

УДК 004.7

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕК- ТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ СТАНЦИИ КАРЫМСКАЯ

С.Ю. Елпашев, старший преподаватель
Забайкальский институт железнодорожного транспорта
(672040, г. Чита, Железнодорожный район, ул. Магистральная, дом 11)
elkka64@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются район электроснабжения станции Карымская и его схема.

В системе электроснабжения выделяют следующие три вида устройств: по производству электрической энергии – электрические станции; по передаче и распределению электроэнергии - электрические сети; по потреблению электроэнергии в производственных и бытовых нуждах - приемники электроэнергии.

Электрической сетью называется устройство, соединяющее источники питания с потребителями электроэнергии. Оно может быть очень сложным. От свойств и работы электрической сети зависит качество электроснабжения потребителей. К электрическим сетям предъявляют определенные технико-экономические требования. Поэтому электрические сети должны тщательно рассчитываться, специально проектироваться и квалифицированно эксплуатироваться. Основным назначением электрических сетей является электроснабжение потребителей. Под этим обычно понимают передачу электроэнергии от источников питания и распределение ее между потребителями.

Источниками питания являются электрические станции, где электроэнергия получается путем преобразования из другой формы энергии. Часто рассматривают только некоторую часть электрической сети, для которой питающей является вся ее предыдущая часть (по пути передачи электроэнергии), а потребляющей - вся последующая.

Ключевые слова: трансформатор, эффективность, коэффициент загрузки.

Обозначения и сокращения:

РЭС- район электроснабжения

КЗ – коэффициент загрузки

ТП – трансформаторная подстанция

Эффективность работы схемы электроснабжения распределительных электрических сетей во многом определяются технологическими потерями в основных её элементах (линиях, трансформаторах) и коэффициентом загрузки силовых трансформаторов, также влияющим на эти потери [5, 9].

Поскольку для расчёта технологических потерь в трансформаторах необходимо знание коэффициента загрузки силового трансформатора, начнём с расчёта этого показателя по схеме электроснабжения РЭС станции Карымская.

В общем случае по формуле (1):

$$K_{з\text{т}i} = \frac{S_{\text{факт } ti}}{S_{\text{ном } ti}} \quad (1)$$

где $K_{з\text{т}i}$ -коэффициент загрузки i -го трансформатора;

$S_{\text{факт } ti}$ - фактическая полная мощность нагрузки, кВА, i -го трансформатора;

$S_{\text{ном } ti}$ -номинальная полная мощность, кВА, i -го трансформатора.

Для определения $S_{\text{факт } ti}$ будем использовать данные потребления активной мощности \mathcal{E}_{ai} по присоединениям РЭС станции Карымская за 2022 год, предоставленные НТЭЛ-1, линейным отделом Трансэнерго.

Средняя мощность определяется по формуле (2)

$$S_{\text{ср } ti} = \frac{\mathcal{E}_{ai}}{\cos\varphi \cdot T_p} \quad (2)$$

где \mathcal{E}_{ai} -расход активной электроэнергии по присоединениям, за 2022 г, кВт·ч;

$\cos\varphi = 0,85$ - коэффициент мощности, согласно рекомендациям, при отсутствии точных инструментальных данных замеров, рекомендуется использовать в расчётах $\tan\varphi=0,6$, которому соответствует значение.

T_p -число часов работы данного трансформатора в год. Для трансформаторов, питающих жилой сектор $T_p=8760$ час; для трансформаторов, питающих промышленную нагрузку, работающую в три смены, $T_p=8400$ час; в две смены $T_p=4500$ час; в одну смену $T_p=2250$ час [1,6].

Произведём расчёт за год, на примере ТП-1, ввод Т1, по формуле (3) и заполним таблицу 5

$$K_{з \text{ ср}} = \frac{\mathcal{E}_{aT_1}}{\cos\varphi \cdot T_p \cdot S_{\text{ном}T_1}} \quad (3)$$

$$K_{з \text{ ср}} = \frac{\mathcal{E}_{aT_1}}{\cos\varphi \cdot T_p \cdot S_{\text{ном}T_1}} = \frac{47940}{0,85 \cdot 2250 \cdot 630} = 0,04 = 3,98 \%$$

Таблица 1 – Определение средней загрузки силовых трансформаторов за 2022 год

| Наименование ТП | $S_{\text{ном } T}$, кВА | T_p , час | \mathcal{E}_a , кВт 2022г | $K_{з \text{ ср}}$, % 2022г |
|--------------------|------------------------------|-------------|--------------------------------|---------------------------------|
| ТП-1, ввод Т1 | 630 | 2250 | 97940 | 8,13 |

| | | | | |
|------------------|-----|------|--------|-------|
| ТП-1, ввод Т2 | 630 | 0 | 0 | 0,00 |
| КТПН-2 | 250 | 4500 | 438084 | 23,53 |
| ТП-3, ввод Т1 | 400 | 8760 | 250736 | 8,42 |
| ТП-3, ввод Т2 | 400 | 0 | 0 | 0,00 |
| ТП-4, ввод Т1 | 400 | 8400 | 409239 | 14,33 |
| ТП-4, ввод Т2 | 400 | 8400 | 228072 | 7,99 |
| ТП-6, ввод Т1 | 630 | 8400 | 273679 | 6,08 |
| ТП-6, ввод Т2 | 630 | 8400 | 470356 | 10,46 |
| КТПН-7 | 250 | 4500 | 78741 | 8,23 |
| КТПН-7/1 | 250 | 4500 | 15584 | 1,63 |
| КТП-8/1 | 250 | 4500 | 8024 | 0,84 |
| КТП-8/2 | 400 | 8400 | 269389 | 9,43 |
| КТП-8/3 | 400 | 4500 | 293980 | 19,21 |
| КТП-8/4 | 160 | 8400 | 99554 | 8,71 |
| ТП-8, ввод Т1 | 250 | 4500 | 118640 | 12,41 |
| ТП-8, ввод Т2 | 250 | 4500 | 206560 | 21,60 |
| КТПН-9 | 250 | 4500 | 141500 | 14,80 |
| КТПН-10, ввод Т1 | 630 | 8400 | 610251 | 13,57 |
| КТПН-10, ввод Т2 | 630 | 0 | 0 | 0,00 |
| КТПН-11, ввод Т1 | 400 | 4500 | 595680 | 38,93 |

Продолжение таблицы 1

| Наименование ТП | $S_{\text{ном Т}}$, кВА | T_p , час | Θ_a , кВт 2022г | K_3 ср, % 2022г |
|--------------------|-----------------------------|-------------|---------------------------|----------------------|
| КТПН-11, ввод Т2 | 400 | 0 | 0 | 0,00 |
| ТП-12, ввод Т1 | 630 | 4500 | 614720 | 25,51 |
| ТП-12, ввод Т2 | 630 | 4500 | 567622 | 23,56 |
| КТП-13 | 25 | 2250 | 12124 | 25,36 |
| КТП-14 | 250 | 4500 | 86789 | 9,08 |

| | | | | |
|------------------|------|------|---------|-------|
| КТП-15 | 250 | 8400 | 46216 | 2,59 |
| КТП-16 | 100 | 8760 | 107502 | 14,44 |
| КТП-18 | 250 | 8760 | 153451 | 8,24 |
| КТПН-22 | 250 | 8760 | 432473 | 23,23 |
| ТП-23, ввод Т1 | 630 | 8400 | 665064 | 14,79 |
| ТП-23, ввод Т2 | 400 | 0 | 0 | 0,00 |
| ТП-24, ввод Т1 | 630 | 8400 | 503760 | 11,20 |
| ТП-24, ввод Т2 | 630 | 8400 | 607890 | 13,51 |
| КТП-26 | 250 | 4500 | 95952 | 10,03 |
| КТП-28 | 63 | 2250 | 57977 | 48,12 |
| ТП-31, ввод Т1 | 630 | 4500 | 503590 | 20,90 |
| ТП-31, ввод Т2 | 630 | 4500 | 443338 | 18,40 |
| ТП-32, ввод Т1 | 630 | 4500 | 1079889 | 24,01 |
| ТП-32, ввод Т2 | 630 | 4500 | 1248023 | 27,74 |
| КТПН-33, ввод Т1 | 1000 | 4500 | 641585 | 16,77 |
| КТПН-33, ввод Т2 | 1000 | 4500 | 567688 | 14,84 |
| КТП-34 | 100 | 2250 | 51242 | 26,79 |
| КТП-35 | 25 | 8400 | 61871 | 34,66 |
| КТП-36 | 250 | 4500 | 145621 | 15,23 |
| КТП-37 | 250 | 4500 | 191724 | 20,05 |
| КТП-38 | 63 | 2250 | 28820 | 23,92 |
| КТПН-40 | 630 | 4500 | 13200 | 0,55 |
| МТЖП-41 | 1,25 | 4500 | 1600 | 33,46 |
| КТПН-42, ввод Т1 | 1000 | 0 | 0 | 0,00 |
| КТПН-42, ввод Т2 | 1000 | 4500 | 607000 | 15,87 |

Продолжение таблицы 1

| Наименование ТП | $S_{\text{ном Т}}$, кВА | T_p , час | Ξ_a , кВт 2022г | K_3 ср, % 2022г |
|--------------------|-----------------------------|-------------|------------------------|----------------------|
|--------------------|-----------------------------|-------------|------------------------|----------------------|

| | | | | |
|------------------|------|------|--------|-------|
| КТПН-43, ввод Т1 | 1000 | 4500 | 508407 | 13,29 |
| КТПН-43, ввод Т2 | 1000 | 4500 | 413902 | 10,82 |

Для оценки загрузки ТП в максимальном режиме выполним следующий расчёт.

Средняя мощность определяется по формуле (4), [2, 4]:

$$P_{\text{ср}} = \frac{\Delta_{\text{ai}}}{T_{\text{рк}}} \quad (4)$$

где Δ_{ai} -расход активной электроэнергии по присоединениям, за 2022 г, кВт·ч;

$T_{\text{рк}}$ -число часов работы данного трансформатора в год.

Мощность в максимально нагруженный час определяется по формуле (5):

$$P_{\text{max}} = \frac{\Delta_{\text{ai max}}}{T_{\text{рк мес}}} \quad (5)$$

где $\Delta_{\text{ai max}}$ - расход активной электроэнергии по присоединениям в час максимальной нагрузки, за 2022 г, кВт·ч;

$T_{\text{рк мес}}$ - число часов работы данного трансформатора в месяц максимальной нагрузки. Для трансформаторов, питающих жилой сектор $T_{\text{р}}=24$ часа; для трансформаторов, питающих промышленную нагрузку, работающую в три смены, $T_{\text{р}}=23$ час; в две смены $T_{\text{р}}=12$ час; в одну смену $T_{\text{р}}=8$ час.

Коэффициент загрузки максимальный по формуле (6)

$$K_{\text{з max}} = \frac{\Delta_{\text{max}}}{\cos\varphi \cdot T_{\text{р}} \cdot S_{\text{ном Т1}}} \quad (6)$$

Для оценки загрузки всех ТП в максимальном режиме выполним расчёт на примере ТП-1, ввод Т1. Расход активной электроэнергии по присоединениям Δ_{ai} , и средний коэффициент загрузки силовых трансформаторов используем из таблицы 5.

$$P_{\text{ср}} = \frac{47940}{2250} = 21,31 \text{ кВт/ч}$$

$$P_{\text{max}} = 26,67 \text{ кВт/ч}$$

$$K_{\text{з max}} = 0,08$$

Отразим результаты расчётов в таблице 2.

Таблица 2 – Определение загрузки трансформаторов в максимальном режиме работы на 2022 году

| Наименование ТП | $S_{\text{ном Т}}$, кВА | $P_{\text{ср}}$, кВт/ч | P_{max} , кВт/ч | K_3 ср, % | K_3 max, % |
|--------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------|--------------|
| ТП-1, ввод Т1 | 630 | 34,01 | 96,67 | 8,13 | 18,05 |
| ТП-1, ввод Т2 | 630 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| КТПН-2 | 250 | 50,70 | 106,29 | 23,53 | 50,02 |

Продолжение таблицы 2

| Наименование ТП | $S_{\text{ном Т}}$, кВА | $P_{\text{ср}}$, кВт/ч | P_{max} , кВт/ч | K_3 ср, % | K_3 max, % |
|--------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------|--------------|
| ТП-3, ввод Т1 | 400 | 29,02 | 46,28 | 8,42 | 13,61 |
| ТП-3, ввод Т2 | 400 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| ТП-4, ввод Т1 | 400 | 49,43 | 65,94 | 14,33 | 19,39 |
| ТП-4, ввод Т2 | 400 | 27,54 | 48,09 | 7,99 | 14,14 |
| ТП-6, ввод Т1 | 630 | 33,05 | 92,29 | 6,08 | 17,23 |
| ТП-6, ввод Т2 | 630 | 56,81 | 88,41 | 10,46 | 16,51 |
| КТПН-7 | 250 | 18,23 | 48,23 | 8,23 | 22,70 |
| КТПН-7/1 | 250 | 3,61 | 13,38 | 1,63 | 6,30 |
| КТП-8/1 | 250 | 1,86 | 11,98 | 0,84 | 5,64 |
| КТП-8/2 | 400 | 32,53 | 67,89 | 9,43 | 19,97 |
| КТП-8/3 | 400 | 68,05 | 81,45 | 19,21 | 23,96 |
| КТП-8/4 | 160 | 12,02 | 27,54 | 8,71 | 20,25 |
| ТП-8, ввод Т1 | 250 | 27,46 | 65,00 | 12,41 | 30,59 |
| ТП-8, ввод Т2 | 250 | 47,81 | 84,89 | 21,60 | 39,95 |
| КТПН-9 | 250 | 32,75 | 58,23 | 14,80 | 27,40 |
| КТПН-10, ввод Т1 | 630 | 73,70 | 127,79 | 13,57 | 23,86 |
| КТПН-10, ввод Т2 | 630 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| КТПН-11, ввод Т1 | 400 | 137,89 | 188,34 | 38,93 | 55,39 |
| КТПН-11, ввод Т2 | 400 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| ТП-12, ввод Т1 | 630 | 142,30 | 177,10 | 25,51 | 33,07 |

| | | | | | |
|----------------|-----|--------|--------|-------|-------|
| ТП-12, ввод Т2 | 630 | 131,39 | 160,23 | 23,56 | 29,92 |
| КТП-13 | 25 | 4,21 | 12,39 | 25,36 | 58,31 |
| КТП-14 | 250 | 20,09 | 44,14 | 9,08 | 20,77 |
| КТП-15 | 250 | 5,58 | 42,50 | 2,59 | 20,00 |
| КТП-16 | 100 | 12,44 | 28,90 | 14,44 | 34,00 |
| КТП-18 | 250 | 17,76 | 55,10 | 8,24 | 25,93 |
| КТПН-22 | 250 | 50,05 | 70,90 | 23,23 | 33,36 |
| ТП-23, ввод Т1 | 630 | 80,32 | 120,32 | 14,79 | 22,47 |
| ТП-23, ввод Т2 | 400 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| ТП-24, ввод Т1 | 630 | 60,84 | 122,54 | 11,20 | 22,88 |

Продолжение таблицы 2

| Наименование ТП | $S_{\text{ном Т}}, \text{кВА}$ | $P_{\text{ср}}, \text{кВт/ч}$ | $P_{\text{max}}, \text{кВт/ч}$ | $K_3 \text{ ср}, \%$ | $K_3 \text{ max}, \%$ |
|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------|-----------------------|
| ТП-24, ввод Т2 | 630 | 73,42 | 93,40 | 13,51 | 17,44 |
| КТП-26 | 250 | 22,21 | 45,60 | 10,03 | 21,46 |
| КТП-28 | 63 | 20,13 | 31,21 | 48,12 | 58,28 |
| ТП-31, ввод Т1 | 630 | 116,57 | 155,12 | 20,90 | 28,97 |
| ТП-31, ввод Т2 | 630 | 102,62 | 133,33 | 18,40 | 24,90 |
| ТП-32, ввод Т1 | 630 | 130,42 | 189,34 | 24,01 | 35,36 |
| ТП-32, ввод Т2 | 630 | 150,73 | 183,20 | 27,74 | 34,21 |
| КТПН-33, ввод Т1 | 1000 | 148,52 | 157,56 | 16,77 | 18,54 |
| КТПН-33, ввод Т2 | 1000 | 131,41 | 175,55 | 14,84 | 20,65 |
| КТП-34 | 100 | 17,79 | 34,53 | 26,79 | 40,62 |
| КТП-35 | 25 | 7,47 | 12,30 | 34,66 | 57,88 |
| КТП-36 | 250 | 33,71 | 56,32 | 15,23 | 26,50 |
| КТП-37 | 250 | 44,38 | 76,22 | 20,05 | 35,87 |
| КТП-38 | 63 | 10,01 | 29,89 | 23,92 | 55,82 |
| КТПН-40 | 630 | 3,06 | 14,44 | 0,55 | 2,70 |

| | | | | | |
|------------------|------|--------|--------|-------|-------|
| МТЖП-41 | 1,25 | 0,37 | 0,60 | 33,46 | 56,47 |
| КТПН-42, ввод Т1 | 1000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| КТПН-42, ввод Т2 | 1000 | 140,51 | 165,52 | 15,87 | 19,47 |
| КТПН-43, ввод Т1 | 1000 | 117,69 | 144,76 | 13,29 | 17,03 |
| КТПН-43, ввод Т2 | 1000 | 95,81 | 115,87 | 10,82 | 13,63 |

По приведённому расчёту можно сделать вывод, что режимов перегрузки нету. Максимально загруженный трансформатор располагается на КТПН-11, ввод Т1, КТПН-2, КТП-13, КТП-28, КТП-35, КТП-38, МТЖП-41 их максимальный коэффициент загрузки превышает 50%. КТПН 7/1, КТПУ-8/1, КТПН-40 имеют минимальное значение максимального коэффициента загрузки, меньше 2%, даже в максимально нагруженный час, меньше 7%, следовательно, можно провести их замену на менее мощные подстанции. Всё выше перечисленное можно учесть при оптимизации схемы электроснабжения района электрических сетей станции Карымская или при замене этих трансформаторов.

Решение вопроса о замене силовых трансформаторов на малозагруженных подстанциях на менее мощные предлагается осуществлять после определения оптимального экономического коэффициента загрузки этих трансформаторов и сравнения его с фактическим [3, 10].

Дело в том, что при уменьшении мощности силового трансформатора его потери холостого хода уменьшаются, но при этом нелинейно (из-за коэффициента загрузки) возрастают нагрузочные потери. Оптимальный коэффициент загрузки как раз соответствует минимуму суммарных потерь электроэнергии [4]. В условиях эксплуатации оптимальным коэффициентом загрузки считается такой который обеспечивает максимальный приведённый КПД, соответствующий формуле (7), [7, 8]:

$$K_{з\text{ опт}} = \sqrt{\frac{\Delta P_x}{\Delta P_k}} \cdot 100\% \quad (7)$$

где ΔP_x = потери холостого хода

ΔP_k = потери короткого замыкания

Рассчитаем оптимальный коэффициент загрузки трансформаторов для ТП-1 ввод 1

$$K_{з\text{ опт}} = \sqrt{\frac{0,94}{7,6}} \cdot 100 = 35,2$$

Таблица 3 – Итоги расчета оптимального экономического коэффициента загрузки трансформаторов

| Наименование присоединения | ΔP_{xx} кВт | $\Delta P_{kз}$, кВт | K_z , % | $K_{з\text{ опт}}$, % |
|----------------------------|---------------------|-----------------------|-----------|------------------------|
| ТП-1, ввод Т1 | 0,94 | 7,6 | 3,98 | 35,2 |

| | | | | |
|------------------|-------|------|-------|------|
| ТП-1, ввод Т2 | 0,94 | 7,6 | 0,00 | 35,2 |
| КТПН-2 | 0,53 | 3,7 | 45,81 | 37,8 |
| ТП-3, ввод Т1 | 0,75 | 5,4 | 8,42 | 37,3 |
| ТП-3, ввод Т2 | 0,75 | 5,4 | 0,00 | 37,3 |
| ТП-4, ввод Т1 | 0,75 | 5,4 | 14,33 | 37,3 |
| ТП-4, ввод Т2 | 0,75 | 5,4 | 7,29 | 37,3 |
| ТП-6, ввод Т1 | 0,94 | 7,6 | 6,08 | 35,2 |
| ТП-6, ввод Т2 | 0,94 | 7,6 | 10,46 | 35,2 |
| КТПН-7 | 0,53 | 3,7 | 8,23 | 37,8 |
| КТПН-7/1 | 0,53 | 3,7 | 1,63 | 37,8 |
| КТП-8/1 | 0,68 | 2,85 | 0,84 | 48,8 |
| КТП-8/2 | 0,7 | 2,35 | 9,43 | 54,6 |
| КТП-8/3 | 0,7 | 2,35 | 19,21 | 54,6 |
| КТП-8/4 | 0,51 | 2,25 | 8,71 | 47,6 |
| ТП-8, ввод Т1 | 0,53 | 3,7 | 12,41 | 37,8 |
| ТП-8, ввод Т2 | 0,53 | 3,7 | 21,60 | 37,8 |
| КТПН-9 | 0,53 | 3,7 | 14,80 | 37,8 |
| КТПН-10, ввод Т1 | 0,94 | 7,6 | 13,57 | 35,2 |
| КТПН-10, ввод Т2 | 0,94 | 7,6 | 0,00 | 35,2 |
| КТПН-11, ввод Т1 | 0,75 | 5,4 | 38,93 | 40,0 |
| КТПН-11, ввод Т2 | 0,75 | 5,4 | 0,00 | 40,0 |
| ТП-12, ввод Т1 | 0,94 | 7,6 | 25,51 | 35,2 |
| ТП-12, ввод Т2 | 0,94 | 7,6 | 23,56 | 35,2 |
| КТП-13 | 0,105 | 0,6 | 25,36 | 41,8 |
| КТП-14 | 0,53 | 3,7 | 9,08 | 37,8 |
| КТП-15 | 0,53 | 3,7 | 2,59 | 37,8 |

Продолжение таблицы 2

| Наименование присоединения | ΔP_{XX} кВт | ΔP_{K3} , кВт | К3, % | К3 опт, % |
|----------------------------|---------------------|-----------------------|-------|-----------|
| КТП-16 | 0,26 | 1,97 | 14,44 | 36,3 |
| КТП-18 | 0,53 | 3,7 | 8,24 | 37,8 |
| КТПН-22 | 0,53 | 3,7 | 23,23 | 37,8 |
| ТП-23, ввод Т1 | 0,94 | 7,6 | 14,79 | 35,2 |
| ТП-23, ввод Т2 | 0,75 | 5,4 | 0,00 | 37,3 |
| ТП-24, ввод Т1 | 0,94 | 7,6 | 2,31 | 35,2 |

| | | | | |
|------------------|-------|------|-------|------|
| ТП-24, ввод Т2 | 0,94 | 7,6 | 2,40 | 35,2 |
| КТП-26 | 0,53 | 3,7 | 10,03 | 37,8 |
| КТП-28 | 0,175 | 1,27 | 48,12 | 50,0 |
| ТП-31, ввод Т1 | 0,94 | 7,6 | 20,90 | 35,2 |
| ТП-31, ввод Т2 | 0,94 | 7,6 | 18,40 | 35,2 |
| ТП-32, ввод Т1 | 0,94 | 7,6 | 24,01 | 35,2 |
| ТП-32, ввод Т2 | 0,94 | 7,6 | 27,74 | 35,2 |
| КТПН-33, ввод Т1 | 1,4 | 10,8 | 16,77 | 36,0 |
| КТПН-33, ввод Т2 | 1,4 | 10,8 | 14,84 | 36,0 |
| КТП-34 | 0,26 | 1,97 | 26,79 | 36,3 |
| КТП-35 | 0,105 | 0,6 | 6,65 | 41,8 |
| КТП-36 | 0,74 | 3,7 | 15,23 | 44,7 |
| КТП-37 | 0,74 | 3,7 | 20,05 | 44,7 |
| КТП-38 | 0,22 | 1,28 | 23,92 | 41,5 |
| КТПН-40 | 1,3 | 7,6 | 0,55 | 41,4 |
| МТЖП-41 | 0,16 | 0,04 | 33,46 | 40,0 |
| КТПН-42, ввод Т1 | 0,7 | 2,35 | 0,00 | 54,6 |
| КТПН-42, ввод Т2 | 0,7 | 2,35 | 5,41 | 54,6 |
| КТПН-43, ввод Т1 | 0,7 | 2,35 | 8,06 | 54,6 |
| КТПН-43, ввод Т2 | 0,7 | 2,35 | 2,98 | 35,2 |

Таким образом, сопоставление оптимального экономического и фактического коэффициентов загрузки рассматриваемых подстанций показывает целесообразность замены в первую очередь КТПН 7/1, КТП 8/1 и КТПН-40 на менее мощные при их плановом или внеплановом перевооружении.

Тем самым предложенная замена подстанций может способствовать оптимизации экономического использования ресурсов. Замена более мощных подстанций на менее мощные может снизить излишнюю нагрузку и повысить эффективность использования электроэнергии. Таким образом, подобное решение может привести к повышению эффективности и снижению издержек в эксплуатации сетей электроснабжения. Однако при этом необходимо учитывать потребности и специфику каждой конкретной подстанции, чтобы избежать потери производительности или возникающих проблем в процессе замены.

Список литературы

1. Григорьев Н. П., Твердохлебов И.А., Фоков К.И. Выбор проектных решений при разработке подстанции 10 – 500 кВ. / Учебное пособие. Хабаровск: Издательство ДВГУПС, 2001. – 163 с.

2. Заваод Автотрансформатор: сайт / Энергоэффективные подстанции URL: <https://avtotransformator.ru/zheleznodorozhnaya-otrasl> (дата обращения 11.05.2023).

3. Марквардт, К.Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог: учебник для вузов ж. д. транспорта / К. Г. Марквардт – Изд. 4-е; перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1982 – 528 с.

4. Поплавский А.Н., Краснов Б.Д., Недачин В.В.: Стационарная электроэнергетика железнодорожного узла. М.: Транспорт, 1986 – 279 с.

5. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов / Железко Ю.С. – М.: ЭНАС, 2009 – 456 с.

6. Правила устройства электроустановок: 7-е изд. / Петров. Е.В. – Минэнерго РФ – Энергоатомиздат, 2007 – 240 с.

7. Проектирование распределительных электрических сетей. / Фадеева Г.А., Федин В.Т.; под ред. Федина В.Т. – Минск: Выш. шк., 2009 – 365 с.

8. РД 153-34.0-15.501-00 «Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». М.: Официальное издание, 2000. – 38 с.

9. Ристхейн Э.М. Электроснабжение промышленных установок. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 424 с.

10. СТО 34.01-3.2-011-2021 ПАО «Россети» «Трансформаторы силовые распределительные 6-10 кВ мощностью 63-2500 кВА. требования к уровню потерь холостого хода и короткого замыкания».