

**Пример расчёта мощности электродвигателя главного движения и выбор его по справочнику**

Определяем мощность резания  $P_{zi}$  , кВт, для каждого рабочего участка по формуле:

$$P_{z1}=F_{z1} \cdot V_{z1} / 60 \cdot 1000 , \text{ кВт} \quad (1) \quad [Л1.1]$$

$$P_{z1}=26,47 \cdot 1450 / 60 \cdot 1000 = 6,3 \text{ кВт}$$

$$P_{z2}=24,96 \cdot 1400 / 60 \cdot 1000 = 5,8 \text{ кВт}$$

$$P_{z3}=21,57 \cdot 1370 / 60 \cdot 1000 = 4,9 \text{ кВт}$$

$$P_{z4}=4,8 \cdot 2800 / 60 \cdot 1000 = 0,23 \text{ кВт}$$

где  $F_{zi}$  - усилие резания каждого участка; Н.

$V_{zi}$  - скорость резания каждого рабочего участка; м/мин.

Определяем среднюю мощность резания  $P_{z.ср.}$  ,кВт, по формуле:

$$P_{z.ср.} = P_{z1} + P_{z2} + \dots + P_{zi} / n , \text{ кВт} \quad (2) \quad [Л1.1]$$

$$P_{z.ср.} = 17,23 / 4 = 4,30 \text{ кВт}$$

где n - количество рабочих участков нагрузочной диаграммы (=5).

Определяем потери мощности  $P_o$  ,кВт, холостого хода:

$$P_o = a \cdot P_{z.ср.} , \text{ кВт} \quad (3) \quad [Л1.1]$$

$$P_o = 0,12 \cdot 4,30 = 0,51 \text{ кВт}$$

где a - коэффициент постоянных потерь в двигателе.

$$a = 0,6 (1 - \eta_{шп.ном.}) / \eta_{шп.ном.} \quad (4) \quad [Л1.1]$$

$$a = 0,6 (1 - 0,83) / 0,83 = 0,12$$

где  $\eta$  - КПД привода шпинделя при номинальной нагрузке (0,83).

Определяем эквивалентную мощность резания  $P_{эkv.}$  , кВт.

$$P_{эkv.} = \sqrt{\sum P_{2zi} \cdot t_{zi} / T_{ц}} , \text{ кВт} \quad (5) \quad [Л1.1]$$

$$\frac{(6,3^2 \cdot 2,1) + (5,8^2 \cdot 1,7) + (4,9^2 \cdot 1,4) + (0,23^2 \cdot 1,3)}{8,7}$$

$$P_{эkv.} = \quad \quad \quad = 4,47$$

Определяем мощность двигателя главного движения.

$P_{дв.г.}$  , кВт, с учетом потерь в механических переходах по формуле:

$$P_{дв.г.} = P_{эkv.} / \eta_{г} , \text{ кВт} \quad (6) \quad [Л1.1]$$

$$P_{дв.г.} = 4,47 / 0,92 = 4,86 \text{ кВт}$$

где  $\eta_{г}$  - КПД привода главного движения (0,92).

По рассчитанной мощности  $P_{дв.г.}$  произвести предварительный выбор двигателя главного движения с синхронной частотой 3000 об/мин, или 1500 об/мин.

Технические параметры предварительного выбранного двигателя главного движения свести в таблицу №1, соблюдая условие  $P_{дв.г.} < P_{ном}$  , кВт.

Таблица №1 «Выбор двигателя главного движения»

| Тип двигателя | $P_{ном}$ , кВт | При номинальной нагрузке |            |            | $M_{max}$ /Мн | $M_n$ /Мн | $M_{min}$ /Мн | $I_n$ / $I_n$ | J, кг*м <sup>2</sup> |
|---------------|-----------------|--------------------------|------------|------------|---------------|-----------|---------------|---------------|----------------------|
|               |                 | n, об/м                  | $\eta$ , % | $\cos\phi$ |               |           |               |               |                      |
|               |                 |                          |            |            |               |           |               |               |                      |

Изм. № подл. Подп. и дата. Взам. инв. № Инв. № докл. Подп. и дата.

|           |      |      |      |      |     |     |   |     |     |
|-----------|------|------|------|------|-----|-----|---|-----|-----|
|           |      | ин   |      |      |     |     |   |     |     |
| 1         | 2    | 3    | 4    | 5    | 6   | 7   | 8 | 9   | 10  |
| 4A112M4УЗ | 5,50 | 1445 | 85,5 | 0,85 | 2,2 | 2,0 | 1 | 1,6 | 7,0 |

### Пример построения нагрузочной диаграммы и проверка двигателя на нагрев

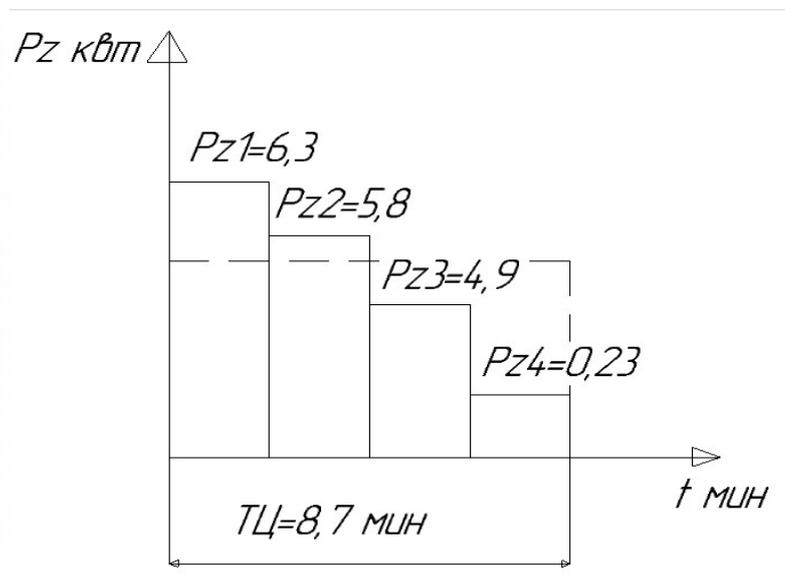


Рис. 1 Нагрузочная диаграмма  $P_z=f(t)$  привода шпинделя.

При нагрузочной диаграмме определить режим работы привода шпинделя. Для этого рассчитать время цикла  $T_{ц}$  мин. по формуле:

$$T_{ц} = t_p + t_o, \text{ мин} \quad (7) \quad [Л1.1]$$

$$T_{ц} = 7,6 + 1,1 = 8,7 \text{ мин}$$

где  $T_{ц}$  - время цикла, мин;

$t_p$  - время обработки детали на рабочих участках, мин;

$t_o$  - время паузы, мин.

Режим работы привода главного движения повторно-кратковременный, если  $T_{ц} < 10$  мин, и продолжительный, если  $T_{ц} > 10$  мин.

Для повторно-кратковременного режима определить

определить продолжительность включения  $PВ_{расч.}$ , %, по формуле:

$$PВ_{расч.} = t_p / (t_p + t_o) * 100\% \quad (8) \quad [Л1.1]$$

$$PВ_{расч.} = 2,5 / (2,5 + 1,2) * 100\% = 0,67$$

Предварительно выбранный двигатель главного движения далее необходимо проверить по нагреву и перегрузочной способности.

Проверка выбранного двигателя по условиям нагрева.

В соответствии с нагрузочной диаграммой определяем ток  $I_n$ , А, при различных интервалах нагрузки по формуле:

$$I_n = P_{zi} * 10^3 / (\sqrt{3} * U_{ном} * \eta * \cos\Phi), \text{ А} \quad (9) \quad [Л1.1]$$

$$I_{n1} = 6,3 * 10^3 / (\sqrt{3} * 380 * 0,85 * 0,85) = 13,24 \text{ А}$$

$$I_{n2} = 5,8 * 10^3 / (\sqrt{3} * 380 * 0,85 * 0,85) = 12,19 \text{ А}$$

$$I_{n3} = 4,9 * 10^3 / (\sqrt{3} * 380 * 0,85 * 0,85) = 10,3 \text{ А}$$

$$I_{n4} = 0,23 * 10^3 / (\sqrt{3} * 380 * 0,85 * 0,85) = 0,48 \text{ А}$$

|              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Инд. № подл. | Взам. инв. № | Инд. № докл. | Подп. и дата |
|              |              |              |              |
|              |              |              |              |
|              |              |              |              |

где  $U_{ном}$  - напряжение номинальной сети, В.

Определяем эквивалентное значение тока  $I_{экв.}$ , А, по формуле:

$$I_{экв.} = \sqrt{I_{21}^2 * t_1 + I_{22}^2 + \dots + I_{2n}^2 * t_n} / T_{ц}, \text{ А} \quad (10) \quad [Л1.1]$$

$$I_{экв.} = \sqrt{13,24^2 * 2,1 + 12,19^2 * 1,7 + 10,32^2 * 1,4 + 0,48^2 * 1,3} = 5,26 \text{ А}$$

Определяем номинальный ток  $I_{ном}$ , А, в обмотке статора двигателя по формуле:

$$I_{ном} = P_{ном} * 10^3 / \sqrt{3} * U_{ном} * \eta * \cos \varphi, \text{ А} \quad (11) \quad [Л1.1]$$

$$I_{ном} = 5,50 * 10^3 / \sqrt{3} * 380 * 0,85 * 0,85 = 6,80 \text{ А}$$

Проверить выполнение условия.

$$I_{экв.} < I_{ном} \quad (12) \quad [Л1.1]$$

$$5,26 < 11,7$$

При выполнении условия предварительно выбранный двигатель удовлетворяет условиям проверки по нагреву. В противном случае необходимо выбрать двигатель большей мощности и повторить проверку.

Проверяем выбранный двигатель привода главного движения по перегрузочной способности.

В соответствии с нагрузочной диаграммой  $P_z = f(t)$  определяем наибольший момент  $M_{наиб.}$ , Н\*м, нагрузки по формуле:

$$M_{наиб.} = 9,55 * P_{z.наиб.} * 10^3 / \eta_{дв.наиб.}, \text{ Н*м} \quad (13) \quad [Л1.1]$$

$$M_{наиб.} = 9,55 * 6,3 * 10^3 / 1445 = 41,63 \text{ Н*м}$$

В соответствии с нагрузочной диаграммой  $P_z = f(t)$  (рис. 2.) определяем наибольший момент  $M_{наим.}$ , Н\*м, нагрузки по формуле:

$$M_{наим.} = 9,55 * P_{z.наим.} * 10^3 / \eta_{дв.наим.}, \text{ Н*м} \quad (14) \quad [Л1.1]$$

$$M_{наим.} = 9,55 * 0,23 * 10^3 / 85,5 = 25,69$$

Определяем наименьший момент  $M_{наим.}$ , Н\*м нагрузки, по формуле:

$$M_{наиб.} / M_{наим.} < 0,85 * M_{накс.} / M_{мин.}, \text{ Н*м} \quad (15) \quad [Л1.1]$$

$$41,63 / 25,69 < 0,85 * 2,2 / 1$$

$$1,62 < 1,87$$

При невыполнении условия выбрать двигатель ближайшей большей мощности и повторить проверку.

### Пример расчёта мощности электродвигателей вспомогательных механизмов и выбор их по справочнику

Определяем мощности двигателей вспомогательных механизмов.

$$P_{дв.} = k_з * \gamma * Q * H / (\eta_{нас} * \eta_1) * 10^3, \text{ кВт} \quad (16) \quad [Л1.1]$$

$$P_{дв.} = 1,2 * 98,1 * 5 * 3,8 / (0,7 * 0,7) * 10^3 = 0,28 \text{ кВт}$$

где  $k_з$  - коэффициент запаса 1,1-1,3;

$\gamma$  - плотность перекачиваемой жидкости кг/м (для холодной воды = 98,1)

$Q$  - производительность насоса м<sup>3</sup>/сек;

$H$  - напор насоса, м;

$\eta_1$  - КПД передачи (при непосредственном соединении насоса с двигателем = 1, при передачах 0,7-0,8);

$\eta_2$  - КПД пилы 0,7-0,95.

|              |              |      |      |          |       |      |                          |      |
|--------------|--------------|------|------|----------|-------|------|--------------------------|------|
| Инд. № подл. | Подп. и дата | Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | ДП 13.02.11 000000 __ ПЗ | Лист |
| Взам. инв. № | Инд. № докл. |      |      |          |       |      |                          |      |
| Подп. и дата |              |      |      |          |       |      |                          |      |

По рассчитанной мощности Рдв. произвести предварительный выбор двигателя пилы, с синхронной частотой 3000 об/мин.

Технические параметры предварительного выбранного двигателя насоса свести в таблицу №2, соблюдая условие Рдв.<Рном , кВт.

Таблица №2«Выбор двигателя насоса»

| Тип      | Рном,<br>кВт | п,<br>об/мин | η, % | cosφ | Мmax/<br>Мн | Мп/Мн | Мmin/<br>Мн |
|----------|--------------|--------------|------|------|-------------|-------|-------------|
| 1        | 2            | 3            | 4    | 5    | 6           | 7     | 8           |
| 4А63А2УЗ | 0,37         | 2750         | 70   | 0,86 | 2,2         | 2     | 1,2         |

### Пример построения характеристик электродвигателей

Определим номинальную угловую скорость рад/с двигателя главного движения по формуле:

$$W_{ном} = 2 * 3,14 * 975 / 60 = 102,05 \text{ рад/с} \quad (19)$$

Определим скорость идеального холостого хода  $W_0$  по формуле:

$$W_0 = 2\pi * f_1 / p \quad (20)$$

где  $f_1$  – частота тока 50 Гц

$p$  – число пар полюсов

$$W_0 = 2 * 3,14 * 50 / 2 = 157 \text{ рад/с}$$

Определим номинальное скольжение по формуле:

$$S_{ном} = (n_c - n_{ном}) / n \quad (21)$$

где  $n_c$  – синхронная частота вращения вала двигателя

$$S_{ном} = (1440 - 975) / 1440 = 0,03 \text{ об/мин}$$

Задаваясь рядом значений  $S$  от 1, определяем соответствующие значение момента, а также значение угловой скорости:

$$M_1 = 2 * 224,94 / (0,09 / 1 + 1 / 0,09) = 37,2$$

$$M_2 = 2 * 224,94 / (0,09 / 0,8 + 0,8 / 0,09) = 49,9$$

$$W_2 = 1500 * (1 - 0,8) = 300 \text{ рад/с}$$

$$M_3 = 2 * 224,94 / (0,09 / 0,6 + 0,6 / 0,09) = 67,7$$

$$W_3 = 1500 * (1 - 0,6) = 600 \text{ рад/с}$$

$$M_4 = 2 * 224,94 / (0,09 / 0,4 + 0,4 / 0,09) = 95,2$$

$$W_4 = 1500 * (1 - 0,4) = 900 \text{ рад/с}$$

$$M_5 = 2 * 224,94 / (0,09 / 0,3 + 0,3 / 0,09) = 125$$

$$W_5 = 1500 * (1 - 0,3) = 1050 \text{ рад/с}$$

$$M_6 = 2 * 224,94 / (0,09 / 0,2 + 0,2 / 0,09) = 169,8$$

$$W_6 = 1500 * (1 - 0,2) = 1200 \text{ рад/с}$$

$$M_7 = 2 * 224,94 / (0,09 / 0,1 + 0,1 / 0,09) = 224,9$$

$$W_7 = 1500 * (1 - 0,1) = 1350 \text{ рад/с}$$

Результаты расчета номинальной угловой скорости и момента заносим в таблицу №5.

Таблица №5. «Зависимость вращения момента от скорости»

| 1        | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7     | 8     |
|----------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| S        | 1    | 0,8  | 0,6  | 0,4  | 0,3  | 0,2   | 0,1   |
| М,Н*м    | 37,2 | 49,9 | 67,7 | 95,2 | 125  | 169,8 | 224,9 |
| W, рад/с | 0    | 300  | 600  | 900  | 1050 | 1200  | 1350  |

|              |              |
|--------------|--------------|
| Инд. № подл. | Подп. и дата |
| Взам. инв. № | Инд. № докл. |
| Подп. и дата | Подп. и дата |

Исходя из данных расчета таблицы №5 был построен динамический график электродвигателя.

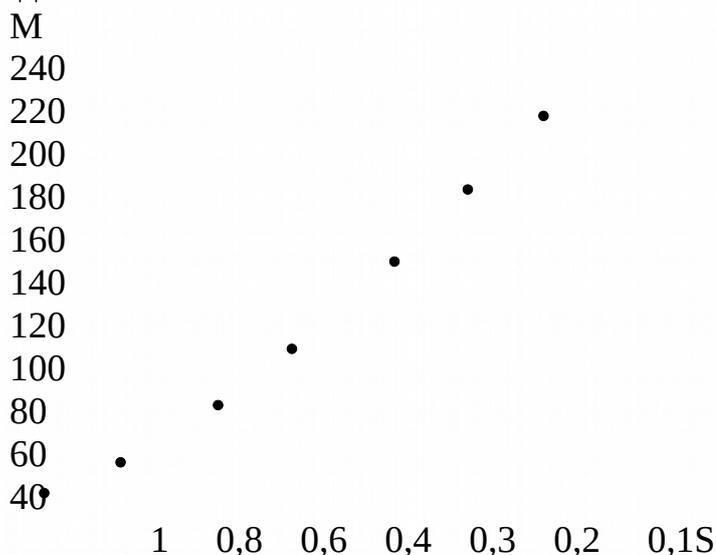


Рисунок №3 Динамический график электродвигателя

### Пример расчета и выбора электрических аппаратов

Номинальный ток автоматического выключателя должен быть больше расчетного тока.

$$I_{ном} \geq I_{расч}, A \quad (17) \quad [Л1.1]$$

Уставка теплового расцепителя находится из условия:

$$I_{уст} \geq 1,6 * I_{расч}, A \quad (18) \quad [Л1.1]$$

Автоматические выключатели предназначены для защиты электроустановок. Рассчитываем автоматический выключатель.

Определяем расчетный ток по формуле:

$$I_{расч} = I_{расч.1} + I_{расч.2}, A \quad (19) \quad [Л1.1]$$

$$I_{расч} = 11,57 A$$

Определяем уставку теплового расцепителя по формуле:

$$I_{уст} = 1,6 * I_{расч}, A \quad (20) \quad [Л1.1]$$

$$I_{уст} = 1,6 * 11,57 = 18,51 A$$

По каталогу предварительно выбираем автоматический выключатель и заносим данные в таблицу №3.

Таблица №3 «Выбор автоматического выключателя»

| Серия  | Номинальный ток автомата, А | Номинальный ток расцепителя, А | уставки |
|--------|-----------------------------|--------------------------------|---------|
| 1      | 2                           | 3                              |         |
| AE2000 | 25                          | 20                             |         |

При выборе плавких вставок предохранитель для электродвигателей со значительными пусковыми токами превращающие номинальные токи, вводится коэффициент снижения пускового тока.

При легких пусках он равен 2,5, при тяжелых пусках 1,6. При защите одного двигателя ток плавкой вставки находится из условия:

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № докл. | Подп. и дата

$$I_{вс} \geq I_{пуск}/2,5 \quad (21) \quad [Л1.1]$$

$$I_{вс} \geq 69,42/2,5=27,76$$

Предохранитель – коммутационный электрический аппарат предназначенный для защиты электрических цепей от токов перегрузки и коротких замыканий.

Определяем предохранитель для электродвигателя главного движения.

Определяем расчетный ток по формуле:

$$I_{расч.1} = P_{ном} * 103 / \sqrt{3} * U_n * \cos \Phi * \eta, A \quad (22) \quad [Л1.1]$$

$$I_{расч.1} = 5,50 * 103 / \sqrt{3} * 380 * 0,85 * 0,85 = 11,57 A$$

Определяем пусковой ток по формуле:

$$I_{пуск} = 6 * I_{расч.1}, A \quad (23) \quad [Л1.1]$$

$$I_{пуск} = 6 * 11,57 = 69,42 A$$

Определяем ток плавкой вставки по формуле:

$$I_{вс} = I_{пуск} / 2,5, A \quad (24) \quad [Л1.1]$$

$$I_{вс} = 69,42 / 2,5 = 27,76 A$$

Рассчитываем предохранитель для двигателя насоса.

Определяем расчетный ток по формуле:

Определяем пусковой ток по формуле:

$$I_{пуск} = 6 * I_{расч.1}, A \quad (26) \quad [Л1.1]$$

$$I_{пуск} = 6 * 1,7 = 10,2 A$$

По каталогу предварительно выбираем предохранители и заносим данные в таблицу №4.

Таблица №4 «Выбор предохранителей»

| Тип предохранителя | $I_{расч}, A$ | $I_{ном}, A$ | $I_{пл.вс}, A$ |
|--------------------|---------------|--------------|----------------|
| 1                  | 2             | 3            | 4              |
| ПР-2               | 11,57         | 60           | 35             |

Магнитный пускатель – это электрический аппарат, предназначенный для пуска, остановки, реверса и защиты электродвигателя от токов перегрузки и понижения напряжения.

Рассчитываем магнитный пускатель для электродвигателя главного движения.

Определяем номинальный ток по формуле:

$$I_{ном} = 1,1 * I_{расч.1}, A \quad (28) \quad [Л1.1]$$

$$I_{ном} = 1,1 * 11,57 = 12,72 A$$

Определяем номинальный ток по формуле:

По каталогу предварительно выбираем магнитные пускатели и заносим данные в таблицу №5.

Таблица №5 «Выбор магнитных пускателей»

| Тип     | $I_{ном}, A$ | Габаритные размеры мм | Наличие теплового реле |
|---------|--------------|-----------------------|------------------------|
| 1       | 2            | 3                     | 4                      |
| ПМЛ2100 | 25           | 80,6x56x94,1          | есть                   |

Тепловое реле – это электрический аппарат, предназначенный для защиты электродвигателей от токовой перегрузки.

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № докл. | Подп. и дата

Рассчитываем тепловое реле для электродвигателя главного движения.

Определяем расчетный ток по формуле :

$$I_{расч.1} = 5,50 * 103 / \sqrt{3} * 380 * 0,85 * 0,85 = 11,57 \text{ А} \quad (30) \quad [Л1.1]$$

Определяем уставку теплового расцепителя по формуле :

$$I_{уст} = 1,6 * I_{расч.1}, \text{ А} \quad (31) \quad [Л1.1]$$

$$I_{уст} = 1,6 * 11,57 = 18,57 \text{ А}$$

По каталогу предварительно выбираем тепловое реле и заносим данные в таблицу №6.

Таблица №6 «Выбор тепловых реле»

| Тип реле  | Ином, А | Предел регулирования номинального тока уставки |
|-----------|---------|--|
| 1         | 2       | 3  |
| РТЛ1023-2 | 25      | 17-25  |

Выбор трехобмоточного понижающего трансформатора

Таблица №7 «Выбор понижающего трансформатора»

| Тип трансформатора | Номинальная мощность, кВ*А | Ток холостого хода, % | Напряжение короткого замыкания, % | КПД, % |
|--------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------------------|--------|
| 1                  | 2                          | 3                     | 4                                 | 5      |
| ОСМ1-0,063         | 0,063                      | 24                    | 13,0                              | 83,0   |

### Пример расчета и выбора питающего провода

Провод – это металлический проводник, который состоит из одной (одножильный) или нескольких проволок (многожильный), предназначен для передачи электроэнергии.

Расчётный ток находим по формуле:

$$I_p = P / (\sqrt{3} * 380 * \eta * \cos\phi) \quad (34) \quad [Л1.1]$$

$$I_{расч.1} = 5,50 * 103 / \sqrt{3} * 380 * 0,85 * 0,85 = 11,57 \text{ А}$$

$$I_{р2} = 0,37 / (\sqrt{3} * 380 * 0,7 * 0,86) = 0,93 \text{ А}$$

Определяем номинальный ток, А, по формуле:

$$I_{ном} = I_{расч} * 1,6$$

$$I_{ном1} = 11,57 * 1,6 = 18,51$$

$$I_{ном2} = 0,37 * 1,6 = 0,59$$

Таблица №8 «Выбор сечения питающих проводов»

| Наименование                | Rном, кВт | Ином, А | Идоп, А | Марки и сечение             |
|-----------------------------|-----------|---------|---------|-----------------------------|
| 1                           | 2         | 3       | 4       | 5                           |
| Двигатель главного движения | 5,5       | 18,51   | 25      | 4ПВ-2 1x2,5 мм <sup>2</sup> |
| Двигатель наноса            | 0,37      | 0,93    | 25      | 4ПВ-2 1x2,5 мм <sup>2</sup> |

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № докл. | Подп. и дата