

УДК 621.791.76

Н.М. ПОГРІБНЯК¹(канд. техн. наук, доц.), К.А. УДОВІЧЕНКО², І.В. ЄГОРОВА¹¹Державний вищий навчальний заклад

«Донецький національний технічний університет»

² ПАТ «Донбасенерго» ДПР НДІ «Теплоелектропроект»N.N. Pogrebnyak@gmail.com

ВДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД РОЗРАХУНКУ ПІКОВИХ СТРУМІВ І ВТРАТ НАПРУГИ В МЕРЕЖІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ГРУПИ МАШИН КОНТАКТНОЇ ЗВАРКИ

Запропонований наближений метод визначення пікових струмів і втрат напруги в електричній мережі живлення групи машин контактної зварки (МКЗ). На прикладах показана висока ефективність метода, якій може бути використаний при проектуванні мереж електропостачання МКЗ з метою обґрунтованого зменшення капітальних витрат на мережу при гарантованому забезпеченні необхідного рівня напруги в ній.

Ключові слова: піковий струм, втрата напруги, електрична мережа, машина контактної зварки, функція розподілу, максимальне розрахункове значення.

Контактна зварка є одним з широко розповсюджених видів зварки, її частка, що складає понад 40%, зростає. Машини контактної зварки (МКЗ), робота яких характеризується невеликими значеннями коефіцієнта ввімкнення k_B , створюють значні за величиною струмові навантаження [1]. За нагрівом мережа електропостачання групи МКЗ обирається за ефективним струмом [2, 3], а пікові струми необхідні для вибору захисту. Вимога ж до рівня напруги в мережі живлення групи машин контактної зварки зазвичай є одним з вирішальних чинників, що впливає на остаточний вибір елементів мережі (цехового трансформатора, шинопровода), оскільки зниження напруги на затискачах МКЗ понад 10% може призводити до виникнення браку зварного з'єднання [1].

Точно максимальні розрахункові значення пікових струмів і втрат напруги можна знайти, якщо кількість n машин в групі не перевищує 16-17 - за функціями розподілу пікових струмів і втрат напруги, розрахованими шляхом перебору усіх можливих варіантів одночасного ввімкнення зварювальних машин, застосовуючи розроблену універсальну програму [4] розрахунку струмів і напруг усіх ділянок електричної мережі живлення групи МКЗ при будь-якому переліку ввімкнених машин. Перевірка діючих Вказівок з вибору мережі електропостачання групи МКЗ [2] та їх попередньої редакції [3] для невеликих груп машин ($n = 16$) виявила, що ці методики завищують результати розрахунку пікових струмів і втрати напруги, внаслідок чого необґрунтовано збільшуються капітальні витрати на мережу.

При більшій за 16-17 кількості зварювальних машин необхідна розробка наближених методів, що зменшують обсяги обчислень. Крім [2, 3], в [5] були запропоновані методи «Граничних функцій розподілу» (ГФР), «Випадкового вибору» (ВВ) та «Багатократного випадкового вибору» (БВВ). В методах ГФР, ВВ, БВВ зменшення кількості розрахунків досягається шляхом розподілу зварювальних машин на 7 груп в залежності від кількості фаз МКЗ і того, до яких фаз вони підключені. Далі при розрахунку приблизних функцій розподілу пікових струмів і втрати напруги з метою зменшення кількості сходинок на них розглядаються вже не всі можливі варіанти одночасного ввімкнення зварювальних машин, а усі можливі варіанти одночасного ввімкнення різної кількості машин з груп. Розрахунок виконується за середнім значенням коефіцієнта

ввімкнення $\bar{k}_B = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n k_{Bj}$ Для кожного з варіантів з використанням алгоритму [4] розраховуються пікові

струми, втрати напруг та його ймовірність за виразом

$$P = \prod_{i=1}^k C_{m_i}^{q_i} \bar{k}_B^{q_i} (1 - \bar{k}_B)^{m_i - q_i}, \quad (1)$$

де i - порядковий номер групи; k - кількість груп; m_i - кількість машин, що віднесені до i -тої групи; q_i - кількість ввімкнених машин у i -тій групі.

За отриманими значеннями пікових струмів фаз, втрат лінійних напруг та їх ймовірностями розраховуються функції розподілу кожної з величин. Знайдені функції розподілу використовуються для визначення максимальних розрахункових значень пікових струмів і втрат напруги, що можуть бути перевищені з граничною ймовірністю e_x .

Крім розподілу машин на групи, в методах ГФР, ВВ, БВВ зменшення кількості обчислень досягається розрахунком (з запасом Δe) лише ділянок функцій розподілу до досягнення ними значення $1 - e_x + \Delta e$.

© Погрібняк Н.М., Удовіченко К.А., Єгорова І.В., 2013

Недоліком методів ГФР, ВВ, БВВ є те, що в одній групі опиняються зварювальні машини, вплив яких, внаслідок їх різної потужності та відстані від джерела живлення, на шукані величини (пікові струми фаз та втрати напруг) відрізняються суттєво. Тому в методі ГФР розраховуються максимальна та мінімальна функції розподілу, які отримуються, якщо при обчислення усіх сходинок функції розподілу з кожної групи обиративвімкненими задану кількість найпотужніших зварювальних машин – для максимальної функції розподілу та найменш потужних – для мінімальної. В методі ВВ ввімкнені машини з групи кожного разу обираються випадковим чином, а в методі БВВ для кожної сходинки функції розподілу розраховується кілька ординат методом ВВ, які надалі осереднюються. Отже, метод ГФР дає тільки межі, в яких знаходиться справжня функція розподілу; метод ВВ, при його багаторазовому застосуванні, дає функції розподілу, що суттєво відрізняються одна від одної; а метод БВВ потребує значних витрат часу, оскільки кількість функцій розподілу, що осереднюються, як свідчать результати, має бути не менше 15-20. Таким чином, вдосконалення методів розрахунку пікових струмів і втрат напруги в мережі живлення групи машин контактної зварки є актуальним.

Метою роботи є обґрунтоване зменшення капітальних витрат на мережу електропостачання групи машин контактної зварки за умови забезпечення необхідного рівня напруги в ній шляхом розробки ефективного метода визначення пікових струмів і втрат напруги.

У статті обґрунтування та перевірка метода розглядається для випадку живлення групи машин контактної зварки від нерозгалуженого шинопровода. Цей підхід може бути застосований і для розгалуженої мережі.

У моделі кожен однофазну або фазу багатозазної МКЗ, що працює з коефіцієнтом завантаження k_3 , представляємо опором

$$\underline{z}_{3M} = \frac{j \cdot r \cdot x}{r + j \cdot x}, \quad r = \frac{U_H^2}{S_H \cdot \cos \varphi_H \cdot k_3}, \quad x = \frac{U_H^2}{S_H \cdot \sin \varphi_H \cdot k_3},$$

де S_H , U_H , $\cos \varphi_H$ - номінальні повна потужність (однофазної зварювальної машини або фази багатозазної), напруга та коефіцієнт потужності МКЗ.

Ідея нового «Комплексного диференційованого» (КД) метода полягає в тому, що для кожної зварювальної машини у комплексній формі розраховуються пікові струми усіх фаз і падіння трьох лінійних напруг при підключенні до мережі тільки цієї машини. Наприклад, для однофазної зварювальної машини, підключеної до фаз А, В нерозгалуженого шинопроводу з питомим опором $\underline{z}_{ш0}$ на відстані l від цехового трансформатора з опором \underline{z}_T та ЕРС фаз \dot{E}_A , \dot{E}_B , \dot{E}_C (рис. 1), струми фаз:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{E}_A - \dot{E}_B}{2\underline{z}_T + 2\underline{z}_{ш0} \cdot l + \underline{z}_{3M}};$$

$$\dot{I}_B = -\dot{I}_A; \quad \dot{I}_C = 0$$

та падіння лінійних напруг (в виразах індекси: 1 – напруга на джерелі живлення; 2 – на навантаженні; 12 – падіння напруги в мережі):

$$\Delta \dot{U}_{AB12} = \dot{U}_{AB1} - \dot{U}_{AB2} = 2\dot{I}_A(\underline{z}_T + \underline{z}_{ш0} \cdot l); \quad \Delta \dot{U}_{BC12} = \dot{U}_{BC1} - \dot{U}_{BC2} = -\dot{I}_A(\underline{z}_T + \underline{z}_{ш0} \cdot l);$$

$$\Delta \dot{U}_{CA12} = \dot{U}_{CA1} - \dot{U}_{CA2} = -\dot{I}_A(\underline{z}_T + \underline{z}_{ш0} \cdot l).$$

Далі визначаються функції розподілу пікових струмів кожної фази і втрат трьох лінійних напруг окремо, по черзі, але за єдиним алгоритмом, який розглянемо на прикладі пікового струму фази. Машини розподіляються на 7 груп: до першої відносимо МКЗ, які не підключені до розрахункової фази. Інші зварювальні машини спочатку розподіляються на дві групи в залежності від величини фази струму, потім кожна з отриманих груп ділиться в залежності від величини модуля струму до тих пір, поки загальна кількість груп не становитиме 7 або струми фази в кожній з груп не будуть однакові. В результаті в кожній з груп опиняться машини, вплив яких на величину струму розрахункової фази відрізнятиметься як можна менше, що дає можливість струм від кожної зі зварювальних машин групи замінити середнім значенням \dot{I}_c струму групи. Надалі, як і в методах ГФР, ВВ, БВВ, обчислення ведеться за середнім значенням коефіцієнта ввімкнення, розраховується тільки ділянка функції розподілу від нуля до досягнення значення $1 - e_x + \Delta e$. При розрахунку функції розподілу розглядаються всі можливі варіанти одночасного ввімкнення різної кількості машин з груп. Ймовірність кожного варіанта одночасного ввімкнення МКЗ визначається за (1), а піковий струм - шляхом геометричного складання струмів ввімкнених машин з груп:

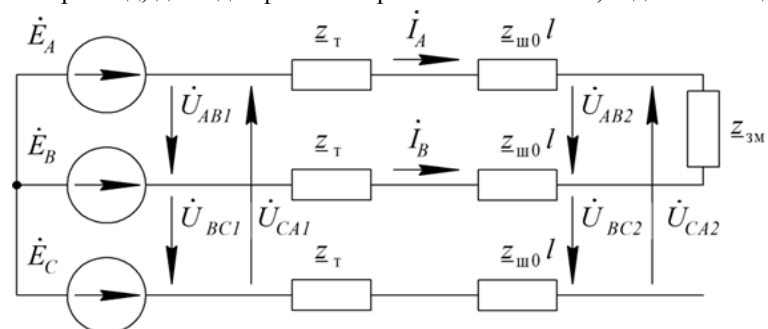


Рисунок 1 – Схема для розрахунку пікових струмів і падінь напруги при підключенні однофазної МКЗ до фаз А, В

$$\dot{I} = \sum_{i=1}^k q_i \cdot \dot{I}_{ci},$$

де i - порядковий номер групи; k - кількість груп; q_i - кількість ввімкнених машин у i -тій групі.

Для побудови функції розподілу пікового струму використовується модуль сумарного струму \dot{I} .

На відміну від пікових струмів фаз, при розрахунку функцій розподілу втрат напруги (наприклад, для лінійної напруги АВ), для кожного з варіантів одночасного ввімкнення МКЗ з груп с початку по середнім падінням напруги $\Delta \dot{U}_{AB12ci}$ у кожній з k груп МКЗ розраховується сумарне падіння напруги

$$\Delta \dot{U}_{AB12\Sigma} = \sum_{i=1}^k q_i \cdot \Delta \dot{U}_{AB12ci}.$$

Втрата напруги на кожній сходинці функції розподілу розраховується як різниця модулів напруги на джерелі живлення та у кінці шинопровода:

$$\Delta U_{AB} = |\dot{U}_{AB1}| - |\dot{U}_{AB2}| = |\dot{U}_{AB1}| - |\dot{U}_{AB1} - \Delta \dot{U}_{AB12\Sigma}|.$$

Наступним кроком є сортування сходинок функцій розподілу за зростанням їх аргументів та розрахунок значення самої функції розподілу за знайденими ймовірностями. По функціям розподілу пікових струмів фаз та втрат лінійних напруг з граничною ймовірністю $e_x = 0,001$ визначаються їх максимальні розрахункові значення.

Для співставлення методів ГФР, БВВ, КД метода, діючих Керівних Вказівок та їх попередньої редакції були підібрані 12 груп по 16 МКЗ різної потужності (в діапазоні 16-495 кВА) та з різною кількістю фаз, що отримують живлення від нерозгалуженого шинопровода ШМА4 з номінальним струмом 1250 А, підключеним до трансформатора цехової трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ типа ТМЗ-1000/10. Для цих груп МКЗ розрахунок виконувався двічі: при однаковому значенні коефіцієнта ввімкнення усіх зварювальних машин, що дорівнював 0,05 та при різних його значеннях у діапазоні 0,03-0,05. На рис. 2 для одного з розглянутих прикладів приведені теоретичні функції розподілу пікового струму однієї фази (а) та втрати однієї лінійної напруги (б) (криві 1) та максимальні розрахункові значення ($I_{n1}, \Delta U_1$), знайдені за ними. Функції розподілу, розраховані КД методом (криві 2), найменше відрізняються від теоретичних, визначені за ними максимальні розрахункові значення пікового струму I_{n2} , і втрати напруги ΔU_2 також показані на рис. 2. Граничні функції розподілу позначені цифрами: 4 – мінімальна, 5 – максимальна, а функції розподілу за методом БВВ мають номер 3. Індекси максимальних розрахункових значень співпадають з номерами відповідних функцій розподілу. Результати підтверджують, що діючі Керівні Вказівки та їх попередня редакція суттєво завищують пікові струми втрати напруги (на рис. 2 ці величини мають індекси 6 – для діючих Вказівок та 7 – для їх попередньої редакції).

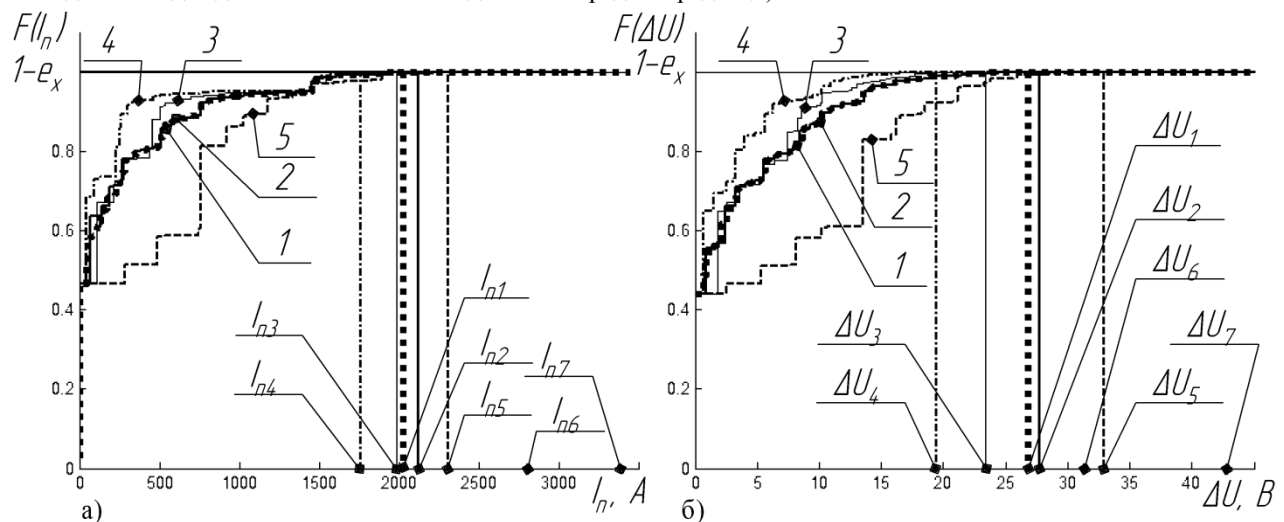


Рисунок 2 – Теоретичні та визначені методами ГФР, БВВ, КД методом функції розподілу пікового струму однієї фази (а) та втрати однієї лінійної напруги (б) максимальні розрахункові значення пікових струмів та втрат напруги для одного з прикладів

На рис. 3 для розглянутих прикладів показані діапазони похибок визначення: а) - пікових струмів, б) – втрати напруги методами: КД - позначені цифрою 1; БВВ – 2; за діючими Керівними Вказівками – 3; за попередньою версією Керівних Вказівок – 4. Для кожного з методів лівий стовпчик відповідає діапазону похибки для серії прикладів з однаковими коефіцієнтами ввімкнення МКЗ (0,05), правий – з різними (в діапазоні 0,03-0,05). Отже, КД метод є самим точним, а розрахунок за середніми значеннями коефіцієнта ввімкнення для розглянутих прикладів не призвів до суттєвого збільшення похибки ні для одного з методів. В усіх розглянутих прикладах КД метод мав додатну похибку, що створюватиме невеликий запас при проектуванні електричної мережі.

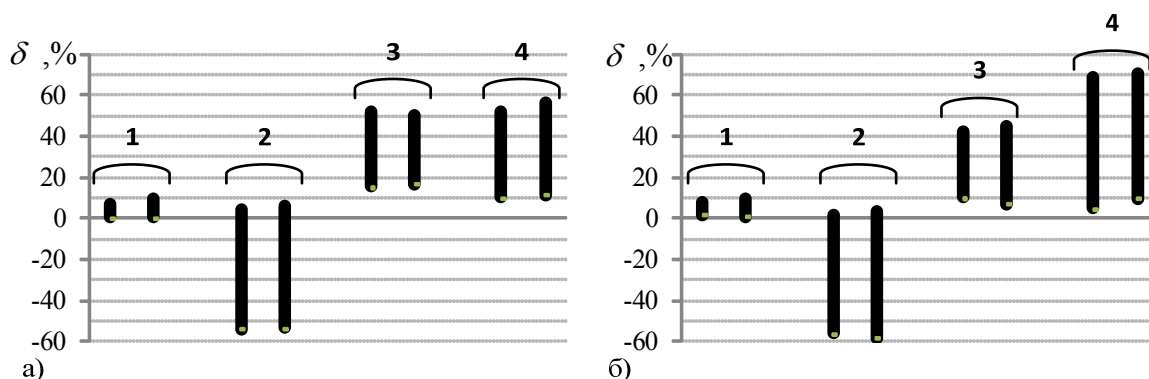


Рисунок 3 – Діаграми погрешностей при визначенні: а) – пікових струмів; б) – втрати напруги в мережі електропостачання групи машин контактної зварки.

Таким чином, застосування розробленого КД метода для визначення пікових струмів та втрат напруги в мережі електропостачання групи машин контактної зварки забезпечить обґрунтоване зменшення капітальних витрат на електричні мережі при гарантованому забезпеченні необхідного рівня напруги.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Вагин Г.Я. Режимы электросварочных машин / Г.Я. Вагин. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 192 с.
2. Справочник по проектированию электроснабжения / [И.С. Бабахаян, А.А. Бейдер, А.В. Геллер и др.]; под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
3. Каялов Г.М. Теоретические основы аналитического метода максимальных токов и потерь напряжения в сетях контактной электросварки / Г.М. Каялов, В.П. Муха, А.А. Бадахян, Л.Б. Годгельф // Инструктивные указания по проектированию электротехнических промышленных установок. – 1976. - №3. - С. 3-9.
4. Погрібняк Н.М. Розрахунок струмів і напруг в мережі електропостачання групи машин точкової контактної зварки / Н.М. Погрібняк, В.В. Мухін // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Електротехніка і енергетика». - 2011. - Випуск 11 (186). – С. 301-304.
5. Погрібняк Н.М. Розрахунок пікових струмів і втрат напруги в мережі електропостачання групи машин контактної зварки / Н.М. Погрібняк, В.В. Мухін, К.А. Удовіченко, О.О. Булгаков // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Електротехніка і енергетика». - 2012. - №1(12) -2(13). – С. 192-196.

REFERENCES

1. Vagin G.Y. Rezhimy electrosvarochnykh mashin [Modes of electric welding machines]. Moscow: Energoatomizdat, 1985. 192 p.
2. Barybin Y.G., Babahanyan I.S., Beyder A.A., Geller A.V. Spravochnik po proectirovaniyu electrosnabjeniya [Handbook of design of power supply]. Moscow: Energoatomizdat, 1990. 576 p.
3. Kaiyalov G.M., Muha V.P., Badahyan A.A., Godgelf L.B. Theoretical basis of the analytica method of maximal current sand voltage losses in the power supply network of resistance welding. Instruktivnye ukazaniya po proectirovaniyu electriceskikh promishlennykh ustanovok. 1976; №3: 3-9.
4. Pogribnyak N.M., Muhin V.V. The calculation of peak current sand voltage losses in the power supply network of group of resistance spot welding machines. Naukovi praci Donetskogo natsionalnogo tehnicnogo universitetu. Seria: "Electrotehnika i energetika". 2011; 11 (186): 301-304.
5. Pogribnyak N.M., Muhin V.V., Udovichenko K.A., Bulgakov O.O. The calculation of peak current sand voltage losses in the power supply network of group of resistance welding machines. Naukovi praci Donetskogo natsionalnogo tehnicnogo universitetu. Seria: "Electrotehnika i energetika". 2012; 1(12) -2(13): 192-196.

Надійшла до редакції 27.03.2013

Рецензент: Е.Г. Курінний

Н.Н. ПОГРЕБНЯК¹, К.А. УДОВИЧЕНКО², И.В. ЕГОРОВА¹

¹ Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет»

² ДПИ НИИ «Теплоэлектропроект»

Усовершенствованный метод расчета пиковых токов и потерь напряжения в сети электроснабжения группы машин контактної зварки. Предложен приблизительный метод определения пиковых токов и потерь напряжения в электрической сети питания группы машин контактної зварки (МКС). На примерах показана высокая эффективность метода, который может быть использован при проектировании сетей электроснабжения МКС с целью обоснованного уменьшения капитальных затрат на сеть при гарантированном обеспечении необходимого уровня напряжения в ней.

Ключевые слова: пиковый ток, потеря напряжения, электрическая сеть, машина контактної зварки, функция распределения, максимальное расчетное значение.

N. POGRIBNYAK¹, K.UDOVICHENKO², I. EGOROVA¹

¹ State Institution of Higher Education "Donetsk National Technical University"

² Scientific Research Institute "Теплоэлектропроект"

Advanced Method of Calculation of Peak Currents and Voltage Losses in the Power Supply Network of Group of Resistance Welding Machines.

When the power supply network of resistance welding machines is designed, it is required to define the calculated values of peak currents and voltage losses, and one of the determining factors, when the network is chosen, is ensuring of the necessary level of voltage in it, because undervoltage leads to defects of connection, and at the same time excessive demands on the level of voltage increase the cost of the network. If the number of machines in the group does not exceed 16-17, the exact solution can be found using distribution functions of peak currents and voltage losses, which was calculated by selection of all possible variants of simultaneous operation of welding machines. Development of approximate method for reducing the amount of calculations is necessary for a large number of machines in the group. The exact calculation for small groups of machines shows that known approximate methods give higher values of peak currents and voltage losses. The idea of the new method of calculation is that peak currents of all three phases and drops of all linear voltages are calculated in complex form for every welder machine when only this machine is connected to the network. Next, the distribution functions of the peak currents of each phase and drops of three line voltages are determined separately by a single algorithm, which is considered, for example, for peak current of phase A. Machines are divided into 7 groups. The first group gets machines which are not connected to this phase, remaining machines are divided first in two groups by the phase of the current, and then each of these groups is divided into groups by the size of the current module. As a result, each of the groups has machines whose influence on the magnitude of the current of phase A is different as little as possible, which allows us to replace the current from each of the welding machines on the average of the current group. As a result of such separation in the calculation of the distribution function all possible combinations of the simultaneous operation of different numbers of machines from groups are considered. This way significantly reduces number of calculations comparing with an exact calculation. The probability and the total peak current are determined for each combination (the probability is calculated by average coefficient of inclusion). The results of calculation allow us to construct the distribution function of peak current of phase A with the boundary probability e_x and to determine its maximum design value. In order to reduce the amount of calculation, the calculation of the distribution function is performed (with a margin Δe_x) until it reaches a value of $1 - e_x + \Delta e_x$. The comparison of known and developed methods showed that the latter is the most accurate. Its use will provide a reasonable decrease in the capital cost of electric power supply network of welding machines, and at the same time the required level of voltage will be guaranteed.

Key words: *peak current, voltage loss, electric network, contact welding machine, distribution function, maximal calculated value.*