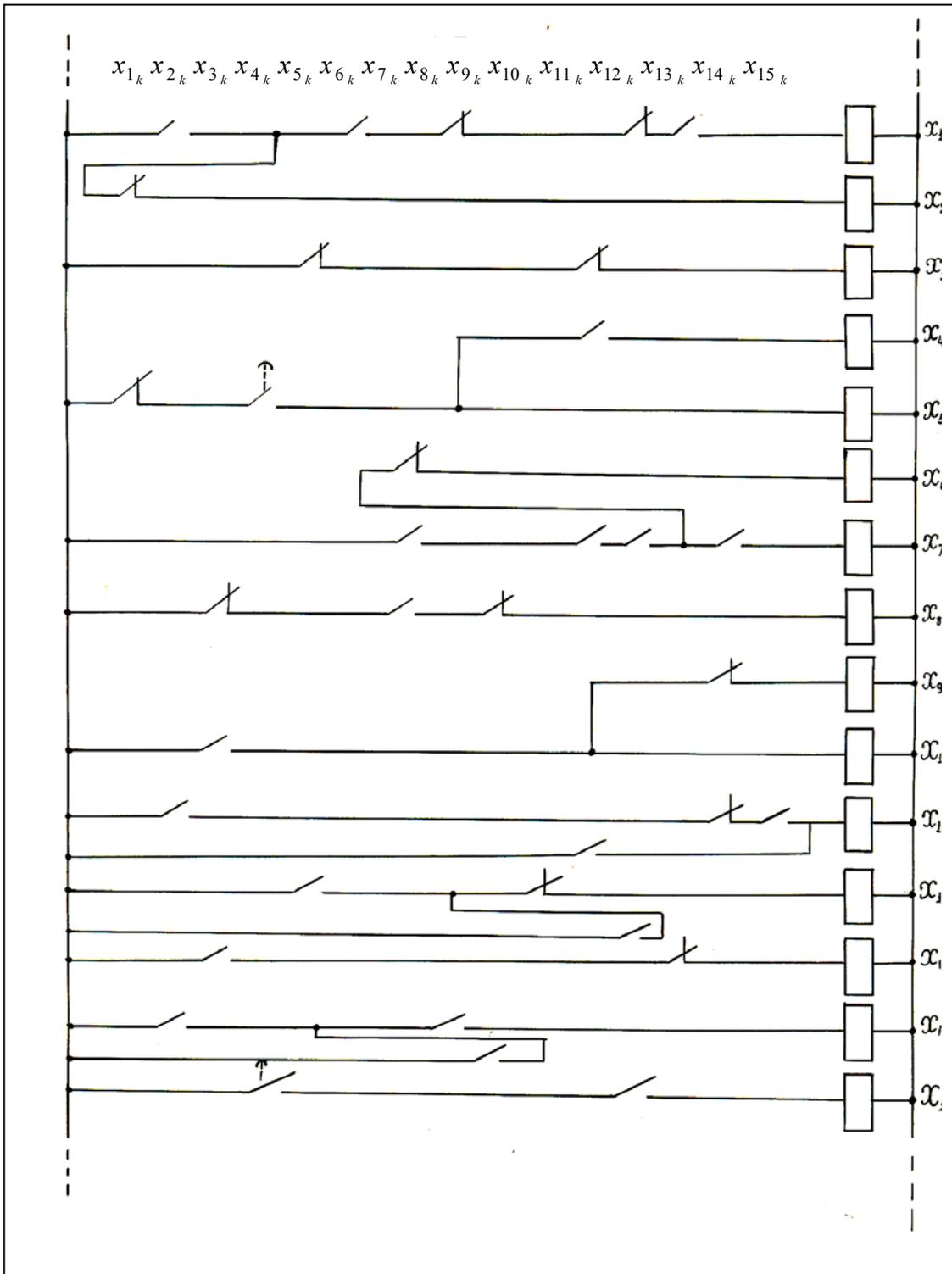


Рис 22. Фрагмент принципиальной схемы фрезерно-расточного станка в координатном исполнении

x_{1k}	x_{2k}	x_{3k}	x_{4k}	x_{5k}	x_{6k}	x_{7k}	x_{8k}	x_{9k}	x_{10k}	x_{11k}	x_{12k}	x_{13k}	x_{14k}	x_{15k}	
	I				I			\bar{I}			\bar{I}	I			x_1
\bar{I}															x_2
				\bar{I}						\bar{I}					x_3
										I					x_4
\bar{I}			$\bar{3}$												x_5
						\bar{I}									x_6
						I				I	I		I		x_7
		\bar{I}				I		\bar{I}							x_8
													\bar{I}		x_9
		I													x_{10}
	I									I			\bar{I}	I	x_{11}
									\bar{I}						x_{12}
		I										\bar{I}			x_{13}
	I						I	I							x_{14}
			3									I			x_{15}

Рис. 23. Фрагмент принципиальной электросхемы фрезерно-расточного станка в матричном изображении

	1	2	3	4	5	6	7
	+P ₅ (21)	+P ₁₁ (23)	+M ₈ (25)	+P ₂₁ (27)	+P ₁₇ (15)	-M ₈ (25)	-P ₅ (21)
K ₁₂					(1-2)		
K ₆			(1-2)				
P ₂							
P ₂₁		(1-1)		(1-1)	(1-1)		
P ₁₇		(1-4)		(1-4)	+1		
P ₄		(1-2)	(1-0)	+1			
P ₁₅		+1					
P ₁₂	+1					-1	-1
	Включение			Работа		Отключение	

Рис. 24. Описание фазы ЦЗ – «отжатие бабки» в циклограмме работы фрезерно-расточного станка

На рис. 24 представлено описание фазы ЦЗ - "отжатие бабки" в циклограмме работы фрезерно-расточного станка. В верхней части матрицы в определенных столбцах изображены аппараты и машины, которые принимают участие в данном цикле. В скобках указано, в какой цепи находится тот или иной аппарат. Перед аппаратами поставлены знаки "+" или "-". Знак "+" обозначает, что аппарат включен в данной цепи, а знак "-" - аппарат отключен.

В левом столбце указаны контакты аппаратов и машин (датчики). Номера строк и столбцов по принадлежности контактов и аппаратов, а также датчиков и машин должны совпадать.

В нижней строке указывается последовательность действий в технологической фазе циклограммы агрегата (включение, работа, отключение).

Примем цифровое обозначение контактов: в цепи замкнут замыкающий контакт (с помощью которого включится в этой цепи расположенный электроаппарат) - "+I"; в цепи разомкнут замыкающий контакт (с помощью которого отключится в этой цепи расположенный электроаппарат) - "-I"; в цепи замкнут размыкающий контакт (с помощью которого включится в этой цепи расположенный электроаппарат) - "+I"; в цепи разомкнут размыкающий контакт (с помощью которого отключится в этой цепи расположенный электроаппарат) - "-I".

В каждой цепи кроме контактов, принимающих непосредственно участие во включении или отключении того или иного электроаппарата расположены также пассивные контакты, которые коммутируются в других фазах циклограммы.

Примем буквенно-цифровое обозначение для пассивных контактов, с учетом цикла, в котором они коммутируются. Если в цепи расположен замыкающий контакт - "I", если в цепи расположен размыкающий контакт - "-I".

Пассивные контакты в матрице указаны в скобках, на пересечении столбца и строки, также в скобках указана, в каком цикле коммутировался данный пассивный контакт. Например, (1-Ц2; I -Ц1 и т.д.) контакт, который подготавливает включение того или иного электроаппарата, обозначен (1-ЦО).

Таким способом составленная матрица дает полную картину цикла работы технологического агрегата без словесных описаний, что облегчает работу как проектировщикам и разработчикам электрических схем управления, так и электроналадчикам [43].

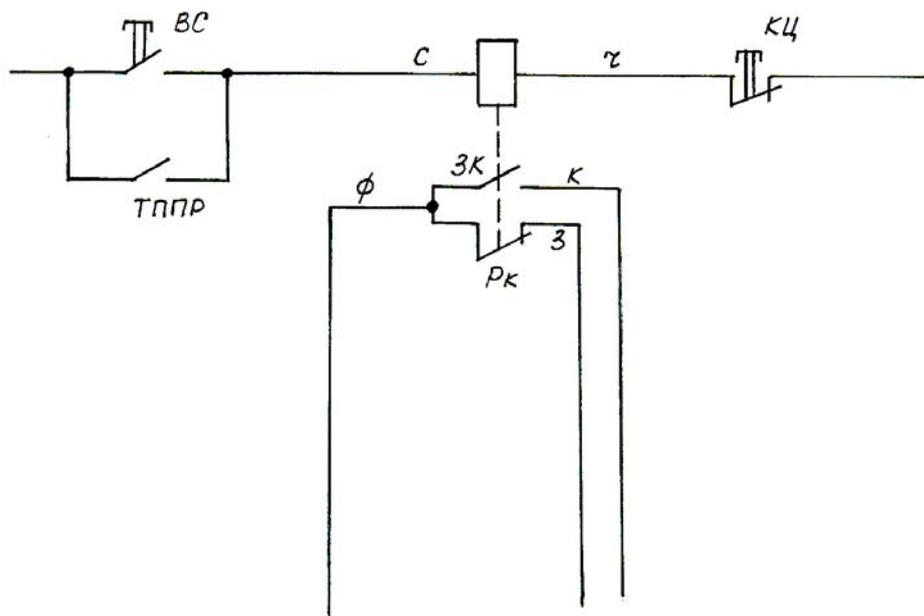


Рис. 25. Схема бинарного реле для использования в платах

Предложенный метод построения и описания схем УАУ позволил создать универсальные СЭА, при этом за базовые элементы нужно брать малоcontactные реле, а именно реле с одним замыкающим и одним размыкающим контактом.

Двухcontactное реле со всеми приложенными к нему линиями и управляющими контактами внешнего сигнала и конца цикла, а также тумблер ТППР, который замыкают, когда для работы реле не требуется внешний сигнал (ВС), можно представить, как показано на рис. 25.

К каждому реле прокладывается не более пяти линий: синяя (с) - линия подачи прямого питания на входе катушки реле; черная (ч) - линия питания на выходе катушки реле; красная (к) - линия, получающая питание через замыкающий контакт реле; зеленая (з) – линия, получающая питание через размыкающий контакт реле; фиолетовая (ф) – линия, подающая питание на контакты реле.

На рис. 26 показан фрагмент платы, на которой параллельными столбцами проложены равноотстоящие друг от друга группы из трех токопроводящих шин (ф), (з) и (к). Проведем тонкие линии будущих строк СЭА, располагая их с постоянным шагом. Введем обозначение $\overline{x_n}$ для реле и соответствующими метками $\overline{x_n}, \overline{x_{n-1}}, \overline{x_{n+1}}$ в одинаковом порядке обозначим

строки и столбцы образовавшейся сетки. На пересечениях горизонтальной линии с зеленой (з) и красной (к) шинами отметим точки с символами $\overline{x_n}$ и x_n . Отметим еще по одной точке слева и справа от $\overline{x_n}$ и x_n , так чтобы они лежали на фиолетовых (ф) линиях и пометим их B_n и A_n . В каждой из точек B_n и A_n , $\overline{x_n}$ и x_n расположена гнездовая часть одинарного разъема. Точки B_{n-1} соединим с точками A_n , а точку A_n с линией питания на выходе. Тогда вставляя перемычки, снабженные с двух сторон штыревыми частями одинарных разъемов каждой области пересечений строк и столбцов платы, можно обеспечить включение соответствующего релейного аппарата. Перемычка П1, соединяющая A_n с разъемами B_n , исключает реле x_n из формируемой цепи. Перемычка П2, соединяющая разъемы B_n с x_n , формирует введение в коммутируемую цепь размыкающего контакта реле x_n . Перемычка П3 соединяющая разъемы B_n с x_n , формирует введение в ту же цепь замыкающего контакта реле x_n . На рис. 26 показаны все возможные варианты коммутирования участков цепей при помощи перемычек П1, П2, П3.

Представленная плата представляет собой матричную СЭА.

Матричные СЭА отличаются от существующих рядом положительных свойств. С их помощью возможно введение связи через контакты каждого из реле в цепь собственного питания; с помощью матричных СЭА возможно также полное логическое описание всех функций управления, задаваемых конкретной СЭА.

Набор заданной принципиальной электросхемы осуществляется установкой перемычек П1, П2, П3, по таблицам матричного описания СЭА, Для перемычек и клеток матричного описания заданной принципиальной электросхемы удобно применять одинаковые цвета.

Набор матричной СЭА на 100 реле требует для установки одной перемычки не более двух-трех секунд, так что один электрик вполне может провести весь набор матричной СЭА за один рабочий день.

Платы матричных СЭА допускают использование печатной расшивки и других технических приемов (автоматическая установка и пропайка разъемов и проч.).

В настоящее время на Московском заводе координатно-расточных станков (МЗКРС) разработан и внедрен соответствующий стандарт предприятия.

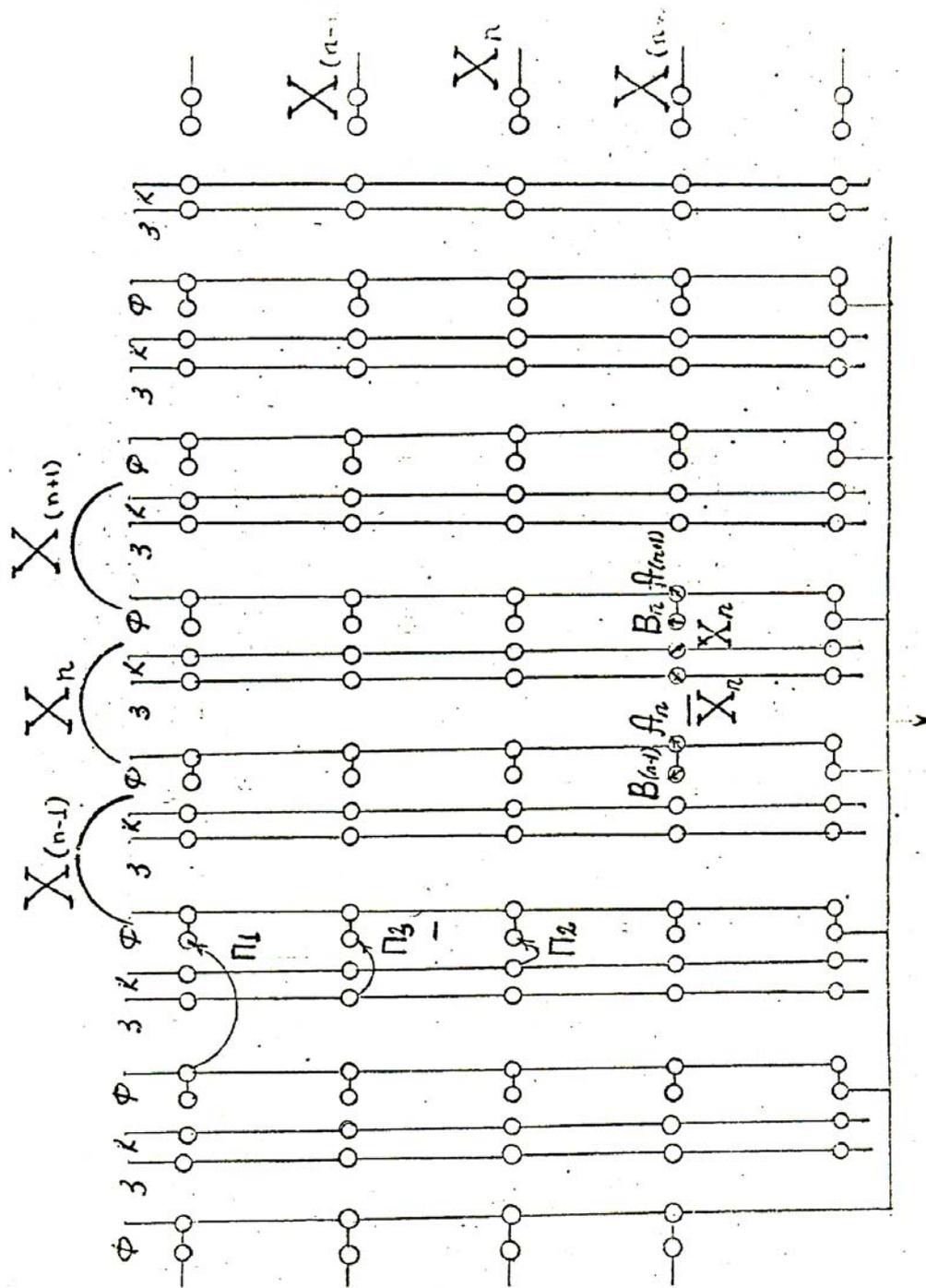


Рис 26. фрагмент платы матричной СЭА

ВЫВОДЫ

1. Разработаны координатный метод изображения и матричный способ описания схем электроавтоматики для циклического технологического оборудования, которые значительно упрощают изображение и описание условий функционирования схем СЭА УАУ.
2. Предложенные методы позволяют формализовать процесс изображения и описания схем СЭА УАУ и с минимальными затратами перейти к алгоритмизации способов их построения при машинном проектировании на ЭВМ.
3. Разработан и внедрен стандарт предприятия для изображения и описания схем электроавтоматики координатным и матричным способами на МЗКРС.
4. Разработан и внедрен стандарт предприятия проверки качества цикловых схем устройств электроавтоматики с помощью стендов-имитаторов на МЗКРС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные в настоящей работе исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. В схемах электроавтоматики отсутствуют методы их упорядочения, систематизации, сравнения и расчленения на типовые элементы, которые можно было бы нормализовать в первую очередь и впредь использовать в качестве стандартных элементов схем электроавтоматики .
2. Проектируемые схемы УАУ следует рассматривать как объекты управления, оптимизация параметров которых происходит за счет правильного выбора следующих факторов: выявление новых приемов проектирования УАУ, повышение надежности схем, уменьшение номенклатуры и себестоимости с помощью выбора оптимальных параметрических рядов аппаратов СЭА, стандартизации при изображении, описании, представлении схем и т.д.
3. Выявленные статистические зависимости по данным принципиальных схем показывают, что в среднем на один релейный аппарат приходится, 3,19 контактов, из которых 2,33 замыкающих и 0,86 размыкающих контактов, что дает приблизительную оценку потребности в релейных аппаратах определенного вида при создании реальных СЭА в целом по металло-режущим станкам.
4. Репрезентативность выборки исследуемых принципиальных СЭА позволила найти эмпирические законы распределения числа замыкающих контактов и общего числа контактов в одном аппарате, а также обнаружить зависимость этих чисел, что является важным для последующих исследований по оптимизации и стандартизации релейных аппаратов СЭА.
5. Из найденных статистически закономерностей установлено, что доля релейных аппаратов со значительным числом контактов ($w=11$) в монтажных схемах весьма незначительна, поэтому, учитывая высокую их стоимость, рекомендуется в случае надобности в таких аппаратах применять дублирование.
6. Обработка наблюдений по данным принципиальных и монтажных схем позволила выявить степень полноты корреляционной зависимости между X и Y , описать эту зависимость аналитически, а также определить вид закона

распределения чисел замыкающих и размыкающих контактов. Выявление этих закономерностей позволяет производить оценку потребности в контактах различного типа для выпускаемого серийного станочного оборудования, а с учетом проведения оптимизации рядов аппаратов - для вновь проектируемого станочного парка.

7. Сравнительный анализ распределений и числовых характеристик случайных величин x_0 и x_p , y_0 и y_p указывает на значительный перерасход государственных средств и дорогостоящих дефицитных материалов за счет избыточного их представительства в монтажных СЭА УАУ, что приводит к необходимости разработки новых критериев оптимизации рядов аппаратов в реальных схемах цикловых систем управления станочного оборудования.
8. Произведен анализ применения различных математических методов решения оптимизационных задач, в результате которого для решения конкретной задачи был выбран метод динамического программирования.
9. Поставлена и решена задача определения однопараметрического ряда аппаратов СЭА при условии минимизации функции затрат, определенной с учетом влияния фактора серийности, а также при условии равномерного представительства аппаратов в схеме.
10. Проведена оптимизация параметрического ряда в монтажных схемах группы шлифовальных станков, в результате номенклатура требуемых релейных аппаратов уменьшилась с 19 до 14 типов, а стоимость затрат на одну схему снизилась с 2,4490 до 2,3273 условных единиц в оптимизированной схеме.
11. Конкретные результаты оптимизации показали, что с увеличением коэффициента r , учитывающего влияние унификации массовости производства, коэффициент избыточности аппаратов уменьшается в 3,8-7 раз, себестоимость снижается в среднем в 1,23 раза, номенклатура аппаратов сокращается в среднем в 1,7 раз
12. Разработаны координатный и матричный методы изображений описания и представления схем электроавтоматики для технологического оборудования.
13. Полученные результаты явились основанием для разработки и внедрения стандартов предприятия обеспечивающих полную упорядоченность спосо-

бов изображения, представления и описания схем управления табличным способом для технологического оборудования на Московском заводе координатно-расточных станков.

j	K_j	$\sum_{j=1}^i K_j$	$(n_k)_j$	$\sum_{j=1}^i (n_k)_j$	$\overline{(n_k)}_j$	$(W_k)_j$		
						z	x	y
l	2	3	4	5	6	7		
1	3	3	41	41	13.667	108	76	32
2	5	8	119	160	20.000	386	312	74
3	1	9	54	214	23.778	127	82	45
4	1	10	24	238	23.800	85	51	34
5	3	13	59	288	22.154	190	120	70
6	5	18	40	328	18.222	154	101	53
7	2	20	24	352	17.600	102	78	24
8	10	30	300	652	21.733	824	609	215
9	3	33	61	713	21.606	201	158	43
10	2	35	18	731	20.885	58	28	30
11	4	39	54	785	20.128	197	163	34
12	2	41	19	804	19.609	66	45	21
13	2	43	20	824	19.162	85	58	27
14	3	46	25	849	18.456	92	74	18
15	5	51	54	903	17.705	159	113	46
16	6	57	323	1226	21.508	825	623	202
17	6	63	111	1337	21.222	282	190	92
18	3	66	83	1420	21.515	352	264	88
19	3	69	87	1507	21.840	215	148	67
20	10	79	276	1783	22.569	936	669	267
21	10	89	127	1910	21.461	402	308	94
22	1	90	30	1940	21.556	91	73	18
23	2	92	45	1985	21.576	166	113	53
24	2	94	61	2046	21.766	176	111	68
25	1	95	4	2050	21.579	19	10	9
26	2	97	83	2133	31.969	334	262	82

Продолжение приложения

j	$\sum_{j=1}^i (W_k)_j$			$(\overline{W_k})_j$			$\frac{(W_k)_j}{(n_k)_j}$		
	z	x	y	z	x	y	z	x	y
I	8			9			10		
1	108	76	32	36.000	25.333	10.667	2.634	1.853	0.789
2	494	388	106	61.750	48.500	13.250	3.243	2.621	0.621
3	621	470	151	69.000	52.222	16.77	2.351	1.518	0.833
4	706	521	185	70.600	52.100	18.500	3.541	2.125	01.416
5	896	641	255	68.923	49.307	19.615	3.800	2.400	1.400
6	1050	742	308	58.333	41.222	17.111	3.850	2.525	1.325
7	1152	820	332	57.600	41.000	16.600	4.250	3.250	1.000
8	1976	1429	547	65.867	47.633	18.233	2.746	2.036	0.716
9	2177	1587	590	65.969	48.090	17.878	3.295	2.59	0.704
10	2235	1615	620	63.857	46.142	17.714	3.222	1.556	1.667
11	2432	1778	654	62.358	45.589	16.769	3.648	3.018	0.629
12	2498	1823	675	60.926	44.463	16.563	3.473	2.368	1.105
13	2583	1881	702	60.069	43.744	16.325	4.250	2.900	1.350
14	2675	1955	720	58.152	42.500	15.652	3.680	2.960	0.720
15	2834	2068	766	55.567	40.549	15.089	2.944	2.092	0.851
16	3659	2691	968	64.192	47.210	16.982	2.554	1.928	0.625
17	3941	2881	1060	62.556	45.730	16.825	2.540	1.711	0.828
18	4293	3145	1148	65.054	47.651	17.393	4.240	3.180	1.080
19	4508	3293	1215	65.333	47.724	17.608	2.471	1.701	0.770
20	5444	3962	1482	68.911	50.151	18.759	3.391	2.423	0.967
21	5846	4270	1576	65.685	47.977	17.707	3.165	2.425	0.740
22	5937	4343	1594	65.967	48.255	17.711	3.033	2.33	0.600
23	6103	4456	1647	66.337	48.434	17.902	3.689	2.511	1.177
24	6282	4567	1715	66.829	48.585	18.244	2.934	1.819	1.114
25	6301	4577	1724	66.326	48.178	18.147	4.750	2.500	2.25
26	6645	4839	1806	68.505	49.886	18.618	4.144	3.156	0.917

j	$\sum_{j=1}^i \frac{(W_k)_j}{(n_k)_j}$			$\left(\frac{W_k}{n_k}\right)_j$			$\left[\frac{(W_k)_j}{(n_k)_j}\right]_j$		
	z	x	y	z	x	y	z	x	y
I	11			12			13		
1	2.634	1.853	0.780	2.634	1.653	0.780	2.634	1.853	0.780
2	5.877	4.474	1.401	2.938	2.237	0.700	3.087	2.425	0.662
3	8.228	5.992	2.236	2.742	1.997	0.744	2.901	2.196	0.705
4	11.769	8.117	3.650	2.942	2.029	0.912	2.966	2.189	0.777
5	15.569	10.517	5.050	3.113	2.103	1.010	3.111	2.225	0.885
6	19.419	13.042	6.375	3.236	2.113	1.062	3.201	2.262	0.939
7	23.669	16.292	7.375	3.381	2.327	1.053	3.272	2.329	0.943
8	56.415	18.322	8.091	3.302	2.290	1.011	3.030	2.191	0.838
9	29.710	20.912	8.795	3.301	2.323	0.977	3.053	2.225	0.827
10	32.932	22.468	10.462	3.293	2.256	1.046	3.057	2.209	0.848
11	36.580	25.486	11.091	3.325	2.316	1.008	3.098	2.264	0.833
12	40.053	27.854	12.196	3.337	2.321	1.016	3.107	2.267	0.839
13	44.303	30.754	13.540	3.407	2.365	1.042	3.134	2.282	0.851
14	47.983	33.714	14.266	3.427	2.406	1.019	3.150	2.302	0.848
15	50.927	35.806	15.117	3.395	2.387	1.007	3.138	2.290	0.848
16	53.481	37.734	15.742	3.342	2.358	0.983	2.984	2.194	0.789
17	56.021	39.445	16.570	3.295	2.320	0.974	2.947	2.154	0.792
18	60.261	42.625	17.630	3.347	2.368	0.979	3.023	2.214	0.808
19	62.732	44.326	18.400	3.301	2.332	0.968	2.991	2.185	0.806
20	66.123	46.749	19.367	3.06	2.337	0.968	3.053	2.222	0.831
21	69.288	49.174	20.107	3.299	2.341	0.957	3.060	2.235	0.825
22	72.321	51.607	20.707	3.287	2.345	0.941	3.060	2.238	0.821
23	76.010	54.118	21.884	3.304	2.352	0.951	3.074	2.255	0.833
24	78.944	55.937	22.998	3.289	2.330	0.958	3.070	2.232	0.838
25	83.694	58.437	25.248	3.347	2.337	1.009	3.073	2.232	0.840
26	87.838	61.593	26.235	3.378	2.368	1.009	3.115	2.266	0.846

Продолжение приложения

j	$\frac{(W_k)_j}{(n_k)_j} \cdot k_j$			$\sum_{j=1}^i \frac{(W_k)_j}{(n_k)_j} \cdot k_j$			$\left[\frac{(W_k)_j}{(n_k)_j} \right]_j$		
	z	x	y	z	x	y	z	x	y
1	14			15			16		
1	7.902	5.559	2.340	7.902	5.559	2.340	2.634	1.853	0.780
2	16.215	13.105	3.105	24.117	18.666	5.445	3.014	2.333	0.680
3	2.351	1.518	0.833	26.468	20.184	6.276	2.940	2.242	0.697
4	3.541	2.125	1.416	30.009	22.309	7.694	3.001	2.230	0.769
5	11.400	7.200	4.200	41.409	29.509	11.894	3.185	2.269	0.915
6	19.250	12.625	6.625	60.659	42.134	18.519	3.369	2.34	1.028
7	8.500	6.500	2.000	69.158	48.634	20.159	3.457	2.531	1.025
8	27.460	20.300	7.160	96.619	69.934	27.679	3.220	2.297	0.905
9	9.885	7.770	2.112	106.504	76.704	29.791	3.227	2.324	0.905
10	6.444	3.112	3.334	122.948	79.816	33.125	3.227	2.280	0.946
11	14.592	12.072	2.516	127.540	91.888	35.641	3.270	2.356	0.913
12	6.946	4.736	2.210	134.486	96.624	37.851	3.280	2.356	0.923
13	8.500	5.800	2.700	142.986	102.424	40.551	3.325	2.382	0.943
14	11.040		2.160	154.026	111.224	42.711	3.348	2.417	0.928
15	14.720	10.460	4.255	166.746	121.684	46.966	3.308	2.985	0.920
16	15.324	11.568	3.750	184.070	133.252	50.716	3.229	2.337	0.889
17	15.240	10.266	4.968	199.310	143.518	55.684	3.163	2.278	0.883
18	12.720	9.540	3.180	212.030	153.058	58.864	3.212	2.319	0.892
19	7.413	5.103	2.310	219.443	158.161	61.174	3.180	2.292	0.886
20	13.910	24.230	9.670	253.353	162.391	70.844	3.207	2.308	0.896
21	31.650	24.250	7.400	285.003	206.641	78.244	3.202	2.321	0.879
22	3.033	2.433	0.600	288.036	209.074	78.844	3.200	2.353	0.876
23	7.378	5.022	2.354	295.414	214.096	81.198	3.211	2.327	0.882
24	5.868	3.638	3.638	301.282	217.734	83.426	3.202	2.316	0.887
25	4.750	2.500	2.250	306.032	220.234	85.676	3.221	2.318	0.901
26	8.288	6.312	1.974	314.320	226.546	87.650	3.240	2.335	0.903

Продолжение приложения

j	k_j	$\sum_{j=1}^i K_j$	$(n_k)_j$	$\sum_{j=1}^i (n_k)_j$	$\overline{(n_k)}_j$	$(W_k)_j$		
						z	x	y
l	2	3	4	5	6	7		
27	3	100	41	2174	21.740	106	71	35
28	5	105	75	2249	21.419	358	259	99
29	2	107	38	2287	21.373	124	77	47
30	9	116	245	2532	21.827	592	469	123
31	5	121	115	2647	21.876	348	260	88
32	1	122	5	2652	21.737	19	13	6
33	2	124	31	2683	21.637	135	78	57
34	1	125	47	2730	21.840	192	115	77
35	3	128	82	2812	21.968	221	164	57
36	1	129	46	2858	22.155	103	62	41
37	2	131	30	2888	22.045	108	62	46
38	6	137	188	3076	22.452	622	521	101
39	1	138	41	3117	22.586	150	118	32
40	5	143	106	3223	22.538	516	371	145
41	1	144	8	3231	22.437	27	19	8
42	9	153	133	3364	21.987	416	334	82
43	3	156	47	3411	21.865	107	77	30
44	16	172	568	3979	23.134	1933	1487	446
45	11	183	86	4065	22.213	166	124	42
46	2	185	170	4235	22.991	573	411	162
47	11	196	133	4368	22.285	394	262	132
48	2	198	15	4383	22.136		30	10
49	1	199	25	4408	22.150	116	102	14
50	1	200	14	4422	22.110	49	41	8
51	2	202	26	4448	22.019	100	66	34
52	6	208	210	4658	22.394	668	461	207

Продолжение приложения

j	$\sum_{j=1}^i (W_k)_j$			$(\overline{W_k})_j$			$\frac{(W_k)_j}{(n_k)_j}$		
	z	x	y	z	x	y	z	x	y
l	8			9			10		
27	6751	4910	1841	67.510	49.100	18.410	2.585	1.731	0.853
28	7109	5169	1940	67.704	49.228	18.476	4.773	3.453	1.320
29	7233	5246	1987	67.598	49.028	18.570	3.263	2.026	1.236
30	7825	5715	2110	67.457	49.267	18.189	2.416	1.914	0.502
31	8173	5975	2198	67.545	49.380	18.165	3.026	2.260	0.765
32	8192	5988	2204	67.147	49.081	18.065	3.800	2.600	1.200
33	8327	6066	2261	67.153	48.919	18.233	4.354	2.516	1.838
34	8519	6181	2338	67.152	49.448	18.704	4.085	2.446	1.638
35	8740	6345	2395	68.281	49.570	17.710	2.6995	2.000	0.695
36	8843	6407	2436	68.550	49.667	18.883	2.239	1.347	0.891
37	8951	6469	2482	68.328	49.381	18.946	3.600	2.067	1.533
38	9573	6990	2583	69.875	51.021	18.854	3.308	2.771	0.537
39	9723	7108	2615	70.456	51.507	18.949	3.658	2.878	0.780
40	10239	7479	2760	71.601	52.300	19.300	4.867	3.500	1.367
41	10266	7498	2768	71.291	52.069	19.222	3.375	2.275	1.000
42	10632	7332	2850	69.817	51.189	18.627	3.127	2.511	0.0616
43	10789	7909	2880	69.160	50.698	18.461	2.276	1.638	0.638
44	12722	9396	3336	73.965	54.627	19.337	3.403	2.617	0.785
45	12888	9520	3368	70.426	52.021	18.404	1.930	1.441	0.488
46	13461	9931	3530	72.762	53.681	19.081	3.370	2.417	0.952
47	13855	10193	3642	70.688	52.006	18.683	2.962	1.969	0.992
48	13895	10223	3672	70.176	51.631	18.545	2.667	2.000	0.667
49	14011	10325	3686	70.407	51.884	18.522	4.640	4.080	0.560
50	14060	10366	3694	70.300	51.830	18.470	3.500	2.928	0.571
51	14160	10432	3728	70.099	51.643	18.455	3.846	2.538	1.307
52	14878	10893	3935	71.288	52.370	18.919	3.180	2.195	0.985

j	$\sum_{j=1}^i \frac{(W_k)_j}{(n_k)_j}$			$\left(\frac{W_k}{n_k} \right)_j$			$\left[\frac{(W_k)}{(n_k)} \right]_j$		
	z	x	y	z	x	y	z	x	y
l	11			12			13		
27	90.423	63.324	27.088	3.349	2.345	1.003	3.105	2.258	0.346
28	95.196	66.77	28.408	3.399	2.384	1.014	3.160	2.298	0.862
29	98.459	68.803	29.644	3.362	2.357	1.004	3.090	2.257	0.833
30	100.875	70.717	30.146	3.351	2.354	0.997	3.087	2.266	0.830
31	103.901	72.977	30.911	3.365	3.361	1.003	3.089	2.257	0.831
32	107.701	75.577	32.111	3.395	3.368	1.028	3.103	2.260	0.842
33	112.055	78.093	33.949	3.415	3.368	1.046	3.120	2.2264	0.856
34	116.140	80.539	35.587	3.395	3.358	1.036	3.108	2.256	0.851
35	118.835	826.539	36.290	3.362	3.330	1.032	3.094	2.241	0.852
36	121.084	83.886	37.173	3.369	22.323	1.046	3.099	2.240	0.859
37	124.674	85.953	38.706	3.367	2.324	1.032	3.112	2.272	0.839
38	127.982	88.724	39.243	3.375	2.348	1.026	3.119	2.280	0.839
39	131.640	91.602	40.023	3.412	2.377	1.034	3.176	2.320	0.856
40	136.507	95.102	41.390	3.411	2.377	1.033	3.177	2.320	0.856
41	139.882	97.477	42.390	3.404	2.380	1.023	3.175	2.328	0.847
42	143.009	99.988	43.006	3.378	2.363	1.014	3.163	2.318	0.844
43	145.285	101.626	43.644	3.379	2.369	1.009	3.187	2.361	0.835
44	148.688	104.243	44.429	3.347	2.348	0.998	3.170	2.341	0.828
45	150.618	105.684	44.917	3.347	2.350	0.997	3.178	2.345	0.833
46	153.908	108.101	45.869	3.339	2.341	0.997	3.171	2.333	0.836
47	156.950	110.070	46.861	3.325	2.334	0.990	3.170	2.392	0.837
48	159.617	112.070	47.528	3.952	2.370	0.981	3.178	2.342	0.836
49	164.257	116.150	48.088	3.340	2.381	0.973	3.179	2.344	0.835
50	167.757	119.078	48.659	3.364	2.384	0.979	3.183	2.345	0.838
51	171.603	121.616	49.966	3.361	2.380	0.979	3.183	2.338	0.844
52	174.783	123.811	50.95	3.352	2.323	0.929	3.187	2.313	0.884

j	$\frac{(W_k)_j}{(n_k)_j} \cdot k_j$			$\sum_{j=1}^i \frac{(W_k)_j}{(n_k)_j} \cdot k_j$			$\left[\frac{(W_k)_j}{(n_k)_j} \right]_j$		
	z	x	y	z	x	y	z	x	y
1	14			15			16		
27	7.755	5.193	2.553	322.075	231.739	90.203	3.220	2.317	0.902
28	23.86	17.26	6.600	345.940	249.004	96.809	3.294	2.371	0.921
29	21.74	17.22	4.518	374.210	270.282	103.799	3.225	2.330	0.895
30	15.13	11.30	3.825	389.340	281.582	107.624	3.217	2.327	0.884
31	3.800	2.600	1.200	393.140	284.182	108.824	3.222	2.329	0.892
32	8.708	5.032	3.676	401.848	289.214	112.500	3.240	2.332	0.907
33	4.085	2.446	1.638	405.933	291.660	114.138	3.247	2.333	0.913
34	8.085	6.000	2.085	414.018	297.660	116.223	3.234	2.325	0.907
35	2.239	1.347	0.891	416.257	299.007	117.114	3.226	2.317	0.907
36	7.200	4.134	3.066	423.457	303.141	120.180	3.232	2.314	0.917
37	19.84	16.62	3.222	443.305	319.767	123.402	3.235	2.334	0.900
38	24.33	2.878	0.780	446.963	322.645	124.182	3.238	2.338	0.899
39	3.375	17.50	6.835	340.145	131.017	131.017	3.295	2.378	0.916
40	28.14	2.375	1.000	474.673	342.520	132.017	3.296	2.378	0.916
41	6.828	22.59	5.544	502.816	365.119	137.561	3.286	2.386	0.899
42	54.44	4.914	1.914	509.644	370.033	139.475	3.266	2.372	0.894
43	21.23	41.87	12.560	564.092	411.905	152.035	3.279	2.394	0.833
44	6.740	15.85	5.368	585.322	427.756	157.403	3.198	2.337	0.860
45	32.58	4.834	1.904	592.062	432.590	159.307	3.200	2.338	0.861
46	5.334	21.65	10.912	624.644	454.249	170.219	3.186	2.317	0.868
47	4.640	4.000	1.334	629.978	458.249	171.553	3.181	2.314	0.866
48	3.500	4.080	0.560	634.618	462.329	172.113	3.189	2.323	0.864
49	7.692	2.928	0.571	638.118	465.257	172.684	3.190	2.326	0.864
50	19.08	5.076	2.614	645.810	470.333	175.298	3.197	2.328	0.867
51	18.05	13.17	5.910	664.890	483.509	181.208	3.196	2.324	0.871
52	16.26	12.11	4.15	688.89	484.27	204.62	3.198	2.314	0.884

ЛИТЕРАТУРА

1. Лянкин В.Н., Тарасенко Э.Н. Влияние категории составных частей на величину экономического эффекта. «Стандарты и качество», с 75, 1976, №3.
2. Ткаченко В.В К проблеме оптимизации при стандартизации и аттестации качества продукции. «Стандарты и качество», №11, 1973 с.7-9.
3. Фионин В.И. О параметрических рядах изделий. «Стандарты и качество», 1967, №7.
4. Верченко В.Р., Кубарев А.И. – К обоснованию параметрических рядов изделий машиностроения. «Стандартизация», 1966, №4.
5. Крысанов В.И. и др. Технико-экономический анализ размерных рядов станков. «Вестник машиностроения», 1965, № 5.
6. Чуев Ю.В. методика выбора оптимальных рядов технических устройств. «Стандарты и качество», 1969 №7
7. ВНИИС, ИМ СО АН СССР. «Рекомендации по оптимизации многомерных параметрических рядов». М., 1973.
8. ВНИИС, ИМ СО АН СССР. «Рекомендации типовой методики оптимизации параметрического ряда». М. 1972
9. ВНИИМАШ. Методика оптимизации параметрических рядов приборов. М., 1975
10. ВНИИМАШ, ВНИИС. Рекомендация РЗ-63. Экономическое обоснование выбора параметрических и размерных рядов в стандартах и нормалях. 1976.
11. ВНИИМАШ. Методы построения параметрических и типоразмерных рядов деталей и сборочных единиц общемашиностроительного применения. Москва, 1981.
12. ВНИИМАШ. Оптимизация стандартных рядов типономиналов. Методические рекомендации. Москва, 1977.
13. ВНИИМАШ. Методы построения параметрических и типоразмерных рядов систем машин. Москва, 1977
14. Гима Э.Х. Дементьев В.Г. О методах решения некоторых задач оптимизации параметрических рядов. «Стандарты и качество», 1971, №12
15. Налимов В.В, Чернова И.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. «Наука», 1965

16. Алдер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. «Наука», 1976.
17. Бендат Ж., Присл А. Измерение и анализ случайных процессов. «Мир», 1971.
18. Арлей Н., Бух К. Введение в теорию вероятностей и математическую статистику. Изд. Иностранной литературы, 1951
19. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. «Наука» 1971.
20. Мордекей Е., Карл А. Фокс. Методы анализа корреляций и регрессий . «Статистика», 1966.
21. Сандлер А.С. Электропривод и автоматизация металлорежущих станков. «Высшая школа», 1972.
22. Прейскурант 16-05. Оптовые цены на реле слаботочные.
23. Прейскурант 15-17. Низковольтные комплектные устройства.
24. Методика по определению эффективности капиталовложений. «Экономика», 1965.
25. Зайцев Ф. Планирование и эффективность технического развития объединения. «Экономика», 1981.
26. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. «Наука», 1975.
27. Степаненко С.П., Шитова З.Н. О некоторых вопросах оптимизации параметрических рядов стандартизуемых объектов в странах – членах СЭВ. «Стандарты и качество», 1968, №8.
28. Бекенбах Э.Ф. Современная математика для инженеров. 1978.
29. Венецкий И.Г. Килдишев Г.С. основы теории вероятностей и математической статистики. «Статистика», 1978.
30. Кендалл М.Д., Сьюарт А. Статистические выводы и связи. «Наука », 1973.
31. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. «Наука», 1979.
32. Дрейпер Н., Смит Дж. Прикладной регрессионный анализ. «Статистика», 1973.
33. Вернер С. Стандартизация – основа экономики машиностроительного производства. Издательство стандартов. 1967.
34. Зедгинидзе И.Г. Комплексные системы общетехнических стандартов. Тбилиси: Технический университет, 1998 г. – 146 с.
35. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования много-

- компонентных систем. М. Наука, 1976, 390 с.
36. Зедгинидзе И.Г. Организация и планирование инженерного эксперимента. Тбилиси: Технический университет, 2000. 224 с.
 37. Церцвадзе Р.В. Романов В.Л., Дымшиц Е.С. «Некоторые вопросы контроля качества устройств электроавтоматики». Изд-во стандартов. Москва. Журнал «Метрология» №4 1976г. с.3-9.
 38. Церцвадзе Р.В. «О возможностях осуществления стандартизации при системном подходе изображения и описания схем электроавтоматики». XXI Республиканская научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава ГПИ им. В. И. Ленина и работников производства (тезисы докладов) 1978 г. 25-28 апреля.
 39. Церцвадзе Р.В. «Статистический последовательный анализ применяемых релейных аппаратов и их контактов в схемах управления автоматическими агрегатами». Научные труды ГПИ сб. «Техническая кибернетика», Тбилиси №5(215) 1979 г. с.54-54.
 40. Церцвадзе Р.В. «О возможностях идентификации и систематизации схемных решений устройств автоматического управления (УАУ). Тезисы докладов XXIII Республиканской научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава ГПИ им. В.И.Ленина и работников производства. Тбилиси 1981 г.
 41. Церцвадзе Р.В. «Исследование возможности системного подхода к созданию схем электроавтоматики устройств автоматического управления». Москва журнал «Стандарты и качество» №9 1981 г. с. 14-17.
 42. Церцвадзе Р.В. «Исследование взаимосвязей между замыкающими и размыкающими контактами релейной аппаратуры, применяемой в системах управления технологическими агрегатами». Научные труды ГПИ. Сборник «Техническая кибернетика». Тбилиси №5(250) 1982г. с.68-74.
 43. Церцвадзе Р.В. «Описание работы схем электроавтоматики табличным способом». Москва. Журнал «Стандарты и качество» №11 1982 г. с.39-41.
 44. Церцвадзе Р.В. «Статистический анализ существующих систем циклового управления технологическим оборудованием». Научно-методический журнал «Транспорт и машиностроение» Тбилиси ГТУ №4 2008 с. 187-192.
 45. Церцвадзе Р.В. «Исследование возможности оптимизации схем электроавтоматики по критерию минимальной избыточности. Периодический научный

журнал «Интеллект» №3(32) 2008 г. стр. 73-74.

46. Церцвадзе Р.В. «Особенности задачи оптимизации параметрического ряда аппаратов схем электроавтоматики (СЭА)». Периодический научный журнал «Интеллект» №3(32) 2008 г. с.75-76.