

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ
МИНИСТРЛІГІ

Коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Ғ. ДӘУКЕЕВ АТЫНДАҒЫ АЛМАТЫ ЭНЕРГЕТИКА
ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС УНИВЕРСИТЕТІ

Электр машиналары және электр жетегі кафедрасы

«Қорғауға жіберілді»

Кафедра меңгерушісі

к.т.н., профессор Оржанова Ж.К.

(аты-жөні, ғылыми дәрежесі, атағы)

« _____ » _____ 20__ ж.
(қолы)

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: Күштік трансформаторды есептеу

5B071800 - «Электроэнергетика» мамандығы бойынша

Орындаған Қадыр Әбдрахман ЭАТКк-16-4
(аты - жөні) (тобы)

Жетекші Ғали Кәкімжан Оралұлы, т.ғ.к., доцент
(аты-жөні, ғылыми дәрежесі, атағы)

Кеңесшілер:

Техникалық бөлімі бойынша:

Ғали Кәкімжан Оралұлы, т.ғ.к., доцент
(ғылыми дәрежесі, атағы, аты-жөні)
« _____ » _____ 20__ ж.
(қолы)

Экономикалық бөлім бойынша:

Түзелбаев Бақберген Ибадиллаевич, PhD докторы
(ғылыми дәрежесі, атағы, аты-жөні)
« _____ » _____ 20__ ж.
(қолы)

Өмір тіршілігі қауіпсіздігі бойынша:

Мусаева Ж.К., б.ғ.к., доцент
(ғылыми дәрежесі, атағы, аты-жөні)
« _____ » _____ 20__ ж.
(қолы)

Пікір жазушы:

Иманбекова Тохтабүби Джумадиловна, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор
(ғылыми дәрежесі, атағы, аты-жөні)
« _____ » _____ 20__ ж.

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ
МИНИСТРЛІГІ

Коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Ғ. ДӘУКЕЕВ АТЫНДАҒЫ АЛМАТЫ ЭНЕРГЕТИКА
ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС УНИВЕРСИТЕТІ

Электр энергетика және электр техника институты
5B071800 - «Электроэнергетика» мамандығы
Электр машиналары және электр жетегі кафедрасы
жұмысты орындауға берілген

ТАПСЫРМА

Студент Қадыр Әбдрахман
(аты - жөні)

Жұмыс тақырыбы Күштік трансформаторды есептеу
Ректордың « 11 » 11 2019 № 147 бұйрығы бойынша

бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі: « 28 » мамыр 2020 ж.
Жұмысқа бастапқы деректер (талап етілетін жұмыс нәтижелерінің параметрлері және нысанның бастапқы деректері)
Үш фазалы күштік трансформатор: Қуаты $S = 160$ кВА, фазалар саны $m = 3$, жиілігі $f = 50$ Гц, жоғарғы кернеуі $3,5$ кВ, төменгі кернеуі 400 В, жоғары және төменгі кернеу орамалары алюминий, қысқаша түйықтау кернеуі $7,5\%$, қысқаша түйықтау шығыны $P_{\kappa} = 46,5$ кВт, бос жүріс шығыны $B_{\text{б.жс}} = 7,6$ кВт орамаларды жалғау сұлбасы және тобы $Y/Y - 0$, салқындату жүйесі - маймен

Дипломдық жұмыста әзірлеуге жататын сұрақтар тізімі немесе қысқаша мазмұны:

1. Күштік трансформаторлардың құрылысы
2. Магнитөкізгіштік. Трансформатор-лардың орамалары
3. Трансформатордың бағы. Салқындатқыш жүйе
4. Күштік трансформаторлардың түрлері
5. Күштік трансформаторлардың артықшылықтары мен пайдалану ерекшеліктері
6. Негізгі электр шамаларын анықтау
7. Магниттік жүйенің құрылымын таңдау
8. Орамның өткізгіш материалын таңдау

9. Өзекишенің диаметрін, орамның биіктігін және өзекишенің активті қимасын анықтау

10. Өміртіршілік қауіпсіздігі бөлім

11. Экономикалық бөлім

Сызба материалдарының (міндетті түрде дайындалатын сызуларды көрсету) тізімі

1. Трансформатордың жалпылама түрі ТМН– 160/35

2. Электр энергиясын тарату мен жеткізу сұлбасы

3. Қуаты 160 кВА, 3500/400 В үш трансформатор

4. Өміртіршілік қауіпсіздігі

5. Экономикалық бөлім

Негізгі ұсынылатын әдебиеттер

Силовые трансформаторы. Справочная книга/Под редакцией С.Д.Лизунова и А.К.Лоханиана. М. Энергоиздат 2004 – 616с.

Электроснабжение. Силовые трансформаторы. Учебное пособие. Издано: Юрайт, 2017г

Кацман М.М. Электрические машины и трансформаторы. Ч.1. Машины постоянного тока и трансформаторы. Учебник для техникумов. Изд. 4-е, доп. и перераб. М.: Высшая школа, 2004.-464с.

Шпиганович А.Н., Захаров К.Д., Бош В.И. Расчет электрической части силовых трансформаторов подстанций горно- металлургических предприятий: Учебное пособие.- Липецк: ЛГТУ, 2005. – 220с.

Жұмыс бойынша бөлімшелерге қатысты белгіленген кеңесшілер

| Бөлімшелер | Кеңесші | Мерзімі | Қолы |
|---------------------------|----------------|------------|------|
| Негізгі бөлім | Ғали К.О. | 28.05.2020 | |
| Өміртіршілік қауіпсіздігі | Мусаева Ж.К. | 20.05.2020 | |
| Экономикалық бөлім | Тузелбаев Б.И. | 23.05.2020 | |

Диплом жұмысын дайындау
К Е С Т Е С І

| № р/с | Тарау аттары, әзірленетін сұрақтардың тізімі | Жетекшіге ұсыну мерзімдері | Ескерту |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------|
| 1. | <i>Күштік трансформаторлардың құрылысы</i> | <i>18.11.2019</i> | |
| 2. | <i>Магнитөкізгіштік. Трансформаторлардың орамалары</i> | <i>19.12.2019</i> | |
| 3. | <i>Трансформатордың багы. Салқындатқыш жүйе</i> | <i>14.02.2020</i> | |
| 4. | <i>Күштік трансформаторлардың түрлері</i> | <i>30.03.2020</i> | |
| 5. | <i>Күштік трансформаторлардың артықшылықтары мен пайдалану ерекшеліктері</i> | <i>13.04.2020</i> | |
| 6. | <i>Негізгі электр шамаларын анықтау</i> | <i>27.04.2020</i> | |
| 7. | <i>Магниттік жүйенің құрылымын таңдау</i> | <i>30.04.2020</i> | |
| 8. | <i>Орамның өткізгіш материалын таңдау</i> | <i>2.05.2020</i> | |
| 9. | <i>Өзекшенің диаметрін, орамның биіктігін және өзекшенің активті қимасын анықтау</i> | <i>5.05.2020</i> | |
| 10. | <i>Орамдардың құрылымын нақты таңдау және оларды есептеу</i> | <i>8.05.2020</i> | |
| 11. | <i>Жоғары және төмен кернеу орамаларының түрін таңдау</i> | <i>11.05.2020</i> | |
| 12. | <i>Қысқа тұйықталу тәжірибесінің параметрлерін анықтау</i> | <i>14.05.2020</i> | |
| 13. | <i>Орамдардағы механикалық күштер</i> | <i>17.05.200</i> | |
| 14. | <i>Магниттік жүйені есептеу</i> | <i>28.05.2020</i> | |
| 15. | <i>Өмір тіршілік қауіпсіздігі бөлімі</i> | <i>20.05.2020</i> | |
| 16. | <i>Экономикалық бөлім</i> | <i>23.05.2020</i> | |

Тапсырманың берілген уақыты « 18 » қараша 2019 ж.

Кафедра меңгерушісі _____ Оржанова Ж.К., т.ғ.к., профессор
(қолы) (аты-жөні, ғылыми дәрежесі, атағы)

Жұмыс жетекшісі _____ Ғали К.О., т.ғ.к., доцент
(қолы) (аты-жөні, ғылыми дәрежесі, атағы)

Орындалатын тапсырманы қабылдаған студент _____ Қадыр Ә.
(қолы) (аты) -жөн

Аңдатпа

Дипломдық жұмыста өндірісте жиі қолданылатын үш фазалы күштік трансформатордың негізгі сипаттамалары электрлік алмасу схемасы, бос жүріс, қысқа тұйықталу режимдері үш фазалы трансформатордың жалғану топтары талданып, оларды параллель қосу шаралары анықталды.

Қуаты 160 кВА болатын 35 кВ кернеуге арналған төмендеткіш трансформатор есептелді. Магнит жүйесі таңдалып, орам сандары, қысқа тұйықталу, бос жүріс режимдері есептеліп, салқындату радиаторлары құрылысы таңдалды.

Өміртіршілік қауіпсіздігі қарастырылып, экономикалық тиімділік қабылданды.

Аннотация

В дипломной работе рассматриваются основные характеристики, схема замещения, режимы холостого хода и короткого замыкания, схемы соединения обмоток, условия параллельного соединения трехфазных силовых трансформаторов.

Расчитан понижающий трансформатор с мощностью 160 кВА на напряжение 35 кВ. Выбрана магнитная система, расчитаны параметры обмоток, режимы холостого хода и короткого замыкания. Выбран тип радиатора для охлаждения трансформатора.

Расчитаны вопросы безопасности жизнедеятельности и расчитана экономическая эффективность от внедрения нового силового трехфазного трансформатора

Annotation

The thesis deals with the main characteristics, replacement circuit, idle and short-circuit modes, windings connection schemes, conditions for parallel connection of three-phase power transformers.

A step-down transformer with a capacity of 160 kVA is designed for a voltage of 35 kV. The magnetic system was selected, the winding parameters, idle and short-circuit modes were calculated. The type of radiator for transformer cooling is selected.

The issues of life safety are calculated and the economic efficiency from the introduction of a new three phase power transformer is calculated

Мазмұны

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Кіріспе | 10 |
| 1 Құрылысына шолу | 11 |
| 1.1 Күштік трансформаторлардың құрылысы | 11 |
| 1.2 Трансформаторлардың принципі | 11 |
| 1.3 Магнитөкізгіштік | 13 |
| 1.4 Трансформатордың орамалары | 14 |
| 1.5 Басты оқшаулама | 15 |
| 1.6 Трансформатордың бағы | 15 |
| 1.7 Трансформатордың кеңейткіші | 15 |
| 1.8 Салқындатқыш жүйе | 16 |
| 1.9 Өлшеуіш - бақылау-аспаптары | 16 |
| 2 Күштік трансформаторлардың түрлері | 16 |
| 2.1 Күштік трансформаторлар түрі | 16 |
| 2.2 Күштік трансформаторлардың артықшылықтары мен пайдалану ерекшеліктері | 17 |
| 2.3 Трансформатордың негізгі классификациялары | 18 |
| 2.4 Қабылданған классификациялар | 19 |
| 2.5 Құрылысының ерекшелігі | 20 |
| 3 Негізгі электр шамаларын анықтау | 22 |
| 3.1 Желілік пен фазалық токтарды және жоғары мен төмен кернеу орамаларының кернеулерін есептеу | 22 |
| 3.2 Магниттік жүйенің құрылымын таңдау | 23 |
| 3.3 Болат маркасын және болат табақшалардың қалыңдығын, олардың оқшаулау түрін таңдау, магниттік жүйенің индукциясын анықтау | 24 |
| 3.4 Орамның өткізгіш материалын таңдау | 24 |
| 3.5 Орамдардың құрылымын таңдау | 25 |
| 3.6 Орамдардың негізгі оқшаулағыш аралықтарының құрылымы мен өлшемдерін таңдау | 26 |
| 3.7 Өзекшенің диаметрін, орамның биіктігін және өзекшенің активті қимасын анықтау | 27 |
| 4 Орамдардың құрылымын нақты таңдау және оларды есептеу | 30 |
| 4.1 Жоғары және төмен кернеу орамаларының түрін таңдау | 30 |
| 4.2 Төменгі кернеу орамдарын есептеу | 30 |
| 4.3 Жоғары кернеулі орамдарды есептеу | 34 |
| 5 Қысқа тұйықталу тәжірибесінің параметрлерін анықтау | 37 |
| 5.1 Қысқа тұйықталу шығынын анықтау | 37 |
| 5.2 Қысқа тұйықталу кернеуін анықтау | 40 |
| 5.3 Орамдардағы механикалық күштер | 42 |
| 5.4 Магниттік жүйені есептеу | 45 |

| | | |
|-----|--------------------------------------------------------------------|----|
| 6 | Паспорт мәліметімен есеп параметрлерін салыстыру | 49 |
| 7 | Өміртіршілік қауіпсіздігі бөлімі | 50 |
| 7.1 | Өндірістік ортаның қауіпті факторларын талдау | 50 |
| 7.2 | Өндірістік фактор саналатын шуды есептеу | 55 |
| 8 | Экономикалық бөлім | 63 |
| | Күштік трансформатордың экономикалық тиімділігін есептеу | |
| .1 | | |
| 8.2 | ҚС-ның жұмыс жасап тұрған кездегі, жылдық эксплуатациялық шығындар | 65 |
| 8.3 | Электр энергиясының ресурсын жіберу жұмысының есептеулерін жүргізу | 67 |
| 8.4 | Жобаға салынатын инвестицияның эффективтілігін анықтау | |
| | Қорытынды | 72 |
| | Әдебиеттер тізімі | 73 |

Кіріспе

Трансформатор – қазіргі таңдағы электртехника саласында кеңінен таралған қондырғы. Қуаты үлкен трансформаторлар - электр станцияларынан электр сымдарына электр энергиясын таратудың басты жүйесі. Трансформаторлар кернеуді айнымалы токқа көтереді, алыс емес қашықтықта электрэнергиясын үнемді жеткізу үшін. Тұтынушылар арасында электр энергиясын тарату кезінде трансформаторды пайдаланады, пайдаланылатын шаманы тұтынушыларға жеткізу үшін кернеуді төмендететін трансформаторларды пайдаланады. Керек мәнге жеткізіп желілерге тарату және трансформатордың кернеуін түрлендіру үшін электрқондырғы элементтері жұмыс жасайды.

Трансформаторлар деп индуктивті байланысқан екі не болмаса одан да көп орамаларға ие, бір немесе бірнеше басқа айнымалы ток жүйеге берілген электрмагниттік индукцияны бір не болмаса бірнеше рет түрлендіретін электрмагниттік статикалық құрылғыны айтамыз. Бірінші реттік орама – қорек көзіне қосылады, ал екінші реттік ораманы жүктемеге қосылған деп атайды. 1 индексмен бірінші ретті трансформатор орамасына байланысты шамалар белгіленеді, 2 индексмен екінші реттік орамаға байланысты шамалар белгіленеді.

Айнымалы ток қорек көзіне трансформатордың бірінші реттік орамасы қосылады. Бірінші ретті орамалардың тогы I_1 индуктивті және активті құрастырушылардан тұрады. Екінші реттік орамасы жалғанбаған (бос жүріс), магнит ағыны индуктивті құрастырушы ток әсеріне $I_{ом}$, ықпал етіп өзекшені магниттейді. Өзекшенің магниттелуі кезінде активті құраушы ток I (болатта) шығындар арқылы анықталады. Өзара индукция - ағынның жарты бөлігі Φ_1 бірінші реттік орамадан ағып өтетін және фазаның барлық орамасынан ағатын ағын орамалар арасындағы индукция, не болмаса негізгі жұмыс ағыны Φ деп аталады. Бірінші және екінші реттік орамалардан ағатын толық ағын Φ_1 , ағынның сейілуі деп аталады.

Орамалардың ЭҚК орамалар санына тура пропорционал болады. Бірінші мен екінші реттік орамалардың ЭҚК қатынасын, бірінші мен екінші реттік орамалардың орам санына пропорционалдылығын – трансформациялық коэффициент деп атаймыз.

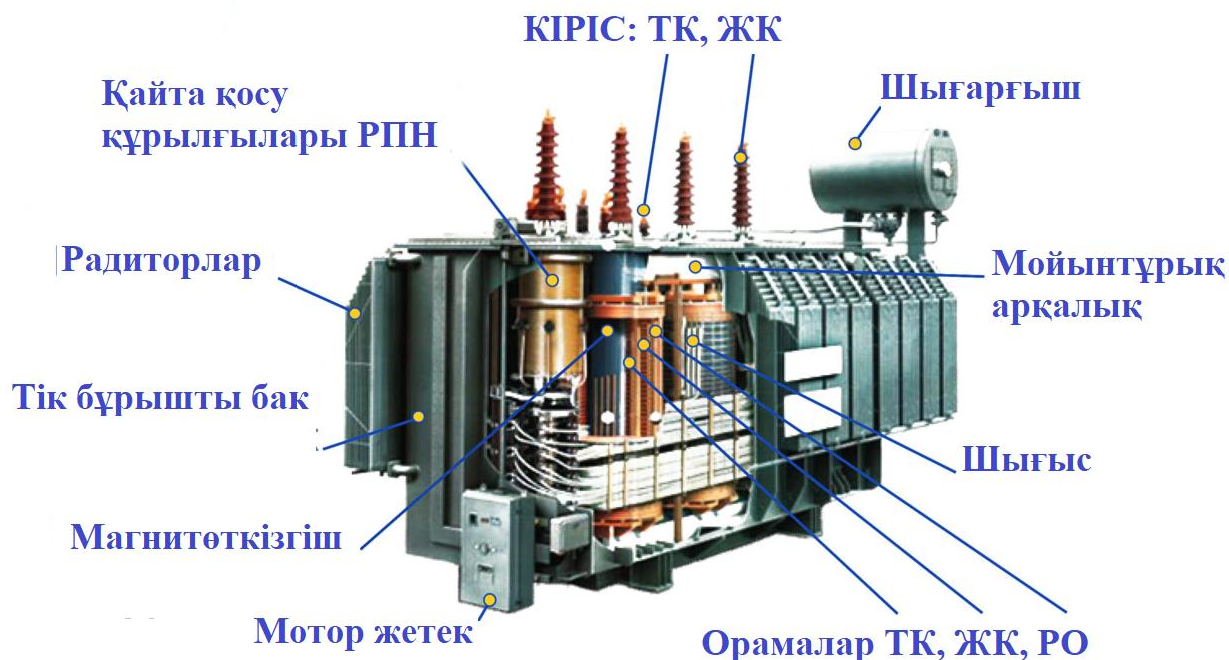
1 Құрылысына шолу

1.1 Күштік трансформаторлардың құрылысы

Трансформаторлар деп индуктивті байланысқан екі не болмаса одан да көп орамаларға ие, бір немесе бірнеше басқа айнымалы ток жүйеге берілген электрмагниттік индукцияны бір не болмаса бірнеше рет түрлендіретін электрмагниттік статикалық құрылғыны айтамыз.

Трансформатор құрылысы төмендегі негізгі бөліктерден тұрады:

- орама;
- негізгі оқшаулама;
- бак;
- магнитөткізгіш;
- суыту жүйесі;
- шығарғыш;
- бақылау сымдарына жөндеу;
- шығу және кіру.



1.1 сурет – Трансформатордың жалпылама түрі

1.2 Трансформаторлардың принципі

Трансформатор принциптерінің әсері электрмагниттік индукция заңдылығына негізделеді. Трансформатордың бірінші орамасын (бірінші ретті) синусоидалы, айнымалы кернеуге жалғағанда осы ораманың

орамдарында айнымалы ток пайда болады, яғни магнит өткізгіштерде айнымалы магнит ағынын тудырады.

Осы ағын магнит өткізгіштерде тұйықтала отыра, бүкіл трансформатордың орамаларына ене отыра, ЭҚК индукциялайды, осы ораманың орамдар санына тура пропорционал болады.

Трансформатор негізгі магнит өткізгіштік өзекшеден және ток өткізетін орамалардан тұрады. Май толған бак күштік трансформаторлардың өзекшелерді, орамаларды суытуға арналған. Трансформаторда стержендерден, яғни өзекшелеріне орамалар оралған, сонымен қатар стержендер арасында болатын ағындарды жүргізу үшін мойынтірек қолданылады. Өзекшелер екіге бөлінеді: бронерлі, стерженді .

Бронерлі өзекше - тармақталған магнит жүйесі. Сол себепті, орамаларда орналасқан мойынтіректегі ағын стержендік ағынның тең жартысын құрайды.

Көбінесе үш фазалы трансформатор стерженді болып табылады. Олардың өзекшелері мойынтіректен жалғанған үш стерженді бір табақшаға орналасады. Осындай трансформатордың жүйесі айтарлықтай бейсызық болады, себебі соңғы және ортасындағы стерженнің магнит ағын өткізуі әр түрлі болады.

Ағын өзгеруінің нәтижесінде болат өзекшенің бойында, яғни контур бойында ЭҚК индукцияланады, яғни құйынды тоқты пайда болдырады, , стерженнің меншікті қимасында орналасады, болат контурда тұйықталады. Құйынды токтарды төмендету үшін трансформаторлардың өзекшесін электртехникалық болаттан жасалатын 0,5мм не 0,35мм қалыңдықта болатын оқшауланғанатын, төртбұрышты табақшалардан жинайды. Олардың арасына ауа саңылауын кішірейту мақсатында неше түрлі әдіс арқылы жиналған, өзекшенің бөліктерін кезекпе кезек жинайды. Жинап болғаннан соң жоғарғы мойынтірек бетін шығара отыра, стержендерге орамаларды орналастырылады, осыдан соң мойынтіректі қайта қысады. Өзекшенің беттері 0,03мм қалыңдығы құрайтын лак не болмаса қағазбен оқшаулайды, сонымен бірге оқшауланған шпилектер арқылы жинастырылады.

Трансформаторларда электр энергиясын тарату мақсатында көбінесе концентриалық орамалар пайданылады, осы жерде қуыс цилиндрлер деп саналатын түрі бекітілген. Көбінесе, қажет ететін өзекшенің оқшаулау қалыңдығы аз болатын төменгі кернеу орамы жақын өзекшелерде орналастырылады.

Суытудың әдісіне байланысты трансформаторларды орамалары майға салынуна қарай майлы, құрғақ ауа арқылы салқындату болып бөлінеді. Үлкен қуатты трансформаторларды суыту майлы суыту түрінде іске асырылады. Көп жағдайда, трансформаторда майдың сұйық түрін қолданылады, аздаған шамалар жылу беруіне ықпал етеді.

560 кВА қуатқа ие трансформаторлардың орамасы концентриалық цилиндрлік орама түрінде дайындалады, көбінесе, екі қабатты болып жасалады. Орамалардың қабаттарының қимасы дөңгелек немесе

төртбұрышты сымдардан болады. Сымдар винтті сымға нығыздалып, цилиндрлік түрде оралып жасалады.

Қуаты үлкен трансформаторлардағы төменгі кернеулі винттік түрде концентриялық орама дайындалады. 35 кВА кернеулі трансформаторлардың орамасы концентриялы болып келеді, үздіксіз түрде дайындалған, винтті түрдегі орамадан бір айырмашылығы, жеке-жеке орама концентриялы орама сияқты оралады. Орамалардың катушкалары үздіксіз, бір ғана сыммен еш дәнекерлеусіз оралып жасалады. Осьтік ығыстыру күш әсері барысында пайда болатын қысқа тұйықталуда үздіксіз орамалар сенімді болып келеді.

1.3 Магнитөкізгіштік

Трансформатордың магнитөкізгіштігіі тұйықталған магниттік тізбектен, негізгі магнит ағыны өтетін вертикаль стержендерден, жоғарғы және төменгі жағы мойынтқырқыпен бекітілген болып келеді.

Кез келген магнит өткізгіштер суықтай иленіп, біріктірілген электртехникалық болаттан (трансформаторлы) жиналып жасалады, екі жағынан да оқшауланады. Магнит өткізгіштерді жеткілікті түрде салқындату мақсатында арналар қарастырылған, қалыңдығы 6 мм болатын жолақ тәрізді оқшаулау материалы, магнитөкізгіштікте қыстырма не болмаса арналар гофриттік электртехникалық болаттан жасалған болады. Беттерді арналарымен жазық бетке жинақтау арқылы магнит өткізгіштердің кез келген бетіне саңылау қалдырады.

Горизонталь мойынтірек стержендерін бекіту мойынтіректік арқалықтармен іске асады, тартпа бұрамасұқпалармен немесе өзара болатты жартылай бандаждармен тартылады. Жартылай бандаждар және бұрамасұқпалар мойынтіректі балкалармен оқшауланған, сондай-ақ электртехникалық болаттан жасалған. Төменгі мен жоғарғы мойынтірек балкалары магнитөкізгіш стержендерімен жалғанады, аз магниттік болат табақшалармен өзара жалғанған.

Активті бөліктегі кез келген бар металл элементтері өзара бір-бірімен жалғанған, сонымен қатар жерге тұйықтау шиналары арқылы трансформатордың бағымен жалғанған. Қысқа тұйықталу контурларының болмауын жерге тұйықталу сұлбасы қамтамасыз етеді және жұмыс кезінде трансформатордың металл құрылғыларын қызып кетпеуі үшін қамтамасыз етеді. Трансформатор іске қосылған кезде жерге тұйықталуы қажет бак қабырғаларында жерге тұйықтау өткізгішін бекітетін болт орналасады.

Негізгі активті бөлікті бекіту мақсатында (магнит өткізгіштік орамаларымен және шығысымен) бактың төменгі бөлігіндегі төменгі мойынтіректі балкаларда шила астында саңылау болады, бактың астыңғы жағы түбіне дәнекерленген. Активті бөлікті көтеру үшін мойынтірек балкаларының жоғарғы бөлігінде тұтқа болады.

1.4 Трансформатордың орамалары

Жалпы трансформатордың орамалары мыс не болмаса алюминий сымдардан, желілік қағаздарымен оқшауланған. цилиндрлік түрдегі орамалар болады және магнитөткізгіштік стержендеріне жинақталады. Орамалар цилиндрлік түрде болады, сонымен қатар магнитөткізгіш стержендеріне концентриялы орналасқан.

110 кВ болатын трансформаторлардың орамаларының импульсті беріктігін қамтамасыздандыру мақсатында керекті орындарда сыйымдылықты қорғаныспен жасалған. Катушка не болмаса орама арасына орналастырылған горизонталь майлы арналармен электртехникалық картоннан дайындалған қашықтықтағы жабындар құрастырылады.

Жоғарғы кернеулі орамалар - 22 кВ мен жоғары орам сандарының өзгерту мақсатындағы орамалар. Шықпалық орамаларды бұру көмегі арқылы реттелетін аралық қосылу құрылғыларына жалғанады.

Келтірілген трансформатордың орамаларына жалпы талаптар

Келтірілген трансформатордың орамаларын өндірістік және пайдалану деп екіге бөлуге болады.

Негізі пайдалану талаптарына келесілер кіреді: электрлік пен механикалық беріктігі, сенімділігі, толық трансформатор бөліктері және орама сияқты ыстықты ұстап тұруы. Орамалардың оқшауламасы мен трансформатордың басқа да бөліктері қауіпті емес коммутациялы, сондай-ақ атмосфералық желіде пайда болатын асқын кернеуден қауіпсіз болуы керек. Орамалардың механикалық беріктігі деформацияға ұшырау кезінде, қысқа тұйықталу тогы кезінде, зақымдану және же трансформатордың номинал жұмыс тогының біршама көтерілуі кезінде серпімді деформация тәріздес болу қажет.

Номинал жұмыс режимі кезіндегі трансформаторда орамалардың қызуы және жалпы басқа бөліктердегі шығындардың пайда болуы, шекті ұзақтығы, қысқа тұйықталу мен берілген жүктеме үшін және басқа бөліктеріндегі орама оқшауламаларын қалпына келтіру, сонымен қатар трансформатордың майы жылу бөлінуінің тозуы не болмаса бұзылу уақытының ерте болуы мүмкін, негізі трансформатордың қызмет ету уақыты 25 жылды құрайды.

Трансформаторда орамасымен, жалпы күштік трансформатор стандартына сәйкес трансформатор оқшауламасын электрлік сынау, жалпы пайдалану талаптары көрсетілген.

Құрғақ немесе майлы трансформаторлар орамалары мыс пен алюминийден жасалған сым орамаларынан тұрады.

1000-нан 6300 кВА аралығындағы трансформаторлар орамасының қысқа тұйықталу шығыны 11920-85 МемСт сәйкес май арналарының шайбаларын өзгерту мүмкіндігі жиі орын алады. Осындай өзгерту шайбасының аз деген қалыңдығы (1-2мм) май арналарымен (4-6 мм)

салыстырғанда қарастырылғанда, биіктігі жағынан (өстік өлшемі) орамалардың бірқатар үнемділігіне алып келеді.

1.5 Басты оқшаулама

Басты оқшаулама – майлы барьер түріндегі орамалар арасындағы оқшаулама, кірісі жерге тұйықтау бөлігінен орама оқшауламалары және оқшауланған цилиндрлермен шайбалар арасындағы кезекті маймен толтырылған. Шайбалар мен цилиндр арасына аралық электр картонды рейкалармен бірге жабындар орналастырылады, вертикал мен горизонталь май каналдары орналасады. Май айналымын май каналдары жақсартады және магнитөткізгіштік оамаларын суытады отырады.

Қысу сақиналар мен біріктірілген орамалар көмегімен ораманың өстік біріктірілуі іске асады. Жоғарғымойынтірек білігінің төменгі жағындағы сөрелеріне біріктірілген орамалар орналастырылады.

1.6 Трансформатордың багы

Трансформатордың бактары– болат беттерінен жиналған, сопақша пішіндес тәрізді, дәнекерленген құрылғы. Ішкі жоғары қысым кезінде механикалық беріктілікті ұстап тұру үшін трансформатор багы қажет және вакуумға сәйкес МЕСТ 11677-75, ал тығыздығына сәйкес МЕСТ 3484-77 сәйкес келеді.

Трансформаторлардың бойлық және көлденең орналасуының белгілі бір мүмкіндіктері қарастырылғын (жылжымалы сырғанау бөлігі).

Көлденең мен бойлық бойынша сақинаның өлшемі МЕМСТ 12965-74 көрсетілген.

Суыту жүйелері үшін бакта қажетті элементтерді басқаратын тізбек аспаптарының кестесі, сонымен қатар бак майын құю үшін және ағызу үшін жылжыма, бактың қалған майын түсіру үшін тығын орналасқан. Трансформаторды көтеру үшін бакка тетікті ерітіп жабыстырған, сонымен бірге тірек домкрат құрылғысы үшін орналасқан. жоғарғы жағында және төменгі жағында активті бөліктің салмағына қарай трансформатор багының бірігуі орын алған.

Бак қақпағына кіретін элементтер: кіріс, , май өткізгіш, газ шығаратын түтік бак кеңейткішімен байланысқан, термометр датчигі, газ айдау жүйесі, трансформатор тоғын қоюшы, манометриялық белгі беруші, қақпақты көтеру үшін тұтқа. Активті бөлікпен босату түйіні бактың қақпағында орналасқан.

1.7 Трансформатордың кеңейткіші

Бакты тұрақты маймен толтыру үшін, трансформатор жұмысы кезінде температурасының өзгеруі мен ауамен майдың араласу бетін азайту мақсатында, сондай-ақ ылғалдану және қышқыл май қорғаныс мақсатында кеңейткіш қажет.

Ауа кептіргіш арқылы кеңейткішті атмосферамен байланыстыру іске асады, силикагелмен толтырылған. Кеңейткіш пен бак май өткізгіш арқылы жалғанған, газдық реле кран орналасқан мен бак кеңейткішін ажырату үшін қажет.

ПБВ –сы бар кеңейткіш төселген бет трансформаторлар үшін бір сызықты май көрсеткіш, майдың деңгейін бақылау үшін РПН трансформаторлар екі сызықты май көрсеткіш қажет. Кездейсоқ орын алатын газ әсері кезіндегі бакты жарылудан сақтау үшін газ шығарушы түтікше сақтандырғышы, майдың қарқынды ыдырау нәтижесінен туындаған зақымдарды болдырмау үшін қолдаланылады.

1.8 Салқындатқыш жүйе

Салқындатқыш жүйе атмосфераға жылуды қарқынды бөлу мақсатында қызмет етеді. Салқындатқыш жүйенің түрлері $^{C4}D^5$, $^{CC}DЦ$, Ц .

Салқындатқыш жүйенің ^{IC}D түрі – үрленген желдеткіш, ілінген радиатор түрі табиғи май айналуымен, электрқозғалтқыштың вертикал білігіне бекітілген.

Автоматты қосу үшін және электрқозғалтқыш желдеткішін бекіту мақсатында трансформаторлар “Д” түріндегі салқындатқыш жүйесін “ШД-2 шкаф түрі қамтамас етеді.

Майлы доға мен май салқындатқыштан тұратын май айналдыру, бакка ілінген немесе трансформатор қасындағы бөлек орнатылған фундаментке салқындатқыш жүйенің түрі “ДЦ” орналастырылған.

Салқындатқыш жүйенің түрі “ДЦ” май айналуы сорғы арқылы іске асады, трансформатор бағынан сорылатын қыздырылған май ауа арқылы салқындатқыш құрылғысы көмегімен салқындайды.

1.9 Өлшеуіш - бақылау-аспаптары

Трансформаторлар төмендегі аспаптар арқылы жинақталады:

- әр кіріс ЖК, ОК (35кВ), «0» ЖК екі трансформато тогымен;
- реле ВГ-0/80 газ қорғаныс түрі үшін;
- газ реле қайта қосу;
- бір немесе екі май бкөрсететін бағыттағыш;
- автоматты басқару шкафы;
- автоматты реттеу құрылғысі РПН трансформатор үшін.

2 Күштік трансфоорматорлардың түрлері

2.1 Күштік трансформаторлар түрі

Осы жабдықтың жіктеу критерийлерінің бір неше түрлері болады. Кез келген күштік трансформаторлардың жалпы түрі - электр қоректендіру

құрылғылары сияқты, электрэнергияны кернеудің бір шамасынан басқа электрэнергия түріне осы көрсеткішпен түрлендіру.

Күштік трансформаторлардың түрлері:

1) Фазалардың шамасына тәуелді:

- бір фазалы трансформатор;
- үш фазалы трансформатор.

2) Құрылғының құрылысына байланысты орам саны:

- екі орамалы;
- үш орамалы.

3) Түріне қатысты:

- кернеудің шамасын жоғарылату;
- кернеудің коэффициентін төмендету.

4) Орналасқан орны.

- сыртқа жөндеу жұмыстары үшін қойылған;
- ғимараттың ішіне орналастыру.

Күштік трансформаторларда тағы басқа да бөліну критерияларының топтары болады: мысалы, орамалардың салқындату әдісі, жалғануы әдісі, және т.с.с. Трансформаторларды жөндеу барысында климаттық жағдайы өте маңызды, сондай-ақ жіктеу классификациясы да болуы мүмкін.

Қондырғының бұл түрі әмбебап түрде болуы мүмкін, сонымен бірге негізгі ерекшелігі (номинал қуат көрсеткіші стандартсыз болады) 25 -ден 4 мың кВт дейін қуаты және 35 кВ кернеуі болады. Пайдалану ортасына байланысты нақты моделін таңдауға болады.

2.2 Күштік трансформаторлардың артықшылықтары мен пайдалану ерекшеліктері

Бұл қондырғының негізгі артықшылығы (мыстан жасалатын орама):

- пайдалану тиімділігінің мүмкіндігі кез келген жүктеме режимінде (өшу кезінде толық қуат жағдайының тез қосылуы);

- желінің қысқа тұйықталуға деген төзімділік деңгейі өте жоғары;

- атмосферада пайда болатын қорғаныстың деңгейі жоғары, сонымен бірге жоғары және төмен температуралары салқындату кезіндегі, ылғалдылығының жоғарылығы;

- үнемділігі (қолдырғыны қолдану шығыны минималды);

- күштік трансформаторлардың мінездемесі, олардың электрэнергияны түрлендіру кезінде әмбебап жабдықтары ретінде пайдалануға машықтануы.

Кернеудің шамасымен электрэнергияны өңдеу, 11- ден 35 кВ дейін құрастырушы күштік трансформаторлардың кең тараған түрі болып саналады. Осы көрсеткіштер өнеркәсіптік және тұрмыстық мақсаттарда құрылғыны қолдану мақсатында жасалған. Сонымен бірге, басқада қуаттың түрлері бар – жоғары вольттік күштік трансформатор. Мұндай құрылғының қолдалану саласы – электр энергиясын үлкен арақашықтыққа пайдалану кезіндегі үнемділігі. Сонымен бірге, трансформаторда өндіретін энергия кернеуді үлкен

арақашықтыққа жеткізуге болады, сол себепті арнайы электр тарату желілерін кернеу шамасын жоғарлату үшін қолдланады, трансформатордың күштік түрін қолданады.

Трансформатордың жұмысының негізгі принциптері - соңғы тұтынушының жолына дейін көп кезеңнен тұратын энергияны түрлендіру. Өзінің құрылысы жағындағы ерекшелігіне байланысты тұрмыстық құралдар, жарық көзі, кәсіпорын бөліміндегі станоктор, және басқада энергия көздері аз кернеу тұтынады. Сол себепті, энергияны пайдалану процесі - төмендеткіш күштік трансформатор негізінде болады. Және де, керісінше, егер бірінші реттік кернеуі төмен болса, онда жоғары кернеулі жоғарылату трансформаторларды қолданылады.

2.3 Трансформатордың негізгі классификациялары

Күштік трансформаторлардың классификациясының бірнеше критериялар бар. Таратылатын қажетті нұсқа – кернеу мен қуат тәуелділігіне байланысты шартты бөліну.

Күштік трансформаторлар келесі түрде болады:

- бірінші топ (100 кВА қуаттағы құралдар);
- 2-ші топ (160 ден 630 кВА қуаттың диапазоны);
- 3-ші топ (1000 нан 6300 кВА қуатта);
- 4-ші топ (10000 кВА жоғары қуат көрсеткішінде);
- 5-ші топ (40000 кВА жоғары барлық трансформаторлар қуаты);
- 6-шы топ (100000 кВА-дан жоғары).

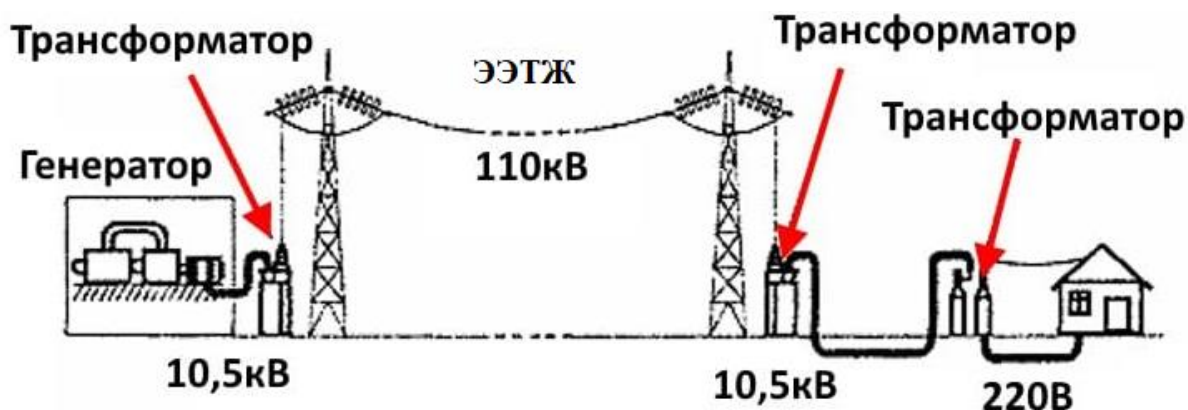
Қуаты жағынан анықтау критерияларының сапасына байланысты тағы басқа көрсеткіштер мен мінездемелер болса, онда келесідей күштік трансформаторлардың түріне бөлінеді:

- Фазаларының саны – үш не болмаса бір. Кеңінен таралған электртехникалық құрылғы - үш фазалы күштік трансформатор, қосалқы станцияларда қолданылады;
- орама саны екі не болмаса үш орамды;
 - Трансформаторлар тағайындауы бойынша төмендеткіш және жоғарлатқыш болып бөлінеді;
 - Орналасу орнының критериясына байланысты, сыртқы және ішкі құрылғы болып бөлінеді;
 - салқындату түріне байланысты құрылғыны екі деңгейге бөлеміз – күштік майлы трансформаторлар және күштік құрғақ трансформаторлар (ауа арқылы салқындату).
 - Күштік трансформаторлардың әсері өлшеудің мақсаттары мен немесе өлшем габаритіне күштік трансформаторлар мақсаттарының әсері бойынша электромагниттік индукция пайда болу негізінде қарастырылады.

Құрылғыларға берілетін ток арнаы бір қасиеттерімен тұйықталған магнит өткізгіштері арқылы жүреді және бірінші және екінші реттік

орамаларға келіп түседі. Егер де бірінші реттік орамадағы орам саны аз болса, онда күшейткіш трансформаторлар болып табылады, егер кері жағдайда болса, төмендеткіш трансформаторлар болып саналады.

Электр энергиясын бөлу, пайдалану мен таратуға қатысты аймақ негізгі аймаққа жатады, 1.2 сурет суретте көрсетілген.



1.2 сурет – Электр энергиясын тарату мен жеткізу сұлбасы

Суреттен байқағанымыздай, тізбектер арасында генератор мен тұтынушылап ортасында бірқатар ТС орналасқан. Біріншісі тұрған кернеуді 110 кВ дейін жоғарылатады (егер ол көп болса, алыс қашықтыққа жеткізу шығыны төмен болады) және ЭЭТЖ келіп береді. Желінің шығыс жағында қойылған аймақтық қосалқы станция - екінші ТС, жер астының сымдары арқылы трансформатордың бір бөлігіне жеткізіліп, одан әрі соңында тұтынушыға жеткізіледі.

2.4 Қабылданған классификациялар

ТС салмағы мен өлшемдерін есепке ала отыра, жұмыстың тәртібін жеңілдету мақсатында жұмыскеркерге қатысты жобалау мен тасымалдау барысында габаритіне қарай құрылғылар топқа бөлінеді. Төмендегі кестеде ТС байланысты көрсеткіштер көрсетілген.

ТС габаритті бөлінуден басқа төмендегі көрсеткіштер бойынша бөлінеді:

- фазалар санына қарай (қосалқы станциялар үш фазалы түзеткішпен қамтамасыз етілген);
- орамдар санына қарай (екі не үш);
- функционалдық белгілеулеріне қарай (амплитудны төмендету не болмаса көтеру);
- орналасуына қарай (ғимарттың ішінде немесе сыртында);
- жылуды бұру жүйесіне қарай (ауалық немесе май).

2.1 кесте – ТС габарит кестесі

| Габариттік топ | Минимал қуат (кВ*А) | Максимал қуат (кВ * А) | U _{макс} (кВ) |
|----------------|----------------------------|---------------------------|------------------------|
| I | 10,0 | 100,0 | 35,0 |
| II | 160,0 | 630,0 | |
| III | 1000,0 | 6300,0 | |
| IV-1 | 10000,0 | 40000,0 | |
| IV-2 | 6300,0 | 63000,0 | 110,0 |
| V-1 | 100000,0 | 250000,0 | |
| V-2 | 10000,0 | 250000,0 | 220,0-330,0 |
| VI-1 | 250000,0 , одан да көп | | 330,0, одан да көп |
| VI-2 | қуат шексіздігі мен кернеу | | |

2.5 Құрылысының ерекшелігі

- Тарату станцияларының түрлерінің неше түрлілісі болса да, олардың құрылысы жағынан келесідей қажетті элементтерден тұрады:
- құрылығы, жұмыс кернеуін реттеу үшін;
- жылуды бөлу жүйесі;
- төменгі мен жоғарғы катушкаларының кернеулері нәтижелері (ТК және ЖК), күштік кіріс деп аталады;
- қосымша жабдықтар, аспапқа қызмет көрсету және жұмысты бақылау

үшін.

Күштік трансформатордың құрылысы неше түрлі технологияларды қолдалануға негізделген. Айтылған аспаптардың ықпал ету процессі неше түрлі диэлектриктік ккешендерді қолдаланылады. Қондырғының арнайы бір бөлігі электрлік қорғанысты қамтамасыз ету мен суыту мүмкіндігін туғызады.

Түрлі аз қуатты қолдану мақсатында диэлектриктік компаунд не болмаса арнайы қағаздар, тэлектртехникалық лактатқан жабындар қолдаланылады. Орта не болмаса қуаты үлкен агрегаттардың негізгі бөлігі

май мен элегазға ие. Осындай өндірістегі қондырғылардың орамалары ерекше оқшауланады.

Бірнеше негізгі бөліктерге бөлінеді:

Фазаның саны: бір фазалы, үш фазалы құрал түріне бөлінеді.

Орындалу бойынша: майлы, құрғақ, сонымен қатар диэлектриктік сұйықтыққа ие болатын аспаптар.

Климатты орындалу: ішкі және сыртқы қондырғылар.

Орамдар саны. Екі немесе бірнеше катушкалы құрылғылар болады.

Арнаулылығы. Кернеуді төмендету немесе жоғарылату.

Кернеудің реттеу мүмкіндіктері. Реттегіш аспаптармен және реттегіш аспаптарсыз қолдалану.

Өндіріс қажетті аспапты қуаты 4 кВА ден 200 мың кВА (және жоғары) орнату үшін тудырады. Сонымен қатар, орамадағы кернеудің деңгейі 330 кВ жетеді.

Негізі тоғыз санаттан тұратын қондырғы болады. Алғашқысы кернеуі 35 кВ жоғары аспайтын аспап кіреді және 4-100 кВА қуатта болады. Сегізінші топқа 200 мың кВА-ден жоғары болатын және 35-330 кВ қуатты аспаптар жатады. Одан да басқа қуатты қондырғылар болады. Мұндай қондырғылар тоғызыншы санатқа жатады.

Ерекшеліктері мен негізгі параметрлері

Күштік трансформаторлардың құрылысы мен жөндеу жұмыстары стационарлы станцияға орнату, арнайы аймақтарда әзірлеу. Ғимаратты іргетасы берік болу қажет. Жерге рельстер мен жолдар қайта жөнделініп салынады.

Электрлік қондырғы металл корпусстың ішіне орналастырылады. Ол герметикалық түрдегі бак іспеттес жасалған. Ішкі жүйені қақпақ арқылы жабады. Көбп жағдайда майлы түрі қолданылады. Олардың белгілі бір техникалық мінездемелері болады. Осындай агрегатта қорап ішінде болатын арнайы майдың түрі пайданылады. Ол майлар ерекше диэлектрик сапасымен жасалған. Жүйе бөлшектерінің жылуды шығару майлары жоғары ток жүктемелердің процессінде болады. Алайда басқа суыту жүйелері болады.

Функционалдық орнатуға ықпал ететін негізгі мінездемелер:

- катушкалардың саны мен олардың байланысу жалғану түрлері;
- ораманың кернеу мәндері.

Заманауи электрмен қамтамасыз ету бөліктерінде екі не үш фазалы орамалы агрегаттар болады. Тек үй жағдайындағы желілерде болады, фаза орнатылады. Электр коммуникация желісінде үш фазалы күштік трансформатор көп тараған. Реттегіш жүйе екі түрге бөлінеді.

Реттегіш жүйе екі түрлі болады. Алғашқы жағдайда қорек көзінен ажырату қажет, екіншісінде реттегіш болмайды. Жоғары вольтті орама жағында реттеу орындалады. Осындай реттеу түрі нақты баптауды орындайды.

Келтірілген жүктеменің сөндіру құрылысы оңай іске асады. Алайда, олардың өзгеру диапазоны үлкен емес. Реттегіш желіден қондырғының толықтай өшуін қажет етеді.

3 Негізгі электр шамаларын анықтау

3.1 Желілік пен фазалық токтарды және жоғары мен төмен кернеу орамаларының кернеулерін есептеу

Үшфазалы трансформатордың ЖК және ТК орамаларының номинал желілік тогы келесі формуламен анықталады:

$$I = \frac{S \cdot 10^3}{U \cdot \sqrt{3}}, \text{ A}; \quad (3.1)$$

Мұндағы S – трансформатордың қуаты, $\text{kB} \cdot \text{A}$;

U – сәйкес келетін ораманың номинал кернеуі, B .

Есептелетін трансформатордың жоғары кернеулі орамасының (ЖК) номинал желілік тогы:

$$I_{\text{ЖК}} = \frac{S}{U_{\text{ЖК}} \cdot \sqrt{3}}, \text{ A}; \quad (3.2)$$
$$I_{\text{ЖК}} = \frac{160000}{35000 \cdot \sqrt{3}} = 2,639 \text{ A}.$$

Трансформатордың ЖК орамасының фазалық тогы желілік токқа тең, яғни ЖК орамасы «жұлдызша» қосылған:

$$I_{\text{ф.ЖК}} = I_{\text{н.ЖК}}, \text{ A}; \quad (3.3)$$
$$I_{\text{ф.ЖК}} = 2,639 \text{ A}.$$

Ораманы "жұлдызша" жалғаған кезде ЖК орамасының фазалық кернеуі мынадай формула бойынша анықталады:

$$U_{\text{ф.ЖК}} = \frac{U_{\text{н.ЖК}}}{\sqrt{3}}, \text{ B}; \quad (3.4)$$
$$U_{\text{ф.ЖК}} = \frac{35000}{\sqrt{3}} = 20207 \text{ B}.$$

Төмен кернеулі (ТК) орамалардың номинал желілік тогы:

$$I_{н.ТК} = \frac{S}{U_{н.ТК} \cdot \sqrt{3}}, \text{ A}; \quad (3.5)$$

$$I_{ЖК} = \frac{160000}{400 \cdot \sqrt{3}} = 230,94 \text{ A}.$$

"Үшбұрышша" етіп қосылған кезде трансформатордың ТК орамасының фазалық тогы мынадай формула бойынша анықталады:

$$I_{ф.ТК} = \frac{I_{н.ТК}}{\sqrt{3}}, \text{ A}; \quad (3.6)$$

$$I_{ф.ЖК} = \frac{230,94}{\sqrt{3}} = 133,33 \text{ A}.$$

"Үшбұрышша" етіп жалғанған кезде трансформатордың ТК орамасының фазалық кернеуі желілік кернеуге тең:

$$U_{ф.ТК} = U_{н.ЖК}, \text{ В}; \quad (3.7)$$

$$U_{ф.ТК} = 400 \text{ В}.$$

3.2 Магниттік жүйенің құрылымын таңдау

Трансформатордың магниттік жүйесі - ферромагниттік материалдан жиналған құрылым және трансформатордың негізгі магниттік өрісін оқшаулау үшін қызмет етеді. Магнит жүйесін таңдау кезінде бірінші кезекте трансформатордың келесі параметрлері барынша біріктірілуі тиіс [1]:

- бос жүрістің ең аз тогы;
- электротехникалық болаттың ең аз шығыны;
- орам ішіндегі кеңістікті толтырудың ең жоғары деңгейі;
- қысқа тұйықталу тогындағы трансформатордың тұрақтылығы мен механикалық беріктігі.

Трансформатордың магнитті жүйесінде екі негізгі бөлік бөлінеді: өзекше (стержендер) мен жарма. Өзекше - трансформатордың негізгі орамдары орналасқан және электр энергиясын түрлендіру үшін қызмет ететін магнит өткізгіштің бөліктері. Жарма - магниттік тізбектің тұйықталуы үшін қызмет ететін бөлігі.

Осы жұмыста қарастырылатын трансформатор қуаты 100 – 1000 кВА және 35 кВ дейінгі кернеу класымен II габаритке жатады. Трансформатордың осы түрі үшін өзек қимасындағы сатылар саны 6-дан 8-ге дейінгі аралықта. Саты санын 6 қабылдаймыз.

$K_{тол}$ - 6 сатылы саны бар және сығымдағыш пластинасы бар есептелетін трансформатор үшін сатылы фигураның ауданымен шеңбер ауданын толтыру коэффициенті:

$$k_{\text{тол}} = 0,884.$$

Мойынтіректің көлденең қимасы – көпсатылы, стерженнің сатыларынан сатыларының саны 1 – 2 санынан аз, сондықтан ярма сатыларының саны 5 тең қабылдаймыз. Қабылданған болжамдар негізінде стерженнің шамалас диаметрін 0,2 м тең деп аламыз. Алдын ала таңдалған стержень диаметрі 36 см болғандықтан, алдын ала стержень сатысы қимасында суыту арналарын есептеу талап етілмейді.

Трансформатордың қуаты 160 кВА және стержень диаметрі 0,2 м болса, онда стержень табақшаларының жиынтығын тығыздау стержень мен орама арасындағы ағаш өзекшелер немесе оның қатаң оқшаулағыш қағаз - бакелитті цилиндр арқылы бітеу жүзеге асырылады.

3.3 Болат маркасын және болат табақшалардың қалыңдығын, олардың оқшаулау түрін таңдау, магниттік жүйенің индукциясын анықтау

Күштік трансформатордың магниттік жүйесі үшін Болаттың маркасы мен қалыңдығын таңдау кезінде жоғары магниттік қасиеттері бар болаттың бағасы да жоғары екенін, ал жоғары магниттік қасиеттері бар қалыңдығы аз болаттың толтырудың коэффициенті аз $k_{\text{тол}}$ екенін ескеру қажет. Бұл болат берілген өлшемдер пакетін алу үшін магниттік жүйені құрастыру, дайындауды, күйдіруді және салу кезінде үлкен қалыңдықтағы болатпен салыстырғанда табақшалардың көп санын талап етеді.

Күштік трансформаторлардың негізгі салмағы жекелеген технологиялық операциялардың еңбек сыйымдылығын, болаттың магниттік қасиеттері мен бағасын ескергенде қалыңдығы 0,35 және 0,30 мм, 3404 және 3405 маркалы болаттар пайдаланылады. Төмен шығындар шешуші фактор болған жағдайда, қалыңдығы 0,27 мм болат пайдаланылуы мүмкін.

Трансформаторды есептеу кезінде магнит жүйесінің өзегінде индукцияны дұрыс таңдау өте маңызды. Магниттік жүйе болатының санын, орама металының массасын және активті бөліктің құнын азайту мақсатында есептік индукцияның үлкен мәнін таңдау керек, алайда, шығынның салыстырмалы түрде ұлғаюы және бос жүріс тогының елеулі өсуіне байланысты болады. Есептік индукцияның азаюы материалдардың массасын және активті бөліктің құнын ұлғайту есебінен бос жүрістің (ең бастысы токтың) өте жақсы параметрлерін алуға әкеледі.

Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, табақшалардың ыстыққа төзімді оқшаулағыш жабыны бар, қалыңдығы 0,3 мм, 3404 маркалы электр техникалық суықтай иленген анизотропты жұқа табақты болатты таңдаймыз. Берілген трансформатор үшін магнит өткізгіштегі индукцияны алдын ала қабылдаймыз:

$$B = 1,55 \text{ Тл.}$$

3.4 Орамның өткізгіш материалын таңдау

Орама материалы ретінде ұзақ уақыт бойы мыс қолданылды, бірақ мыс кендерінің табиғи қорларының әлемде аз таралуына байланысты табиғатта кеңінен таралған мысты басқа металмен, бірінші кезекте алюминиймен алмастыру (мыстан 10-15% арзан) жолдарын іздеуге мәжбүр етті. Трансформаторлардың қысқа тұйықталу параметрлері мен мыс орамдары бар бос жүріс параметрлері, қуаты бойынша эквивалентті негізгі өлшемдердің ара қатынасы бойынша алюминий орамдары бар трансформаторлар айтарлықтай ерекшеленеді. Алюминий орамдары бар трансформатордың магнитті жүйесіндегі айырмашылығы диаметрі аз, магнит жүйесінің терезесінің ауданы мен өзектің биіктігі үлкен болып табылады. Алюминий орамдарының бірнеше көп орамы бар.

Эквивалентті мыс орамалармен салыстырғанда алюминий орамаларының орамдары мен орамаларының қималарының санын ұлғайту орамаларды орау бойынша жұмыс құнының өсуіне және кейбір оқшаулағыш материалдар – қағаз - бакелитті цилиндрлер (25-30%), электр оқшаулағыш қалың қағаз бен сіндіргіш лактың (50-60%) тұтынудың едәуір артуына алып келеді. Магнитті жүйенің үлкен биіктігінде бактың биіктігі мен майдың салмағы да артады. Жұмыс және материалдар құнының ұлғаюы орам сымның салмағы мен құнының азаюымен өтеледі (орнын толтырады), яғни алюминий орамдары бар жобаланған трансформатордың жалпы құны мысты орамдары бар эквивалентті трансформатордың құнынан іс жүзінде өзгеше емес.

Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, берілген трансформатор қуатын есепке ала отыра, орамалардың өткізгіштік материалы ретінде алюминий таңдаймыз.

3.5 Орамдардың құрылымын таңдау

Трансформаторды есептеу кезінде орамдардың құрылымын таңдау жалпы трансформаторларға қойылатын пайдалану және өндірістік талаптар жүргізілуі тиіс. Трансформатордың құрылымын таңдау кезінде келесі электр шамалар ескеріледі: бір өзекшенің жүктемесінің тогы, S трансформатор қуаты және номинал кернеу Uном, сондай-ақ орама орамдарының көлденең қимасы.

Трансформатордың бұл параметрлері орам түрін таңдау кезінде негізгі критерий болып табылады.

Жоғары кернеулі ораманың құрылымын таңдаймыз. Трансформатордың қуаты мен орам материалының негізінде токтың орташа тығыздығы тең деп аламыз:

$$i_{кр} = 1,6 \frac{A}{мм^2}.$$

Орамның болжамды қимасын мына формула бойынша анықтаймыз:

$$P_{\text{HH}} = \frac{I_{\text{ф HH}}}{j_{\text{кр}}}, \text{ мм}^2. \quad (3.8)$$
$$P_{\text{HH}} = \frac{2,639}{1,6} = 1,65 \text{ мм}^2.$$

Трансформатордың қуаты және орамның қимасы бойынша орамалардың типтерін қолданудың қалыпты шектерінің кестесі бойынша ЖК орамасының түрін таңдаймыз [2]: дөңгелек сымнан цилиндрлік көп қабатты.

Төменгі кернеу орамасының құрылымын таңдаймыз. Орташа ток тығыздығы да тең;

$$i_{\text{кр}} = 1,6 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

Орамның болжамды қимасы тең:

$$P_{\text{HH}} = \frac{I_{\text{ф HH}}}{j_{\text{кр}}}, \text{ мм}^2. \quad (3.9)$$
$$P_{\text{HH}} = \frac{133,33}{1,6} = 83,33 \text{ мм}^2.$$

Трансформатордың қуаты және орамның қимасы бойынша, номинал кернеу мен орамалардың тогы бойынша орамалардың типтерін қолданудың қалыпты шектерінің кестесі бойынша ТК ораманың түрін таңдаймыз: тікбұрышты сымнан бір және екі қабатты цилиндрлік.

3.6 Орамдардың негізгі оқшаулағыш аралықтарының құрылымы мен өлшемдерін таңдау

Орамдардың басты оқшауламасындағы ең аз рұқсат етілген оқшаулама арақашықтықтары, әдетте, олар тәжірибелі жолмен тексерілген белгілі бір оқшаулама құрылысына қатысты таңдалады. Бұл жағдайда оқшаулама материалдарын сақтау, оқшаулау бөлшектерін дайындау, кептіру және маймен сіңдіру белгіленген технологиялық процеске сәйкестік қатаң түрде орындалады деп болжанады.

Трансформатордың қуатына, кернеу класына және берілген трансформатордың құрылысының ерекшеліктеріне сәйкес МемСт 1516.1-76 және МемСт 2069.0 075 бойынша орамдардың негізгі оқшаулама аралықтарының құрылымы мен өлшемдерін таңдаймыз: Төмен кернеуді орау үшін:

- ТК орамасынан ярмаға дейінгі арақашықтық:

$$h_{01} = 15 \text{ мм.}$$

- өзекше мен ТК орама арасындағы қалқанның қалыңдығы:

$$\delta_{01} = \text{қалың қағаз } 2 \times 0,5 \text{ мм;}$$

- өзекше пен ТК орама арасындағы арақашықтық:

$$a_{01} = 4 \text{ мм.}$$

Жоғары кернеуді орау үшін:

- ЖК орамынан ярмаға дейінгі арақашықтық:

$$a_{01} = 30 \text{ мм;}$$

- ТК мен ЖК орамалары арасындағы арақашықтық:

$$d = 9, \text{ мм;}$$

- өзекше мен ТК және ЖК орама арасындағы қалқанның қалыңдығы:

$$\delta_{12} = 3 \text{ мм.}$$

- цилиндр шығысы:

$$h_{ц2} = 15 \text{ мм.}$$

- Көршілес фазалардың ЖК орамалары арасындағы арақашықтық:

$$a_{22} = 10 \text{ мм.}$$

Катушка аралық жеткілікті оқшауланған майлы каналдар биіктігі үшін қабылданған салқындату арналары болып саналады.

3.7 Өзекшенің диаметрін, орамның биіктігін және өзекшенің активті қимасын анықтау

Сатылы фигура түріндегі қимасы бар, өзекшелері бар өзекше түріндегі трансформатор үшін негізгі өлшем шеңбердің диаметрі болып табылады. Бұл диаметр келесі [1] формула бойынша анықталады:

$$D_{ш} = 16 \cdot \sqrt{\frac{S_{өз} \cdot \beta \cdot \alpha_p \cdot k_p}{f \cdot U_p \cdot B_{өз}^2 \cdot k_6^2}}, \quad (3.10)$$

Мұндағы $S_{өз}$ – бір өзекше үшін қуат, ВА;

α_p – шашыраудың келтірілген арнасының ені, мм;
 β – орамалардың негізгі шамалар қатынас коэффициенті;
 k_p – Роговский коэффициенті (шашыраудың идеал өрісінің нақты өріске келтіру коэффициенті, сәйкесінше $k_p = 0,95$);
 f – қоректенетін кернеудің жиілігі, тапсырмаға сәйкес $f = 50$ Гц;
 $B_{\text{өз}}$ – өзекшедегі максимал индукция, Тл;
 k_6 – шеңберді болатпен толтыру коэффициенті;
 U_p – қысқа тұйықталу кернеуінің реактивті құраушысы, %.
 Бір өзекшенің қуаты трансформатордың негізгі орамдарының негізгі өзекшелерінің санымен анықталады:

$$S_{\text{өз}} = \frac{S}{m}, \quad (3.11)$$

мұндағы S – трансформатор қуаты, кВ · А;
 m – өзекше саны.

$$S_{\text{өз}} = \frac{160}{m} = 53,333 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

β коэффициенті - $\pi \cdot d_{12}$ орам мен l орамдар биіктігі арасындағы арна шеңберінің ұзындығының қатынасы; l – орамдардың биіктігіне-анықтамалық материалдан таңдаймыз. $\pi \cdot d_{12}$ екі ораманың орамының орта ұзындығына жақындауға болады. β шамасы ораманың диаметрі мен биіктігі арасындағы арақатынасты анықтайды. Трансформатордың осы түрі үшін алдын ала $\beta = 1,2$ қабылданған.

Келтірілген трансформатордың шашырауы арнасының ені:

$$\alpha_p = \alpha_{12} + \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{3}.$$

Диаметр анықталған кезде өзекше әлі белгісіз. - ЖК және ТК орамдарының арасындағы арнаның өлшемі ЖК орамаларының сынау кернеуі бойынша оқшаулағыш аралық ретінде анықталады. Мөлшері

$$\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{3},$$

Формула бойынша алдын ала анықтайды:

$$\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{3} = k_{kp} \cdot \sqrt[4]{S_{\text{өз}}}. \quad (3.12)$$

Мұндағы $k_{кр}$ – шашырау арнасының коэффициенті, алюминийден жасалған өткізгіштер үшін, анықтамалық материалдан [2] алынған: $k_{кр} = 0,81$. Онда

$$\alpha_p = 0,9 + 0,81 \cdot \sqrt[4]{53,333} = 3,09 \text{ см.}$$

Қысқа тұйықталу кернеуінің реактивті құраушысы мына формула бойынша анықталады:

$$U_p = \sqrt{U_K^2 - U_A^2}, \% \quad (3.13)$$

мұндағы қысқа тұйықталу кернеуі, %, $U_p = 6,5\%$.

Қысқа тұйықталу кернеуінің активті құраушысы U_A , %, үлкен қуатты трансформаторлар үшін (10 МВ·А жоғары) аз. Бірақ қуаттың азаюымен U_A осы есептер үшін де артады:

$$U_A = \frac{P_{к.т.}}{10 \cdot S}; \quad (3.14)$$

мұндағы $P_{к.т.}$ – қысқа тұйықталу шығыны, Вт;

S – трансформатордың толық шығын, кВ·А.

$$U_A = \frac{2650}{10 \cdot 160} = 1,66\%.$$

$$U_p = \sqrt{6,5^2 - 1,66^2} = 6,28 \text{ \%}.$$

Орамды (рулонды) электр техникалық болаттан жасалған өзекшедегі индукция осы есептеу кезеңінде $B_{өз} = 1,55$ Тл қабылданды [2].

Болатпен толтыру коэффициенті k_6 – стержень диаметріне тең болатын диаметрі бар шеңбердің ауданына стерженнің активті қимасына қатынасы, бұл есеп үшін белгісіз, бірақ алдын ала $k_6 = 0,9$ деп қабылданған.

Алынған мәндерді өзекше диаметрінің формуласына қойып, аламыз:

$$D_B = 16 \cdot \sqrt{\frac{53,33 \cdot 3,09 \cdot 1,2 \cdot 0,95}{50 \cdot 6,28 \cdot 155^5 \cdot 0,9^2}} = 11,92 \text{ см.}$$

Алынған диаметрді қалыпты шкала бойынша жуықтаймыз.

$$D_B = 12,5.$$

Трансформатор орамасының биіктігін келесі формула бойынша анықтаймыз:

$$H_B = \frac{\pi \cdot D_{12}}{\beta}, \text{ см.} \quad (3.15)$$

Мұндағы D_{12} –орамалар арасындағы орташа диаметр келесідей анықталуы мүмкін:

$$D_{12} = \alpha \cdot D_B, \text{ см.} \quad (3.16)$$

Мұндағы $\alpha = 1,4 - 1,45$ алюминий орамалар үшін.

$$D_{12} = 1,4 \cdot 12,5 = 17,5 \text{ см.}$$

Орама биіктігі тең:

$$H_B = \frac{3,14 \cdot 17,5}{1,2} = 45,8 \text{ см.}$$

$H_B = 0,46$ м деп қабылдаймыз.

Стерженнің активті қимасы келесі формула бойынша анықталады:

$$P_c = P_\phi \cdot k_c, \text{ см}^2; \quad (3.17)$$

Мұндағы P_ϕ –сатылы фигураның қимасы, сәйкесінше:

$$P_c = 112,3 \text{ см}^2;$$

k_c –стерженнің толтыру коэффициенті, $k_c = 0,96$. Сонда стерженнің активті қимасы тең болады:

$$P_c = 112,3 \cdot 0,96 = 107,8 \text{ см}^2.$$

4 Орамдардың құрылымын нақты таңдау және оларды есептеу

4.1 Жоғары және төмен кернеу орамаларының түрін таңдау

Трансформатордың жүргізілген есептері мен бастапқы деректерін ескере отырып, орама түрін таңдаймыз:

ТК - 0,5 мм рұқсат етілген мәнді есепке ала отырып, екі жақты оқшаулау қалыңдығы АПБ маркалы тікбұрышты сымнан жасалған бір және екі қабатты цилиндрлік.

ЖК - екі жағынан 0,4 мм оқшаулама қалыңдығы бар АПБ маркалы дөңгелек сымнан жасалған көп қабатты цилиндрлік [4].

4.2 Төменгі кернеу орамдарын есептеу

Төменгі кернеулі орама өзекше мен жоғары кернеулі орама арасында, яғни өзекшеден бірінші болып орналасады, сондықтан ораманы есептеу содан басталады. Орамаларды есептеу кезінде алдымен трансформатордың бір фазасына сәйкес келетін орамдар $W_{ТК}$ санын анықтайды:

$$W_{ТК} = \frac{U_{ФТК}}{U_B}. \quad (4.1)$$

Мұндағы U_B – бір орамда пайда болатын ЭҚК, В;

$U_{ФТК}$ – ТК орамалар кернеуі, В.

Бір орамның электр қозғаушы күші келесі арақатынастан алынады:

$$U_B = 4,44 \cdot f \cdot B_c \cdot P_c, \text{ В}; \quad (4.2)$$

Мұндағы U_B – стержень индукциясы, Тл;

P_c – стерженнің активті қимасы, м².

$$U_B = 4,44 \cdot 50 \cdot 1,55 \cdot 0,01078 = 3,71 \text{ В}.$$

Онда ТК орамаларының орамдар саны:

$$W_{ТК} = \frac{400}{3,71} = 107,8.$$

Есептелген мән жақын бүтін 108 дейін жуықтаймыз. Бір орамның ЭҚК мәнін анықтаймыз:

$$W_{ТК} = \frac{U_{ФТК}}{W_{ТК}}, \text{ В}. \quad (4.3)$$

$$W_{ТК} = \frac{400}{108} = 3,7 \text{ В}.$$

Онда стержендегі нақты индукция тең болады:

$$B_c = \frac{U_B}{4,44 \cdot f \cdot P_c}, \text{ Тл}; \quad (4.4)$$

$$B_c = \frac{3,7}{4,44 \cdot 50 \cdot 0,01078} = 1,55 \text{ Тл};$$

ТК орамасының сым қимасының ауданын анықтаймыз:

$$P_B = \frac{I_{ФТК}}{j}, \text{ мм}^2.$$

$$P_B = \frac{133,33}{1,6} = 83,33 \text{ мм}^2.$$

Сымның сұрыпы бойынша $a = 2$ және $b = 10,6$ мм, екі жағынан қалыңдығы $0,5$ мм оқшаулауланған АПБ-20,84 мм² сымды [1] таңдаймыз. Біз $a = 2,5$ және $b = 11,1$ мм сым өлшемдерін аламыз. Орауды бір сымға жүргіземіз:

$$\text{АПБ} - 20,84 \cdot 4 \cdot \frac{2,0 \cdot 10,6}{2,5 \cdot 11,1}$$

Орамның толық қимасын анықтаймыз:

$$P_B = P_{\text{СЫМ}} \cdot n_{\text{СЫМ}}, \text{ мм}^2. \quad (4.5)$$

Мұндағы $P_{\text{СЫМ}}$ – бір сым қимасының ауданы, мм²;
 $n_{\text{СЫМ}}$ – ораманың параллель сымдардың саны.

$$P_B = 20,84 \cdot 4 = 83,36 \text{ мм}^2.$$

Токтың нақты тығыздығы:

$$j_{\text{ТК}} = \frac{I_{\text{фТК}}}{P_B}, \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}. \quad (4.6)$$

$$j_{\text{ТК}} = \frac{133,33}{83,36} = 1,599 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

Суыту бетіндегі жылу ағынының тығыздығы бойынша сымды тексереміз. Майдың табиғи айналымы бар майлы трансформаторларда ол 1200 ... 1400 Вт/м² аспауы тиіс.

$$b \leq \frac{q \cdot k_a}{1,72 \cdot j_d^2 \cdot 10^{-8}}; \quad (4.7)$$

мұндағы $1,72$ – алюминий сым үшін коэффициент,
 $k_a = 0,8$ (цилиндрлік катушкалар үшін).

$$0,0137 \leq \frac{1400 \cdot 0,8}{1,72 \cdot 1,599^2 \cdot 10^{12} \cdot 10^{-8}} = 0,0255.$$

Орама қабаттарының саны екіге тең болады. Трансформаторлардың қуаты $6 - 10$ кВ – қа дейінгі трансформаторлар үшін орама бір қабатқа және сирек жағдайларда аса қуатты трансформаторлар үшін үш қабатқа оралуы мүмкін [2].

Орамның бір қабатындағы орамдардың саны (екі қабатты орам үшін):

$$W_K = \frac{W_{TK}}{2} \quad (4.8)$$

$$W_K = \frac{108}{2} = 54.$$

Орамның өстік өлшемі (биіктігі):

$$b_6 = b \cdot n_{pp}; \quad (4.9)$$

$$b_6 = 11,1 \cdot 4 = 4,44 \text{ см.}$$

Орамалардың өстік өлшемі, см:

$$H_{B,TK} = b_6 \cdot (W_K + 1) + (0,5 \div 1,5) \text{ см.} \quad (4.10)$$

Екі қабатты ораманың радиалды өлшемі:

$$a_1 = 2a + a_{11}, \text{ см.} \quad (4.11)$$

$U \leq 1$ кезіндегі арнаның радиалды өлшемі a_{11} оқшаулау шарттары бойынша 0,4 см кем емес болып таңдалады.

$$a_1 = 2 \cdot 0,25 + 0,4 = 0,9 \text{ см.}$$

Ораманың ішкі диаметрі:

$$D_1 = D_B + 2 \cdot a_{01}, \text{ см;} \quad (4.12)$$

$$D_1 = 12,5 + 2 \cdot 0,4 = 13,3 \text{ см.}$$

Ораманың сыртқы диаметрі:

$$D'_1 = D_1 + 2 \cdot a_{01}, \text{ см;} \quad (4.13)$$

$$D'_1 = 13,3 + 2 \cdot 0,9 = 15,1 \text{ см.}$$

Ораманың орташа диаметрі:

$$D'_{op} = \frac{D_1 + D'_1}{2} = 14,2 \text{ см.} \quad (4.14)$$

Ораманың активті салмағын есептеу үшін формуланы қолданамыз:

$$M_{TK} = m \cdot \pi \cdot D_{op} \cdot W_{TK} \cdot \Pi_B \cdot \gamma_B \cdot 10^{-6}, \text{ кг;} \quad (4.15)$$

мұндағы m - трансформатордың активті өзектерінің саны;

D_{op} - ораманың орташа диаметрі, см;

W_{TK} - орама орамдарының саны;

$P_{\text{ВТК}}$ - орам қимасының ауданы, мм².

Орам $\gamma_{\text{В}}$ материал тығыздығының мәнін (алюминий үшін $\gamma_{\text{В}} = 2700 \text{ кг/м}^3$) қойып, келесі формуланы аламыз:

$$\begin{aligned} M_{\text{ТК}} &= 8,47 \cdot m \cdot \pi \cdot D_{\text{ор}} \cdot W_{\text{ТК}} \cdot P_{\text{В}} \cdot 10^{-6}, \text{ кг}; \\ M_{\text{ТК}} &= 8,47 \cdot 3 \cdot 14,2 \cdot 108 \cdot 83,36 \cdot 10^{-6} = 32,5 \text{ кг}. \end{aligned} \quad (4.16)$$

Сымның оқшаулау массасы сым массасының 1,5% құрайды, яғни 0,45 кг.

4.3 Жоғары кернеулі орамдарды есептеу

ЖК орамаларын есептеу барлық тармақтардағы кернеулер үшін номиналды кернеуді алу үшін қажетті орамдардың санын анықтаудан басталады. Номиналды кернеу кезіндегі орамдар саны мынадай формула бойынша анықталады:

$$\begin{aligned} W_{\text{ЖК}} &= \frac{U_{\text{ФТК}} \cdot W_{\text{ТК}}}{U_{\text{ФТК}}}; \\ W_{\text{ЖК}} &= \frac{20207 \cdot 108}{400} = 5456. \end{aligned} \quad (4.17)$$

ЖК орамасын "жұлдызша" етіп қосу кезінде кернеуді реттеудің бір сатысындағы орамдар саны тең:

$$W_{\text{рет}} = \frac{875}{\sqrt{3} \cdot 3,71} = 136 \text{ В.}$$

Әдетте, кернеуді реттеу сатылары бір-бірімен тең жасалады және МемСт-қа сәйкес 250 МВ·А қуаттары үшін тармақталады +5%; +2,5%; 0%; -2,5%; -5%. Төрт реттеу сатысы үшін ие боламыз:

Кернеу, В Тармақтардағы орамдар саны

$$36750 \text{ } 5456 + 2 \cdot 136 = 5728.$$

$$35875 \text{ } 5456 + 136 = 5592.$$

$$35000 \text{ } 5456.$$

$$34125 \text{ } 5456 - 136 = 5320.$$

$$33250 \text{ } 5456 - 2 \cdot 136 = 5184.$$

ЖК орамаларындағы ток тығыздығы алдын ала мынадай формула бойынша анықталады:

$$j_{ЖК} = 2 \cdot j - j_{ТК}, \frac{А}{мм^2}. \quad (4.19)$$

$$j_{ЖК} = 2 \cdot 1,6 - 1,599 = 1,601 \frac{А}{мм^2}.$$

Сым қимасының ауданын анықтаймыз:

$$P_B = j_{ЖК} / j, мм^2. \quad (4.20)$$

$$P_B = \frac{2,639}{1,601} = 165, мм^2.$$

Сымның сұрыпы бойынша диаметрі $d = 1,40 мм$, қалыңдығы $0,4 мм$ оқшаулауланған АПБ-1,77 [4] таңдаймыз.

Орамның толық қимасын анықтаймыз:

$$P_B = P_{СЫМ} \cdot n_{СЫМ}, мм^2. \quad (4.21)$$

Мұндағы $P_{СЫМ}$ — таңдап алынған сым қимасының ауданы, $мм^2$;
 $n_{СЫМ}$ — орамның параллель сымдардың саны.

$$P_B = 1,77 \cdot 1 = 1,77 мм^2.$$

Токтың нақты тығыздығы:

$$j_{ТК} = \frac{I_{фТК}}{P_B}, \frac{А}{мм^2}. \quad (4.22)$$

$$j_{ТК} = \frac{2,639}{1,77} = 1,49 \frac{А}{мм^2}.$$

Бұдан әрі орамның бір қабатындағы орамдардың санын анықтаймыз:

$$W_K = \frac{H_B}{d \cdot n_{пр}} - 1. \quad (4.23)$$

$$W_K = \frac{46}{0,144 \cdot 1} - 1 = 318,44.$$

Сонда қабаттардың қажетті саны тең болады:

$$n_{пр} = \frac{W_{ТК}}{W_K}; \quad (4.24)$$

$$n_{пр} = \frac{5456}{318,44} = 17,13;$$

Қабаттардың бөлшек саны үлкен мәнге дейін жуықталады -18. Екі қабаттың жұмыс кернеуі мына формула бойынша анықталады:

$$U_{ж.қ} = 2 \cdot W_{қ} \cdot U_{ж}, В, \quad (4.25)$$

$$U_{ж.қ} = 2 \cdot 318,44 \cdot 3,71 = 2362,8 В.$$

Екі қабаттың жұмыс кернеуі бойынша орамның екі қабатының арасындағы желі қағазының жалпы қалыңдығын $\delta_{ж.қ}$ таңдаймыз [4]:

- желілік қағаз қабаттарының саны (қалыңдығы 0,12 мм) - 4;
- ораманың шетіндегі қабатаралық оқшауламаның биіктігі, мм – 16.

Салқындату шарттары бойынша әрбір өзекшедегі орама олардың арасындағы осьтік май арнасы бар екі концентрлік катушкалар түрінде орындалады. Ішкі катушканың қабаттарының саны орама қабаттарының $1/3 - 2/5$ санынан аспауы тиіс. Катушкалар арасындағы май арнасының ең аз ені 0,4 см тең таңдалады. Екі катушканың орамасының радиалды өлшемі тең:

$$a_2 = d \cdot n_{пр} + \delta_{м.қ} \cdot (\delta_{м.қ} - 1) + a_{11}, см. \quad (4.26)$$

$$a_2 = 0,144 \cdot 18 + 4 \cdot 0,012 \cdot (18 - 1) + 0,4 = 3,81 см.$$

35 кВ кернеу класының орамдарында ораманың ішкі қабатының астына қалыңдығы 0,5 мм жез табақтан жасалған тұйықталмаған цилиндр – металл экран орнатылады. Экран ораманың желілік ұштарымен (ішкі қабаттың басы) жалғанады және ораманың ішкі қабатынан қабатаралық оқшаулағышпен немесе қалыңдығы 0,1 см (қалың қағаз) картон табағымен оқшауланады.

Осындай оқшаулау май арнасы жағынан орнатылады.

Экран болған жағдайда ораманың радиалды өлшемі мынадай формула бойынша болады:

$$a'_2 = a_2 + \delta_{эк} + 2\delta_{м.қ} см. \quad (4.27)$$

Мұндағы $\delta_{эк}$ – экран қалыңдығы, 0,05 см;

$\delta_{м.қ}$ – қалың қағаз немесе қағаздың сымдық қалыңдығы.

$$a'_2 = 3,81 + 0,05 + 2 \cdot 4 \cdot 0,012 = 3,96 = 4 см.$$

Экраны бар орамаларда радиалды өлшем a'_2 тек орам мөлшерін анықтау кезінде ғана есепке алынады. Бұл орамалардың шашырауын ЭҚК есептеу кезінде орамдар арасындағы арнаның есептік енін экран қалыңдығына және қабатаралық оқшаулауға көбейту керек, яғни:

$$a'_2 = a_{12} + \delta_{эк} + 2\delta_{м.қ}; см. \quad (4.28)$$

$$a'_2 = 0,9 + 0,05 + 2 \cdot 4 \cdot 0,012 = 1,045 см.$$

Ораманың ішкі диаметрі (экран болған жағдайда – оның ішкі оқшаулағышына дейін) тең:

$$D'_2 = D'_1 + 2 \cdot a_{12}, см; \quad (4.29)$$

$$D'_1 = 15,1 + 2 \cdot 0,9 = 16,9 см.$$

Экраны бар ораманың сыртқы диаметрі тең:

$$\begin{aligned} D_2'' &= D_2' + 2 \cdot a_2, \text{ см;} \\ D_2'' &= 16,9 + 2 \cdot 3,96 = 24,82 \text{ см.} \end{aligned} \quad (4.30)$$

Ораманың орташа диаметрі тең:

$$\begin{aligned} D_{\text{ор}} &= \frac{D_2' + D_2''}{2}; \text{ см.} \\ D_{\text{ор}} &= \frac{16,9 + 24,82}{2} = 20,86 \text{ см.} \end{aligned} \quad (4.31)$$

Ораманың активті салмағын есептеу үшін формуланы қолданамыз:

$$\begin{aligned} M_{\text{ТК}} &= 8,47 \cdot m \cdot D_{\text{ор}} \cdot W_{\text{ЖК}} \cdot \Pi_{\text{В}} \cdot 10^{-6}, \text{ кг;} \\ M_{\text{ТК}} &= 8,47 \cdot 3 \cdot 20,86 \cdot 54,56 \cdot 1,77 \cdot 10^{-6} = 51,19 \text{ кг.} \end{aligned} \quad (4.32)$$

Сымның оқшаулау массасы сым массасының 1,5% құрайды, яғни 0,77 кг.

5. Қысқа тұйықталу тәжірибесінің параметрлерін анықтау

5.1 Қысқа тұйықталу шығынын анықтау

Трансформатордың қысқа тұйықталу (ҚТ) шығыны - трансформаторда бірінші орама номинал қуатқа сәйкес келетін токқа қосылғанда, ал бір немесе одан да көп қайталама орамалар қысқа тұйықталғанда туындайтын шығындар. ҚТ толық шығыны келесі өрнектен анықталады:

$$P_{\text{к}} = k_{\text{қосЖК}} \cdot P_{\text{қосЖК}} + k_{\text{қосТК}} \cdot P_{\text{қосТК}} + P_{\text{ЖК}} + P_{\text{ТК}} + P_{\delta}, \text{ Вт;} \quad (5.1)$$

мұндағы $P_{\text{ЖК}}$ мен $P_{\text{ТК}}$ – сәйкесінше ЖК мен ТК орамаларының шығыны;

P_{δ} – бактың қабырғаларындағы және трансформатордың басқа да металл құрылымдағы орамдардың шашырау өрісінен туындаған шығындар;

$k_{\text{қосЖК}}$ мен $k_{\text{қосТК}}$ – сәйкесінше ЖК мен ТК орамаларының қосымша шығындары.

ТК орама үшін ие боламыз:

$$\begin{aligned} P_{\text{ТК}} &= 12,75 \cdot j_{\text{ТК}}^2 \cdot M_{\text{ТК}}, \text{ Вт;} \\ P_{\text{ТК}} &= 12,75 \cdot 1,599^2 \cdot 32,5 = 1059,47 \text{ Вт.} \end{aligned} \quad (5.2)$$

ЖК орама үшін ие боламыз:

$$P_{\text{ЖК}} = 12,75 \cdot j_{\text{ЖК}}^2 \cdot M_{\text{ЖК}}, \text{Вт}; \quad (5.3)$$

$$P_{\text{ЖК}} = 12,75 \cdot 1,49^2 \cdot 51,19 = 1448,998 \text{ Вт}.$$

Орамалардың шашырауының өзіндік магниттік өрісінен туындаған құйынды токтардан алынатын қосымша шығындар, шашырау өрісіне қатысты орамада жекелеген өткізгіштер үшін әртүрлі түрде орналасқан.

ТК орамалар үшін (тікбұрышты қималы алюминий сымы $n > 2$) қосымша шығындар мынадай формула бойынша анықталады:

$$k_{\text{қосТК}} = 1 + 0,037 \cdot \beta_{\text{қос}}^2 \cdot a^4 \cdot n^2. \quad (5.4)$$

Коэффициент мынадай формула бойынша есептеледі:

$$\beta_{\text{қос}}^2 = \frac{b \cdot m \cdot k_p}{H_c}; \quad (5.5)$$

ЖК орама үшін (дөңгелек қималы алюминий сымы) қосымша шығындар мынадай формула бойынша есептеледі:

$$k_{\text{қосЖК}} = 1 + 0,017 \cdot \beta_{\text{қос}}^2 \cdot d^4 \cdot n^2. \quad (5.6)$$

Коэффициент $\beta_{\text{қос1}}$ мынадай формула бойынша есептеледі:

$$\beta_{\text{қос1}} = \frac{b \cdot m \cdot k_p}{H_c}; \quad (5.7)$$

мұндағы n - шашырау өрісінің осьтік құраушысының магнитті индукция сызықтарының бағытына перпендикуляр бағыттағы орама өткізгіштерінің саны;

m - шашырау өрісінің осьтік құраушысының магнитті индукция сызықтарының бағытына параллель бағыттағы орама өткізгіштерінің саны;

b - шашырату өрісінің осьтік құраушысының магнитті индукция сызықтарының бағытына параллель өткізгіш өлшемі;

a - шашырату өрісінің осьтік құраушысының магнитті индукция сызығының бағытына перпендикуляр өткізгіштің өлшемі;

H_c - шашырату өрісінің осьтік құраушысының магнитті индукция сызығының бағытына параллель бағыттағы ораманың жалпы диаметрі;

d - дөңгелек өткізгіштің диаметрі;

k_p - Роговскийдің коэффициенті.

a мен b мәндері см-мен берілген, коэффициент $k_p = 0,95$ тең.

$$\beta_{\text{қос}} = \frac{1,06 \cdot 108 \cdot 0,95}{46} = 2,36;$$

$$\beta_{\text{қос}} = \frac{0,14 \cdot 5456 \cdot 0,95}{46} = 15,77;$$

$$k_{\text{қосТК}} = 1 + 0,037 \cdot 2,36^2 \cdot 0,2^4 \cdot 4^2 = 1,084.$$

$$k_{\text{қосТК}} = 1 + 0,017 \cdot 15,77^2 \cdot 0,14^4 \cdot 1^2 = 1,0016.$$

Бөлмедегі негізгі шығындарды анықтау бөлмедегі металдың ұзындығы мен салмағын есептеу болып табылады. Бұл есептеу бұрудың құрылымын нақты анықтағаннан кейін ғана дәл жүргізілуі мүмкін. Бұл кезеңде бұру салмағын алдын ала есептеу мүмкін [4].

Әдетте, бұрудың қимасы ораманың орамының қимасына тең, яғни:

$$\begin{aligned} P_{\text{бұру}} &= P_{\text{В}}, \text{ мм}^2; \\ P_{\text{бұруЖК}} &= 83,33 \text{ мм}^2; \\ P_{\text{бұруТК}} &= 1,77 \text{ мм}^2; \end{aligned} \quad (5.8)$$

Бұру өткізгішінің ұзындығы:

- «жұлдызша» етіп жалғанған кезде:

$$l_{\text{бұру}} = 7,5 \cdot H_{\text{с}}; \quad (5.9)$$

- «үшбұрышша» етіп жалғанған кезде:

$$\begin{aligned} l_{\text{бұру}} &= 14 \cdot H_{\text{с}}; \\ l_{\text{бұруТК}} &= 14 \cdot 46 = 644 \text{ см}; \\ l_{\text{бұру}} &= 7,5 \cdot 46 = 345 \text{ см}. \end{aligned} \quad (5.10)$$

Сым шығару металының салмағы:

$$M_{\text{бұру}} = P_{\text{бұру}} \cdot l_{\text{бұру}} \cdot \gamma \cdot 10^{-6}, \text{ кг}; \quad (5.11)$$

Мұндағы $l_{\text{бұру}}$ - ұзындық, см;

$P_{\text{бұру}}$ - аудан, мм²;

γ - бұрылу металының тығыздығы кг/м³ (алюминий үшін = 2700 кг/м³).

$$M_{\text{бұру}} = 83,33 \cdot 644 \cdot 2700 \cdot 10^{-6} = 1,45 \text{ кг}.$$

Бөлулердегі негізгі шығындарды мына формула бойынша анықтаймыз: [4]:

$$P_{\text{бұру}} = k_{\text{м}} \cdot j^2 \cdot M_{\text{бұру}}, \text{ Вт}; \quad (5.12)$$

k_M – бөлу материалына байланысты коэффициент: алюминий үшін $k_M = 12,75$.

$$P_{\text{бұруТК}} = 12,75 \cdot 1,599^2 \cdot 1,45 = 47,27 \text{ Вт};$$

$$P_{\text{бұруТК}} = 12,75 \cdot 1,49^2 \cdot 0,0165 = 0,47 \text{ Вт}.$$

Қуаты 100...6300 кВ · А трансформаторлар үшін бактың қабырғаларындағы шығындар тең:

$$P_{\delta} = 10 \cdot k_{\delta} \cdot S, \text{ Вт}; \quad (5.13)$$

мұндағы S – трансформатор қуаты, кВ · А;

k_{δ} – шығын коэффициенті, анықтама деректері бойынша тең болады:

$$k_{\delta} = 0,01 - 0,015;$$

$$P_{\delta} = 10 \cdot 0,015 \cdot 160 = 24 \text{ Вт}.$$

Есептелген параметрлерді ескере отырып, ҚТ шығындарының түпкілікті мәні тең болады:

$$P_K = 1,084 \cdot 1059,47 + 1,0016 \cdot 1448,998 + 47,27 + 0,47 + 25 = 26716,53 \text{ Вт}$$

немесе

$$\frac{26716,53}{2650} = 100,812\%.$$

5.2 Қысқа тұйықталу кернеуін анықтау

Қысқа тұйықталу кернеуі трансформатордағы кернеудің төмендеуін, оның сыртқы сипаттамасын және қысқа тұйықталу тогын анықтайды.

Қысқа тұйықталу кернеуі $U_K, \%$ оның активті $U_a, \%$ және реактивті $U_p, \%$ құраушылардың геометриялық қосындысы ретінде қарастырылады.

$$U_K = \sqrt{U_p^2 + U_a^2}, \%. \quad (5.14)$$

Активті құраушылар келесідей табылады:

$$U_a = \frac{P_K}{10 \cdot S}, \%; \quad (5.15)$$

$$U_a = \frac{2671,53}{10 \cdot 160} = 1,67\%.$$

Реактивті құраушылар келесідей табылады:

$$U_p = \frac{7,92 \cdot f \cdot S_{\text{өз}} \cdot \beta \cdot a_{\text{ш}} \cdot k_p \cdot k_q}{U_B^2}; \quad (5.16)$$

мұндағы $a_{\text{ш}}$ — шашырау ағынының келтірілген ені;
 k_p — Роговскийдің коэффициенті.

U_p есептеу кезінде, сондай-ақ барлық әрі қарай есептеулер кезінде трансформатордың негізгі өлшемдерін анықтау кезінде табылған β және $a_{\text{ш}}$ жақын мәндермен емес, есептелген трансформатордың орамдарының ($a_1, a_2, a_{12}, D_{12}, H_c$) нақты өлшемдерін пайдалану қажет. ҚТ кернеуінің барлық есебі трансформатордың бір өзегі үшін жүргізіледі.

Орамдардың осьтік өлшемінің соңғы мәнінен туындаған идеалды параллель өрісінен шашыраудың нақты өрісінің ауытқуын ескеретін k_p коэффициент олардың радиалды өлшемдерімен (a_1, a_2, a_{12}) салыстырғанда жақындатылған формула бойынша есептелуі мүмкін:

$$k_p = 1 - \sigma \cdot \left(1 - e^{-\frac{1}{\sigma}}\right); \quad (5.17)$$

Мұндағы

$$\sigma = \frac{a_{12} + a_1 + a_2}{\pi \cdot H_c} \quad (5.18)$$

$$\sigma = \frac{0,9 + 0,9 + 3,96}{\pi \cdot 46} = 0,04.$$

$$k_p = 1 - 0,04 \cdot \left(1 - e^{-\frac{1}{0,04}}\right) = 0,96.$$

$S \leq 10000$ кВ қуаты бар трансформаторларда келтірілген арнаның енін мына формула бойынша анықтаймыз:

$$a_{\text{ш}} = a'_2 + \frac{a_1 + a_2}{3}, \text{ см}; \quad (5.19)$$

$$a_{\text{ш}} = 1,05 + \frac{0,9 + 3,96}{3} = 2,7 \text{ см.}$$

β коэффициент келесі формуламен анықталады [2]:

$$\beta = \frac{\pi \cdot D_{12}}{H_c}; \quad (5.20)$$

$$\beta = \frac{\pi \cdot 17,5}{46} = 1,2.$$

Биіктік бойынша орамдардың біркелкі бөлінбеуін есепке алу коэффициенті k_q келесідей анықталады [2]:

$$k_q = 1 + \frac{H_c \cdot x^2}{m \cdot a_{\text{ш}} \cdot k_p}; \quad (5.21)$$

мұндағы $x = \frac{h_x}{H_c}$ - бұл жерде трансформатордың жұмысы кезінде ЖК кернеудің орта сатысында. h_x шамасы ЖК және ТК орамаларының осьтік өлшемдерінің айырмасы ретінде анықталады. Трансформатор үшін трансформатордың осьтік өлшемдері тең болғандықтан, онда $h_x = 0$, демек, $k_q = 1$.

Онда реактивті құраушы тең болады:

$$U_p = \frac{7,92 \cdot 50 \cdot 53,33 \cdot 1,2 \cdot 2,7 \cdot 0,96 \cdot 1 \cdot 10^2}{3,71^2} = 4,77\%.$$

U_p рұқсат етілген мәннен аз болғандықтан, шашырау арнасының енін 1 см-ге ұлғайтамыз, сонда:

$$a_{12} = 1,9 \text{ см};$$

$$a_{ш} = 1,9 + \frac{0,9 + 3,96}{3} = 3,52 \text{ см}.$$

Реактивті құраушы мәнді қайта есептейміз:

$$U_p = \frac{7,92 \cdot 50 \cdot 53,33 \cdot 1,2 \cdot 3,52 \cdot 0,96 \cdot 1 \cdot 10^2}{3,71^2} = 6,22\%.$$

$$U_k = \sqrt{1,67^2 + 6,22^2} = 6,44\%.$$

Қысқа тұйықталу кернеуінің абсолютті қателігі берілген мәннен 5% артық аспауы тиіс.

$$\delta = \text{ABS} \left(\frac{6,5 + 6,44}{6,5} \right) \cdot 100 = 0,92\%.$$

5.3 Орамдардағы механикалық күштер

Қысқа тұйықталу процесі трансформатордың апаттық жұмыс режимі болып табылады. Салдарынан номиналды тоқпен салыстырғанда орамаларындағы токтар бірнеше рет ұлғаюынан орамаларында трансформатордың және ораманың бөлігіне әсер ететін соққылық механикалық әсер ететін жүктемелер туындайды, олар орамдардың қатты қызып кетуін туындатады, орама материалы өткізгіштерінеде саны көп жылу бөлуді. ҚТ кезінде орамаларды механикалық беріктікке тексеруге кіреді:

- трансформатордың ҚТ максималды тогын анықтау;
- орамдар мен олардың бөліктері арасындағы механикалық күштерді анықтау;
- оқшаулағыш тірек пенкатушка аралық құрылымдарда және орамдардың сымдарында механикалық кернеуді анықтау;
- ҚТ кезінде ораманың температурасын анықтау.

Қысқа тұйықталудың орнатылған тогының қолданыстағы мәні мынадай формула бойынша анықталады:

$$I_{\text{қ.т.ТК}} = \frac{100 \cdot 230,94}{6,44 \cdot (1 + \frac{100 \cdot 0,16}{6,44 \cdot 500})} = 3568,3 \text{ А}; \quad (5.22)$$

Мұндағы $I_{\text{н}}$ - тиісті орамның номиналды тогы, А;
 $S_{\text{н}}$ - трансформатордың номиналды қуаты, МВ·А;
 $S_{\text{к}}$ - қысқа тұйықталу қуаты, сәйкес, [4]: $S_{\text{кТК}} = 500$ МВ·А; $S_{\text{кТК}} = 2500$ МВ·А; $U_{\text{к}}$ - қысқа тұйықталу кернеуі, %.

$$I_{\text{қ.т.ЖК}} = \frac{100 \cdot 2,639}{6,44 \cdot (1 + \frac{100 \cdot 0,16}{6,44 \cdot 2500})} = 40,94 \text{ А}.$$

Бастапқы кезде қысқа тұйықталу тогы апериодикалық құрауыштын болуы салдарынан орнатылған токтан едәуір асып кетуі және қысқа тұйықталу тогы кезінде бірнеше есе күштен асатын орамдар арасында механикалық күштерді тудыруы мүмкін. Трансформаторлардың жалпы теориясына сәйкес бұл қысқа тұйықталу тогының жылдам максималды мәні және мына формула бойынша анықталады:

$$I_{\text{қ.т.мак}} = 1,41 \cdot k_{\text{М}} \cdot I_{\text{қ.т.}}, \text{ А}; \quad (5.23)$$

мұндағы $k_{\text{М}}$ - қысқа тұйықталу тогының апериодикалық құрауышын ескеретін коэффициент, мына формула бойынша анықталады:

$$k_{\text{М}} = 1 - e^{-\frac{\pi \cdot U_{\text{д}}}{U_{\text{р}}}}; \quad (5.24)$$

$$k_{\text{М}} = 1 - e^{-\frac{3,14 \cdot 1,67}{6,22}} = 1,43.$$

$$I_{\text{қ.т.мак}} = 1,41 \cdot 1,43 \cdot 3568,3 = 7195,8 \text{ А};$$

$$I_{\text{қ.т.макТК}} = 1,41 \cdot 1,43 \cdot 40,94 = 82,55 \text{ А};$$

Сыртқы орамаға әсер ететін және оны созуға ұмтылатын қосынды радиалды күш тең болады:

$$F_{\text{р}} = 0,628 \cdot (I_{\text{қ.т.мак}} \cdot W)^2 \cdot \beta \cdot k_{\text{р}} \cdot 10^{-6}, \text{ Н}; \quad (5.25)$$

$$F_{\text{р}} = 0,628 \cdot (82,55 \cdot 5456)^2 \cdot 1,2 \cdot 0,96 \cdot 10^{-6} = 146755,7 \text{ Н}.$$

Сондай – ақ, орамаға осьтік күш $F_{\text{осб}}$ әсер етеді, ол алгебралық түрде екі күштен және $F'_{\text{осб}}$ тұрады. Егер орамада үзіліс болмаса, онда $F'_{\text{осб}} = 0$. Өйткені, есептелген трансформатор үшін реттеу орамдары барлық сыртқы қабаттың биіктігі бойынша орналасады және тиісінше орамада алшақтық болмайды, онда $F'_{\text{осб}} = 0$.

$$F'_{ось} = \frac{F_p \cdot a_{ш}}{2 \cdot H_c}, \text{ Н}; \quad (5.26)$$

$$F'_{ось} = \frac{146755,7 \cdot 3,52}{2 \cdot 46} = 5615, \text{ Н}.$$

Сонда толық осьтік күш тең болады:

$$F_{ось} = F'_{ось} = 5615, \text{ Н}.$$

Орамдардың өзара орналасуын ескере отырып, ие боламыз:

- орамның қысу күші:

$$F_{қыс} = 0.$$

- жармаға әсер ететін күш:

$$F_{ж} = 0.$$

Ораманың механикалық беріктігін бағалау үшін ораманың аралық және тірек оқшауламасы төсемдеріндегі радиалды күш пен қысу кернеуінің әсерінен туындайтын ТК ішкі орамасындағы қысу кернеуін анықтайды.

Радиалды күштен қысу кернеуін анықтау кезінде шартты түрде статикалық деп қарастырылатын ішкі ораманы қысатын күш табылады:

$$F_{қыс.р.} = \frac{F_p}{2 \cdot \pi}, \text{ Н}. \quad (5.27)$$

$$F_{қыс.р.} = \frac{146755,7}{2 \cdot \pi} = 23356,9 \text{ Н}.$$

Орама сымында қысу кезіндегі кернеу:

$$\delta_{қыс} = \frac{F_{қыс.р.}}{W_{ТК} \cdot \Pi_B}, \text{ МПа}; \quad (5.28)$$

$$\delta_{қыс} = \frac{23356,9}{108 \cdot 83,33} = 2,6 \text{ МПа};$$

немесе $\delta_{қыс.р.р.} = 15 \text{ МПа}$ рұқсат етілген кезде

$$\delta_{қыс} = \frac{26,9}{15} = 1,79 \text{ МПа}.$$

ЖК сыртқы орамасындағы үзілу кернеуі кепілдік қоры бар және қуаты 6300 кВ·А дейінгі трансформаторларда есептелмеуі мүмкін. ЖК тірек төсемдеріндегі қысылған кернеу:

$$\delta_{қыс} = \frac{F_{ось}}{n_{төс} \cdot a \cdot b_{төс}}; \quad (5.29)$$

мұндағы $n_{\text{төс}}$ -ораманың айналымындағы төсем саны ($n = 8$);
 a - ораманың радиалды өлшемі, м;
 $b_{\text{төс}}$ - төсемнің ені, м, 0,04-тен 0,06 м-ге дейін қабылданады
 [1].

$$\delta_{\text{қыс}} = \frac{5615}{8 \cdot 2 \cdot 40} = 8,77 \text{ МПа};$$

немесе $\delta_{\text{қыс.р.}} = 20 \text{ МПа}$ рұқсат етілген кезде

$$\delta_{\text{қыс}} = \frac{8,77}{20} \cdot 100 = 43,88\%.$$

Қысқа тұйықталу кезіндегі орамалардың температурасын есептеу кезінде қысқа мерзімді процестің салдарынан орамадан майға жылу беруді есепке алмай, орамада шығарылған барлық жылу оның температурасын жоғарлатып жиналады деп болжауға болады.

Егер орама температурасын есептеу кезінде оның қызуымен сымның меншікті кедергісінің ұлғаюын, сондай-ақ сым металының және оның оқшауламасының жылусыйымдылығын ескеру қажет болса, онда уақыт өзгерісімен орама температурасының өзгеруін есептей отырып, ораманың соңғы температурасын $^{\circ}\text{C}$, t_x , с арқылы, ҚТ пайда болғаннан кейін формула бойынша анықтауға болады (алюминий орамалары үшін) [2]:

$$\vartheta_x = \frac{670 \cdot t_x}{5,5 \cdot \left(\frac{U_x}{J_{\text{ТК}}}\right)^2 - t_x} + \vartheta_H; \quad (5.30)$$

мұндағы ϑ_H –ораманың бастапқы температурасы, 90°C қабылдаймыз.

t_x -қысқа тұйықталудың ұзақтығы, 35 кВ·А номинал кернеулі трансформаторлаор үшін 4 с аз болады.

$$\vartheta_x = \frac{670 \cdot 4}{5,5 \cdot \left(\frac{6,44}{1,49}\right)^2 - 4} + 90 = 117^{\circ}\text{C}.$$

Онда алюминий орамалары үшін рұқсат етілген температурадан $\vartheta_{x.p.} = 200^{\circ}\text{C}$ төмен болады.

200 ° C температураға жету уақыты:

$$\vartheta_{x200} = 0,79 \cdot \left(\frac{U_x}{J_{\text{ТК}}}\right)^2, ^{\circ}\text{C}; \quad (5.31)$$

$$\vartheta_{x200} = 0,79 \cdot \left(\frac{6,44}{1,49}\right)^2 = 14,8 ^{\circ}\text{C}.$$

5.4 Магниттік жүйені есептеу

Нақты магнитті жүйелер құрылымын таңдаймыз—орта стерженде, шеткі стерженде қисық түйсетін үш стерженді. Стержендерді тығыздау рейкалармен және өзекшелермен, қалыңдығы 0,3 мм 3404 маркалы активті болаттан тыс өтетін жарма – тығыздаушы түйреуіштермен жүзеге асырылады.

Пакеттер мен стержень мен жарманың активті қималарының өлшемдері.

Жазық шихталанған магниттік жүйелердің көрші өзекшелерінің осьтерінің арасындағы арақашықтық сыртқы ораманың сыртқы диаметрінің қосындысы мен көрші өзекшелердің сыртқы орамалары арасындағы оқшаулау a_{22} қашықтығына тең, яғни

$$\begin{aligned} A &= D_2'' + a_{22}, \text{ см}; \\ A &= 24,82 + 1 = 25,82 \text{ см}; \end{aligned} \quad (5.32)$$

$A = 26$ см қабылданған.

Болат $d = 0,125$ м сымдар кезінде пакеттер мөлшерін таңдаймыз. Өзек және ярма толық қимасы үшін, кесте [1] деректерді 2 - ге көбейту керек, себебі деректер бір сектор үшін берілді, яғни өзек пен жарманың жарты шеңбер толтыру қимасы.

$a \times b = 120 \times 18; 105 \times 16; 95 \times 6; 85 \times 6; 65 \times 7; 40 \times 6$; $D = 0,125$ м; $n_c = 6$; $a_n = 65$ мм; стержень қимасы = $112,3 \text{ см}^2$; жарма қимасы = $115,3 \text{ см}^2$; бұрыш көлемі = $1,157 \text{ дм}^3$.

Терезе биіктігін анықтаймыз, см:

$$H = H_c + h'_c + h''_c, \text{ см}; \quad (5.33)$$

мұндағы H_c – ЖК орамасының биіктігі;

h'_c - орамадан жоғарғы жармаға дейінгі арақашықтық (анықтамалық деректер бойынша бұрын анықталған мәнге тең);

h''_c - орамадан төменгі жармаға дейінгі арақашықтық (бұрын анықталған мәнге тең, тығыздау сақинасы 45 мм-ге қосылады).

$$H = 46 + 3 + (3 + 4,5) = 56,5 \text{ см.}$$

$H = 57$ см деп қабылдаймыз.

Өзек пен жарманың активті қимасы мынадай формула бойынша анықталады:

$$P = k_a \cdot P_H; \quad (5.34)$$

мұндағы P_Φ – стержень мен жарманың нақты қимасы;

$$P_{H,CT} = 0,01123 \text{ м}^2;$$

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{н.жар}} &= 0,01153 \text{ м}^2; \\ \Pi_{\text{ст}} &= 0,96 \cdot 0,01123 = 0,0108 \text{ м}^2; \end{aligned}$$

Активті болаттың салмағын анықтау

Қиманың көп сатылы түрі кезінде бір бұрыштың болатының салмағы мынадай формула бойынша анықталады:

$$M_{\text{бұр}} = \gamma_{\text{бол}} \cdot k_a \cdot V_{\text{бұр}}, \text{ кг}; \quad (5.35)$$

мұндағы $V_{\text{бұр}}$ – бұрыш көлемі, дм^3 ;

$\gamma_{\text{бол}}$ – электртехникалық болаттың тығыздығы, суықтай басылған болат үшін $\gamma_{\text{бол}} = 7,65 \text{ кг/дм}^3$.

$$M_{\text{бұр}} = 7,65 \cdot 0,96 \cdot 1,157 = 8,5 \approx 9 \text{ кг.}$$

Стерженнің (өзектердің) салмағы мынадай формула бойынша анықталады:

$$M_c = c \cdot \Pi_{\text{н.ст}} \cdot k_a \cdot (H + b_{\text{жар}}) \cdot \gamma_{\text{бол}} \cdot 10^{-3}, \text{ кг}; \quad (5.36)$$

мұндағы c – магнит жүйесі өзекшелерінің саны;

$\Pi_{\text{н.ст}}$ – өзектің көлденең қимасының ауданы, см^2 ;

H – терезе биіктігі, см ;

$b_{\text{жар}}$ – жарманың биіктігі, жармалардың ең үлкен табағының еніне тең, см .

$$M_c = 3 \cdot 112,3 \cdot 0,96 \cdot (57 + 12) \cdot 7,65 \cdot 10^{-3} = 171 \text{ кг.}$$

Үш жақты магнит өткізгіштің жармасының салмағы тең:

$$\begin{aligned} M_{\text{жар}} &= 4 \cdot \Pi_{\text{н.жар}} \cdot k_a \cdot \gamma_{\text{бол}} \cdot 10^{-3} - 4 \cdot M_{\text{бұр}}, \text{ кг}; \\ M_{\text{жар}} &= 4 \cdot 115,3 \cdot 0,96 \cdot 26 \cdot 7,65 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 8,5 = 54 \text{ кг.} \end{aligned} \quad (5.37)$$

Үш жақты магнитөткізгіштің болат салмағы тең:

$$\begin{aligned} M_{\text{бол}} &= M_c \cdot M_{\text{жар}} + 6 \cdot M_{\text{бұр}}, \text{ кг}; \\ M_{\text{бол}} &= 171 \cdot 54 + 6 \cdot 9 = 279, \text{ кг.} \end{aligned} \quad (5.38)$$

Бос жүрістің шығыны мен тогы

Магнитті жүйе болатының шығынын анықтау үшін өзек пен жармның магнитті индукциясын нақтылау қажет:

$$B_c = 1,55 \text{ Тл};$$

$$V_{\text{жар}} = V_c \cdot \frac{P_{\text{н.ст}}}{P_{\text{н.жар}}}, \text{Тл}; \quad (5.39)$$

$$V_{\text{жар}} = 1,55 \cdot \frac{112,3}{115,3} = 1,51 \text{ Тл.}$$

Бұрыштар индукциясының орташа мәнін стержендегі индукцияға тең деп $V_{\text{бұр}} = 1,55$, Тл.

Анықтамалық деректер бойынша [1] тікелей және қисық түйісетін бұрыштардың шығындарының ұлғаю коэффициенті мен шығынның меншікті мәнін табамыз.

$$P_c = 1,150 \frac{\text{Вт}}{\text{кг}}; P_{\text{жар}} = 1,150 \frac{\text{Вт}}{\text{кг}}; k_k = 1,8.$$

Бос жүрістің шығынын анықтаймыз:

$$P_{\text{б.ж.}} = k_1 \cdot \left(M_c \cdot p_c + M_{\text{жар}} \cdot p_{\text{жар}} + M_{\gamma} \cdot k_{\text{пр}} \cdot n_T \cdot \frac{P_{\text{жар}} + P_c}{2} + M_{\gamma} \cdot k_1 \cdot n_k \cdot \frac{P_{\text{жар}} + P_c}{2} \right), \text{Вт}; \quad (5.40)$$

Мұндағы n_T және n_k – сәйкесінше тіке және қисық түйісулердің бұрыштар саны;

k_1 - магниттік жүйедегі қосымша шығындарды ескеретін коэффициент, ол табақтарды күйдірген жағдайда 1,1 тең қабылдауға болады. Бұрыштардағы шығындарды арттыру коэффициенті бұрыш индукциясының орташа мәні бойынша анықталады немесе рұқсат етілген шығын мәндерінде 660 Вт құрайды.

$$\frac{660 - 634}{660} \cdot 100\% = 3,9\%.$$

Қисық түйісудегі орташа индукция:

$$V_{\text{қ.т.}} = \frac{V_c + V_{\text{жар}}}{2 \cdot \sqrt{2}}, \text{Тл}; \quad (5.41)$$

$$V_{\text{қ.т.}} = \frac{1,55 + 1,51}{2 \cdot \sqrt{2}} = 1,08 \text{ Тл.}$$

Анықтамалық мәліметтерге сәйкес [2] өзектердің, мойынтіректердің, тіке және қисық түйістердің магниттелетін күштерінің мәндерін, сондай-ақ тік және қисық қосылыстары бар бұрыштар үшін магниттейтін қуаттың үлкейту коэффициенттерін табамыз:

$$q_c = 1,525 \text{В} \cdot \frac{\text{А}}{\text{кг}}; q_{\text{мой}} = 1,525 \text{В} \cdot \frac{\text{А}}{\text{кг}}; q_{\text{қ.т.}} = 0,190 \text{В} \cdot \frac{\text{А}}{\text{см}^2};$$

$$q_{\text{зс}} = 1,920 \text{В} \cdot \frac{\text{А}}{\text{см}^2}; q_{\text{змой}} = 1,920 \cdot \frac{\text{А}}{\text{см}^2}; k'_T = 15,1; k'_k = 3,01.$$

Жалпы магниттелген қуат, В · А:

$$Q_x = k'_2 \cdot \left(M_c \cdot q_c + M_{\text{мой}} \cdot q_{\text{мой}} + M_\gamma \frac{q_c + q_{\text{мой}}}{2} \cdot (n_T \cdot k'_T + n_K \cdot k'_K) + n_{a.c} \cdot q_{a.c} \cdot \Pi_{a.c} + \Pi_{a.k.} + n_{a.k.} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\Pi_{a.k.} + \Pi_{a.мой.}}{2} \cdot q_{a.k.} \right); \quad (6.4)$$

$$Q_x = 1,65 \cdot \left(174,5 \cdot 1,525 + 105,31 \cdot 1,525 + 8,5 \frac{1,525 + 1,525}{2} \cdot (2 \cdot 15,1 + 4 \cdot 3,01) + 2 \cdot 1,920 \cdot 115,3 + 1,920 + 112,3 + 4 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{112,3 + 115,3}{2} \cdot 1,190 \right) = 3795,63 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Бос жүріс тогының салыстырмалы мәні, %:

$$i_c = \frac{Q_x}{10 \cdot S}, \quad \% \quad (5.46)$$

$$i_c = \frac{3795,63}{10 \cdot 160} = 2,37 \, \%.$$

Рұқсат етілген $i_{c.p.} = 2,4\%$ мәннен $\frac{2,4 - 2,37}{2,4} \cdot 100\% = 1,25 \, \%$ айырмашылықта.

Бос жүріс тогының активті құраушыларының салыстырмалы мәні, %:

$$i_{c.a} = \frac{P_{б.т.}}{10 \cdot S}, \quad \% \quad (5.47)$$

$$i_{c.a} = \frac{634}{10 \cdot 160} = 0,396.$$

Бос жүріс тогының реактивті құраушыларының салыстырмалы мәні, %:

$$i_{c.p.} = \sqrt{i_c^2 - i_{c.a}^2}, \quad \% \quad (5.48)$$

номиналды жүктеме кезінде пайдалы әсер коэффициентін есептейміз.
 $\cos \varphi = 1$ рұқсат етілген деп санаймыз.

$$\eta = \frac{S \cdot 100}{S + P_k + P_x};$$

$$\eta = \frac{160 \cdot 100}{160 + 2,672 + 0,634} = 97,97\%.$$

6 Паспорт мәліметімен есеп параметрлерін салыстыру

6.1 кесте - Есептелген параметрлерді трансформатордың төлқұжат деректерімен салыстыру

| Параметрлер | Паспорттық мәліметтер | Есептік параметрлер |
|-----------------|-----------------------|---------------------|
| $U_k, \%$ | 6,5 | 6,44 |
| $i_0, \%$ | 2,4 | 2,37 |
| $P_{б.ж.}, кВт$ | 0,66 | 0,634 |
| $P_{к.т.}, кВт$ | 2,65 | 2,672 |

Есептелген параметрлерді трансформатордың паспорттық деректерімен салыстыру б.1 кестеде келтірілген.

Бұл жерде үш фазалы екі орамалы майлы күштік трансформаторы есептелді. Трансформатордың негізгі өлшемдері, негізгі электр шамалары, бос жүріс және қысқа тұйықталу параметрлері анықталды, жоғары және төменгі кернеудің орамдары есептелді. Есептеудің нәтижесінде есептелген трансформатордың паспорттық мәліметтеріне жақын мәндер алынды.

7 Өміртіршілік қауіпсіздігі бөлімі

Қосалқы станцияның негізгі элементі күштік трансформатор болып табылады. Оның жұмыс режимін, майдың деңгейі мен температурасын, газ релесін бақылау үшін, сондай-ақ май сынамаларын алу үшін ыңғайлы және қауіпсіз жағдайлар жасалуы тиіс. Сондықтан трансформатор орнатылған үй-жайға белгілі бір талаптар қойылады.

Қабырғалары, есік және желдеткіш ойықтары, үй-жайлардың жабындары сылануы тиіс, ал едендеріне цемент құйылуы тиіс. Сым арналарын жиектелумен, сым жүргізуге арналған құрылымдармен жабдықталады және үстінен плиталармен жабылады. Табиғи салқындатылатын трансформаторға арналған үй-жайлар трансформатордың номинал жүктемесі кезінде кіріс және шығатын ауа температураларының айырмасы $15^{\circ}C$ аспайтын ауа алмасуы бар үздіксіз сорғыш желдеткішімен жабдықталады. Үй-жайдың қабырғалары мен төбелері әктеледі, ал металл құрылымдары (жалюздер, торлар, жерге қосу шиналары және т.б.) бояумен немесе лакпен жабылады. Трансформатор астындағы май жинақтайтын шұңқырға қиыршық төгеді. Іргетастарда швеллерден жасалған бағыттаушы құрылымдар орнатылады.

Зиянды өндірістік фактор (ЗӨФ) деп белгілі бір жағдайларда жұмыс істеушіге әсер еткенде ауруға немесе еңбекке қабілеттіліктің төмендеуіне әкелетін өндірістік фактор атайды. Бұл бөлімде келесі зиянды факторлар қарастырылған: микроклиматтың қолайсыз жағдайлары; шудың жоғары деңгейі; дiрiлдiң жоғары деңгейi; жарықтандырудың жеткiлiксiздiгi; электромагниттік өріс.

7.1 Өндірістік ортаның қауіпті факторларын талдау

Микроклиматтың қолайсыз жағдайлары. Жұмыс орташа ауырлықтағы жұмысқа жатады (II а санатына), жұмыс орындарындағы микроклиматтық жағдайлар 7.1 кестеде көрсетілген талаптарға сәйкес болуы тиіс [24].

7.1 кесте – Өндірістік үй-жайлардың жұмыс орындарындағы микроклимат көрсеткіштерінің рұқсат етілген шамалары

| Жыл мезгілі | Энергияны тұтыну деңгейі бойынша жұмыс санаты, Вт | Ауа температурасы, °С | | Беттердің температурасы, °С | Ауаның салыстырмалы ылғалдылығы, % | Ауаның қозғалыс жылдамдығы, м/с | |
|-------------|---------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| | | Оңтайлы шамалардан төмен аралық | Оңтайлы шамалардан жоғары аралық | | | Оңтайлы шамаларда н төмен ауа температурасы үшін | диапазона Оңтайлы шамаларда н жоғары ауа температурасы үшін |
| Суық | IIa (175 - 232) | 17,0 18,9 | -21,1 23,0 | 16,0- 24,0 | 15 - 75 | 0,1 | 0,3 |
| Жылы | IIa (175 - 232) | 18,0 19,9 | -22,1 27,0 | 17,0- 28,0 | 15 - 75 | 0,1 | 0,4 |

Микроклиматтың қолайсыз жағдайлары жылу балансының бұзылуына әкеледі. Температураның жоғарылауы, адам жылу бөлінісі жылу берілгеннен асып, ағзаның қызуы болуы мүмкін. Жағдайы нашарлайды және жұмысқа қабілеттілік төмендейді. Ауаның жоғары температурасы ағзада жиі ауыр ауруларды тудырады, көңіл бөлу әлсірейді, қозғалысы нашарлайды, бұл жаракаттанудың өсуіне, жұмыс қабілеттілігінің және еңбек өнімділігінің төмендеуіне себеп болуы мүмкін.

Микроклиматтың рұқсат етілген көрсеткіштерін қамтамасыз ету кезінде жұмыс аймағын қоршайтын құрылыстың ішкі беттерінің температурасы (қабырғалар, төбелер, едендер) ауа температурасының рұқсат етілген шамаларының шегінен аспауы тиіс.

Жылдың суық кезеңінде жұмыс орнын терезе ойықтарының әйнектелген беттерінен радиациялық салқындатудан, жылы кезеңде тікелей күн сәулесінің түсуінен қорғау құралдарын қолдану қажет. Өндірістік үй-жай астыңғы жер қабатында орналасады және терезе ойықтары жоқ.

Жылдың суық кезеңінде жұмыс орнын терезе ойықтарының әйнектелген беттерінен радиациялық салқындатудан, жылы кезеңде тікелей күн сәулесінің түсуінен қорғау құралдарын қолдану қажет. Өндірістік үй-жай цокольдық кабатта орналасады және терезе ойықтары жоқ. Жұмыс істеушілердің жылу

сәулеленуінің қарқындылығы жабдықтың, жарық беру аспаптарының қыздырылған бетінен үстіңгі қабаттың сәулелену шамасы 25% - дан 50% - ға дейін болғанда 70Вт/м² аспауы тиіс [25]. Жұмыс аймағындағы температура суық кезеңде жылытумен және жылы кезеңде желдету жүйесімен ұсталады.

Тұрақты жұмыс жасайтын жерлерде жұмыс істеушілердің жылу сәулеленуінің қарқындылығы жарық беру аспаптарының, жабдықтың, қыздырылған бетінен үстіңгі қабаттың сәулелену шамасы 25% - дан 50% - дейін болғанда 70Вт/м² аспауы тиіс.

Жұмыс аймағындағы температура суық кезеңде жылытумен және жылы кезеңде желдету жүйесімен ұсталады.

Электромагниттік өріс. Қуат трансформаторлары, сымдар сияқты энергиямен жабдықтау желілерінің тарату құрылғылары өнеркәсіптік жиіліктің электромагниттік өрісінің көзі болып табылады. Электр өрісі кернеулігінің шекті рұқсат етілген деңгейі 50 Гц жұмыс орнындағы барлық ауысым бойы 5 кВ/м тең болып белгіленеді.

Тұрғын үй-жайлардағы 50 Гц өнеркәсіптік жиіліктегі электр өрісінің кернеулігі (қабырғадан және терезелерден 0,2 м қашықтықта және еденнен 0,5 - 1,8 м биіктікте) 0,5 кВ/м аспауы тиіс.

Трансформатор жасайтын электр өрісі тірі организмдерге қолайсыз әсер етеді. Жерден оқшауланған көлемді денені жерге және жоғары вольтты желілердің сымдарына өткізгенде. Жерге сыйымдылық аз болған сайын (мысалы, аяқ киімнің табаны неғұрлым жұқа болса), соғұрлым киловольтты құрайтын және тіпті 10 кВ-ға жетуі мүмкін пайда болған потенциал көп. Бұл жағдайда адам арқылы токтың максимум импульсі 100-200 мВ-ге жетуі мүмкін. Мұндай ток импульстері адам денсаулығы үшін қауіпсіз, бірақ күйіп қалу және еріксіз қозғалу салдарынан екінші жарақатқа әкелуі мүмкін. Жұмыс орнындағы магнит құрылғыларымен жұмыс істеу кезіндегі кернеулігі 8 кА/м аспауы тиіс.

МемСт 12.1.002-84 сәйкес электр өрісімен сәулелену кернеуліктің шамасы бойынша да, әсер ету ұзақтығы бойынша да белгіленген.

7.2 кесте– Электр өрісі кернеулігінің рұқсат етілген деңгейлері және қорғаныс құралдарынсыз жұмыс істеушілердің болу ұзақтығы

| Электр өрісі кернеулігі, кВ/м | Электр өрісінде бір тәулік ішінде адамның болуының рұқсат етілген ұзақтығы, мин. |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 5 аз | Шектеусіз |
| 5...10 | 180 көп емес |
| 10...15 | 90 көп емес |
| 15...20 | 10 көп емес |
| 20...25 | 5 көп емес |

Жұмыс орнында электрмагниттік өріс қуатының әлсіреуіне сәулелену көзі мен жұмыс орны арасындағы қашықтықты арттыру, көздер мен жұмыс орны арасында шағылыстыратын немесе жұтатын экрандарды орнату, аппараттар мен құрылғылардың ток өткізгіш элементтерін қаптаманың ферромагниттік қабықшаларына орналастыру жолымен қол жеткізіледі. Экрандарды орнату ең тиімді, сәуле шығару көзін немесе жұмыс орнын экрандайды.

Электр тогымен зақымдану. Кернеудің болуы күштік трансформаторларды пайдалану кезінде негізгі қауіпті фактор болып табылады, себебі адамның электр тізбегіне қосылу және токпен зақымдану қаупі бар. Адамның электр тогымен зақымдануы келесі жағдайларда мүмкін:

- оқшаулаусыз немесе зақымдалған оқшаулауы бар кернеудегі ток өткізгіш бөліктерге қауіпті қашықтыққа жанасу немесе жақындау;
- оқшаулаудың бұзылуы салдарынан кернеу түскен қуатты трансформатордың корпусына жанасу;
- жерге тұйықталу тогының өту аймағында болған кезде қадамдық кернеуге түсу.

Электр қауіпсіздігі қамтамасыз етілуі тиіс:

- Электр қондырғыларының құрылысымен;
- техникалық тәсілдермен және қорғау құралдарымен;
- ұйымдастыру және техникалық іс-шаралар.

Электр қондырғылары мен олардың бөліктері жұмыс жасаушыларға электр тогы мен электрмагниттік өрістердің қауіпті және зиянды әсеріне ұшырамайтындай және электр қауіпсіздігі талаптарына сай болуы тиіс. Электр қондырғысының қалыпты (авариялық емес) режимі кезінде адам денесі арқылы өтетін жанасу кернеуі мен токтар 5.2-кестеде көрсетілген мәндерден аспауы тиіс.

7.3 кесте – Адам денесі арқылы өтетін токтар және жанасу кернеуі

| Ток түрі | $U, В$ | $I, мА$ |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------|
| | Көп емес | |
| Айнымалы, 50 Гц | 2,0 | 0,3 |
| Айнымалы, 400 Гц | 3,0 | 0,4 |
| Тұрақты | 8,0 | 1,0 |
| Ескертпе: | | |
| 1 ток және жанасу кернеуі тәулігіне 10 минуттан артық емес әсер ету ұзақтығы кезінде келтірілген және сезім реакциясына қарай орнатылған. | | |
| 2 жоғары температура (25°C-тан жоғары) және ылғалдылық (салыстырмалы ылғалдылығы 75% - дан жоғары) жағдайларында жұмыс істейтін тұлғалар үшін жанасу кернеуі мен токтар үш есе азайтылуы тиіс. | | |

Электр тогының зақымдануынан қорғауды қамтамасыз ету үшін оқшаулаудың зақымдануы нәтижесінде кернеу астында болуы мүмкін металл

тоқ өткізбейтін бөліктерге жанасу кезінде мынадай тәсілдер қолданылады: қорғаныстық жерге тұйықтау; нөлдеу.

7.4 кесте – Кернеудің шекті мәндері

| Үй-жай санаты | ЭҚКЕ (6-басылым) п. 1.7.33 | Жаңа редакция жобасының ЭҚКЕ |
|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Жоғары емес қауіптілік | ≥ 380 В айн. ток ≥ 440 В тұр. ток | > 50 В айн. ток > 120 В тұр. ток |
| Жоғары қауіптілік, өте қауіпті және сыртқы электр құрылғылары | > 42 В айн. ток > 110 В тұр. ток | > 25 В айн. ток > 60 В тұр. ток |

Электр тогының зақымдануы бойынша цех қауіптілігі жоғары емес үй-жайларға жатады. 7.4-кестеде кернеудің шекті мәндері келтірілген, ол асып кеткен кезде үй-жайдың санатына байланысты жанама жанасудан қорғауды орындау талап етіледі.

Кесте бойынша жаңа редакция ЭҚКЕ электр қауіпсіздігі шарттарын қамтамасыз ету бойынша анағұрлым жоғары талаптар қойылады.

Жарықтың жеткіліксіздігі. Жарықтану дәрежесіне көз денсаулығы мен адамның жұмысқа қабілеттілігі ғана емес, сонымен қатар оның физикалық және психоэмоционалдық жағдайы да тікелей байланысты. Әр түрлі мақсаттағы үй-жайларда жарықтандыру бойынша талаптар әр түрлі болуы тиіс.

Жоғары діріл деңгейі. Жабдықтар жұмыс істеп тұрған кезде цехта діріл пайда болады және әрбір қызметкер әртүрлі дәрежеде оған ұшырайды.

7.5 кесте – Өндірістік үй-жайдың жарықтандыру нормалары

| | Көру жұмысының сипаттамасы | Ең кіші өлшемі немесе ажырату аймағы | Көру жұмысының разряды | Көру жұмысының кіші разряды | Түсі бар айияқтың сәйкестілігі | Түс сипаттамасы | Жарықтану, лк |
|--------------------|----------------------------|--------------------------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------|
| Цехтағы жұмыс орны | Орташа нақтылықпен | 0.5 - 1.0 жоғары | <u>IV</u> | г | орташа, үлкен | ашық, орташа | 200 |

Трансформатордың активті бөлігінің дірілі магнитті жүйедегі магнитті және электромагниттік күштермен және орамдардағы динамикалық күштермен байланысты. Трансформаторларда дірілдің магнитострикциялық құраушысы басым.

Магнитті күштердің пайда болуы түйіспелі қосылыстарда неғұрлым айқын. Шихталанған магнитті жүйелерде магнит ағыны болат табақтарының

тығыз түйіспесі есебінен пайда болатын ауа саңылауының табағынан басқа табақшаларға өтуге мәжбүр. Бұл ретте табақтардың иілгіш тербелісіне әкелетін көлденең күштер пайда болады. Саңылаулар мен көрші учаскелердегі болат табақтары қанық болғандықтан, мұнда магнит стрикциялық күштер де артады.

Трансформатордың діріл деңгейі мен дыбысы өзекшенің қимасы бойынша магнит ағындарының таралу сипатына байланысты. Шихталған рамалық магнит жүйелерінің ішкі бұрыштарында индукция тербелістері мен шудың жоғарылауының алғышарты болып табылатын номиналдан екі еселік мәнге жетуі мүмкін.

7.6 кесте – Кәсіпорындардың өндірістік үй-жайларындағы дірілдің рұқсат етілген шамасы

| Діріл тербелісінің амплитудасы, мм | Дірілдің жиілігі, Гц | Тербелетін қозғалыстарды і жиілігі, см/с | Тербелетін қозғалыстарды үдету, см/с ² |
|------------------------------------|----------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 0,6-0,4 | До 3 | 1,12-0,76 | 22-14 |
| 0,4-0,15 | 3-5 | 0,76-0,46 | 14-15 |
| 0,15-0,05 | 5-8 | 0,46-0,25 | 15-13 |
| 0,05-0,03 | 8-15 | 0,25-0,28 | 13-27 |
| 0,03-0,009 | 15-30 | 0,28-0,17 | 27-32 |
| 0,009-0,007 | 30-50 | 0,17-0,22 | 32-70 |
| 0,007-0,005 | 50-75 | 0,22-0,23 | 70-112 |
| 0,005-0,003 | 75-100 | 0,23-0,19 | 112-120 |
| * 1,5-2 | 45-55 | 1,5-2,5 | 25-40 |

* Дірілдің осындай параметрлерінде тіпті өте берік құрылымдарлары да өзінің толық бұзылуынан дейін 30 минутқа шыдай алады.

Өндірістік дірілдің адамға әсері адам ағзасының физиологиялық және функционалдық жағдайының өзгеруін тудырады. Осының бәрі еңбек өнімділігінің төмендеуіне, сондай-ақ діріл ауруының пайда болуына әкеледі.

7.2 Өндірістік фактор саналатын шуды есептеу

Трансформаторлардан шудың әсерін бағалау. Трансформатор шуын азайту әдістері

Шудың адам денсаулығына зиян екені белгілі, әсіресе адам демалып жатқан кезде, шудың деңгейі қалыптыдан сәл жоғары болса адамға зиянды әсері жоғары. Егер трансформаторлар белгілі бір мұражайда болмаса, түнгі шуылы адам ағзасына өте зиянды. Шу-бұл серпімді ортадағы (қатты, сұйық, газ тәрізді) бөлшектердің тербеліс қозғалысы нәтижесінде пайда болатын әр түрлі жиіліктегі және қарқындылық (күш) дыбыстарының жиынтығы.

Шу өндірістегі ең көп таралған қолайсыз факторлардың бірі болып табылады. Қарқынды шудың әсерінен тек есту анализаторы ғана емес, сонымен қатар орталық жүйке, жүрек-қантамыр және басқа да физиологиялық жүйелердің функциялары бұзылады. Еңбек өнімділігінің төмендеуіне, ақаудың өсуіне және өндірістік жарақат алу ықтималдығының артуына әкеледі.

Адам денсаулығына зиянды әсер ету: шу есту аппаратын зақымдауы және стресс, жоғары қысым, шаршау және т.б. тудыруы мүмкін.

Есту қабілетінің бұзылуы көбінесе тиннитус (кұлақтағы дыбыс немесе шу) сияқты аурумен жүреді. Жиі бұл ауру физикалық адамдар өте шаршайды.

Шуылдың адамға физиологиялық әсері көптеген факторларға байланысты: шуылдың дыбыстық қысымының (қарқындылығы) деңгейіне, оның жиілік құрамына, әсер ету ұзақтығына және адамның жеке ерекшеліктеріне байланысты.

Жұмыс орындарында шуды нормалаудың негізгі мақсаты-жұмыс күні ішінде және көптеген жылдар ішінде күн сайын жүйелі әсер ету кезінде адам организмінің елеулі ауруларын тудыра алмайтын және оның қалыпты еңбек қызметіне кедергі келтірмейтін шудың ғылыми негізделген шекті жол берілетін нормаларын белгілеу. Санитарлық нормалар болып табылады әзірлеу кезінде көптеген техникалық іс-шаралар қарсы күрес жөніндегі шу және енгізеді нақты үлес сауықтыру жұмыс ортаны, денсаулығын және жұмысқа қабілеттілігін еңбекші.

Соңғы жылдары трансформаторлар шуын азайту бүкіл дүние жүзінде алдыңғы қатарлы мәселе. Трансформаторлар шуын азайтуға көптеген шаралар керек. Алдымен трансформатордағы шудың көзін, себебін анықтап, сонан соң, шуды азайту жолдарын қарастыру керек.

Трансформатор шуының ең үлкен себебі, магнитстанция құбылысы. Басқа шулар трансформаторда салқындатуға қолданылатын вентиляторлардан, қосу аппараттарынан пайда болады.

Трансформатордың өзінен шығаратын шу, көп жағдайда, электрмагниттік жүктемелерге және трансформатор көлеміне байланысты. Шудың ең үлкен себебі, трансформатор өзекшесіндегі дірілге, яғни магнитостанция құбылысына сай, электротехникалық болат қаңылтырының құрамына, оның индукциялылығына байланысты. Бірақ трансформаторлардың негізгі шу, магниттік шу, басқа шуларды трансформаторды есептеген кезде ескермесе де болады.

Сынақ кернеулері 350 кВ-тен кем трансформаторлардағы шу деңгейін анықтау төмендегідей формуламен анықталады:

$$L = 10lgS + 60. \quad (7.1)$$

Жоғарыда көрсетілген формула көптеген зерттеулердің, статикалық өлшеулердің негізінен құрылған және жаңа трансформаторлардың шу

деңгейін анықтауға және шу деңгейін төмендетуге арналған әдейі шараларды қолдануға көмектеседі.

Трансформатор шуын талдау әдістері өте қиын, ал шуды анықтау дыбыстық қысым деңгейімен анықталады. Соңғы кезде трансформатор шуын дыбыс қуаты деңгейі арқылы да анықтау қарастырылуда, бұл әдіс шу көзін анықтауға, шудың жиілікте тәуелділігін кез-келген кеңістікте, қашықтықта анықтауға мүмкіндік береді. Трансформатор шуы жан-жақтан жабылған камерада анықталады. Бірақ бұл әдіс экономикалық түрде қарағанда тиімсіз болып табылады.

Соңғы жылдары трансформатор шуын есептеу үшін осыған арналған қозғалатын қабырғаларды пайдаланылады. Оның ауданы 4×4 м. Өлшеу кезінде діріл трансформатордан еденге беріледі, ал шу көзі акустикалық шағылысатын беттен 3 метрден кем болмау керек.

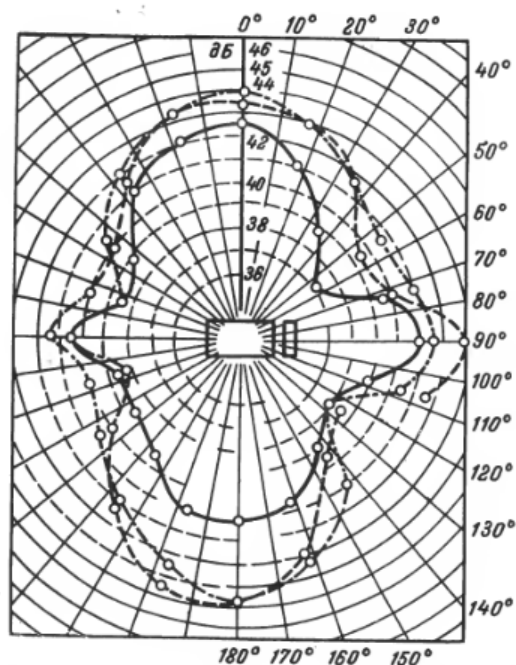
Трансформатордың негізгі шу шығаратын беті тікелей беті болып табылады. Микрофон арқылы өлшеу нүктелерінің арақашықтығы 0,9 м аспау керек, ал өлшеу нүктелері 4 кем болмау керек. Егер, трансформатормен суытылса, онда шу деңгейін бір рет желдеткіш жұмыс істегенде, екінші рет желдеткіш тоқтап тұрғанда жүргізу керек.

Трансформатор шу барлық өлшенген мәндердің орта мәні болып есептеледі. Жалпы трансформатор шуы, оның деңгейін төмендету әлі күнге дейін маңызды болып келеді. Трансформатор шуының негізгі бағыты тікелей қабылғаларынан шығады. Бағытталу диаграммалары әдебиетте келтірілген және 1.18 суретте көрсетілген.

Егер шу деңгейі белгілі мөршерден асса, онда оны азайту үшін шаралар қолдану керек.

Трансформаторларды цехтарда, тұрғын үйлерде орнатқанда, шудың адамға жаман әсері аз болуға тиіс. Өйткені, трансформаторлар тұрақты түрде шу шығарып тұрады. NEMA нормативі бойынша қуаты 500 кВА трансформатор терезесі бар жабық камерада шуы шектелген деңгейде болу үшін 12 метрден жақын, ал қуаты 60 МВА трансформатор үшін 200 метрден жақын орналаспауы қажет. Тұрғын үйлер жанында орналасқан трансформатордың түнгі шу деңгейі 25 дБ аспауы қажет.

Шу деңгейін азайту үшін оның көзін азайту керек немесе трансформатор тұрған камераны шу болатын материалдармен қаптау керек.



7.1 сурет – Қуаты 160 кВА, 5300/230 В үш трансформатордың шу бағыты диаграммасы

Магнитостринция құбылысынан пайда болған шуды азайтудың бір жолы бар, ол үшін трансформатор болатындағы индукцияны 13,5 – 0,95 дейін азайту керек, бірақ бұл кезде трансформатор бағасы кем дегенде 20% қымбаттайды. Сонымен қатар, трансформаторға берілген кернеу қатар бүкпесінде (гармоника) азайту қажет. Ал трансформатордағы болаттың да қылңдығы бірдей болмаса, онда да шу көбейеді және оларды құрастырғанда қатты күшпен тарту, бекіту қажет.

Трансформатордың шуын басудың ең арзан және тиімді әдісі дыбыс жоятын материалдармен қаптау және тағы бір әдісі, трансформаторды толықтай жабық камерамен қоршау. Мұндай камералар шуды 30-40 дБ дейін төмендетеді. Осы әдістердің барлығын технико-экономикалық есептерден кейін керегін таңдап жасаған дұрыс.

7.7 кесте - Трансформатордың паспорттық деректері ТМ - 160/35

| Трансформатордың түрі | Орамдарды қосу сұлбасы | U_k , % | I_0 , % | Шығындар, кВ·А | | Салмағы т | | Өлшемдері, мм | | |
|-----------------------|------------------------|-----------|-----------|----------------|----------|-----------|-------|---------------|------|-----------|
| | | | | P_{xx} | $P_{кз}$ | толық | май | биіктік | ені | Қалыңдығы |
| ТМ – 160/35 | Y-Δ-11 | 6,5 | 2,4 | 0,66 | 2,65 | 1,700 | 0,575 | 2260 | 1400 | 1000 |

Трансформатордың қосалқы станция мысалында шуды есептеу

Трансформаторлық қосалқы станция (ТҚС) екі трансформаторлардан тұрады, сондықтан ТҚС шуы тек екі трансформатордың жалюздік торларынан (т.ж.) ғана ең жақын есептік нүктесіне ЕН1 өтеді. Басқа ЕН шу тек екі трансформатордың шуымен анықталады, өйткені басқаларының екі жалюзиялық торлары әрдайым ТҚС корпусымен қорғалады.

"ТМГ-250" екі трансформаторларының шуы «А» қасбеті бойынша жалюздік торлар арқылы іргелес аумаққа өтеді. Осы қасбетте екі трансформатор үшін 4 жалюздік тор орналасқан, ауданы $0,9 \times 0,6 \text{ м}^2$, әрқайсысы (4 ж. т. — жоғарғы қатар.)

Есепте ж.т. орнатылған ашық ойықтың ауданын 50% - ға жабатыны ескерілді.

Есептеу нүктелеріндегі желдету жүйелерінен дыбыс қысымының деңгейі келесі өрнек бойынша анықталады:

$$L_p = L_w - N \cdot \lg(r) + 10 \cdot \lg(\Phi) - \frac{\beta_a r}{1000} - 10 \lg(\Omega). \quad (7.2)$$

мұндағы L_w — шу көзінің дБ-дегі дыбыстық қуаттың деңгейі;

N - шу көзінің ұзақтылығын ескеретін көбейткіш,

-20 - бір шу көзі үшін;

-15 - ұзақ шу көзі үшін қабылданған, бұл есептеуде желдеткіш жүйелердің және топтық көзге біріктірілген желдету жүйелерінің ағынды торлары.

Φ - желдету жүйелерінің лақтырыс келтеқұбырлары мен чиллерлер үшін (сұйықтықты салқындатуға арналған аппарат) "1" - ге тең және желдету жүйелерінің барлық сору торлары үшін 3,14-ке тең болатын шу көзінің бағытталу факторы (мұндай көздердің бағытталу осі сұлбасында бағыттамамен көрсетілген).

r - шудың көзінен есептік нүктеге дейінгі қашықтық (метр);

W - дыбыс шағылуының кеңістік бұрышы:

- p -беттерге жақын орналасқан желдеткіш жүйелер үшін, сонымен қатар ТҚП жалюздік торлардың төменгі қатары үшін;

- $2p$ - желдеткіш шахта мен ағынды торлар үшін қабылданған;

β_a — км-ге дБ атмосферадағы дыбыстың өшуі, ол 50 м аз қашықтықта ескерілмейді. Бірнеше шу көздері болған кезде дыбыс деңгейі қосылады;

$$L_{\text{қос}} = 10 \cdot \lg(\sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_i}), \quad (7.3)$$

мұндағы L_i — шу көзінің i -ші дыбыстық деңгейі;

n — шу көзінің жалпы саны. Жобаланатын объектінің үй-жайларындағы дыбыс қысымының октавалық деңгейлері бір көз шуының жұмысы кезінде мына қатынаспен анықталады:

$$L_{p \text{ үй-жай}} = L_w + 10 \cdot \lg \left(\frac{\chi^\Phi}{\Omega r^2} + \frac{4}{k_B} \right). \quad (7.4)$$

мұндағы L_w — шу көзінің дБ-дегі дыбыстық қуаттың октавалық деңгейі;
 Φ — шу көзінің бағытталу факторы, өлшемсіз, ол барлық сипатталған шу көздері үшін бірыңғай сәулеленумен 1 тең қабылданады;

r — шудың көзінен есептік нүктеге дейінгі қашықтық (метр);

W — дыбыс шағылуының кеңістік бұрышы;

c — шағын көздер мен таңдалған ЕН үшін жақын алаңның әсерін ескеретін коэффициент, 1-ге тең;

k — дыбыс өрісінің диффузиялылығының бұзылуын ескеретін коэффициент, сипатталған үй-жайлар үшін жеткілікті көлемде және аз дыбыс жұтумен тең деп қабылданады.

$B = \frac{S_\Sigma \alpha}{1 - \alpha}$ — үй-жайдың акустикалық тұрақтысы;

S_Σ — қорғайтын құрылымның қосынды ауданы;

α — дыбысты жұтатын орташа коэффициент.

Аумаққа жалюзиялық тор арқылы өткен шудың дыбыстық қуатының деңгейі келесі формула бойынша анықталады:

$$L_w^{pp} = L_p - 10 \lg B + 10 \lg S_{ж} - R. \quad (7.5)$$

L_w — трансформатордың қуаттың дыбыстық деңгейі, дБ;

$B_{ш}$ — шу көзімен үй-жайлардың дыбыс жұту тұрақтысы, м²;

7.8 кесте - Дыбыс жұту коэффициентінің мәндері

| Параметр | Орта геометриялық жиілігімен октавалық жолақтарда дыбыс жұту коэффициентінің мәндері | | | | | | | |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| α | 0,07 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |

$$B = \frac{\alpha_{op} S_{кор}}{1 - \alpha_{op}}, \quad (7.6)$$

α_i — қаптау элементтерінің дыбыс жұту коэффициенті;

$S_{кор}$ — үй-жайларды қоршайтын жоғары беттердің ауданының қосындысы, м²;

$S_{ж}$ — жалюздік торлардың ауданы, сол арқылы шу аймаққа кіреді, м²;

$R = 0$ жалюздік торлардың оқшауламасы, дБ.

ТҚС қуат бойынша қорғанысты күшейту (ҚҚК) торының есебі келесі кестеде келтірілген.

$$S_{кор} = 2(ab + bh + ah). \quad (7.7)$$

$$S_{ж.т.} = a \cdot b \cdot n; \quad (7.8)$$

$$S_{ж.т.} = a \cdot b \cdot n; \quad (7.9)$$

$$L_{p \text{ тұр.үй}} = L_p - R_{аш.тер.} \quad (7.10)$$

ЕН1 есептік нүктесіндегі ТҚС шудың деңгейін есептеу 7.9 кестеде көрсетілген. («А» қасбеті үшін. Сол жерде келтірілген ЕН1-дегі дыбыс қысымының (ДҚЛ) деңгейінің қосынды мәндері, оларды 35 дБА түнге арналған нормативтік мәндермен салыстырылды, олардан асып кетпейді.

Жоғарыдағы есептеулерді жинақтай келсек, дыбыстық қысым деңгейі есептеу нүктеде рұқсат етілетін шекті деңгейге (РШД) қарағанда аз. Өндірістік ортаның қауіпті факторларын талдау жүргізілді. Микроклиматтың қолайсыз жағдайлары, шудың жоғары деңгейі, дірілдің жоғары деңгейі, жарықтандырудың жеткіліксіздігі, электрмагниттік өрістың адам денсаулығына қалай әсер ететіндігі жайлы қарастырдық. Өндірістік үй-жайлардың жұмыс орындарындағы микроклимат көрсеткіштерінің рұқсат етілген шамаларын алдық.

Трансформаторлардан шудың әсерін бағалау трансформатор шуын азайту әдістері қарастырылды, сонымен қатар трансформатордың қосалқы станция мысалында шуды есептедік.

7.9 кесте - («А» қасбеті үшін ТҚС торларының дыбыстық қуаты деңгейлерінің есебі

| ТҚС1 | А қасбеті (фасад) өсі бойынша ТҚС | | | | | | | | |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------------------------|------|------|------|------|------|---------------|
| Параметрлер | орта геометриялық жиіліктермен (Гц) октавалық жолақтардағы дыбыстық қуат қысымының деңгейлері, дБ | | | | | | | | Дыбыс деңгейі |
| | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 800 | 61 |
| L_w , ТМГ, дБ | 62 | 64 | 66 | 61 | 47 | 39 | 32 | 23 | 61 |
| L_w , ТМГ, дБ | 62 | 64 | 66 | 61 | 47 | 39 | 32 | 23 | 64 |
| $L_{w,қос}$, ТМГ, дБ | 65 | 67 | 69 | 64 | 50 | 42 | 35 | 26 | 64 |
| ЕН дейінгі арақашықтық, м | 4 | | | | | | | | |
| $S_{қор.үй1}$, м ² | 22 | | $a \cdot b \cdot h$ = | 1,8 | 1,9 | 2,1 | | | |
| $a_{ж.т.}$ | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | |
| $S_{ж.т.үй1}$, м ² | 1,44 | | $a \cdot b \cdot h$ | 0,6 | 0,6 | 4 | | | |
| $\alpha_{ед.қаб.}$ | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | |

| | | | | | | | | | |
|---------------------------|------|------|---------------------|------|------|------|------|------|----|
| $S_{ед.қаб.}, м^2$ | 19,3 | | | | | | | | |
| $\alpha_{ор.}$ | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | |
| B | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| Ф | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| k | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | |
| Ω | 6,28 | 6,28 | 6,28 | 6,28 | 6,28 | 6,28 | 6,28 | 6,28 | |
| χ | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| L_p үй-жай, дБ | 74 | 76 | 78 | 73 | 59 | 51 | 44 | 35 | 73 |
| $S_{ж.т.үй4}, м^2$ | 2,16 | | $a \cdot b \cdot h$ | 0,9 | 0,6 | 4 | | | |
| Ж.т.дыбыс оқшауламасы, дБ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| L_p үй-жай4, дБ | 73 | 75 | 77 | 72 | 58 | 50 | 43 | 34 | 72 |
| K_i | 26,2 | 16,1 | 8,6 | 3,2 | 0 | -1,2 | -1 | 1,1 | |

7.10 кесте – ТҚС дыбыс деңгейі мен дыбыстық қысымның деңгейлері (А қасбет)

| | | | | | | | | | |
|---------|---|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Шу көзі | 1 | | | | | | | | |
|---------|---|--|--|--|--|--|--|--|--|

7.10 кестенің соңы

| | | | | | | | | | |
|----------------------|------|-----|-----|---|---|----|----|----|--|
| Қалыптандыру нүктесі | 1 | | | | | | | | |
| Бастапқы берілгендер | | | | | | | | | |
| r, м | 88 | | | | | | | | |
| Ω | 3,14 | | | | | | | | |
| Ф | 1,00 | | | | | | | | |
| β | 0 | 0,7 | 1,5 | 3 | 6 | 12 | 24 | 48 | |
| N | 20 | | | | | | | | |
| r_0 | 1 | | | | | | | | |

7.11 кесте – Дыбыстық қуат қысымының деңгейлері, дБ

| | | | | | | | | | |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----------------|
| ТҚС1 | А өсі бойынша ТҚС қасбеті (фасад) | | | | | | | | |
| Параметрлер | орта геометриялық жиіліктермен (Гц) октавалық жолақтардағы дыбыстық қуат қысымының деңгейлері, дБ | | | | | | | | Дыбыс деңгейі i |
| | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | 61 |

| | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| $L, \text{ дБ}$ | 73 | 75 | 77 | 72 | 58 | 50 | 43 | 34 | 72 |
| $\Delta L_{\text{экран}}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| $N = \lg(r/r_0)$ | 38,9 | 38,9 | 38,9 | 38,9 | 38,9 | 38,9 | 38,9 | 38,9 | |
| $10\lg(\Phi)$ | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | |
| $\frac{\beta_a r}{1000}$ | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,5 | 1,1 | 2,1 | 4,2 | |
| $10\lg(\Omega)$ | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | |
| L_p | 30 | 32 | 33 | 28 | 14 | 6 | -3 | -14 | 28 |
| Түзетуді ескергендегі үйдегі РЕДШ | 70 | 61 | 54 | 49 | 45 | 42 | 40 | 39 | 50 |
| Үйдегі жоғары болу | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| $R_{\text{аш.тер.}}$ | 10 | 121 | 12 | 14 | 16 | 18 | 18 | 18 | |
| $L_p \text{ үй-жай, дБ}$ | 20 | 21 | 21 | 14 | -2 | -12 | -21 | -32 | -16 |
| Түзетуді ескергендегі үйдегі РШД | 58 | 47 | 40 | 34 | 30 | 27 | 25 | 23 | 35 |
| Үйдегі жоғары болу | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| K_i | 26,2 | 16,1 | 8,6 | 3,2 | 0 | -1,2 | -1 | 1,1 | |

ТҚС торларының дыбыстық қуаты деңгейлері мен дыбыстық қысымның деңгейлері есептеліп, дыбыстық қысымның деңгейлері рұқсат етілген шекті деңгейден аспайтынына көз жеткіздік.

8 Экономикалық бөлім

8.1 Күштік трансформатордың экономикалық тиімділігін есептеу

Қазіргі заманның қосалқы станцияларында бірнеше түрлі мағыналы талаптар қойылады, олар талапқа сай болуы керек, атмосфераға қалдықтарды тастамау, улы заттар таралуын азайту, аса маңызы жоқ болып станцияның құралдарын пайдалану қауіпсіздігі. Осыған байланысты жаңа технологиялар қолданылады.

Трансформатор – кернеуі бойынша электр энергиясын түрлендіруге және сол кернеуді реттеу үшін арналатын электромагниттік құрылысы.

Жалпы трансформатор қолданысқа қажетті электр энергиясын тарату барысында шығынды төмендету және сымдық материалдарды үнемдеу мақсатында енген болатын.

Электрмен жабдықтау жүйелерінде, электр тораптарында қолданылатын трансформаторларды күштік трансформаторлар деп атайды.

Тұтынушыларды энергиямен қамту тапшылығына байланысты болашақта қосалқы станцияны жаңарту үлкен қолданысқа ие болады. Қосалқы станцияның сату көлемі, тауар сапасы, баға деңгейі және орташа табысы бойынша бәсекеге қабілетті болуы тиіс және бұл басты көрсеткіш болып саналады.

8.1 кесте – Жобаға құйылатын қаржы есептеуі

| № | Атауы | Бағасы, тг | Саны, дана | Толық бағасы, тг |
|---|-----------------------------------------|------------|------------|------------------|
| 1 | Күштік трансформатор ТМ-160/35/У1 | 2 100 000 | 2 | 4 200 000 |
| 2 | Күштік ажыратқыш ВК-10-20/1000У2 | 63 200 | 3 | 189 600 |
| 3 | Күштік ажыратқыш ВК-10-20/630У2 | 62 800 | 3 | 188 400 |
| 4 | Күштік ажыратқыш 10кВ ВГГ-20-90/6300 | 62 800 | 3 | 188 400 |
| 5 | Айырғыш 110кВ РДЗ-1-110/1000 У1 | 105 000 | 2 | 210 000 |
| 6 | Айырғыш 35кВ РДЗ–35Б/2000 НУХЛ1 | 145 000 | 2 | 290 000 |

8.1 кестенің соңы

| | | | | |
|-------------|---------------------------------------------------|---------|---|--------------|
| 7 | Сақтандырғыш 35 кВ ПКН 001-35 У3 | 45 000 | 2 | 90 000 |
| 8 | Сақтандырғыш 10 кВ ПКН 001-10 У1 | 10 500 | 2 | 21 000 |
| 9 | Кернеу трансформатор 110кВ ЗНОГ-110 (У1) | 84 000 | 2 | 168 000 |
| 10 | Кернеу трансформатор 35кВ ЗНОЛ-35 У3 | 100 000 | 2 | 200 000 |
| 11 | Ток трансформаторы 110кВ – ТОГФ- 110 (УХЛ1) | 319 000 | 2 | 638 000 |
| 12 | Ток трансформаторы 35кВ – ТОЛ-35-III | 319 000 | 3 | 957 000 |
| 13 | Ток трансформаторы 10кВ ТВ-10-III | 319 000 | 3 | 957 000 |
| Жалпы құны: | | | | 8 297 400 тг |

8.2 кесте – Желіге кететін қаржы

| Желі | Желі саны | Жалпы желінің ұзындығы, км | Бір км желінің құны, теңге. | Желінің жалпы құны, теңге (жөндеу базасы мен байланыс желісін қоса есептегенде) |
|----------|-----------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 110 кВ | 9 | 63 | 205 000 | 1 845 000 |
| 35 кВ | 3 | 39 | 130 000 | 390 000 |
| 10 кВ | 9 | 25 | 73 000 | 657 000 |
| Барлығы: | | | | 2 892 000 |

Күрделі салымдар - негізгі капиталға инвестициялар (негізгі құралдар), оның ішінде жаңа құрылысқа, жұмыс істеп тұрған кәсіпорындарды кеңейтуге, қайта жаңартуға және техникалық қайта жарақтандыруға, машиналар, жабдықтар, құрал - саймандар, жобалау-іздістіру жұмыстарына және басқа да шығындарға арналған шығындар.

Күрделі салымдар бірнеше құрамдас бөліктерден тұрады: жабдықтың, монтаждық жұмыстардың және көліктік қызметтердің құны. Сонымен қатар, ғимарат, нысандар және т. б. құрылыс шығындары есепке алынады. Жалпы күрделі қаржы салымының сомасы ($K_{жалпы}$) ретінде есептеледі:

$$\sum K = K_{ж} + K_{кc} + K_{м} + K_{б.ш}, \text{ теңге} \quad (8.1)$$

мұндағы, $K_{ж}$ – жабдықтарды сатып алуға арналған күрделі салымдар $K_{ж}$ –ның 53 %-ын құрайды, теңге;

$K_{кc}$ – құрылыс жұмыстарына күрделі салымдар, $K_{ж}$ -ның 30%-ын құрайды, теңге;

$K_{м}$ – монтаждау және іске қосу-реттеу жұмыстарына арналған күрделі салымдар, $K_{ж}$ -ның 11 %-ын құрайды, теңге;

$K_{б.ш}$ – өзге де күрделі салымдар, мың теңге (ең алдымен, тасымалдауға арналған шығыстарды қамтиды) $K_{ж}$ -ның 6%-ын құрайды, теңге.

Жаңа қондырғылар мен жабдықтарды, желілерді сатып алуға кеткен қаражат:

$$K_{ж} = (11\,189\,400 \cdot 53) / 100 = 5\,930\,382 \text{ тг.} \quad (8.2)$$

ҚС-ны құрылысына жұмсалатын қаражат:

$$K_{кc} = (11\,189\,400 \cdot 30) / 100 = 3\,356\,820 \text{ тг.} \quad (8.3)$$

Монтаждық және іске қосу-жөндеу жұмыстарының капиталдық салымдары:

$$K_m = (11\,189\,400 \cdot 11) / 100 = 1\,230\,834 \text{ тг.} \quad (8.4)$$

Басқа да шығындарға керекті қаражат:

$$K_{б.ш.} = (11\,189\,400 \cdot 6) / 100 = 671\,362 \text{ тг.} \quad (8.5)$$

Бұл мәнді (8.1) формулаға қойып есептесек:

$$\sum K = 5\,930\,382 + 3\,356\,820 + 1\,230\,834 + 671\,362 = 11\,189\,398 \text{ тг.} \quad (8.6)$$

8.2 ҚС-ның жұмыс жасап тұрған кездегі, жылдық эксплуатациялық шығындар

Эксплуатациялық шығындар – жалпы қосалқы электр станциясын түрлендіріп, тарату, пайдалану кезіндегі жұмсалынатын шығындар. Эксплуатациялық шығындарға барлық шығындар: амортизация аударылымдары, транспорт шығындары, жұмысшылардың еңбекақысы, жіберілетін электр энергиясын тарату кезіндегі шығындар, байланыс қызметтері, іс – сапарлар, кеңселік тауарлар, қызметкерлерге төленетін еңбек ақы, қауіпсіздікті сақтауға арналған іс-шараларға кеткен шығындар және т.б. шығындар жатады.

Эксплуатационды шығындар келесідей есептелінеді.

Жылдық эксплуатациялық шығындарды есептеу:

$$\sum I_{ж} = I_a + I_{мат} + I_{э.н.} + I_{қос} + I_{е.а.} \quad (8.7)$$

мұндағы, I_a – амортизациялық аударылым соммасы;

$I_{м.ш.}$ – материалдық шығындар және қосымша бөліктер;

$I_{э.н.}$ – әлеуметтік салық, зейнетақы қорына кететін бөлігінің 9,5%;

$I_{қос}$ – қосымша шығындар (кәсіпорынға қызметкерлерді дайындап, оқыту, көлік, концелярлық шығындар). Жалпы, қосымша шығын барлық шығындар сомасының 12÷15 % құрайды.

$I_{е.а.}$ – еңбекақы құны;

$I_{өнд}$ – өндірістік қажеттіліктер, электр энергиясының шығындары, жалпы салымның 1,5%-ы.

Амортизация аударылымын есептеу:

$$I_a = K_0 \cdot h_0 / 100, \quad (8.8)$$

мұндағы, K_0 – негізгі қорлар соммасы, теңге;

h_0 – амортизациялық аударылымның белгіленген нормасы, мәнін 8 % деп қабылдаймыз.

$$I_a = 11\,189\,398 \cdot 8/100 = 895\,151 \text{ тенге.}$$

Жұмысшылардың еңбекақылық жиналым қоры:

$$I_{ea} = E_{op} \cdot Ж_{op} \cdot 12, \quad (8.9)$$

мұндағы, E_{op} – орташа айлық жалақы шамасы;

$Ж_{op}$ – тізімдегі жұмысшылар саны;

$$I_{ea} = 100\,000 \cdot 6 \cdot 12 = 7\,200\,000 \text{ тг.}$$

Жалпы әлеуметтік салық:

$$I_{э.н.} = (I_{e.a.} - I_{з.қ.}) \cdot 9,5\%, \quad (8.10)$$

мұндағы, $I_{e.a.}$ – жұмысшылардың еңбекақы қорына салым;

$I_{з.қ.}$ – зейнетақыға қорына салым (еңбек ақыдан 10%).

$$I_{э.н.} = (120\,000 - 12\,500) \cdot 9,5\% \cdot 12 = 123\,120 \text{ тг,}$$

Материалдық шығын көлемі немесе тағы да басқа бөліктер шығындарына капиталдық салымның 0,5%-ы алынды:

$$I_{м.ш.} = 11\,189\,398 \cdot 0,5\% = 55\,946 \text{ тг} \quad (8.11)$$

Өндірісті жүргізуге қажетті шығындарға капиталдық салымның 1,5%-ы алынды:

$$I_{өнд.} = 11\,189\,398 \cdot 1,5\% = 167\,840 \text{ тг}$$

Жалпылама сомалық шығын:

$$\begin{aligned} \sum I_{ж} &= 1\,350\,288 + 7\,200\,000 + 123\,120 + 55\,846 \\ &+ 167\,840 = 8\,897\,094 \text{ тг} \end{aligned} \quad (8.12)$$

8. 3 Электр энергиясының ресурсын жіберу жұмысының есептеулерін жүргізу

Жобадағы қосалқы станциясында қуаты 35 МВА қос трансформатор бар. Қосынды қуат $S_{тр} = 160$ МВА

Активті қуаттың мәнін табу үшін, қуат коэффициенті $\cos\varphi = 1$ деп қабылдаймыз.

$$P = S \cdot \cos\varphi, \quad (8.13)$$

$$P = 230 \cdot 1 = 230 \text{ МВт}$$

Трансформатордың максималдық пайдалану уақыты $T_M = 4800 - 6000$ аралығында болады. Максималды пайдалану уақытын $T_M = 6000$ сағат деп қабылдадым. Осы арқылы жүктеменің максималды деңгейінде жылдық есептік сағаттық қуатты есептеп табамыз.

Осылайша:

$$W = P \cdot T_M, \quad (8.14)$$

$$W = 230 \cdot 6000 = 1\,380\,000 \text{ кВт} \cdot \text{сағ}$$

Өзіндік құнды есептеу:

$$S = I_{ж}/W, \quad (8.15)$$

$I_{ж}$ – эксплуатациялық шығындар.

$$S = 8\,897\,094 / 1\,380\,000 = 6,4 \frac{\text{тг}}{\text{кВт} \cdot \text{сағ}}$$

Өзіндік құнға 10%-дық табысты қосып тапсақ:

$$S_{ПС} = S \cdot 1,1 = 6,4 \cdot 1,1 = 7,04 \frac{\text{тг}}{\text{кВт} \cdot \text{сағ}}. \quad (8.16)$$

Корпоративтік салықты 20% деп алып, бір жылдағы пайданы есептеу:

$$\sum P_{ж} = W \cdot 0,1 \cdot S_{ПС} \cdot 0,8, \quad (8.17)$$

$$\sum P_{ж} = 1\,380\,000 \cdot 0,1 \cdot 7,04 \cdot 0,8 = 777\,216 \text{ тг,}$$

Электр энергиясына тариф – 17,81 теңге/кВт·сағ. Қосалқы станцияның баға түрленуі келесі кезеңдерден өтеді:

1. Электр энергиясын станциядан сатып алу (8,23 теңге/кВт·сағ);
2. КЕГОК ҰЭТ тарифі (1,59-2,64 теңге/кВт·сағ);
3. «АЖК» тарифі (3,5 – 5,5 теңге/кВт·сағ);
4. «Ж.Е.Н» ЖШС жеке тарифінің бағасы (0,42 – 0,97 теңге/кВт·сағ)

Электр энергиясының өзіндік құны – 15,89 теңге/кВт·сағ. Тұтынушыларға электр энергиясын 17,81 теңге/кВт·сағ. ЖШС-ның түсіретін пайдасы 0,79 теңге/кВт·сағ.

Кіріс салығын ескеріп, жылдық пайдану табу:

$$\begin{aligned} \sum P_{жк} &= W \cdot 0,8 \cdot 0,79 = 1\,380\,000 \cdot 0,8 \cdot 0,79 = \\ &= 872\,160 \text{ тг,} \end{aligned} \quad (8.18)$$

Жалпы кіріс:

$$\begin{aligned} \sum P &= \sum P_{ж} + \sum P_{жк} = 777\,216 + 872\,160 = \\ &= 1\,649\,376 \text{ тг} \end{aligned} \quad (8.19)$$

8.4 Жобаға салынатын инвестицияның эффективтілігін анықтау

Электр энергиясын түрлендіріп, тасымалдап, тұтынушыларға жеткізу, әр түрлі электр энергетика саласындағы кәсіпорындардың басты атқаратын қызметі, осы арқылы электр энергиясын сату бұл кәсіпорындарға пайда көзі болып табылады. Осы салада кәсіп құрып, пайда табу үшін, бастапқы капитал біршама көп мөлшерде болуы қажет.

Жалпы қосалқы станция салатын болсақ, оның өзін-өзі ақтау уақыты 4-5 жылдан кем болмайды. Осылайша ұзақ мерзімді инвестициялар жасамас алдында, оның эффективтілік болжамы жоспарланады.

NPV инвестициялық жобаны табу осы жобаға байланысты барлық ақша ағындарының таза келтірілген құнын табуды білдіреді.

I_0 – ҚС-ның жобасын бастауға қажет инвестиция мөлшері, PV – жобаның экономикалық өмірі бойындағы уақытқа сай ақша ағынының құны. Дисконтталған табыстың жиналған жалпы мөлшері:

$$PV = \sum_1^n \frac{CF_n}{(1+r)^n}, \quad (8.20)$$

мұндағы, r – дисконт нормасы;

n – жобаның жүзеге асу кезеңдер саны;

CF – төлемдердің жыл сайынғы таза ағымы.

CF өзіне таза кірісті және амортизациялық ауыстырылымдарды қосады.

Таза келтірілген құн:

$$NPV = \sum_1^n \frac{CF_n}{(1+r)^n} - I_0, \quad (8.21)$$

Егер де табылған NPV оң таңбалы болса ($NPV > 0$), жобаға инвестициялық қаражат құйса болады. Егер теріс таңбалы болса ($NPV < 0$), онда жобаның пайдасы нарықтағы деңгейден төмен, осыдан жобаға инвестиция құйылмайды.

Төлемдердің жыл сайынғы таза ағымын есептеу:

$$CF = \Pi_{TK} + I_{ao}, \quad (7.22)$$

мұндағы, Π_{TK} - таза кіріс, тенге;

I_a – амортизациялық аударымдар, тенге.

$$CF = 1\,649\,376 + 895\,151 = 2\,544\,527 \text{ тг}$$

8.3 кесте – NPV есебінің нәтижесі

| Жылдар | CF, млн теңге | $1/(1+i)^n$, 10% | PV, теңге | NPV, теңге |
|--------|---------------|----------------------|--------------|-------------|
| 0 | 11 189 398 | 1 | | |
| 1 | 2 544 527 | 0,909 | 2 312 975 | - 8 876 423 |
| 2 | 2 544 527 | 0,826 | 2 101 779 | - 6 774 644 |
| 3 | 2 544 527 | 0,751 | 1 910 939 | - 4 863 705 |
| 4 | 2 544 527 | 0,683 | 1 737 911 | - 3 125 794 |
| 5 | 2 544 527 | 0,620 | 1 577 606 | - 1568 188 |
| 6 | 2 544 527 | 0,564 | 1 435 113 | - 133 075 |
| 7 | 2 544 527 | 0,515 | 1 310 431 | + 1 177 356 |

Есептеу нәтижесін көріп отырғанымыздай қосалқы станция өзінің құнын 5 жыл ішінде толықтай ақтап, пайда түсіре бастайды.

Рентабелділік индексінің таза дисконтталған құннан айырмашылығы салыстырмалы көрсеткіш ретінде болады. Жобаларды салыстырып таңдауда, NPV көрсеткіштері бірдей болған жағдайда PI қарап алуға болады.

$$PI = \sum_{t=i}^n \frac{PV/(1+i)}{K_0} = \frac{17\,811\,689/0,515}{11\,189\,398} = 3,09 \quad (8.23)$$

PP анықтау (орнын толтықтыру уақыты)

Бұл әдіс бастапқы жобаға жұмсалған инвестицияның қайтарылатын уақытын есептеу тәсілі:

$$PP = \frac{\Sigma K}{CF}; \quad (8.24)$$

$$PP = \frac{11\,189\,398}{2\,544\,527} = 4,3$$

PP әдісімен есептегенде жұмсалған инвестициялар өзін 3,46 жылда ақтап шығады.

Пайданың ішкі нормасы келесі формула арқылы табылады:

$$IRR = \left(1 - \sqrt[n]{\frac{CF}{I_c}} \right) \cdot 100\%, \quad (8.25)$$

$$IRR = \left(1 - \sqrt[3]{\frac{2\,544\,527}{11\,189\,398}} \right) \cdot 100\% = 22\%.$$

Қосалқы станцияны салудағы техника-экономикалық көрсеткіштер есептеулер арқылы табылып, тиімділік деңгейі анықталды. NPV тәсілі арқылы қосалқы станция өзін-өзі 7 жылда, PP тәсілі арқылы 4,3 жылда ақтайтынын көрсетті. Пайданың ішкі нормасы $IRR = 22\%$ - ды құрағандықтан жоба тиімді деп ойлаймын.

Қорытынды

Бұл жобада үш фазалы маймен суытылатын күштік трансформатор есептелді. Трансформатордың негізгі өлшемдері, негізгі электрлік шамалары, бос жүріс және қысқаша тұйықтау параметрлері анықталды, жоғары және төменгі кернеудің орамалары есептелді және трансформатордың қысқаша тұйықтау шығындары, параметрлері анықталды.

Есептеу нәтижесінде есептелген трансформатордың параметрлерінің шамасы паспорттық параметрлерге жақын болды.

Өміртіршілік қауіпсіздіг бөлімі бойынша, өндірістік ортаның қауіпті факторларын талдау жүргізілді. Микроклиматтың қолайсыз жағдайлары, шудың жоғары деңгейі, дірілдің жоғары деңгейі, жарықтандырудың жеткіліксіздігі, электромагниттік өрістың адам денсаулығына қалай әсер ететіндігі жайлы қарастырдық. Өндірістік үй-жайлардың жұмыс орындарындағы микроклимат көрсеткіштерінің рұқсат етілген шамаларын алдық.

Трансформаторлардан шудың әсерін бағалау трансформатор шуын азайту әдістері қарастырылды, сонымен қатар трансформатордың қосалқы станция мысалында шуды есептедік.

Дипломдық жұмысымның экономикалық бөлімінде қосалқы станцияны салудағы техника-экономикалық көрсеткіштер есептеулер арқылы табылып, тиімділік деңгейі анықталды. NPV тәсілі арқылы қосалқы станция өзін-өзі 7

жылда, РР тәсілі арқылы 4,3 жылда ақтайтынын көрсетті. Пайданың ішкі нормасы $IRR = 22\%$ - ды құрағандықтан жоба тиімді деп ойлаймын.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов: Учеб. пособие для вузов. - 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. - 528с.: ил.
- 2 Гончарук А.И. Расчет и конструирование трансформаторов: Учебник для техникумов. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 256с.
- 3 Кацман М.М. Электрические машины и трансформаторы. Ч.1. Машины постоянного тока и трансформаторы. Учебник для техникумов. Изд. 4-е, доп. и перераб. М.: Высшая школа, 1976. - 216с.: ил.
- 4 Шпиганович А.Н., Захаров К.Д., Бош В.И. Расчет электрической части силовых трансформаторов подстанций горно- металлургических предприятий: Учебное пособие. - Липецк: ЛГТУ, 2005. – 220с.: с ил.