

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ «КИЇВСЬКИЙ
ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОТЕХНІКИ ТА АВТОМАТИКИ

(повна назва інституту/факультету)

ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ С. О. Кудря
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 2020 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

спеціалізація «Електричні станції»

на тему: Оцінка технічної можливості використання потужності атомних
електричних станцій для виробництва водню в період мінімальних
навантажень системи

Виконав: студент 2(6) курсу, групи ЕТ-91мп
(шифр групи)

ЛАВАРЬКО МИХАЙЛО АНАТОЛІЙОВИЧ

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник доцент, д.т.н., доцент ОСТАПЧУК О.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант охорона праці . професор, д.т.н. ТРЕТЯКОВА Л.Д.

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант стартап-проект ст. викладач БАХМАЧУК С.В.

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2020 року

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інститут/факультет ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОТЕХНІКИ ТА АВТОМАТИКИ
(повна назва інституту)

Кафедра ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва)

спеціалізація «Електричні станції»

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

С. О. Кудря
(ініціали, прізвище)

(підпис)

“ ” 2020 р

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Лаварько Михайлу Анатолійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Оцінка технічної можливості використання потужності атомних електричних станцій для виробництва водню в період мінімальних навантажень системи

науковий керівник Остапчук Олександр Володимирович, доцент, д.т.н.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « » 20 р. №

2. Строк подання студентом дисертації 11.12.2020

3. Об'єкт дослідження атомний енергоблок і електролізер

4. Предмет дослідження процес використання атомних енергоблоків для виробництва водню з ціллю покриття небалансів в часи мінімуму навантажень

5. Перелік завдань, які потрібно розробити забезпечити теоретичний фон поточного дослідження; надати інформацію про існуючі моделі електролізерів; на основі запропонованої моделі електролізера провести експериментальні розрахунки можливості безперервної роботи атомного блоку

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу 1) однолінійна головна схема електричних з'єднань РАЕС; 2) Схема електролизеру; 3) Схема власних потреб РАЕС; 4) Схема підключення комірки 110 кВ; 5) Схема підключення комірки 750 кВ

7. Орієнтовний перелік публікацій 1. //Міжнародний науково-технічний журнал молодих учених, аспірантів і студентів “Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики”

8. Консультанти розділів дисертації

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|----------------|---|----------------|------------------|
| | | Завдання видав | Завдання прийняв |
| Стартап-проект | Бахмачук С.В., старший викладач | | |
| Охорона праці | Третьякова Л.Д., професор | | |

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання магістерської дисертації | Строк виконання етапів магістерської дисертації | Примітка |
|-------|---|---|----------|
| 1 | Пошук теоретичного матеріалу | 04.10.2020 – 11.10.2020 | |
| 2 | Аналіз теоретичного матеріалу | 12.10.2020 – 27.10.2020 | |
| 3 | Побудова | 27.10.2020 – 20.11.2020 | |
| 4 | Проведення експериментальних розрахунків | 21.11.2020– 27.11.2020 | |
| 5 | Оформлення отриманих результатів | 28.11.2020 – 04.12.2020 | |
| 6 | Оформлення технічних креслень | 05.12.2020 – 10.12.2020 | |

Студент

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається з пояснювальної записки та графічної частини. Пояснювальна записка виконана на 98 сторінках формату А4, яка включає в себе 23 малюнків, 55 таблиць, 28 джерел використаної літератури. Графічна частина містить 5 аркушів технічних креслень форматом А1.

В магістерській дисертації розглядається питання можливості використання потужності атомних електричних станцій для виробництва водню в період мінімальних навантажень в Енергосистемі. Приведена технічна і економічна доцільність цього заходу. Запропонована схема підключення електролізера на прикладі існуючої РАЕС.

Актуальність роботи. На сьогодні в Україні існує проблема з профіцитом електричної енергії на атомних електростанціях. Згідно положень Стратегії України до 2035 року в сфері енергетики зазначено, що в перспективі атомна енергетика розглядається як одне з найбільш економічно ефективних низьковуглецевих джерел енергії. Відповідно планується подальший розвиток ядерного енергетичного сектору і частка атомної генерації в загальному обсязі виробництва електроенергії тільки зростатиме [1]. Отже в найближчому майбутньому наша держава не тільки не збирається відмовлятися від атомних електричних станцій (АЕС), а навпаки планує нарощувати існуючі потужності. Відомо, що українські АЕС з реакторами великої потужності (зокрема типу ВВЕР), можуть працювати виключно в базовому режимі і набір потужності, наприклад, після аварійної зупинки реактору, складає близько доби [2].

Тому виробництво водню на потужностях атомної електростанції має багато переваг, а саме: можливість не розвантажувати блоки при мінімальних навантаженнях в енергосистемі, в умовах профіциту електроенергії; проект допоможе Україні мати додатковий прибуток через продаж водню в країни Європейського Союзу; можливість залучити кошти в модернізацію

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 1 |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

газотранспортної системи України і використання пропускної здатності на максимум з додаванням водню до природного газу і транспортування їх разом.

Метою магістерської дисертації є обґрунтування доцільності вирішення проблеми безперервної роботи АЕС в базовому режимі, за рахунок ефективного використання надлишкової енергії АЕС. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Забезпечити теоретичний фон поточного дослідження;
2. Надати інформацію про існуючі моделі електролізерів;
3. На основі запропонованого алгоритму провести експериментальні розрахунки можливості безперервної роботи атомного блоку.

Об'єкт дослідження. Атомний енергоблок і електролізер.

Предмет дослідження. Процес використання атомних енергоблоків для виробництва водню з ціллю покриття небалансів в часи мінімуму навантажень.

Методи дослідження. В основу роботи покладений метод, при якому була взята за базову Ровенська атомна електрична станція і на потужностях її блоків була оцінена можливість виробництва водню.

Наукова новизна результатів. Для аналізу можливості покриття небалансів шляхом виробництва водню була взята тенденція декарбонізації у світі через зниження викидів ТЕС по причині, що можна регулювати небаланси збільшенням чи зниженням потужності електролізної установки для виробництва водню.

Публікації за тематикою досліджень.

1. Остапчук О.В., Лаварько М.А. //Міжнародний науково-технічний журнал молодих учених, аспірантів і студентів “Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики”

3ABSTRACT

Master's thesis consists of an explanatory note and a graphic part. The explanatory note is made on 98 pages of A4 format, which includes 23 figures, 55 tables, 28 references. The graphic part contains 5 sheets of technical drawings in A1 format.

In the master's dissertation the question of possibility of use of capacity of nuclear power plants for production of hydrogen during the period of the minimum loadings in Power system is considered. The technical and economic feasibility of this measure is given. The scheme of electrolyzer connection on the example of the existing RNPP is offered.

Relevance of the topic.

Today in Ukraine there is a problem with the surplus of electricity at nuclear power plants. According to the provisions of the Strategy of Ukraine until 2035 in the field of energy, it is stated that in the future nuclear energy is considered as one of the most cost-effective low-carbon energy sources. Accordingly, further development of the nuclear energy sector is planned and the share of nuclear generation in total electricity production will only increase [1]. So in the near future, our state is not only not going to give up nuclear power plants (NPPs), but on the contrary plans to increase existing capacity. It is known that Ukrainian NPPs with high-capacity reactors (including WWER type) can operate only in the basic mode and the set of power, for example, after an emergency shutdown of the reactor, is about a day [2].

Therefore, the production of hydrogen at the capacity of a nuclear power plant has many advantages, namely: the ability not to unload the units at minimum loads in the power system, in conditions of electricity surplus; the project will help Ukraine to make additional income by selling hydrogen to European Union countries; the opportunity to raise funds for the modernization of Ukraine's gas transmission system and the use of capacity to the maximum with the addition of hydrogen to natural gas and their transportation together.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 3 |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

The purpose of the master's dissertation is to substantiate the feasibility of solving the problem of continuous operation of NPPs in the basic mode, due to the efficient use of excess energy of NPPs. To achieve this goal it is necessary to solve the following tasks:

1. Provide a theoretical background for the current study;
2. Provide information on existing models of cells;
3. On the basis of the proposed algorithm to conduct experimental calculations of the possibility of continuous operation of the nuclear unit.

The purpose of the master's thesis is to evaluate the technical condition of the transformer bushings of nuclear power plant. To achieve this goal, the following tasks must be solved:

1. Provide a theoretical background for the current research
2. Provide information on existing methods for
3. Based on the proposed

The object of research. Nuclear power unit and cell.

Subject of study. The process of using nuclear power units to produce hydrogen in order to cover imbalances during times of minimum loads.

Methods of research. The work is based on the method by which the Rivne nuclear power plant was taken as the base and the possibility of hydrogen production was assessed at the capacities of its units.

The scientific novelty of the results. To analyze the possibility of covering imbalances through hydrogen production, the trend of decarbonization in the world due to the reduction of TPP emissions due to the fact that the imbalances can be regulated by increasing or decreasing the capacity of the electrolysis plant for hydrogen production was taken.

Publications on the subject of research.

1. Ostapchuk OV, Lavarko MA // International scientific and technical journal of young scientists, graduate students and students "Modern problems of electrical engineering and automation"

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 4 |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

ПЕРЕЛІК СКОРЕЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

АЕС – атомна електрична станція
ГЦН – головний циркуляційний насос
ЛЕП – лінія електропередачі
РП – розподільчий пристрій
РПН – регулювання напруги під навантаженням
АТ – автотрансформатор
Г – генератор
Т – трансформатор
ЩЗВ – шинноз'єднувальний вимикач
ОВ – обхідний вимикач
КРП – комплектно розподільчий пристрій
ВП – власні потреби
СУЗ – система управління і захисту реактор
АБ – акумуляторна батарея
ДГ – дизель-генератор
АІ – автоматичний інвертор
АБП – агрегат безперебійного живлення
ТВП – трансформатор власних потреб
РТВП – резервний трансформатор власних потреб
ОЕС – об'єднана енергосистема
ТЕС – теплова електростанція
ВПН – відкритий розподільний пристрій
АВР – автоматичне введення резерву
КЗ – коротке замикання

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 5 |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

Зміст

| | |
|--|-----------|
| Зміст..... | 6 |
| Вступ..... | 9 |
| 1. ВИБІР СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ..... | 11 |
| 1.1.1. Варіант 1 | 15 |
| 1.1.2. Варіант 2 | 19 |
| 1.2. <i>ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ ВАРІАНТІВ.....</i> | <i>19</i> |
| 1.3. <i>ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ СИСТЕМИ</i> | <i>24</i> |
| 2. ВИБІР КОМУТАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ АЕС..... | 29 |
| 2.1 <i>Вибір обладнання на РП-110 кВ</i> | <i>29</i> |
| 2.1.1. Розрахунок струмк короткого замикання на РП-110 кВ | 31 |
| 2.1.2. Вибір вимикача РП 110 кВ | 33 |
| 2.1.3. Вибір роз'єднувача РУ-110 кВ | 34 |
| 2.2. <i>Вибір обладнання на РП 330 кВ.....</i> | <i>35</i> |
| 2.2.1. Розрахунок струмів КЗ на шинах РП 330..... | 38 |
| 2.2.2. Вибір вимикача РП 330 кВ | 39 |
| 2.2.3. Вибір роз'єднувача РУ-330 кВ | 41 |
| 2.3. <i>Вибір обладнання на РП 750 кВ.....</i> | <i>42</i> |
| 2.3.1. Визначення умов вибору і перевірки вимикача РУ 750 кВ..... | 43 |
| 2.3.2. Вибір роз'єднувача РУ-750 кВ | 44 |
| 2.4. <i>Вибір кабелю</i> | <i>45</i> |
| 2.5. <i>Вибір вимірювального трансформатора струму</i> | <i>47</i> |
| 2.6. <i>Вибір вимірювальних трансформаторів напруги</i> | <i>49</i> |
| 2.7. <i>Перевірка шин на дотик при КЗ.....</i> | <i>50</i> |
| 2.8. <i>ВИБІР СХЕМ ЕЛЕКТРИЧНИХ З'ЄДНАНЬ РОЗПОДІЛЬЧИХ ПРИБОРІВ.....</i> | <i>53</i> |
| 2.8.1. Вибір електричної схеми ВРП 330 кВ | 53 |
| 2.8.2. Вибір електричної схеми ВРП 110 кВ | 54 |
| 2.8.3. Вибір електричної схеми ВРП 750 кВ | 55 |
| 2.8.4. Вибір електричної схеми РП 6.5 кВ..... | 55 |

| | |
|--|-----------|
| 3. Вибір обладнання для розрахункового відгалуження | 56 |
| 3.2. Перспективи виробництва водню в часи мінімальних навантажень..... | 59 |
| 3.3. Висновки | 62 |
| 4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях під час експлуатації електролізної установки, яка є об'єктом виробництва вибухонебезпечного газу | 64 |
| 4.1. Вступ | 64 |
| 4.2 Перелік робіт та склад бригади | 65 |
| 4.3 Аналіз умов праці на робочих місцях електротехнічних працівників..... | 66 |
| 4.4 Визначення та оцінка шкідливих і небезпечних виробничих чинників..... | 68 |
| 4.5 Вибір технічних засобів і заходів безпеки робіт в енергоустановках | 68 |
| 4.6 Вибір заходів із запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій | 71 |
| 4.7. Автоматичний контроль, захист, сигналізація. | 73 |
| 4.8 Розрахунок технічного заходу з безпеки експлуатації | 74 |
| 4.9. Висновки | 74 |
| 5. Розроблення стартап-проекту | 76 |
| 5.1. Опис ідеї проекту..... | 76 |
| 5.2. Технологічний аудит ідеї проекту | 78 |
| 5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту..... | 79 |
| 5.4. Розроблення ринкової стратегії проекту..... | 87 |
| 5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту..... | 91 |
| 5.6. Висновки | 94 |
| Література | 96 |

Умова завдання:

Таблиця 1 – Вихідні данні

| | | | |
|-----|---|-------------------|----------|
| 1. | Сумарна потужність електричної станції | $P_{\text{ст}}$ | 2835 МВт |
| 2. | Напруга РП збірних шин | $U_{\text{Г}}$ | 6 кВ |
| 3. | Потужність місцевого навантаження | $P_{\text{місц}}$ | 125 МВт |
| 4. | Кількість відгалуджень ліній місцевого навантаження | n | 100 |
| 5. | Потужність, що видається в мережу 750 кВ | P_{750} | 850 МВт |
| 6. | Потужність, що видається в мережу 110 кВ | P_{110} | 100 МВт |
| 7. | Граничний струм КЗ на шинних приєднаннях проектованої АЕС до енергосистеми | $I_{\text{кз}}$ | 16 кА |
| 8. | Потужність блочного генератора 1 | P | 220 МВт |
| 9. | Потужність блочного генератора 2 | P | 220 МВт |
| 10. | Потужність блочного генератора 3 | P | 220 МВт |
| 11. | Потужність блочного генератора 4 | P | 220 МВт |
| 12. | Потужність блочного генератора 5 | P | 1000 МВт |
| 13. | Потужність блочного генератора 6 | P | 1000 МВт |

Вступ

Згідно завдання, ми проектуємо електричну станцію типу АЕС.

Атомні електричні станції (АЕС) - різновид електростанції, яка виробляє електроенергію, як правило, в великих обсягах, і працює на екологічно чистому виді ядерного палива.

Режим АЕС – базовий. Місце розташування АЕС не прив'язується до місця концентрації великих обсягів споживання, тому що електроенергія, вироблена на АЕС по напрузі рівна 30 кВ, за допомогою трансформатора перетворюється до рівня напруги 110-750 кВ. Рівень підвищення напруги залежить від того, на яку відстань планується передавати її. Внаслідок цього потужність генераторів і трансформаторів зв'язку станції з системою не співпадають. Ця потужність приймається з розрахунку, що на напрузі 750 кВ передається максимальна потужність на максимально велику відстань, тобто у системоутворюючу мережу. В свою чергу на генераторній напрузі споживачі, як правило, не встановлюються. Однак для цілей, позначених в цій магістерській дисертації, необхідно розглянути доцільність приєднання електролізних установок на генераторну напругу.

Місце (район) спорудження електричної станції повинне бути ув'язане з планом розвитку енергосистеми і, насамперед, відповідати призначенню і технологічним особливостям електростанції. Радіус передачі електроенергії, через ВРП різної напруги, аж до надвисокої, необмежений. Однак АЕС є об'єктом підвищеної небезпеки, при аварії якого може статись катастрофа. В цьому випадку будівельний майданчик АЕС розміщують на великій відстані від крупних міст і концентрації населення з урахуванням перспективи розвитку енергосистеми. Оскільки станція розміщується за містом і потребує великої кількості охолоджуючої води, тому приймаємо, що охолодження відбувається за допомогою ставка-охолоджувача.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | 9 |

Атомні електростанції розташовують, як правило, у складі підприємств із загальними допоміжними господарствами й інженерними комунікаціями. Оскільки станція знаходиться за містом і не потребує господарств по підготовці палива, однак вона повинна мати в своєму складі комплекс по зберіганню і утилізації відпрацьованого ядерного палива. Станція має масляне господарство, підприємство хімічної водоочистки, ремонтні майстерні, побутові споруди, комунікації і т. п. Вид палива – уран.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | 10 |

1. ВИБІР СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

Електрична схема станції повинна задовольняти наступні вимоги:

- відповідність умовам роботи станції в енергосистемі, а також відповідність технологічній схемі;
- легкість експлуатації, а саме: простота і наочність схеми; мінімальна кількість переключень, пов'язаних зі зміною режиму; придатність електричного обладнання до ремонту без порушення режиму установки;
- легкість споруди електричної частини з урахуванням черговості введення в експлуатацію генераторів, трансформаторів і ліній;
- можливість автоматизації установки в економічно цілісному обсязі;
- достатня, економічно виправдана ступінь надійності.

При виборі структурної схеми потрібно врахувати наступні правила:

- Найбільш економічний режим роботи електростанції – блочний.
- Місцеве навантаження повинне бути забезпечене енергією, яка виробляється на збірних шинах.

На генераторній напрузі широке поширення знайшли схеми з двома системами збірних шин і з секціонуванням робочих шин. Власні потреби і навантаження живляться від збірних шин окремими лініями. Кожне приєднання підключається до збірної шини через розвилку двох шинних роз'єднувачів, що дозволяє здійснювати роботу як на одній, так і на іншій системі шин (один з шинних роз'єднувачів нормально відключений).

Перевагою схеми з двома системами збірних шин є можливість ремонту будь-якої системи шин без відключення споживачів і джерел. Іншою перевагою є те, що при к.з. на одній системі шин споживачі втрачають живлення тільки на час перемикання на резервну систему шин. Наявність шиноз'єднувальних вимикачів дозволяє виконувати всі необхідні перемикання з робочою системою шин на резервну. До того ж у цій схемі можна використовувати шиноз'єднувальний вимикач для заміни вимикача будь-якого приєднання.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | 11 |

Розглянемо дві оптимальні схеми, які є надійними та максимально оптимізованими під наше завдання.

Структурні схеми обох варіантів подані нижче, де показані генератори, розподільні пристрої вищої напруги РП-750 кВ, середньої РП-330 кВ і нижчої РП-110 кВ, місцеве навантаження $P_{\text{мн}}$, автотрансформатори зв'язку між РП-330 кВ і РП-110 кВ: 7АТ, 8АТ, блокові трансформатори Т-1, Т-2, Т-3, Т-4, Т-5, Т-6, а також автотрансформатор зв'язку 9АТ між РП-750 кВ і РП-330 кВ. У першому варіанті пропонується приєднати місцеве навантаження через трансформатори зв'язку Т-7 і Т-8. У другому варіанті пропонується приєднати місцеве навантаження до нижчої напруги автотрансформаторів зв'язку 7АТ і 8АТ.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 12 |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

Варіант 1

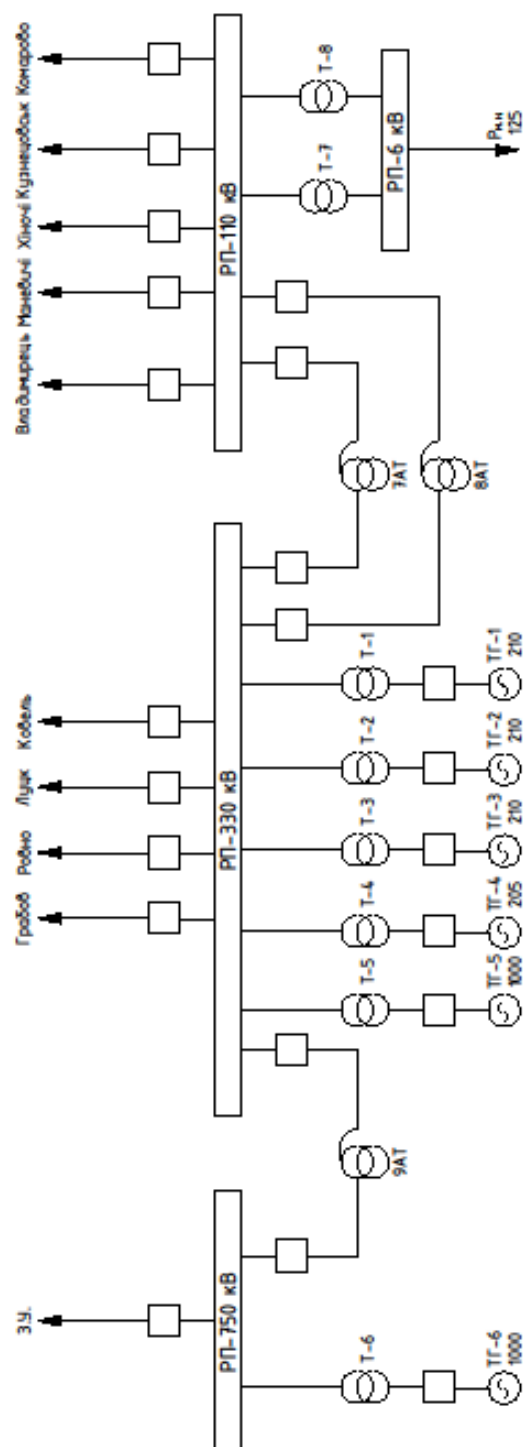


Рисунок 1.1 – Структурна схема варіант 1

| | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------|
| | | | | | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | 13 |

Варіант 2

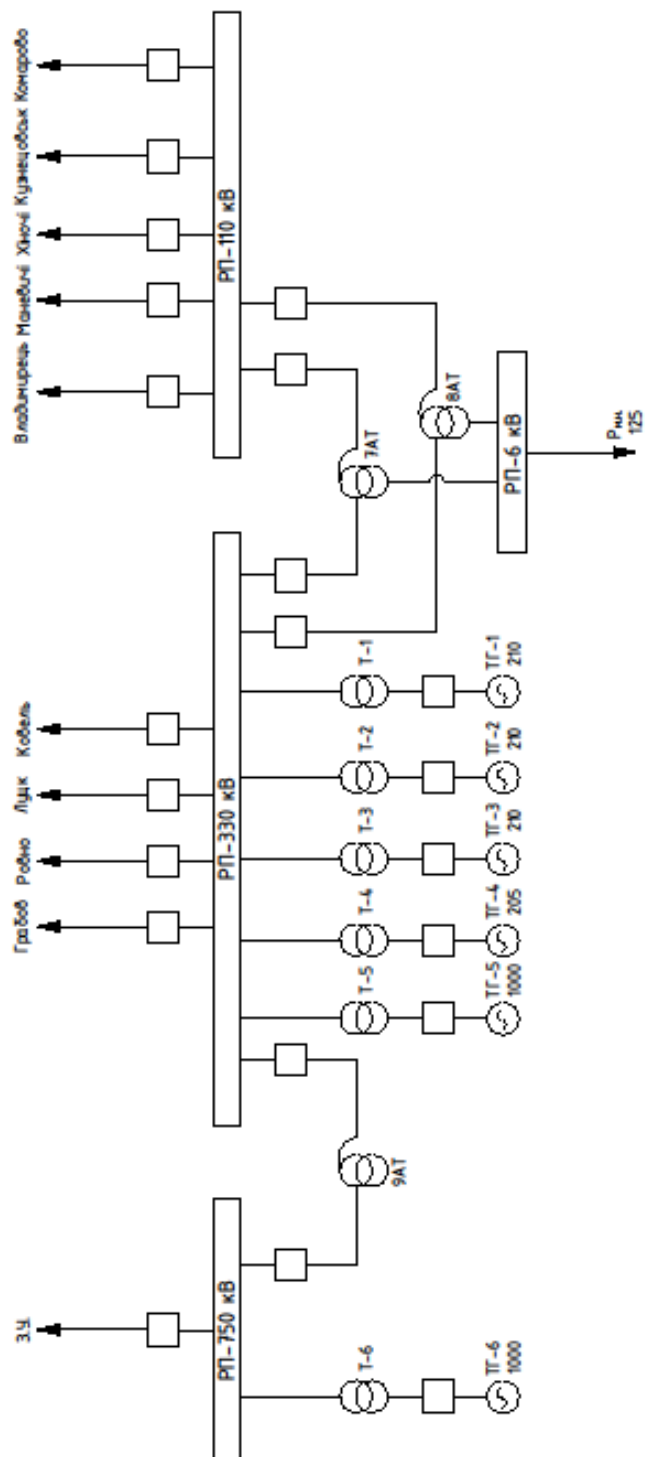


Рисунок 1.2 - Структурна схема варіант 2

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 14 |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

1.1. ВИБІР ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ СТАНЦІЇ

1.1.1. Варіант 1

1.1.1.1 Вибір генераторів

Існують стандартні потужності генераторів: 200, 500, 1000 МВт. Вибираємо чотири генератори типу ТВВ-220-2ЕУЗ та два генератора типу ТВВ-1000-2МУЗ, паспортні данні яких приведенні в Табл. 1.1.2:

Таблиця 1.1.2 - Номінальні параметри генераторів

| Вид генератора | $n_{\text{ном,}}$ об/хв | $S_{\text{ном,}}$ МВА | $P_{\text{ном,}}$ МВт | $U_{\text{ном,}}$ кВ | $\cos \varphi_{\text{ном}}$ | X''_d , % | Вартість, тис.грн. |
|-------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------|-----------------------|
| ТВВ-220-2ЕУЗ | 3000 | 259 | 220 | 15,75 | 0,85 | 18 | 47643,64 |
| ТВВ-1000- 2МУЗ | 3000 | 1111 | 1000 | 24 | 0,9 | 27 | 178183,18 |

1.1.1.2 Вибір трансформаторів зв'язку

Вибір трансформаторів зв'язку виконаємо в табличній формі. При виборі трансформаторів зв'язку потрібно врахувати, що потужність їх повинна бути достатньою для отримання потужності від системи для електролізних установок. Виходячи з вимог надійності електропостачання місцевих споживачів на АЕС передбачається два трансформатора зв'язку .

$$S_{\text{розрах}} = \frac{P_{\text{макс.перет.}}}{2 \cdot \cos(\varphi_{\text{ном}})} = \frac{125}{2 \cdot 0.85} = 73,53 \text{ (МВА)}$$

В якості трансформаторів зв'язку вибираємо два трансформатори типу ТДЦ-80000/110-У1 [4] з наступними параметрами:

Таблиця 1.1.3 - Технічні характеристики трансформатора зв'язку

| S_H , МВА | U_K , % | I_{XX} , % | U_{BH} , кВ | U_{HH} , кВ | ΔP_{XX} , кВт | ΔP_{K3} , кВт | Ціна, тис. грн |
|-------------|-----------|--------------|---------------|---------------|-----------------------|-----------------------|----------------|
| 80 | 11 | 0,23 | 121 | 6,6 | 58 | 310 | 3245,64 |

Трансформатори зв'язку використовуються тільки в першому варіанті схеми.

1.1.1.3 Вибір блочного трансформатора

При блочному з'єднанні генератора потужність трансформатора вибирається за розрахунковою потужністю:

$$S_{Tррозрах.} = S_{ГЕН} - S_{CH} = 259 - \frac{220 \cdot 0,1}{0,85} = 233,12 \text{ МВА}$$

$$S_{Tррозрах.} = S_{ГЕН} - S_{CH} = 1111 - \frac{1000 \cdot 0,1}{0,9} = 999,9 \text{ МВА}$$

Вибираємо трансформатор типу **ТДЦ-250000/330-У1**, трансформатор типу **ОРЦ-417000/750-77У1**, трансформатор типу **ОРДЦ-533000/330-У1** які мають паспортні данні приведені в Табл. 1.1.4:

Таблиця 1.1.4 - Технічні характеристики блочних трансформаторів

| Тип трансформатора | ТДЦ-250000/330-У1 | ОРЦ-417000/750-77У1 | ОРДЦ-533000/330-У1 |
|---------------------------------------|-------------------|---------------------|--------------------|
| Номінальна потужність $S_{НОМ}$, МВА | 250 | 3x417 | 3x533 |
| Напруга к.з трансформатора U_K , % | 11 | 13,6 | 13,2 |

| | | | |
|-------------------------------------|----------|----------|----------|
| Напруга обмотки ВН UBH, кВ | 347 | 787 | 347 |
| Напруга обмотки НН UHH, кВ | 15,75 | 24 | 24 |
| Втрати х.х ΔP_{XX} , кВт | 214 | 320 | 310 |
| Втрати к.з ΔP_{K3} , кВт | 605 | 787 | 760 |
| Струм х.х I_{XX} , % | 0,5 | 0,35 | 0,35 |
| Ціна, тис.грн | 19469,09 | 78803,64 | 75428,23 |

1.1.1.4 Вибір автотрансформаторів зв'язку

Для вибору автотрансформаторів зв'язку розглянемо 3 режима:

- режим максимального навантаження
- режим мінімального навантаження шин
- аварійний режим (вихід з ладу одного турбогенератора на генераторній напрузі).

Нормальний режим:

$$S_{\text{макс}} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos \varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{330} + P_{\text{мн}} + P_{\text{вп}}}{\cos \varphi_{\text{нав}}} = \frac{1000}{0.9} - \frac{850 + 125 + 22}{0.85} = -153,6 \text{ (МВА)}$$

Режим мінімального навантаження:

$$S_{\text{мін}} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos \varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{750} + P_{\text{мн}} + P_{\text{вп}}}{\cos \varphi_{\text{нав}}} = \frac{1000}{0.9} - \frac{850 + 125 * 0,7 + 100}{0.85} = -110 \text{ (МВА)}$$

Аварійний режим:

$$S_{\text{ав}} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos \varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{750} + P_{\text{мн}} + P_{\text{вп}}}{\cos \varphi_{\text{нав}}} = \frac{0}{0.9} - \frac{850 + 125 + 100}{0.85} = 1220,6 \text{ (МВА)}$$

У даному варіанті найбільшим навантаженням АТ буде аварійний режим.

$$S_{\text{розрах.АТ}} = S_{\text{ав}} = 1220,6(\text{МВА})$$

Для зв'язку РП-300 і РП-750 обираємо автотрансформатор зв'язку типу **АОДЦТ-417000/750/330** з параметрами які занесені до табл. 1.1.5:

Таблиця 1.1.5 - Технічні характеристики автотрансформатора зв'язку

| S _н , МВА | U _{ВН} , кВ | U _{СН} , кВ | U _{НН} , кВ | ΔP _{хх} , кВт | ΔP _{кз} , кВт | I _{хх} , % | U _{к(ВС)} , % | U _{к(ВН)} , % | U _{к(СН)} , % | Група з'єднанн я | Вартість тис.грн. |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|----------------------|
| 417х3 | 750 | 330 | 10,5 | 217 | 580 | 0,35 | 10 | 28 | 17 | УН/УН/D | 63793,5 |

По тому ж самому принципу обирається автотрансформатор зв'язку між РП-330 і РП-110:

Нормальний режим:

$$S_{\text{макс}} = \frac{P_{110}}{\cos \varphi_{\text{нав}}} = \frac{100}{0.85} = 118,6 (\text{МВА})$$

Режим мінімального навантаження:

$$S_{\text{мін}} = \frac{P_{110}}{\cos \varphi_{\text{нав}}} = \frac{70}{0.85} = 82,3 (\text{МВА})$$

У даному варіанті найбільшим навантаженням АТ буде нормальний режим.

$$S_{\text{розрах.АТ}} = S_{\text{макс}} = 118,6(\text{МВА})$$

Для зв'язку РП-300 і РП-750 обираємо два автотрансформатори зв'язку типу **АТДЦТН-125000/330/110-У1** з параметрами які занесені до табл. 1.1.6:

Таблиця 1.1.6 - Технічні характеристики автотрансформатора зв'язку

| S _н , МВА | U _{ВН} , кВ | U _{СН} , кВ | U _{НН} , кВ | ΔP _{хх} , кВт | ΔP _{кз} , кВт | I _{хх} , % | U _{к(ВС)} , % | U _{к(ВН)} , % | U _{к(СН)} , % | Група з'єднанн я | Вартість тис.грн. |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|----------------------|
| | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | | 18 |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|------|----|-----|-----|---|----|----|---------|---------|
| 133 | 330 | 121 | 10,5 | 45 | 250 | 0,2 | 9 | 60 | 48 | УН/УН/D | 34378,5 |
|-----|-----|-----|------|----|-----|-----|---|----|----|---------|---------|

1.1.2. Варіант 2

1.1.2.1. Вибір генераторів

Генератори вибираються такі ж як і в 1 варіанті. Таблиця 1.1.2.

1.1.2.2 Вибір трансформаторів зв'язку

Трансформатори зв'язку не потрібні в 2-му варіанті через те, що підключення відбувається без використання трансформаторів зв'язку.

1.1.2.3 Вибір блочного трансформатора

Блочні трансформатори вибираються такі ж як в 1 варіанті. Таблиця 1.1.4.

1.1.2.4 Вибір автотрансформаторів зв'язку

Автотрансформатор зв'язку між РП-330 і РП-750 обирається такий самий, як і в варіанті 1. Таблиця 1.1.5.

Однак, автотрансформатори зв'язку між РП-110 і РП-330 обираються виходячи з того, що на стороні нижчої напруги необхідно підключити місцеве навантаження.

Тому вибираються два автотрансформатори зв'язку типу **АТДЦТН-200000/330/110-У1**. Параметри АТ заносяться в таблицю 1.1.7:

Таблиця 2.7 - Технічні характеристики автотрансформатора зв'язку

| S_N , МВА | $U_{ВН}$, кВ | $U_{СН}$, кВ | $U_{НН}$, кВ | $\Delta P_{ХХ}$, кВт | $\Delta P_{КЗ}$, кВт | $I_{ХХ}$, % | $U_{К(ВС)}$, % | $U_{К(ВН)}$, % | $U_{К(СН)}$, % | Група з'єднанн я | Вартість тис.грн. |
|----------------|------------------|------------------|------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------|----------------------|
| 125 | 330 | 115 | 6,3 | 85 | 290 | 0,45 | 11 | 35 | 24 | УН/УН/D | 31742,2 |

1.2. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ ВАРІАНТІВ

$t = 8760 \text{ год.}$

$\tau = 3500 \text{ год.}$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | 19 |

Техніко-економічне порівняння варіантів виконаємо в табличній формі.

Таблица 1.2.8 - Втрати потужності (млн кВт. год)

| | 1 | | 2 | |
|-----------------------|---|---------|---|---------|
| | n | | n | |
| ТДЦ-80000/110-У1 | 2 | 3,6898 | - | - |
| ТДЦ-250000/330-У1 | 4 | 17,9344 | 4 | 17,9344 |
| ОРДЦ-533000/330-У1 | 1 | 6,1242 | 1 | 6,1242 |
| ОРДЦ-417000/750-У1 | 1 | 6,3579 | 1 | 6,3579 |
| АОДЦТ-417000/750/330 | 1 | 4,3572 | 1 | 4,3572 |
| АТДЦТН-125000/330/110 | 1 | 1,4338 | 0 | - |
| АТДЦТН-200000/330/110 | 0 | - | 1 | 1,9952 |
| Σ | - | 13,79 | - | 14,42 |

$$\Delta W_{\text{тп}} = P_x (8760) + P_{\text{кз}} \left(\frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{ном}}} \right)^2 \tau$$

$$\Delta W_1 = 58 \cdot 8760 + 2 \cdot 310 \cdot \left(\frac{88,8}{80} \right)^2 \cdot 3500 = 1,8449 \text{ млн кВт} \cdot \text{год};$$

$$\Delta W_2 = 214 \cdot 8760 + 4 \cdot 605 \cdot \left(\frac{277,5}{250} \right)^2 \cdot 3500 = 4,4836 \text{ млн кВт} \cdot \text{год};$$

$$\Delta W_3 = 310 \cdot 8760 + 1 \cdot 760 \cdot \left(\frac{1810}{1599} \right)^2 \cdot 3500 = 6,1242 \text{ млн кВт} \cdot \text{год};$$

$$\Delta W_4 = 320 \cdot 8760 + 1 \cdot 787 \cdot \left(\frac{1421}{1251} \right)^2 \cdot 3500 = 6,3579 \text{ млн кВт} \cdot \text{год};$$

$$\Delta W_5 = 217 \cdot 8760 + 1 \cdot 580 \cdot \left(\frac{1376}{1251} \right)^2 \cdot 3500 = 4,3572 \text{ млн кВт} \cdot \text{год};$$

$$\Delta W_6 = 45 \cdot 8760 + 1 \cdot 250 \cdot \left(\frac{145}{133} \right)^2 \cdot 3500 = 1,4338 \text{ млн кВт} \cdot \text{год};$$

$$\Delta W_7 = 85 \cdot 8760 + 1 \cdot 290 \cdot \left(\frac{139}{125} \right)^2 \cdot 3500 = 1,9952 \text{ млн кВт} \cdot \text{год};$$

Таблиця 1.2.9 - Вартість обладнання

| № п/п | Назва і тип обладнання | Ціна, тис. грн. | 1-ий варіант | | 2-ий варіант | |
|----------|--------------------------|--------------------|--------------|-----------------------|--------------|-----------------------|
| | | | п | Вартість, тис.грн. | п | Вартість, тис.грн. |
| 1 | ТДЦ-80000/110-У1 | 3245,64 | 2 | 6491,28 | 0 | 0 |
| 2 | ТДЦ-250000/330-У1 | 19469,09 | 4 | 77876,36 | 4 | 77876,36 |
| 3 | ОРДЦ-533000/330-У1 | 78803,64 | 1 | 78803,64 | 1 | 78803,64 |
| 4 | ОРДЦ-417000/750-У1 | 75428,23 | 1 | 75428,23 | 1 | 75428,23 |
| 5 | АОДЦТ-417000/750/330 | 63793,5 | 1 | 63793,5 | 1 | 63793,5 |
| 6 | АТДЦТН-125000/330/110 | 34378,5 | 1 | 34378,5 | 0 | 0 |
| 7 | АТДЦТН-200000/330/110 | 31742,2 | 0 | 0 | 1 | 31742,2 |
| 8 | Комірка 110 кВ | 29147,7 | 9 | 262329,3 | 7 | 204033,9 |
| 9 | Комірка 330 кВ | 45243,2 | 12 | 542918,4 | 12 | 542918,4 |
| 10 | Комірка 750 кВ | 89563,9 | 3 | 268691,7 | 3 | 268691,7 |
| 11 | ВЛ-110 кВ, одноланцюгова | 1018,18 | 5 | 5090,9 | 5 | 5090,9 |
| 12 | ВЛ-330 кВ, одноланцюгова | 1272,7 | 4 | 5090,8 | 4 | 5090,8 |
| 13 | ВЛ-750 кВ, одноланцюгова | 2458,3 | 1 | 2458,3 | 1 | 2458,3 |
| | Сума | | | 1423350,91 | | 1355927,93 |

Далі необхідно розрахувати щорічні витрати. Результати розрахунків вносяться в таблицю:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | 21 |

Таблиця 1.2.10 - Розрахунок щорічних витрат тис.грн

| Найменування | Варіанти | |
|--|----------|---------|
| | 1 | 2 |
| Щорічні витрати на технічне обслуговування і ремонт, B_{et} - всього | 984,78 | 984,78 |
| в т.ч. | | |
| ВЛ 110-220 кВ, 1.2% від К | 79,42 | 79,42 |
| РП 110-330 кВ, 2.4% від К | 905,36 | 905,36 |
| Амортизаційні відрахування, A_{pt} - всього | 1490,4 | 1407,2 |
| в т.ч. | | |
| ВЛ 35-750 кВ, 2% від К | 132,36 | 132,36 |
| РУ 10-750 кВ, 3.6% від К | 1358 | 1274,8 |
| Вартість втрат, $B_{втрат}$ (43.61 коп/кВт.год) | 6015,38 | 6288,76 |
| Разом щорічні витрати | 8490,57 | 8625,27 |

Розрахунок:

1) Прибуток

$$D_t$$

2) Балансовий прибуток

$$\Pi_{ot} = D_t - B_{\Sigma}$$

3) Податок на прибуток

$$H_{nt} = \rho \cdot \Pi_{ot}$$

4) Поточний річний чистий прибуток

$$\Pi_{pt} = \Pi_{ot} - H_{nt}$$

5) Інтегральний ефект

6) Рентабельність інвестицій

$$R_t = \frac{\Pi_{pt} + A_{pt}}{K}$$

7) Строк окупності

$$T_{ок} = \frac{1}{R_t}$$

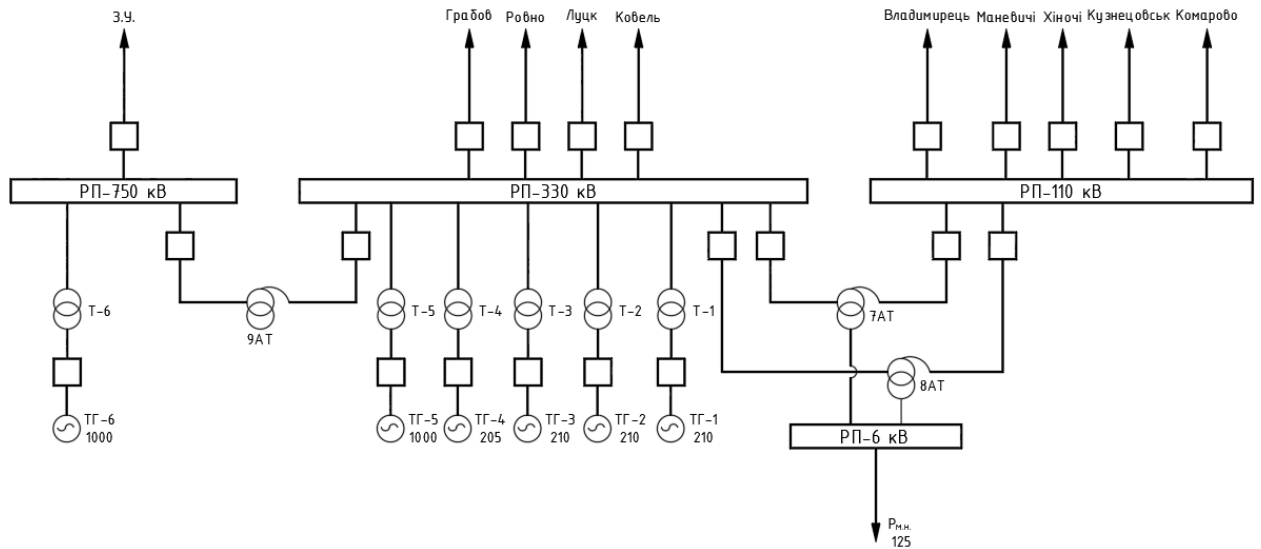
Результати розрахунку показників ефективності, млн. грн

Таблиця 1.2.11 - Результати економічних розрахунків

| | Варіанти | |
|--|-------------|------------|
| | 1 | 2 |
| Прибуток, млн грн | 4327,20225 | 4327,20225 |
| Балансовий прибуток, млн грн | 4259,283488 | 4262,0074 |
| Податок на прибуток, млн грн | 894,4495324 | 895,021553 |
| Поточний річний чистий прибуток, млн грн | 3364,833955 | 3366,98584 |
| Інтегральний ефект, млн грн | 26941,22054 | 27009,0873 |
| Рентабельність інвестицій | 2,39136291 | 2,51031176 |
| Строк окупності | 0,418171577 | 0,3983569 |

Отже, за рахунок більшого значення інтегрального ефекту і менших затрат на виробництво електроенергії, та менших капітальних затрат вибираємо 2 варіант схеми.

1.3. ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ СИСТЕМИ



Знайдемо величини опорів елементів схеми заміщення у відносних одиницях.
За базисну приймемо потужність яка найчастіше зустрічається $S_{\bar{o}} = 220$ МВА.
За базисну візьмемо напругу $U_{\bar{o}} = 330$ кВ.

Опори генераторів:

$$X_{Г1} = X_{Г2} = X_{Г3} = X_{Г4} = \frac{X_{d\%}'' S_{\bar{o}}}{100 S_{H.G.}} = \frac{18}{100} \cdot \frac{330}{259} = 0.1529 \text{ в. о.}$$

$$X_{Г5} = X_{Г6} = \frac{X_{d\%}'' S_{\bar{o}}}{100 S_{H.G.}} = \frac{27}{100} \cdot \frac{220}{1111} = 0.1536 \text{ в. о.}$$

Опори трансформаторів:

$$X_{T1} = X_{T2} = X_{T3} = X_{T4} = \frac{U_{\kappa\%}}{100\%} \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{S_{H.T.3}} = \frac{11}{100} \cdot \frac{220}{250} = 0.167 \text{ в. о.}$$

$$X_{T5} = \frac{U_{\kappa\%}}{100\%} \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{S_{H.T.3}} = \frac{13,2}{100} \cdot \frac{220}{533} = 0.0872 \text{ в. о.}$$

$$X_{T6} = \frac{U_{\kappa\%}}{100\%} \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{S_{H.T.3}} = \frac{13,6}{100} \cdot \frac{220}{417} = 0.07175 \text{ в. о.}$$

Опори автотрансформаторів:

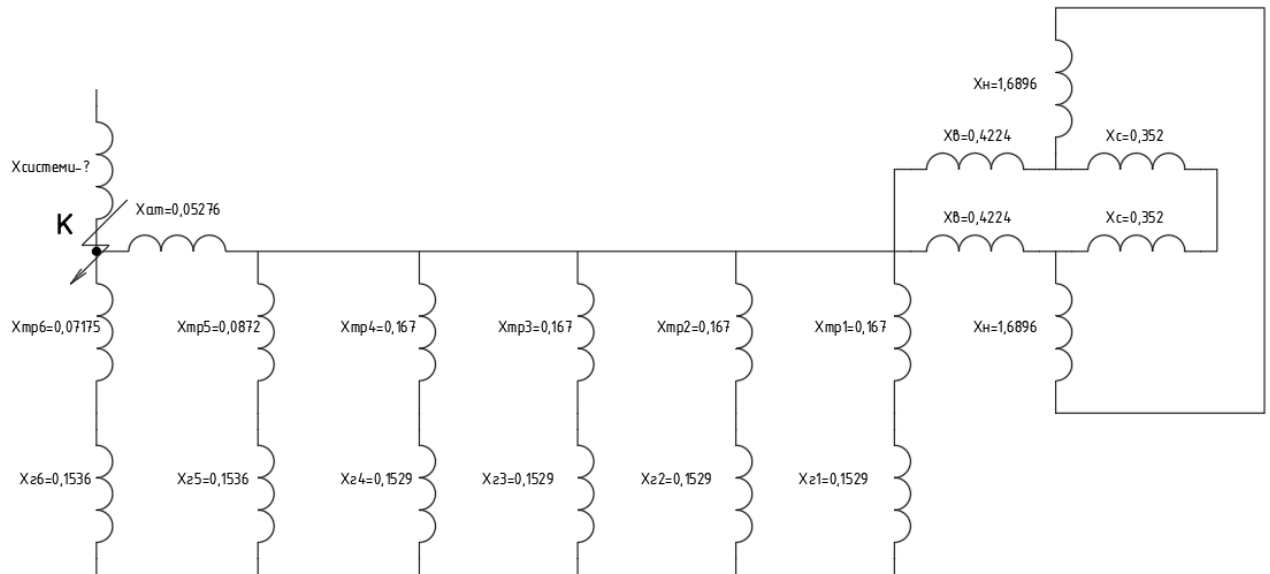
$$X_{AT} = \frac{U_{\kappa(B-C)\%}}{100\%} \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{S_{H.AT}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{220}{417} = 0.05276 \text{ в. о.}$$

$$\bar{X}_{B*} = \frac{U_{\kappa(B-C)\%} + U_{\kappa(B-H)\%} - U_{\kappa(C-H)\%}}{100\%} \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{S_{H.AT}} = \frac{11+60-47}{100} \cdot \frac{220}{125} = 0,4224 \text{ в. о.}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 24 |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$\bar{X}_{C*} = \frac{U_K(B-C)\% + U_K(C-H)\% - U_K(B-H)\%}{100\%} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{H.AT}} = \frac{11+47-60}{100} \cdot \frac{220}{125} = 0,352 \text{ в. о.}$$

$$\bar{X}_{H*} = \frac{U_K(B-H)\% + U_K(C-H)\% - U_K(B-C)\%}{100\%} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{H.AT}} = \frac{60+47-11}{100} \cdot \frac{220}{125} = 1,6896 \text{ в. о.}$$



Для розрахунку струмів КЗ нам необхідно знати опір системи X_C . Тому згортаємо схему відносно точки K_C , що знаходиться перед виходом в систему. Так ми знайдемо X_C .

Згортаємо схему відносно точки K_C :

$$X_1 = X_{r1} + X_{tp1} = 0,1529 + 0,097 = 0,2497 \text{ в. о.}$$

$$X_2 = X_{r2} + X_{tp2} = 0,1529 + 0,097 = 0,2497 \text{ в. о.}$$

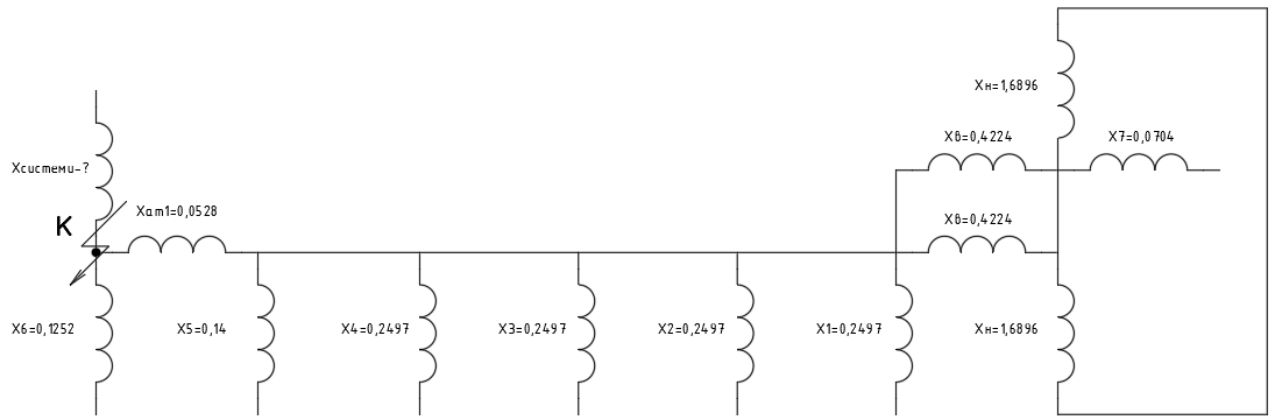
$$X_3 = X_{r3} + X_{tp3} = 0,1529 + 0,097 = 0,2497 \text{ в. о.}$$

$$X_4 = X_{r4} + X_{tp4} = 0,1529 + 0,097 = 0,2497 \text{ в. о.}$$

$$X_5 = X_{r5} + X_{tp5} = 0,053 + 0,0872 = 0,1407 \text{ в. о.}$$

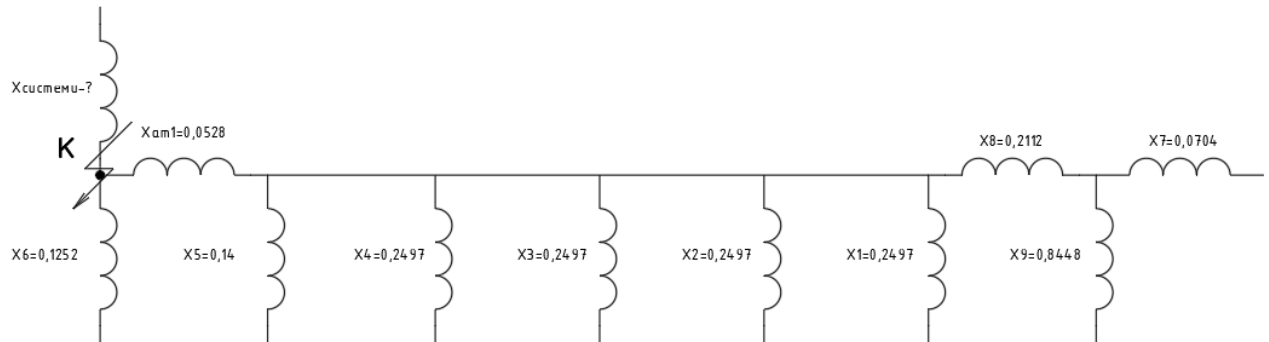
$$X_6 = X_{r6} + X_{tp6} = 0,053 + 0,0718 = 0,1252 \text{ в. о.}$$

$$X_7 = X_c + X_c = 0,035 + 0,035 = 0,0704 \text{ в. о.}$$



$$X_8 = \frac{X_B \cdot X_B}{X_B + X_B} = \frac{0,4224 \cdot 0,4224}{0,4224 + 0,4224} = 0,2112 \text{ в.о.}$$

$$X_9 = \frac{X_H \cdot X_H}{X_H + X_H} = \frac{1,6896 \cdot 1,6896}{1,6896 + 1,6896} = 0,8448 \text{ в.о.}$$



Далі комбінуючи паралельне і послідовне з'єднання отримуємо схему, приведену у вигляд двопроменевої зірки:

$$X_{10} = \frac{X_7 \cdot X_9}{X_7 + X_9} = \frac{0,0704 \cdot 0,8448}{0,0704 + 0,8448} = 0,065 \text{ в.о.}$$

$$X_{11} = X_8 + X_{10} = 0,2112 + 0,065 = 0,2762 \text{ в.о.}$$

$$X_{12} = \frac{X_1 \cdot X_{11}}{X_1 + X_{11}} = \frac{0,2497 \cdot 0,2762}{0,2497 + 0,2762} = 0,1311 \text{ в.о.}$$

$$X_{13} = \frac{X_2 \cdot X_{12}}{X_2 + X_{12}} = \frac{0,2497 \cdot 0,1311}{0,2497 + 0,1311} = 0,086 \text{ в.о.}$$

$$X_{14} = \frac{X_3 \cdot X_{13}}{X_3 + X_{13}} = \frac{0,2497 \cdot 0,086}{0,2497 + 0,086} = 0,064 \text{ в.о.}$$

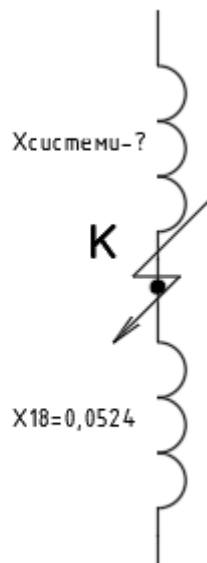
$$X_{15} = \frac{X_4 \cdot X_{14}}{X_4 + X_{14}} = \frac{0,2497 \cdot 0,064}{0,2497 + 0,064} = 0,05 \text{ в.о.}$$

$$X_{16} = \frac{X_5 \cdot X_{15}}{X_5 + X_{15}} = \frac{0,14 \cdot 0,05}{0,14 + 0,05} = 0,037 \text{ в.о.}$$

$$X_{17} = X_{ат1} + X_{16} = 0,053 + 0,037 = 0,09 \text{ в.о.}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | 26 |

$$X_{18} = X_{CT} = \frac{X_6 \cdot X_{17}}{X_6 + X_{17}} = \frac{0,1252 \cdot 0,09}{0,1252 + 0,09} = 0,052 \text{ в.о.}$$

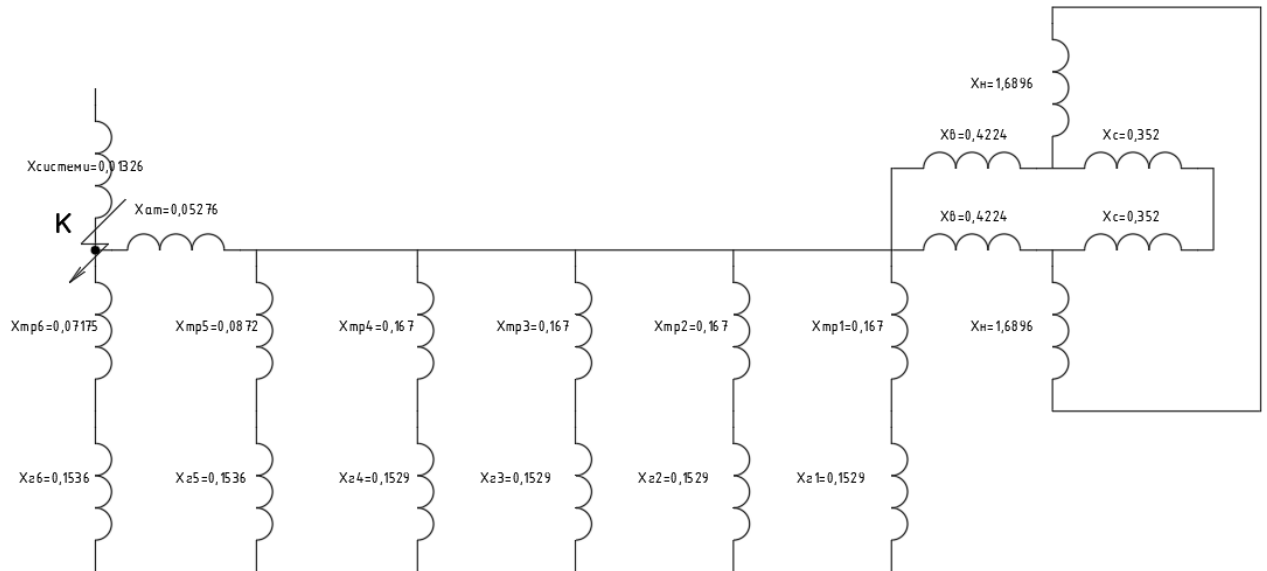


$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{220}{\sqrt{3} \cdot 330} = 0,385 \text{ кА}$$

$$I_{к.з.(сист)} = \frac{U_{750}}{U_6} \cdot I_{к.з.(сист)} = \frac{750}{330} \cdot 16 = 36,36 \text{ кА}$$

$$X_E = \frac{I_6}{I_{к.з.(сист)}} = \frac{0,385}{36,36} = 0,01 \text{ в. о.}$$

$$X_{сист} = \frac{X_E \cdot X_{CT}}{X_{CT} - X_E} = \frac{0,01 \cdot 0,052}{0,052 - 0,01} = 0,01326 \text{ в. о.}$$

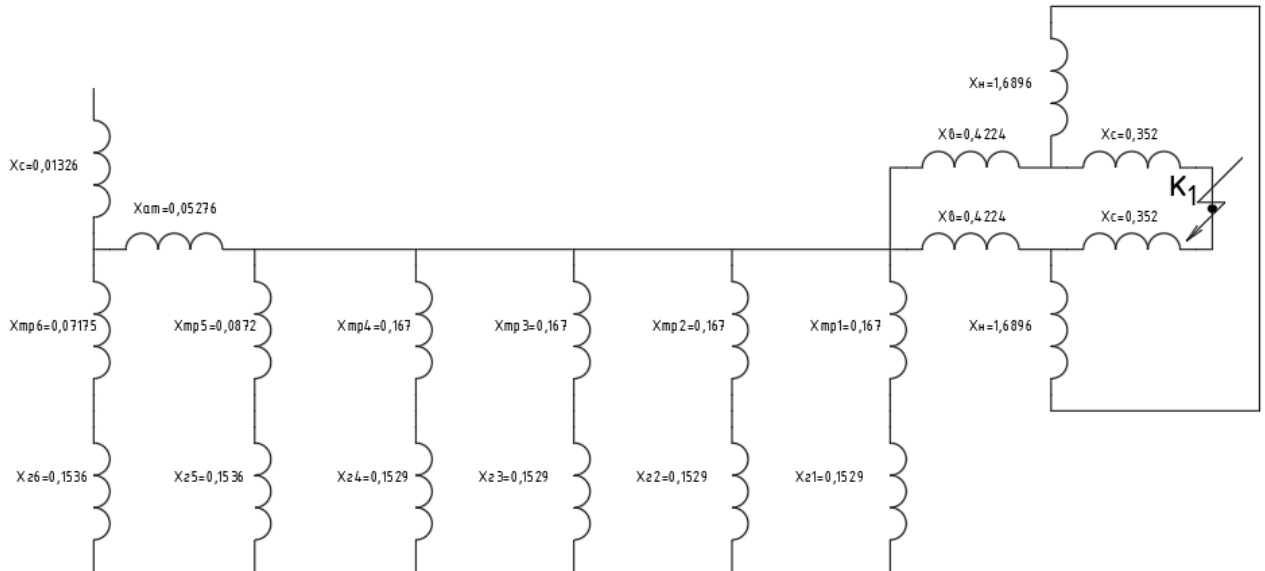


Заступна схема електричної станції з повністю визначеними параметрами.

2. ВИБІР КОМУТАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ АЕС

2.1 Вибір обладнання на РП-110 кВ

Згортаємо схему відносно точки К1.



$$X_1 = X_{r1} + X_{tp1} = 0,1529 + 0,097 = 0,2497 \text{ в.о.}$$

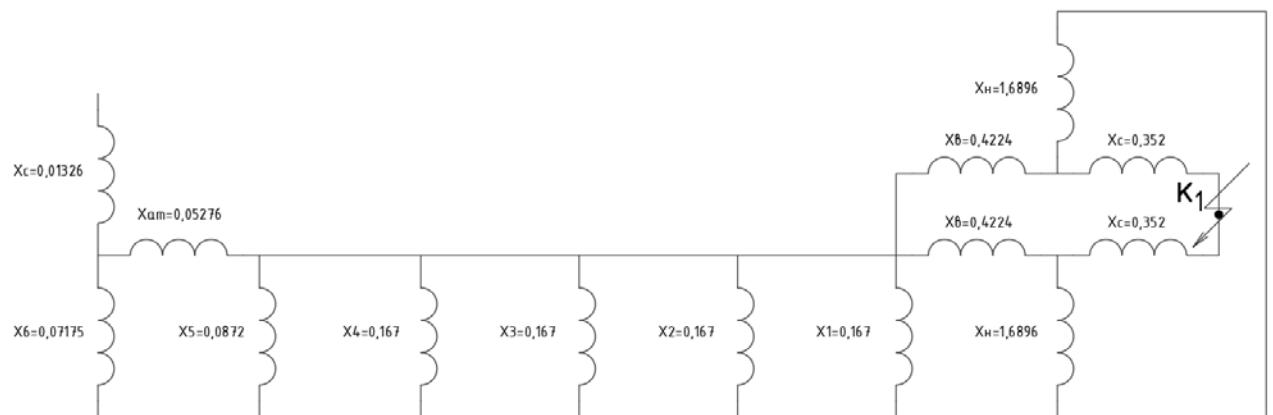
$$X_2 = X_{r2} + X_{tp2} = 0,1529 + 0,097 = 0,2497 \text{ в.о.}$$

$$X_3 = X_{r3} + X_{tp3} = 0,1529 + 0,097 = 0,2497 \text{ в.о.}$$

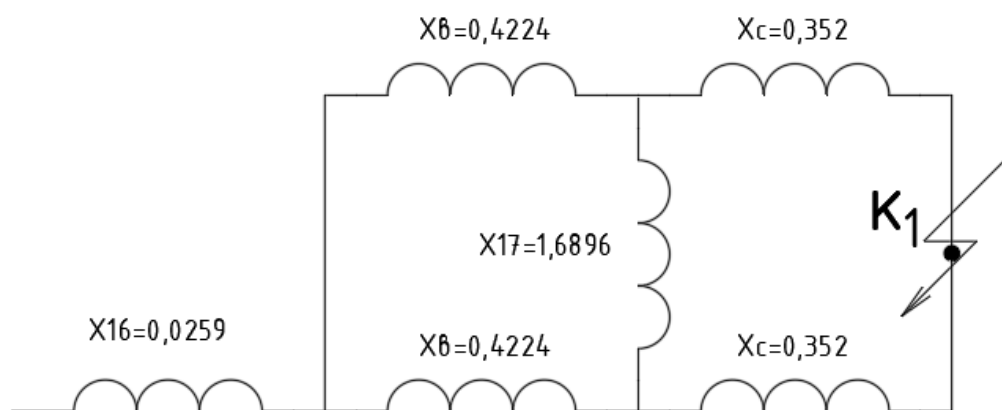
$$X_4 = X_{r4} + X_{tp4} = 0,1529 + 0,097 = 0,2497 \text{ в.о.}$$

$$X_5 = X_{r5} + X_{tp5} = 0,053 + 0,0872 = 0,1407 \text{ в.о.}$$

$$X_6 = X_{r6} + X_{tp6} = 0,053 + 0,0718 = 0,1252 \text{ в.о.}$$



| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 29 |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

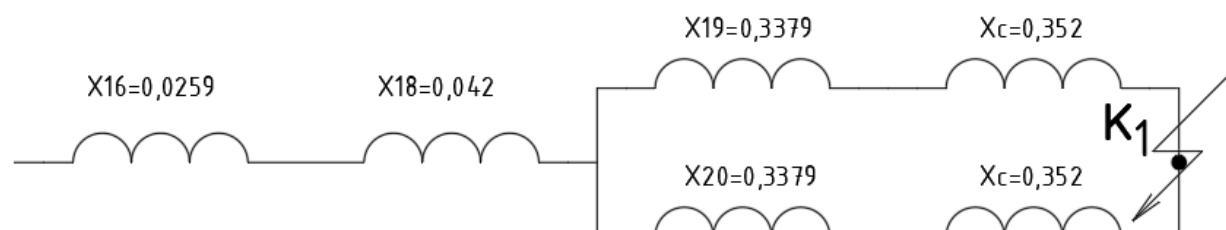


Далі перетворюємо групу X_B , X_B і X_{17} із трикутника в зірку:

$$X_{18} = \frac{X_B \cdot X_B}{X_B + X_B + X_{17}} = \frac{0,422 \cdot 0,422}{0,422 + 0,422 + 3,38} = 0,042 \text{ в. о.}$$

$$X_{19} = \frac{X_B \cdot X_{17}}{X_B + X_B + X_{17}} = \frac{0,422 \cdot 3,38}{0,422 + 0,422 + 3,38} = 0,338 \text{ в. о.}$$

$$X_{20} = \frac{X_B \cdot X_{17}}{X_B + X_B + X_{17}} = \frac{0,422 \cdot 3,38}{0,422 + 0,422 + 3,38} = 0,338 \text{ в. о.}$$



$$X_{21} = X_{16} + X_{18} = 0,026 + 0,042 = 0,068 \text{ в. о.}$$

$$X_{22} = X_{23} = X_{19} + X_c = 0,03379 + 0,352 = 0,3731 \text{ в. о.}$$

$$X_{24} = \frac{X_{21} \cdot X_{22}}{X_{21} + X_{22}} = \frac{0,068 \cdot 0,3731}{0,068 + 0,3731} = 0,1866 \text{ в. о.}$$

$$X_{екв} = X_{21} + X_{24} = 0,068 + 0,1866 = 0,2547 \text{ в. о.}$$

2.1.1. Розрахунок струмк короткого замикання на РП-110 кВ

Базисний струм по відношенню до напруги місця КЗ

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | 31 |

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{220}{\sqrt{3} \cdot 330} = 0.385 \text{ кА}$$

Періодична складова струму КЗ від системи, що не затухає з часом

$$I_{n,c,0} = I_{n,c} = \frac{I_6}{X_{\Sigma c}} = \frac{0.385}{0.2547} = 1,51 \text{ (кА)}$$

Враховуючи можливість використання для даних умов вимикача **ВГТ-110Ш-40/2000У1** [8], у якого $\Delta t_{\text{відкл}} = 0.055 \text{ с}$.

Час протікання аперіодичної складової

$$t_{\text{роз}} = \tau = \Delta t_{\text{відкл}} + \Delta t_{\text{рз}} = 0.055 + 0.013 = 0.068 \text{ с.}$$

Знаючи сталу часу затухання аперіодичної складової струму КЗ від системи для шин 110 кВ, $T_{a,\Gamma} = 0.13 \text{ с}$, розрахуємо наступні параметри режиму КЗ:

- аперіодична складова струму від системи

$$i_{a,c,t} = \sqrt{2} \cdot I_{n,c} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_{a,c}}} = \sqrt{2} \cdot 1,51 \cdot e^{-\frac{0.063}{0.13}} = 1,27 \text{ (кА)}$$

- повний струм КЗ від системи

$$i_{\Sigma,c} = i_{a,c,t} + \sqrt{2} \cdot I_{n,c} = 1,27 + \sqrt{2} \cdot 1,51 = 3,4 \text{ (кА)}$$

- ударний струм від системи

$$i_{\text{уд max}} = \sqrt{2} \cdot I_{n,c} \cdot K_{y,c} = \sqrt{2} \cdot 1,51 \cdot 1.92 = 4,1 \text{ (кА)}$$

де: $K_{y,c}=1.92$ на шинах РУ-110кВ;

- вміст аперіодичної складової в струмі КЗ

$$\beta = \frac{i_{a,c,t}}{i_{\Sigma,c}} \cdot 100\% = \frac{1,27}{3,4} \cdot 100\% = 37.21\%$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | 32 |

2.1.2. Вибір вимикача РП 110 кВ

Вибір вимикача буде проводитись в відповідності до струму комірки ВРУ-110 кВ приєднання автотрансформатора. Струм комірки визначає струм вимикача

$$I_{\text{обт}} = \frac{S_{\text{н,АТ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н,АТ}}} = \frac{125}{\sqrt{3} \cdot 121} = 596 \text{ А}$$

Розрахунковий імпульс квадратичного струму

$$B_{\text{к}}^{\text{розр}} = I_{\text{н,с}}^2 \cdot (t_{\text{роз}} + T_{\text{а}}) = 1,51^2 \cdot (0.555 + 0.13) = 1,564 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$$

$$\text{де: } t_{\text{роз}} = \Delta t_{\text{відкл}} + \Delta t_{\text{рз}} = 0.055 + 0.5 = 0.555 \text{ с, } T_{\text{а,с}} = 0.13 \text{ с.}$$

Номінальний допустимий імпульс квадратичного струму

$$B_{\text{к}}^{\text{доп}} = I_{\text{терм,н}}^2 \cdot t_{\text{терм,н}} = 40^2 \cdot 2 = 3200 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$$

Умова перевірки вимикача на термічну стійкість

$$B_{\text{к}}^{\text{доп}} = 3200 \text{ кА}^2 \geq B_{\text{к}}^{\text{розр}} = 1,564 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Умова перевірки вимикача на динамічну стійкість

$$i_{\text{ед макс,н}} = 55 \text{ кА} \geq i_{\text{уд макс}} = 4,1 \text{ кА}$$

Умова перевірки вимикача на вимикаючу здатність:

$$i_{\text{відкл,н}} = 40 \text{ кА} \geq i_{\Sigma \text{с}} = 3,4 \text{ кА}$$

$$\text{де: } i_{\text{відк}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{відкл,н}} \cdot (1 + \beta_{\text{ном}}) = \sqrt{2} \cdot 40 \cdot (1 + 0.38) = 78,13 \text{ (кА)}$$

Результати розрахунків для порівняння їх з паспортними даними вимикача **ВГТ-110Ш-40/2000У1** зведені в Табл.2.2.

Таблиця 12 - Вибір та перевірка вимикача ВГТ-110

| № | Велечини | | паспортні | розраховані |
|---|---|---|------------|-------------|
| 1 | Тип | ВГТ-110III-40/2000У1 | | |
| 2 | Номинальна напруга, кВ | $U_n \geq U_{уст}$ | 110 | 110 |
| 3 | Номинальний струм, А | $I_n \geq I_{обт}$ | 2000 | 596 |
| 4 | Струм відключення, кА | $I_{відкл,н}$ | 40 | |
| 5 | Струм електродинамічної стійкості, кА | $I_{вд\ max,н} \geq i_{уд,мах}$ | 55 | 4,1 |
| 6 | Термічна стійкість, кА ² с | $B_K^{доп} > B_K^{розр}$ | 3200(40/2) | 1,564 |
| 7 | Час підключення, с | $\Delta t_{відкл}$ | 0.055 | |
| 8 | Асиметричний струм вимикання,кА | $\sqrt{2} * I_{відкл.н} (1 + \beta_{ном} \geq i_{\Sigma,с}$ | 78.13 | 52.7 |

2.1.3. Вибір роз'єднувача РУ-110 кВ

Виберемо роз'єднувач в послідовному колі вимикача ВГУ-110.

Обтяженим струмом буде вважатися обтяжений струм вимикача на напрузі 110 кВ.

За цими умовами найбільш прийнятним являється роз'єднувач РНД110/1250 Т1 [1].

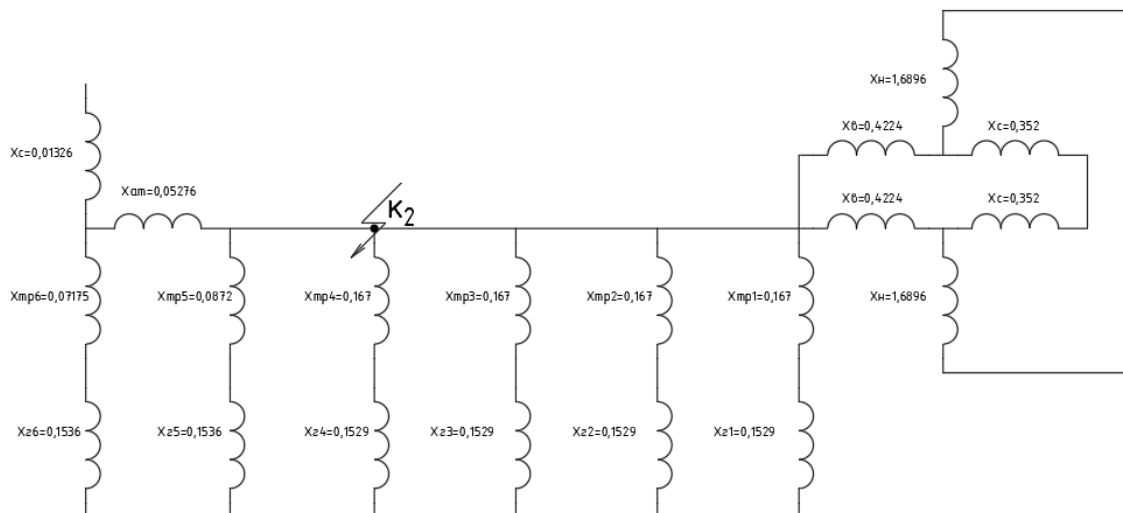
Вибір та перевірка роз'єднувача здійснюється в табличній формі, де порівнюються розрахункові та паспортні дані в табл. 13:

Таблиця 13 - Вибір та перевірка роз'єднувача РНД110/1250 Т1 [1]

| № | Велечини | | паспортні | розраховані |
|---|---------------------------------------|-----------------------------------|------------|-------------|
| 1 | Тип | РНД 110/1250 | | |
| 2 | Номінальна напруга, кВ | $U_n \geq U_{уст}$ | 110 | 110 |
| 3 | Номінальний струм, А | $I_n \geq I_{обт}$ | 1250 | 596 |
| 4 | Струм електродинамічної стійкості, кА | $I_{вд\ max, n} \geq I_{уд, max}$ | 100 | 4,1 |
| 5 | Термічна стійкість, кА ² с | $B_k^{доп} > B_k^{розн}$ | 4800(40/3) | 1,564 |

2.2. Вибір обладнання на РП 330 кВ

Визначимо опір системи з урахуванням того, що $U_{б330} = 330$ кВ. Відносний опір системи, наведений до базисної напруги 330 кВ:



$$X_1 = X_{r1} + X_{Tp1} = 0,1529 + 0,097 = 0,2497 \text{ в.о.}$$

$$X_2 = X_{r2} + X_{Tp2} = 0,1529 + 0,097 = 0,2497 \text{ в.о.}$$

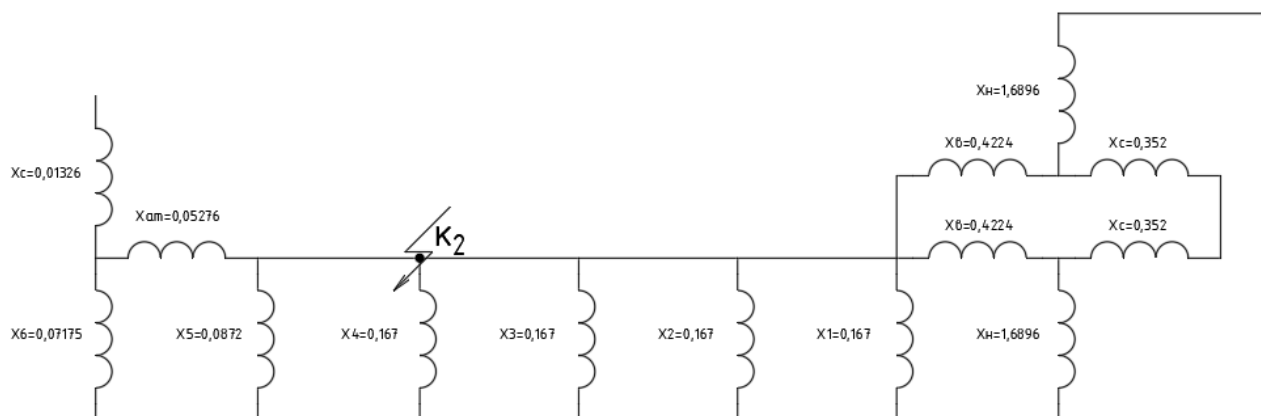
$$X_3 = X_{r3} + X_{Tp3} = 0,1529 + 0,097 = 0,2497 \text{ в.о.}$$

$$X_4 = X_{r4} + X_{Tp4} = 0,1529 + 0,097 = 0,2497 \text{ в.о.}$$

$$X_5 = X_{r5} + X_{Tp5} = 0,053 + 0,0872 = 0,1407 \text{ в.о.}$$

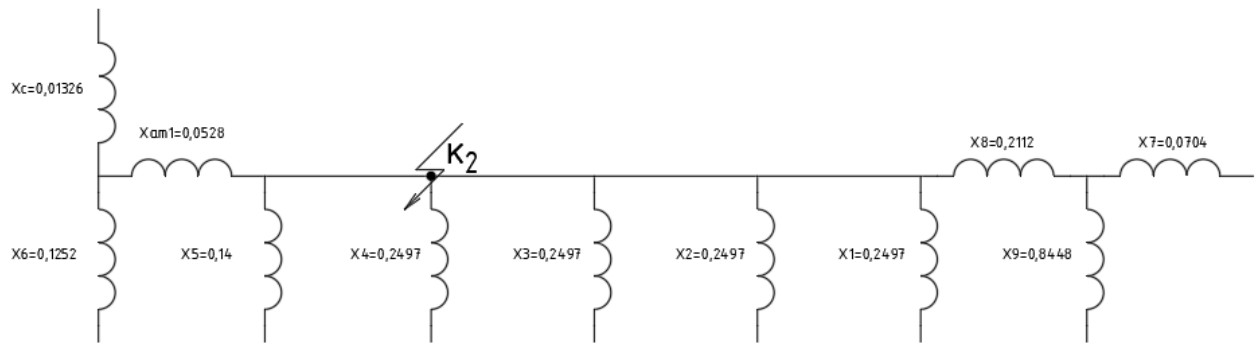
$$X_6 = X_{r6} + X_{Tp6} = 0,053 + 0,0718 = 0,1252 \text{ в.о.}$$

$$X_7 = X_c + X_c = 0,035 + 0,035 = 0,0704 \text{ в.о.}$$



$$X_8 = \frac{X_B \cdot X_B}{X_B + X_B} = \frac{0,4224 \cdot 0,4224}{0,4224 + 0,4224} = 0,2112 \text{ в.о.}$$

$$X_9 = \frac{X_H \cdot X_H}{X_H + X_H} = \frac{1,6896 \cdot 1,6896}{1,6896 + 1,6896} = 0,8448 \text{ в.о.}$$



Далі комбінуючи паралельне і послідовне з'єднання отримуємо схему, приведену у вигляд двопроменевої зірки:

$$X_{10} = \frac{X_7 \cdot X_9}{X_7 + X_9} = \frac{0,0704 \cdot 0,8448}{0,0704 + 0,8448} = 0,065 \text{ в.о.}$$

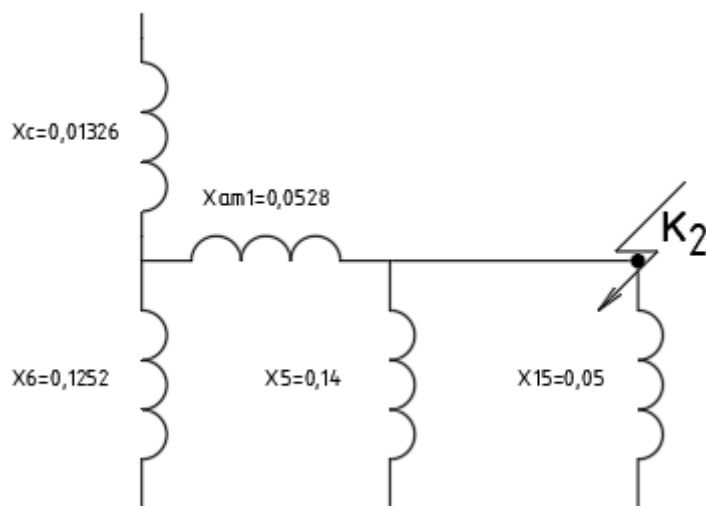
$$X_{11} = X_8 + X_{10} = 0,2112 + 0,065 = 0,2762 \text{ в.о.}$$

$$X_{12} = \frac{X_1 \cdot X_{11}}{X_1 + X_{11}} = \frac{0,2497 \cdot 0,2762}{0,2497 + 0,2762} = 0,1311 \text{ в.о.}$$

$$X_{13} = \frac{X_2 \cdot X_{12}}{X_2 + X_{12}} = \frac{0,2497 \cdot 0,1311}{0,2497 + 0,1311} = 0,086 \text{ в.о.}$$

$$X_{14} = \frac{X_3 \cdot X_{13}}{X_3 + X_{13}} = \frac{0,2497 \cdot 0,086}{0,2497 + 0,086} = 0,064 \text{ в.о.}$$

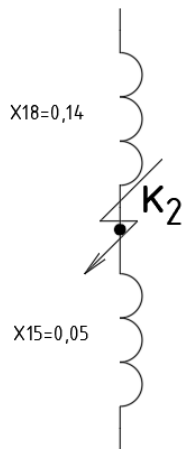
$$X_{15} = \frac{X_4 \cdot X_{14}}{X_4 + X_{14}} = \frac{0,2497 \cdot 0,064}{0,2497 + 0,064} = 0,05 \text{ в.о.}$$



$$X_{16} = \frac{X_6 \cdot X_c}{X_6 + X_c} = \frac{0,1252 \cdot 0,013}{0,1252 + 0,013} = 0,012 \text{ в. о.}$$

$$X_{17} = X_{at1} + X_{16} = 0,053 + 0,012 = 0,065 \text{ в. о.}$$

$$X_{18} = \frac{X_5 \cdot X_{17}}{X_5 + X_{17}} = \frac{0,14 \cdot 0,065}{0,14 + 0,065} = 0,044 \text{ в. о.}$$



$$X_{19} = X_{екв} = \frac{X_{15} \cdot X_{18}}{X_{15} + X_{18}} = \frac{0,05 \cdot 0,044}{0,05 + 0,044} = 0,024 \text{ в. о.}$$

2.2.1. Розрахунок струмів КЗ на шинах РП 330

Базисний струм по відношенню до напруги місця КЗ

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{220}{\sqrt{3} \cdot 330} = 0.385 \text{ кА}$$

Періодична складова струму КЗ від системи, що не затухає з часом

$$I_{n,c,0} = I_{n,c} = \frac{I_6}{X_{\Sigma c}} = \frac{0.385}{0.024} = 16,34 \text{ (кА)}$$

Враховучи можливість використання для даних умов вимикача **ВГГ-330**, у якого $\Delta t_{відкл} = 0.055 \text{ с.}$

Час протікання аперіодичної складової

$$t_{роз} = \tau = \Delta t_{відкл} + \Delta t_{рз} = 0.055 + 0.013 = 0.068 \text{ с.}$$

Знаючи сталу часу затухання аперіодичної складової струму КЗ від системи для шин 330 кВ, $T_{a,\Gamma} = 0.11 \text{ с,}$ розрахуємо наступні параметри режиму КЗ:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | 38 |

- аперіодична складова струму від системи

$$i_{a,C,t} = \sqrt{2} \cdot I_{n,C} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_{a,C}}} = \sqrt{2} \cdot 16,34 \cdot e^{-\frac{0.063}{0.11}} = 12,38 \text{ (кА)}$$

- повний струм КЗ від системи

$$i_{\Sigma,C} = i_{a,C,t} + \sqrt{2} \cdot I_{n,C} = 12,38 + \sqrt{2} \cdot 16,34 = 35,34 \text{ (кА)}$$

- ударний струм від системи

$$i_{уд \max} = \sqrt{2} \cdot I_{n,C} \cdot K_{y,C} = \sqrt{2} \cdot 16,34 \cdot 1.94 = 44,56 \text{ (кА)}$$

де: $K_{y,C}=1.94$ на шинах РУ-330кВ;

- вміст аперіодичної складової в струмі КЗ

$$\beta = \frac{i_{a,C,t}}{i_{\Sigma,C}} \cdot 100\% = \frac{12,38}{35,34} \cdot 100\% = 35 \%$$

2.2.2. Вибір вимикача РП 330 кВ

Вибір вимикача буде проводитись в відповідності до струму комірки ВРУ-330 кВ приєднання автотрансформатора. Струм комірки визначає струм вимикача

$$I_{обт} = \frac{S_{н,АТ}}{\sqrt{3} \cdot U_{н,АТ}} = \frac{417}{\sqrt{3} \cdot 330} = 729,56 \text{ А}$$

Розрахунковий імпульс квадратичного струму

$$B_k^{розр} = I_{n,C}^2 \cdot (t_{роз} + T_a) = 16,34^2 \cdot (0.555 + 0.11) = 175,39 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$$

де: $t_{роз} = \Delta t_{відкл} + \Delta t_{рз} = 0.055 + 0.5 = 0.555 \text{ с}$, $T_{a,C}=0.11 \text{ с}$.

Номінальний допустимий імпульс квадратичного струму

$$B_k^{доп} = I_{терм,н}^2 \cdot t_{терм,н} = 40^2 \cdot 2 = 3200 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$$

Умова перевірки вимикача на термічну стійкість

$$B_k^{доп} = 3200 \text{ кА}^2 \geq B_k^{розр} = 175,39 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | 39 |

Умова перевірки вимикача на динамічну стійкість

$$i_{ед\ max,н} = 102\ кА \geq i_{уд\ max} = 44,56\ кА$$

Умова перевірки вимикача на вимикаючу здатність:

$$i_{відкл,н} = 78.13\ кА \geq i_{\Sigma C,} = 35,34\ кА$$

$$\text{де: } i_{відк} = \sqrt{2} \cdot I_{відкл,н} \cdot (1 + \beta_{ном}) = \sqrt{2} \cdot 40 * (1 + 0.38) = 78,13\ (кА)$$

Результати розрахунків для порівняння їх з паспортними даними вимикача **ВГГ-330** зведені в Табл. 14.

Таблиця 14 - Вибір та перевірка вимикача ВГГ-330Б

| № | Велечини | | паспортні | розраховані |
|---|---------------------------------------|---------------------------------|------------|-------------|
| 1 | Тип | ВГГ-330 | | |
| 2 | Номінальна напруга, кВ | $U_n \geq U_{уст}$ | 330 | 330 |
| 3 | Номінальний струм, А | $I_n \geq I_{обт}$ | 3150 | 729,56 |
| 4 | Струм відключення, кА | $I_{відкл,н}$ | 40 | |
| 5 | Струм електродинамічної стійкості, кА | $I_{вд\ max,н} \geq i_{уд,мах}$ | 102 | 44,56 |
| 6 | Термічна стійкість, кА ² с | $B_K^{доп} > B_K^{розр}$ | 3200(40/2) | 175,39 |
| 7 | Час підключення, с | $\Delta t_{відкл}$ | 0.055 | |

| | | | | |
|---|---------------------------------------|--|-------|-------|
| 8 | Асиметричний струм вимикання,кА | $\sqrt{2} * I_{\text{відкл.н}}(1 + \beta_{\text{ном}} \geq i_{\Sigma, \text{с}}$ | 78.13 | 35,34 |
|---|---------------------------------------|--|-------|-------|

2.2.3. Вибір роз'єднувача РУ-330 кВ

Виберемо роз'єднувач в послідовному колі вимикача ВГУ-330.

Обтяженим струмом буде вважатися обтяжений струм вимикача на напрузі 330 кВ.

За цими умовами найбільш прийнятним являється роз'єднувач **РНД330/3200 У1**.

Вибір та перевірка роз'єднувача здійснюється в табличній формі, де порівнюються розрахункові та паспортні дані. Табл. 15

Таблиця 15 - Вибір та перевірка роз'єднувача **РНД330/3200 У1**

| № | Велечини | | паспортні | розраховані |
|---|---------------------------------------|--|-----------|-------------|
| 1 | Тип | РНД 330/3200У1 | | |
| 2 | Номінальна напруга, кВ | $U_n \geq U_{\text{уст}}$ | 330 | 330 |
| 3 | Номінальний струм, А | $I_n \geq I_{\text{обт}}$ | 3200 | 729,56 |
| 4 | Струм електродинамічної стійкості, кА | $I_{\text{вд мах,н}} \geq i_{\text{уд,мах}}$ | 160 | 44,56 |
| 5 | Термічна стійкість, кА ² с | $B_{\text{к}}^{\text{доп}} > B_{\text{к}}^{\text{розр}}$ | 7938 | 175,39 |

2.3. Вибір обладнання на РП 750 кВ

Еквівалентний опір

$$X_{\Sigma, C} = \frac{X_C \cdot X_{CT}}{X_C + X_{CT}} = \frac{0,013 \cdot 0,052}{0,052 + 0,013} = 0,01 \text{ в. о.}$$

Базисний струм по відношенню до напруги місця КЗ

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{220}{\sqrt{3} \cdot 330} = 0.385 \text{ кА}$$

Періодична складова струму КЗ від системи, що не затухає з часом

$$I_{n, C, 0} = I_{n, C} = \frac{I_6}{X_{\Sigma C}} = \frac{0.385}{0.01} = 36,36 \text{ (кА)}$$

Враховує можливість використання для даних умов вимикача **ВГГ-750** [8], у якого $\Delta t_{\text{відкл}} = 0.025 \text{ с.}$

Час протікання аперіодичної складової

$$t_{\text{роз}} = \tau = \Delta t_{\text{відкл}} + \Delta t_{\text{рз}} = 0.025 + 0.013 = 0.038 \text{ с.}$$

Знаючи сталу часу затухання аперіодичної складової струму КЗ від системи для шин 750 кВ, $T_{a, \Gamma} = 0.05 \text{ с,}$ розрахуємо наступні параметри режиму КЗ:

- аперіодична складова струму від системи

$$i_{a, C, t} = \sqrt{2} \cdot I_{n, C} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_{a, C}}} = \sqrt{2} \cdot 36,36 \cdot e^{-\frac{0.033}{0.05}} = 24 \text{ (кА)}$$

- повний струм КЗ від системи

$$i_{\Sigma, C} = i_{a, C, t} + \sqrt{2} \cdot I_{n, C} = 24 + \sqrt{2} \cdot 36,36 = 75,48 \text{ (кА)}$$

- ударний струм від системи

$$i_{\text{уд max}} = \sqrt{2} \cdot I_{n, C} \cdot K_{y, C} = \sqrt{2} \cdot 36,36 \cdot 1.95 = 100,28 \text{ (кА)}$$

де: $K_{y, C} = 1.95$ на шинах РУ-750кВ;

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 42 |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

- вміст аперіодичної складової в струмі КЗ

$$\beta = \frac{i_{a,c,t}}{i_{\Sigma,c}} \cdot 100\% = \frac{24}{75,48} \cdot 100\% = 32 \%$$

2.3.1. Визначення умов вибору і перевірки вимикача РУ 750 кВ

Вибір вимикача буде проводитись в відповідності до струму комірки ВГУ-750 кВ приєднання автотрансформатора. Струм комірки визначає струм вимикача

$$I_{обт} = \frac{S_{н,АТ}}{\sqrt{3} \cdot U_{н,АТ}} = \frac{417}{\sqrt{3} \cdot 750} = 321 \text{ А.}$$

Розрахунковий імпульс квадратичного струму

$$B_k^{розр} = I_{н,с}^2 \cdot (t_{роз} + T_a) = 36,36^2 \cdot (0,555 + 0,05) = 760,33 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$$

$$\text{де: } t_{роз} = \Delta t_{відкл} + \Delta t_{рз} = 0,025 + 0,5 = 0,525 \text{ с, } T_{a,с} = 0,05 \text{ с.}$$

Номінальний допустимий імпульс квадратичного струму

$$B_k^{доп} = I_{терм,н}^2 \cdot t_{терм,н} = 100^2 \cdot 3 = 20000 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$$

Умова перевірки вимикача на термічну стійкість

$$B_k^{доп} = 20000 \text{ кА}^2 \geq B_k^{розр} = 760,33 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Умова перевірки вимикача на динамічну стійкість

$$i_{ед \text{ мах,н}} = 120 \text{ кА} \geq i_{уд \text{ мах}} = 100,28 \text{ кА}$$

Умова перевірки вимикача на вимикаючу здатність:

$$i_{відкл,н} = 80,19 \text{ кА} \geq i_{\Sigma,с} = 75,48 \text{ кА}$$

$$\text{де: } i_{відк} = \sqrt{2} \cdot I_{відкл,н} \cdot (1 + \beta_{ном}) = \sqrt{2} \cdot 45 \cdot (1 + 0,26) = 80,19 \text{ (кА)}$$

Результати розрахунків для порівняння їх з паспортними даними вимикача **ВГГ-750** зведені в Табл. 16.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 43 |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

Таблиця 16 - Вибір та перевірка вимикача ВГГ-750

| № | Велечини | | паспортні | розраховані |
|---|---------------------------------------|---|--------------|-------------|
| 1 | Тип | ВГГ-750 | | |
| 2 | Номінальна напруга, кВ | $U_n \geq U_{уст}$ | 750 | 750 |
| 3 | Номінальний струм, А | $I_n \geq I_{обт}$ | 3150 | 321 |
| 4 | Струм відключення, кА | $I_{відкл,н}$ | 45 | |
| 5 | Струм електродинамічної стійкості, кА | $I_{вд\ max,н} \geq i_{уд,мах}$ | 120 | 100,28 |
| 6 | Термічна стійкість, кА ² с | $B_k^{доп} > B_k^{розр}$ | 20000(100/3) | 760,33 |
| 7 | Час підключення, с | $\Delta t_{відкл}$ | 0.025 | |
| 8 | Асиметричний струм вимикання, кА | $\sqrt{2} * I_{відкл,н} (1 + \beta_{ном} \geq i_{\Sigma,с}$ | 80,19 | 75,48 |

2.3.2. Вибір роз'єднувача РУ-750 кВ

Виберемо роз'єднувач в послідовному колі вимикача ВГГ-750.

Обтяженим струмом буде вважатися обтяжений струм вимикача на напрузі 750 кВ.

За цими умовами найбільш прийнятним являється роз'єднувач **GSSB-(AM)-800/3200**.

Вибір та перевірка роз'єднувача здійснюється в табличній формі, де порівнюються розрахункові та паспортні дані.

Таблиця 17 - Вибір та перевірка роз'єднувача **GSSB-(AM)-800/3200** [1]

| № | Велечини | | паспортні | розраховані |
|---|---------------------------------------|-----------------------------------|------------|-------------|
| 1 | Тип | GSSB-(AM)-800/3200 | | |
| 2 | Номінальна напруга, кВ | $U_n \geq U_{уст}$ | 750 | 750 |
| 3 | Номінальний струм, А | $I_n \geq I_{обт}$ | 3200 | 321 |
| 4 | Струм електродинамічної стійкості, кА | $I_{вд\ max, n} \geq I_{уд, max}$ | 125 | 100,28 |
| 5 | Термічна стійкість, кА ² с | $B_k^{доп} > B_k^{розр}$ | 7500(50/2) | 760,33 |

2.4. Вибір кабелю

Вибираємо кабель по допустимому струму.

$$I_{роб.} = \frac{P_{відг.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi} = \frac{1,25}{\sqrt{3} \cdot 6,5 \cdot 0,85} = 0,13 \text{ кА}$$

Де 1,25 – потужність однієї електролізної установки.

Вибираємо трьохжильний кабель АПВЭВ $U_{ном.}=6,5 \text{ кВ}$.

Вибираємо кабель з перерізом струмопровідної жили 240 мм^2 , з

$$I_{тр. доп. ном} = 460 \text{ А}.$$

1) Визначимо значення тривало допустимого струму з врахуванням поправки на кількість прокладених поруч в землі кабелів K_1 і температуру довкілля K_2 . При відстані між кабелями 100 мм $K_1 = 0.85$, $K_2 = 1$ при $t = 25^\circ\text{C}$:

$$I_{тр.доп} = 2 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot I_{тр.доп.ном} = 2 \cdot 1 \cdot 0.85 \cdot 460 = 782 \text{ A}$$

Оскільки $I_{\text{л}} = 340 \text{ A} < I_{тр.доп} = 782 \text{ A}$, то по допустимому струму кабель підходить.

2) Виконуємо перевірку кабеля на термічну стійкість за умовою:

$$q_{min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C_T} \text{ – мінімальний переріз кабелю, який при розрахунковому струмі к.з.}$$

обумовлює нагрів кабеля до короткочасно припустимої температури.

B_K – розрахунковий тепловий імпульс струму к.з.

C_T – функція, для кабелю до 10 кВ з алюмінієвими жилами $C_T = 90 \text{ A} \cdot \text{с}^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{\text{мм}^2}$.

$$q_{min} = \frac{\sqrt{1737 \cdot 10^6}}{90} = 463,08 \text{ мм}^2.$$

Переріз кабелю $F_{каб} = 3 \cdot F_0 = 3 \cdot 240 = 720 \text{ мм}^2$

Оскільки $q_{станд} = 720 \text{ мм}^2 > q_{min} = 463,08 \text{ мм}^2$

Умова на термічну стійкість кабелю виконується.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | 46 |

2.5. Вибір вимірювального трансформатора струму

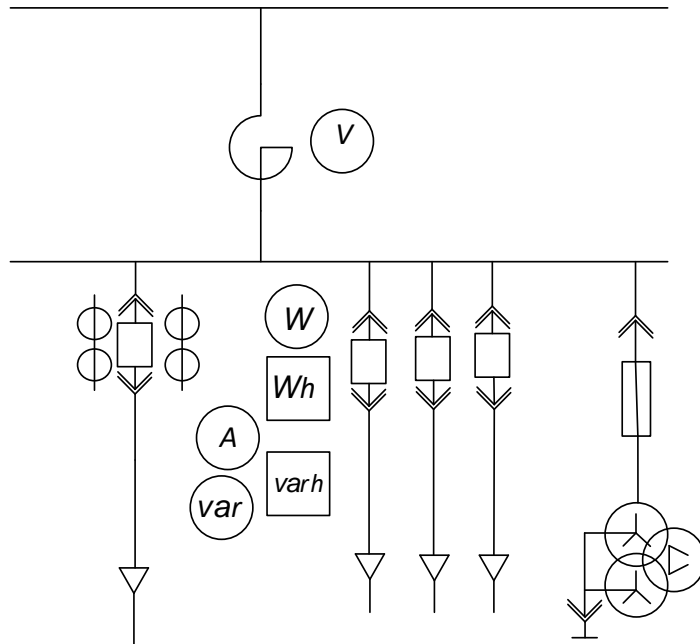


Рисунок 3.1 Вимірювальні прилади, через які проходить обмотка трансформатора струму

$$I_{\text{обм.}} = \frac{P_{\text{розр.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi} = \frac{1,25}{\sqrt{3} \cdot 6,5 \cdot 0,85} = 0,13 \text{ кА}$$

Таблиця 18 - Вторинне навантаження трансформаторів струму

| Прилад | Потужність, яка споживається послідов. обмоткою тр-ра I(S), ВА | | | |
|--------------------------|--|--------|--------|--------|
| | | Фаза А | Фаза В | Фаза С |
| Амперметр | 0,5 | 0,5 | — | — |
| Лічильник акт. енергії | 2,5 | 2,5 | — | 2,5 |
| Лічильник реакт. енергії | 2,5 | 2,5 | — | 2,5 |
| Ватметр | 0,5 | 0,5 | — | 0,5 |
| Варметр | 0,5 | 0,5 | — | 0,5 |
| $\sum S$ | 6,5 | 6,5 | 0 | 6 |

$S_{\text{прил}} = 6,5 \text{ ВА}$ – сумарна потужність, що споживається приладами,

$I_{\text{ІІн}} = 5 \text{ А}$ – номінальний вторинний струм.

Визначається сумарний опір приладів:

$$r_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I_{IIH}^2} = \frac{6,5}{5^2} = 0,26 \text{ Ом}$$

Вибирається трансформатор струму, який для класу точності 0,5 має відповідний зовнішній опір. Вибирається трансформатор струму ТПОЛ-10 [4] з параметрами:

Таблиця 19 - Трансформатор струму ТПОЛ-10

| U_H , кВ | I_{IH} , А | I_{IIH} , А | Клас точності | Номінальне навантаження, Ом | $I_{дин}$, кА | $I_{тер}$, кА | $t_{тер}$, с |
|------------|--------------|---------------|---------------|-----------------------------|----------------|----------------|---------------|
| 10 | 600 | 5 | 0,5 | 0,4 | 74,5 | 37,6 | 3 |

Перехідний опір контактів приймаємо 0,1 Ом, тоді опір проводів:

$$r_{\text{прил}} + r_{\text{контр}} + r_{\text{пр}} = z_{2H}$$

$$r_{\text{пр}} = z_{2H} - r_{\text{прил}} - r_{\text{контр}} = 0,4 - 0,26 - 0,1 = 0,04 \text{ Ом}$$

Приймаючи довжину з'єднувальних проводів з алюмінієвими жилами 5,5 мм, визначаємо переріз:

$$q = \frac{\rho \cdot l}{r_{\text{пр}}} = \frac{0,0283 \cdot 5,5}{0,04} = 3,89 \text{ мм}^2$$

де $\rho=0,0283$ – питомий опір матеріалу проводу.

В якості з'єднувальних провідників приймається багатожильні контрольні кабелі КРВГ з перерізом 4 мм². Вибір трансформатору струму виконується в табличній формі.

Таблиця 20 - Порівняльна таблиця трансформатору струму ТПОЛ-10

| № | Назва параметру | Одиниці вимірюв. | Номінальні параметри | Розраховані параметри |
|---|--------------------------------------|--------------------------------|----------------------|-----------------------|
| | Трансформатор струму типу | | ТПОЛ-10 | |
| 1 | Напруга, U | кВ | 10 | 10 |
| 2 | Струм, I | А | 600 | 317 |
| 3 | Струм електродинам. стійк., $I_{уд}$ | кА | 74,5 | 69,59 |
| 4 | Тепловий імпульс струму к.з., B | $(\text{кА})^2 \cdot \text{с}$ | 4241 | 146,454 |
| 5 | Навантаження, г | Ом | 0,4 | 0,26 |

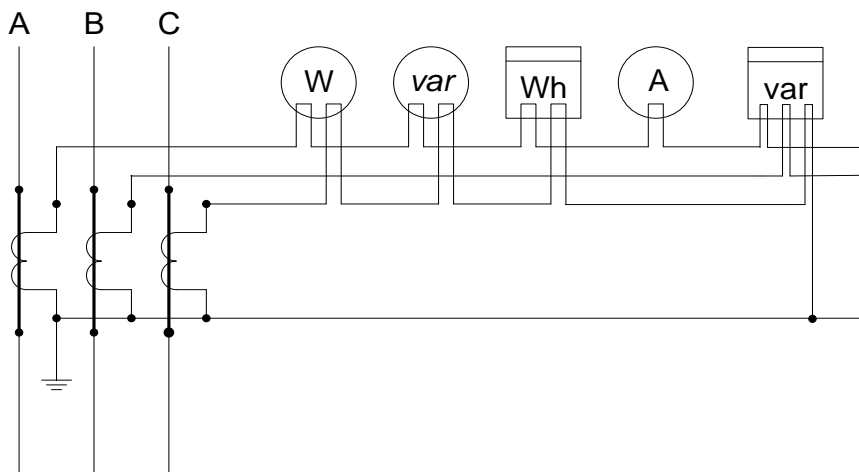


Рисунок 3.2. Схема підключення вимірювальних приладів по струму

2.6. Вибір вимірювальних трансформаторів напруги

Таблиця 21 - Вторинне навантаження трансформаторів напруги

| № п/п | Назва приладу | Кількість | Кількість обмоток | Навантаження одного приладу | | Навантаження всіх приладів | |
|-------|-------------------------|-----------|-------------------|-----------------------------|-------|----------------------------|---------------|
| | | | | P, Вт | Q, ВА | $\sum P$, Вт | $\sum Q$, ВА |
| 1 | Вольтметр | 1 | 1 | 2 | — | 2 | — |
| 2 | Ватметр | 4 | 2 | 2 | 1,85 | 16 | 14,8 |
| 3 | Варметр | 4 | 2 | 1,5 | — | 12 | — |
| 4 | Лічильник реакт.енергії | 4 | 2 | — | 2,5 | — | 20 |
| 5 | Лічильник акт.енергії | 4 | 2 | 3 | 2,775 | 24 | 22,2 |
| | Всього | | | | | 54 | 57 |

$$S_{\Sigma} = \sqrt{P_{\text{прил}}^2 + Q_{\text{прил}}^2} = \sqrt{54^2 + 57^2} = 78,52 \text{ ВА}$$

Вибираємо трансформатор напруги НТМИ-10-66 УЗ [4].

$$S_{\Sigma} = 78,52 \text{ ВА} < S_{\text{н}} = 120 \text{ ВА}$$

Таблиця 22 - Порівняльна таблиця трансформатору типу НТМИ-10-66 УЗ

| № | Назва параметру | Одиниці вимірюв. | Номінальні параметри | Розраховані параметри |
|---|----------------------------|------------------|----------------------|-----------------------|
| | Трансформатор напруги типу | | НТМИ-10-66 УЗ | |
| 1 | Напруга, U | кВ | 10 | 10 |
| 2 | Потужність | ВА | 120 | 78,52 |

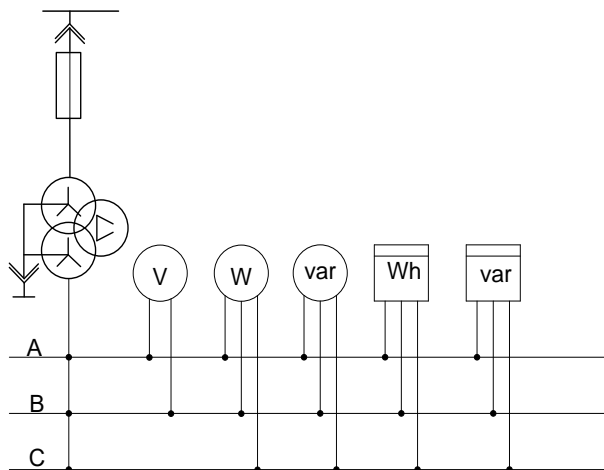


Рисунок 3.3 Схема підключення вимірювальних приладів по напрузі.

2.7. Перевірка шин на дотик при КЗ

При великих значеннях струмів к.з. проводи в фазах внаслідок взаємодії можуть наблизитися так, що виникне схлестування або перекриття між фазами.

Найбільше зближення фаз спостерігається при двофазному к.з. між сусідніми фазами, коли проводи спочатку відкидаються в протилежні сторони, а потім після відключення к.з. рухаються назустріч один одному. Їх наближення буде тим більшим, чим менша відстань між фазами і чим більша стріла провису, а також чим більша тривалість протікання і величина струму к.з.

Перевіримо гнучкий струмопровід на умови схлестування.

Визначимо зусилля від тривалого протікання струму двофазного к.з.

$$f = 0.15 \cdot \frac{I_{0,0}^{(2)2}}{a} \frac{H}{M},$$

де, $a = D$ – відстань між фазами.

Приймаємо $D = 3$ м.

$I_{0,0}^{(2)}$ – періодична складова струму при двофазному КЗ на шинах 110 кВ для $t=0$. $I_{0,0}^{(2)} = 5,404$ кА за розрахунком.

$$\text{Тоді } f = 0.15 \cdot \frac{5,404^2}{3} = 1.46 \frac{H}{M}.$$

Визначимо силу тяжіння 1 м струмопроводу, кг.

$$g = 9.8m, \quad \text{де } m \text{ – маса 1 м струмопроводу, кг.}$$

$$\text{Для АС-700/38.9 } m = 2.575 \frac{кг}{м}.$$

$$g = 9.8 \cdot 2.575 = 25.235 \frac{H}{M}.$$

Задаючись стрілою прогину h , визначаємо параметр $\frac{\sqrt{h}}{t_c}$, де t_c – еквівалентний за імпульсом час дії швидкодіючого захисту.

$$t_{екв} = t_3 + 0.05,$$

де, t_3 – дійсна витримка часу захисту від струмів КЗ, 0.05 – враховується вплив аперіодичної складової.

Максимальна стріла прогину h залежить від довжини прольоту, тяжіння проводів, мінімально припустимої відстані від землі, умов монтажу та інших факторів.

Зазвичай, h не більше 2 – 2.2 м.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | 51 |

Приймаємо $h = 2 \text{ м}$, тоді $\frac{\sqrt{h}}{t_c} = \frac{\sqrt{2}}{0.15} = 9.428$.

По діаграмі в залежності від $\frac{f}{g}$ і $\frac{\sqrt{h}}{t_c}$, визначаємо відхилення проводу **b** та

кут **α** .

$$\frac{f}{g} = \frac{5,404}{25.235} = 0.214. \quad \text{Знаходимо} \quad \frac{b}{h} = 0.08$$

$$\text{Звідси} \quad b = h \cdot 0.08 = 2 \cdot 0.08 = 0.16 \text{ м} \quad \alpha = 6.5^\circ.$$

Знайдене значення порівнюємо з максимально-допустимим.

$$b_{\text{дон}} = \frac{D - d - a_{\text{дон}}}{2},$$

де, d – діаметр проводу, $d = 0.0362 \text{ м}$;

$a_{\text{дон}}$ – найменша припустима відстань між проводами в момент їх найбільшого зближення.

$a_{\text{дон}} = 0.45 \text{ м}$ при 110 кВ згідно з ПУЕ.

$$b_{\text{дон}} = \frac{3 - 0.0362 - 0.45}{2} = 1.257 \text{ м}.$$

$$b_{\text{дон}} = 1.257 \text{ м} > b = 0.16 \text{ м}.$$

Схлестування (дотик) не відбувається.

2.8. ВИБІР СХЕМ ЕЛЕКТРИЧНИХ З'ЄДНАНЬ РОЗПОДІЛЬЧИХ ПРИСТРОЇВ

| Варіант | Назва схеми | Визначник схеми | | | Обмеження | |
|---------|--|-----------------|------------|-----------|-----------|----------------------|
| | | N_{III} | $N_{лр,ш}$ | $N_{Б,л}$ | $N_{лр}$ | $N_{Б+}$ $N_{АГ}$ |
| 1 | 3/2 без секціювання | 2 | 0 | 3 | 5-8 | - |
| 2 | 4/3 без секціювання | 2 | 0 | 4 | 7-12 | - |
| 3 | 3/2 з секціюванням шин через два або три ланцюги | 4 | 0 | 3 | 7-12 | - |
| 4 | 4/3 з секціюванням шин через два або три ланцюги | 4 | 0 | 4 | 10-18 | - |
| 5 | Шини – трансформатори з вимикачами на приєднання | 2 | 2 | 2 | 4-5 | ≥ 2 |
| 6 | Шини – трансформатори з 3/2 вимикачами на приєднання | 2 | 2 | 3 | 5-8 | ≥ 2 |
| 7 | Шини – трансформатори з 4/3 вимикачами на приєднання | 2 | 2 | 4 | 9-11 | ≥ 2 |
| 8 | Зв'язані чотирикутники | 4 | 4 | 2 | 7-8 | ≥ 4 |
| 9 | Зв'язані п'ятикутники і шестикутники | 4 | 4 | 3 | 10-12 | ≥ 4 |

Таблиця 2.8.1. [7]. Характеристики схем електричних з'єднань з комутацією приєднань через два вимикачі.

2.8.1. Вибір електричної схеми ВРП 330 кВ

ВРП-330 кВ на РАЕС виконано по схемі – з двома системами збірних шин, з трьома вимикачами на два приєднання и має 9 комірок.. Схема з трьома вимикачами на два приєднання має такі переваги:

- 1) Ремонт та обслуговування будь-якого вимикача проводиться без перерви живлення та з мінімальною кількістю комутаційних операцій при виведені в ремонт елементів схеми

- 2) Роз'єднувачі використовується лише при ремонті та обслуговуванні елементів схеми (для створення видимого розриву)
- 3) При виникненні аварії відключення обидвох систем шин не призведе до порушення електропостачання споживача
- 4) В схемі 3/2 поєднується переваги схеми зі збірними шинами та схеми багатокутника.

До недоліків схеми 3/2 можна віднести:

- 1) Комутацій операції при відключенні к.з. виконується двома вимикачами
- 2) Складність кіл релейного захисту та автоматики
- 3) Велика кількість вимикачів
- 4) Кількість вимикачів не дорівнює кількості приєднань

2.8.2. Вибір електричної схеми ВРП 110 кВ

На ВРП 110 кВ для живлення споживачів місцевого району застосовано схему з двома системами збірних шин і обхідною системою шин при одному вимикачі на приєднання и має 12 комірок. Схема з двома системами збірних шин і обхідною системою шин має такі переваги:

- 1) В даній схемі на одне приєднання застосовується один вимикач;
- 2) Можливість почергового ремонту обладнання без перерви живлення;
- 3) Поділ системи на дві частини для підвищення надійності електропостачання споживачів або для обмеження струмів к.з.;
- 4) Можливість оперативних переключень в залежності від режиму установки.

До недоліків схеми двома системами збірних шин і обхідною системою шин можна віднести:

- 1) 2 вимикача не відноситься до приєднань (ЩЗВ та ОВ);
- 2) Роз'єднувач використовується для оперативних перемикачів;
- 3) Схема дуже складна при великій кількості приєднань;
- 4) При використанні ЩЗВ обидві системи шин виходять з роботи.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | 54 |

2.8.3. Вибір електричної схеми ВРП 750 кВ

Із пуском четвертого енергоблоку введено в експлуатацію ВРП-750 кВ, який виконано по схемі «чотирикутник» із перспективою підключення ПЛ 750 кВ «ПС Київська».

2.8.4. Вибір електричної схеми РП 6.5 кВ

На РП 10.5 кВ застосовуємо схему подвійну секціоновану систему збірних шин. Дана схема дозволяє при відключенні однієї з секцій збірних шин не приведе до відключення споживачів. При збільшенні кількості споживачів не виконується значні зміни в схемі та монтажні або будівельні роботи. До переваг можна віднести:

- 1) Ремонт будь-якої системи шин не призводить до відключення споживачів від живлення;
- 2) Завдяки наявності в схемі ШЗВ оперативні перемикання в схемі не призводять до відключення від живлення відповідальних споживачів (споживачі 1 групи згідно ПУЕ);
- 3) Споживачі втрачають живлення лише на час оперативних переключень на резервну систему шин персоналом.

До недоліків можна віднести:

- 1) Велика кількість успадкування таких як роз'єднувачі, ізолятори, струмоведучі частин та вимикачів;
- 2) Складна конструкція РП порівняно з одинарною секціонованою системою шин;
- 3) Оперативні перемикання робляться з допомогою роз'єднувачів.

3. Вибір обладнання для розрахункового відгалуження

Для розрахункового відгалуження, що проектується, необхідно вибрати трансформатор і випрямляч. На кожну установку необхідно обирати по одному трансформатору і випрямлячу. Паспортні данні електролізної установки БЕУ-250 записані в табл. 23:

Таблиця 23 - Паспортні характеристики електролізної установки БЕУ-250

| Найменування ЕУ і марка | Основні характеристики | | Числове значення |
|---------------------------|--|---------|------------------|
| Електролізер типу БЕУ-250 | Продуктивність об'ємна по водню, $\text{нм}^3/\text{год}$ | | 250 |
| | Продуктивність об'ємна по кисню, $\text{нм}^3/\text{год}$ | | 125 |
| | Напруга, В | | 205 |
| | Сила струму, А max | | 1000 |
| | Потужність, кВт | | 1250 |
| | Габаритні розміри, мм | довжина | 15800 |
| | | ширина | 8300 |
| | | висота | 6640 |
| | Маса, кг | | 128630 |
| | Питоме електроспоживання по водню, $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3/\text{год}$ | | 5 |
| | Термін використання, років не менше | | 10 |
| | Напрацювання на відмову, год | | 11500 |
| | Ресурс до капітального ремонту, год | | 25500 |

Для вибору трансформатору необхідно знати потужність, на яку буде жити трансформатор. Для $P=1250$ кВт можна взяти трансформатор ТМГ-1250/10-У1, параметри якого занесені в табл. 24.:

Таблиця 24 – Паспортні характеристики трансформатору ТМГ-1250/10-У1

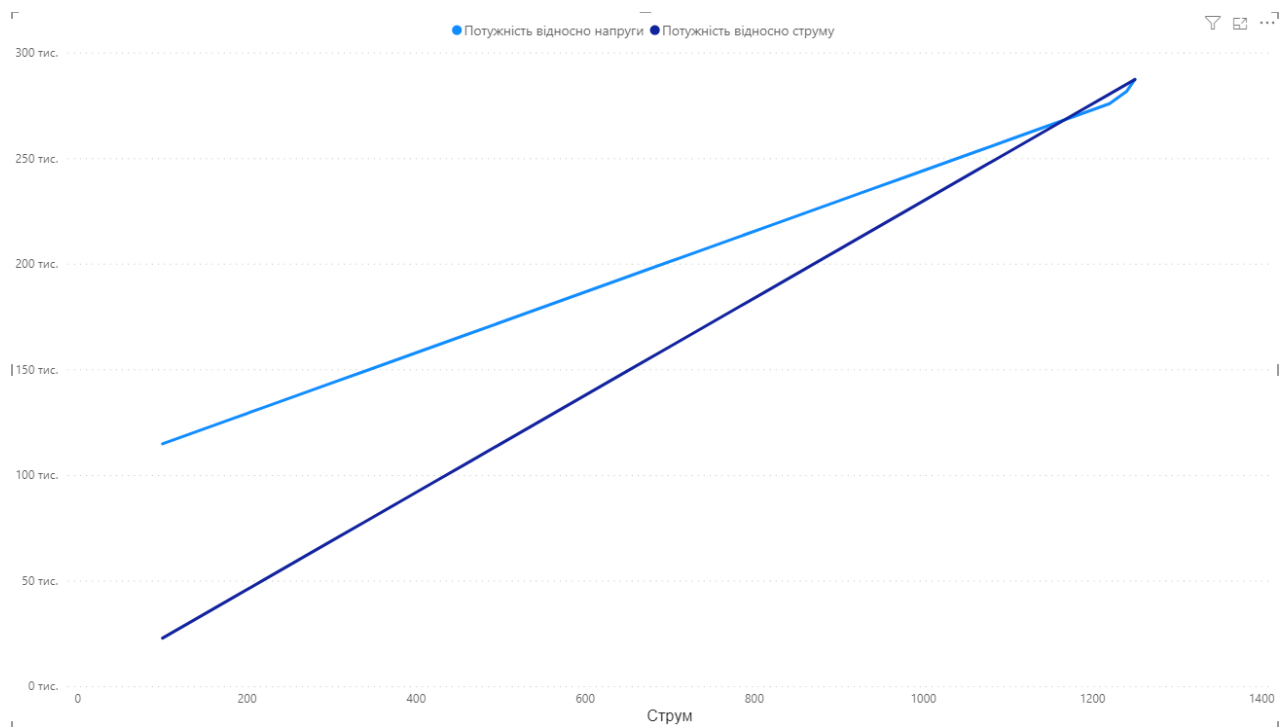
| S_H , кВА | U_K , % | I_{XX} , % | $U_{ВН}$, кВ | $U_{НН}$, кВ | ΔP_{XX} , Вт | $\Delta P_{KЗ}$, Вт | Ціна, тис. грн |
|-------------|--------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|
| 1250 | 5,5 | 0,85 | 6,5 | 0,4 | 1600 | 14700 | 194 |

Пропонується в пару до трансформатору і електролізної установки взяти випрямляч типу В-ТПП-1250-230, данні якого занесені в табл. 25:

Таблиця 25 – Паспортні характеристики випрямляча В-ТПП-1250-230

| Параметр | Значення |
|--|------------|
| Напруга живлення | 380 В |
| Число фаз | 3 |
| Номінальний струм випрямлення | 1250 А |
| Номінальна напруга випрямлення | 230 В |
| Діапазон регулювання струму | 100-1250 А |
| Діапазон регулювання напруги під навантаженням | 40-100 % |

В залежності від діапазону регулювання напруги і струму побудовано графік залежності потужності установки від струму і напруги:



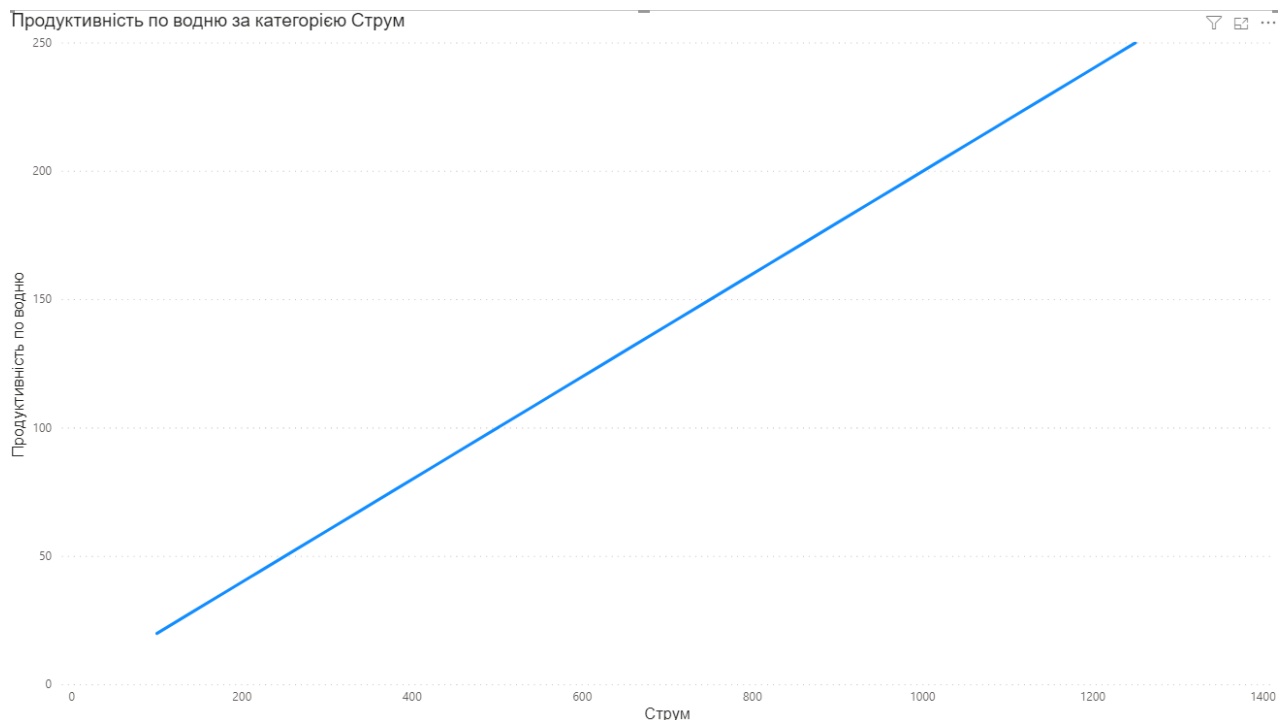
Графік 3.1. – Залежність потужності від сили струму і напруги

Як можна зазначити, потужність доволі сильно залежить від кількості струму, підведеного до установки в більшій мірі, ніж від рівня напруги. За умовою, питоме електроспоживання електролизеру 5 кВт*год/м³/год. Тому в табл. 26 показано продуктивність в залежності від струму:

Таблиця 26 – Продуктивність по водню в залежності від сили струму

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| I, А | 100 | 140 | 180 | 220 | 260 | 300 | 340 | 380 | 420 | 460 | 500 | 540 | 580 | 620 | 660 | 700 |
| м³ | 20 | 28 | 36 | 44 | 52 | 60 | 68 | 76 | 84 | 92 | 100 | 108 | 116 | 124 | 132 | 140 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I, А | 740 | 780 | 820 | 860 | 900 | 940 | 980 | 1020 | 1060 | 1100 | 1140 | 1180 | 1220 | 1240 | 1250 | |
| м³ | 148 | 156 | 164 | 172 | 180 | 188 | 196 | 204 | 212 | 220 | 228 | 236 | 244 | 248 | 250 | |

Графік продуктивності по водню подано на рис. 3.2.:



Графік 3.2. - Залежність виробництва водню від сили струму

3.2. Перспективи виробництва водню в часи мінімальних навантажень

Розвиток водневих технологій може бути одним із перспективних питань майбутнього енергетичного партнерства України та Німеччини [9].

Щоб знайти рішення для багатьох процесів, була запущена програма Hydrogen for Climate Action у Європі. У ній анонсовані 11 проектів саме водневих технологій, спрямовані на збереження клімату на нашій планеті і недопущення екологічної катастрофи. Ці проекти спрямовані на транспортування водню, його використання у централізованій системі опалення, будівництво великих суден, що працюють на водні та розвиток інфраструктури. Водень відносять до відновлюваного джерела енергії. Його хімічні властивості такі, що коли він з'єднується і роз'єднується з іншими хімічними елементами, побічно виділяється велика кількість тепла.

Воднева установка допоможе зробити мережу більш гнучкою. У майбутньому там можуть створити громадську водневу заправну станцію для вантажівок та автобусів.

Як можна побачити, розвинуті країни бачать в водні майбутнє, не дарма говорять, що водень – це паливо майбутнього.

Водень вже багато років цікавить учених, і відомо про його можливості чимало. Передусім, енергетичні можливості. Водень має кілька суттєвих переваг перед традиційними викопними видами палива.

По-перше, він має більшу енергоємність, ніж природний газ, вугілля чи нафтопродукти.

По-друге, це екологічний енергоносіє. Продуктом згоряння водню є лише вода, а отже, його використання цілком безпечне для довкілля.

Ще у 1970-х роках у США з'явився термін "воднева економіка" – тобто економіка, в основі якої лежить використання водню як основного джерела енергії.

Згідно звіту компанії ДП «Енергоатом» недовиробіток електроенергії (ЕЕ) через балансові обмеження (відсутність попиту) за 5 місяців 2020 року склав 2659 млн кВт*год [10]. З іншого боку, Єврокомісія оголосила про наміри розвитку кліматично-нейтральної економіки до 2030 року, в якій велика увага приділяється водневій енергетиці. З 2020 по 2024 рік у Європейському Союзі планують підтримувати встановлення щонайменше 6 ГВт потужностей для виробництва до одного мільйона тон відновлюваного водню, а з 2025 по 2030 рік "водень повинен стати невід'ємною частиною інтегрованої енергетичної системи" та досягти щонайменше потужності 40 ГВт [11]. Сучасна воднева технологія дозволяє зберігати водень досить тривалий час, він може зберігатися у будь-якому вигляді (зрідженому чи під тиском), що дозволяє використовувати можливості газотранспортної системи України для його транспортування і зберігання [12].

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 60 |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

Найбільш ефективним методом виробництва водню є електролізне розкладання води. Хімічне рівняння, що характеризує процес виробництва водню при використанні такої технології, має наступний вигляд



При чому кількість сировини, пропорційна кількості пропущеного електричного струму, отже для організації виробництва водню необхідні дві складових: вода та електричний струм. Характерним недоліком електролізних установок є досить низький ККД, що обмежує їх використання через значну вартість електричної енергії. Рішенням у ситуації, що склалася, є використання енергії АЕС для виробництва водню, про що підписаний меморандум щодо подальшої співпраці у сфері водневих технологій між НАЕК "Енергоатом" і НАК "Нафтогаз України" [13].

Ефективність роботи електролізних установок визначається за методикою [14]. Електролізна установка має свої оптимальні характеристики для найбільшого ККД (рисунок 1)

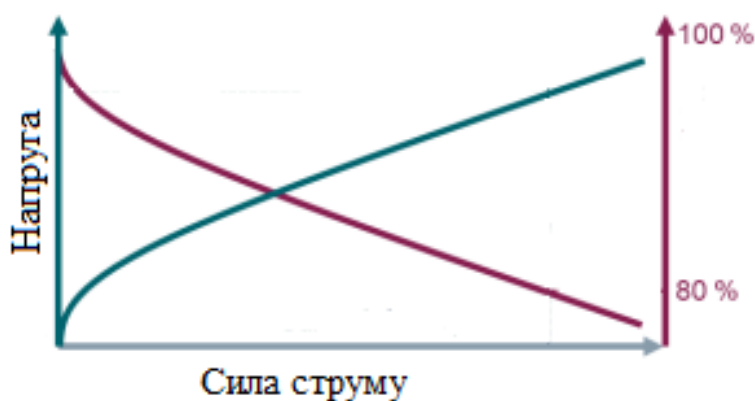


Рисунок 1 – U(I) характеристика ідеального електролізного пристрою

Однак, в реальних умовах ККД залежить від тиску і температури ще в більшій мірі. З рисунку 2 можна зробити висновок, чим вище температура, тим вище ККД

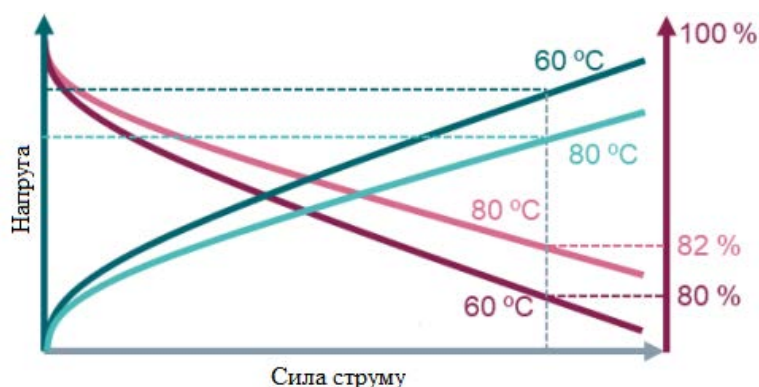


Рисунок 2 – Схема, що показує вплив температури на ККД приладу

Проте через нелінійність характеристики, ці показники змінюються непропорційно. Відповідно при збільшенні потужності, ККД збільшиться у незначній мірі, проте значно зросте ступінь зношення обладнання. Технічно грамотним рішенням у такому випадку буде встановлення не однієї потужної електролізної установки, а кілька невеликих з можливістю їх розвантаження і завантаження групами. На прикладі вітчизняної установки БЕУ-250, з номінальною потужністю 1,25 МВт і продуктивністю по водню – 250 нм³/год є економічна доцільність розробки інвестиційного аналізу.

3.3. Висновки

Залучення атомних електростанцій до виробництва водню має багато переваг. По-перше, це дає можливість не розвантажувати блоки при мінімальних навантаженнях в енергосистемі, в умовах профіциту електроенергії. По-друге, цей проект допоможе Україні мати додатковий прибуток через продаж водню в країни Європейського Союзу, де у майбутньому планується побудова водневої економіки. По-третє, це дасть

можливість залучити кошти в модернізацію газотранспортної системи України і використання пропускної здатності на максимум з додаванням водню до природного газу і транспортування їх разом.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 63 |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОЛІЗНОЇ УСТАНОВКИ, ЯКА Є ОБ'ЄКТОМ ВИРОБНИЦТВА ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНОГО ГАЗУ

4.1. Вступ

Об'єктом, що проектується є електролізер типу БЕУ-250, розроблений на основі серійних електролізерів СЕУ-40 з єдиним блоком комплектуючих технологічних апаратів. Показники загальної характеристики подано в табл. 1.1.:

Таблиця 4.1. - Загальна характеристика об'єкту

| Найменування ЕУ | Вид розміщення | Розміщення робочого місця | Категорія електроприміщення | Категорія з пожежної безпеки |
|----------------------|----------------|--|--------------------------------|------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Електролізер БЕУ-250 | Внутрішня ЕУ | Окреме приміщення на поверхні землі, (50х20х8) | Особливо небезпечне приміщення | Категорія А |

Відповідно до паспорту обладнання [17], електролізер типу БЕУ-250 має технічні характеристики, які наведені в табл. 1.2.:

Таблиця 4.2. - Показники технічних характеристик ЕУ

| Найменування ЕУ і марка | Основні характеристики | Числове значення |
|---------------------------|---|------------------|
| Електролізер типу БЕУ-250 | Продуктивність об'ємна по водню, нм ³ /год | 250 |
| | Продуктивність об'ємна по кисню, нм ³ /год | 125 |
| | Напруга, В | 205 |
| | Сила струму, А max | 1000 |
| | Потужність, кВт | 1250 |

| | | | |
|--|--|---------|--------|
| | Габаритні розміри, мм | довжина | 15800 |
| | | ширина | 8300 |
| | | висота | 6640 |
| | Маса, кг | | 128630 |
| | Питоме електроспоживання по водню, кВт*ч/м³/год | | 5 |
| | Термін використання, років не менше | | 10 |
| | Напрацювання на відмову, год | | 11500 |
| | Ресурс до капітального ремонту, год | | 25500 |

Як можна зазначити, дана електрична установка є об'єктом підвищеної небезпеки як за категорією електроприміщення, так і за категорією пожежної безпеки, а також, за категорією вибухонебезпечності об'єкт має категорію В-Ia [18, 19, 20, 21].

4.2 Перелік робіт та склад бригади

Працівники, які обслуговують ЕУ, повинні мати відповідну групу з електробезпеки (ГЕ). Всього є п'ять (I–V) кваліфікаційних ГЕ. Для роботи в ЕУ напругою до 1 кВ працівник повинен мати III групу, в мережах напругою більш як 1 кВ – IV або V групи [22].

Послідовність виконання робіт з обсягами і тривалістю наведена в табл. 1.3.:

Таблиця 4.3. – Послідовність виконання робіт

| Вид робіт | Спосіб доставки і розгрузки | Період виконання робіт і тривалість | Кількісний склад бригади | Група з електробезпеки |
|-----------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------|------------------------|
| | | | | |

| | | | | |
|------------------------------|---|----------------------------|---------|----------------|
| Монтаж електролізера БЕУ-250 | Транспорт, механічна розгрузка, монтаж обладнання | Будь-який, 45 робочих днів | 15 осіб | Не менш як III |
|------------------------------|---|----------------------------|---------|----------------|

Під час експлуатації електролізної установки БЕУ-250 необхідність в безперервному чергуванні людини безпосередньо в залі, де працює установка відсутня. Мінімально необхідна кількість людей, які чергують на підприємстві – 2 людини (начальник зміни і провідний інженер).

4.3 Аналіз умов праці на робочих місцях електротехнічних працівників

Таблиця 4.4. – Чинники умов праці та їх показники

| Найменування чинника | Основні характеристики | | Числове значення показника |
|------------------------|------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Параметри мікроклімату | Холодний період року | Температура, °C | 17-23 |
| | | Вологість, % | 40-60 |
| | | Швидкість руху повітря, м/с | Не більше 0,2 |
| | Теплий період року | Температура, °C | 20-24 |
| | | Вологість, % | 40-60 |
| | | Швидкість руху повітря, м/с | Не більше 0,4 |
| | | ПДК, мг/м ³ | 6 |

| | | | |
|--|--|------------------------|-------------------------------|
| Шкідливі речовини, що виділяються при монтажі обладнання | Оксид заліза із домішками оксидів марганцю до 3% | Клас небезпеки | IV пари |
| | Мідь металева | ПДК, мг/м ³ | 1 |
| | | Клас небезпеки | II аерозоль |
| | Нікель | ПДК, мг/м ³ | 0,05 |
| | | Клас небезпеки | III аерозоль |
| | Вольфрам | ПДК, мг/м ³ | 6 |
| | | Клас небезпеки | III аерозоль |
| | Цинк окис | ПДК, мг/м ³ | 6 |
| | | Клас небезпеки | III аерозоль |
| | Оксид вуглецю | ПДК, мг/м ³ | 20 |
| | | Клас небезпеки | IV пари |
| Важкість праці | Робоче положення | | «сидячи» |
| | Статичні та динамічні навантаження | | 20-25 Вт (120-150 Вт*год) |
| | Категорія важкості робіт | | 1a |
| Напруженість праці | Тривалість зосередженого спостереження | | 40 % робочого часу |
| | Змінність роботи | | 3 зміни по 8 годин |
| | Інтелектуальна напруженість | | 20 % робочого часу |
| Виробниче освітлення | Робоче освітлення | | 300 лк люмінесцентні лампи |
| | Аварійне освітлення | | 50 лк світлодіодні лампи |

4.4 Визначення та оцінка шкідливих і небезпечних виробничих чинників

Таблиця 4.5 – Перелік небезпечних і шкідливих виробничих чинників

| Небезпечні і шкідливі чинники | Фактичне значення | Допустиме значення |
|-------------------------------|----------------------|--------------------|
| Електричного походження | | |
| Напруга | 205 В | 6 В |
| Струм | 1000 А | 0,6 мА |
| Неелектричного походження | | |
| Шум | 60 дБА | 85 дБА |
| Оцінка умов праці | Шкідливі умови праці | |

4.5 Вибір технічних засобів і заходів безпеки робіт в енергоустановках

Технічні заходи в ЕУ залежать від рівня напруги, режиму роботи нейтрального проводу в мережі та від категорії приміщення щодо безпеки ураження електричним струмом та характеру середовища у приміщенні (приміщення без підвищеної безпеки, приміщення з підвищеною безпекою, особливо небезпечні приміщення) [23].

Відповідно до небезпечних чинників, що приведені в табл. 1.5, в табл. 1.6 приведені шляхи усунення чи обмеження їх впливу на персонал:

Таблиця 4.6. – Технічні і організаційні заходи

| Вид заходу | Найменування заходу | Опис, показники і характеристики |
|----------------------------------|----------------------------|---|
| Технічні заходи з електробезпеки | | |
| Ізоляція | Робоча струмовідних частин | Полівінілхлорид. $R=10^{15}$ Ом, $\text{tg}\delta=0,02$ |

| | | |
|--|---|--|
| Огороджувальний засіб | Огорожа електролізера | Сітчаста, висота 2м, механічне блокування виходу |
| Організаційні заходи з електробезпеки | | |
| Категорія робіт щодо заходів безпеки | Роботи без напруги | Наряд-допуск на 10 робочих днів |
| Розміщення попереджувальних знаків | Плакати безпеки | «Стій! Небезпечно для життя!», «Стій! Уб'є» |
| Заходи недопущення пожежі | | |
| Розміщення ліквідаційного обладнання | Розміщення вогнегасників | Відстань від вогнегасника до можливого джерела пожежі не більше 30 м |
| | Таблички напрямку руху при евакуації | «Вихід», «Вихід там!» |
| | Система автоматичного пожежогасіння | Безпосередньо над установкою і в місцях можливого займання |
| | Система попередження витoku газу | Безпосередньо в машинному залі з виводом на пульт диспетчера |
| Технічні заходи щодо виключення інших НШВЧ | | |
| Шум | Звукоізоляція приміщення | Плити з мінеральної вати, товщина 4 мм. |
| Очищення повітря | Загальна вентиляція припливно-витяжна | Марка «Icurkamet» P=1,5 кВт, висота установки 4 м. |

Засоби індивідуального захисту вибирають залежно від переліку робіт, характеристик умов праці та рівня шкідливості виробничого середовища [24-27]. Відповідно до вищезазначених норм і правил вибір комплексу індивідуального захисту наведений в табл. 1.7.:

Таблиця 4.7. – Перелік засобів індивідуального захисту

| Вид ЗІЗ | Призначення | Марка або маркуванн я. Модель. Матеріал. | Гарантова ний термін використа ння | Технічні характеристики |
|---|---|--|---|---|
| Захисний одяг | Захист від знижених температур | ТВН «Морозко» . Костюм. | 2 роки використа ння | За температури повітря до мінус 25 °С |
| Захисне взуття | Захист від механічних ушкоджень | МЗ «Електра». Черевики. | 6 місяців | Під час переміщення вантажів масою до 15 кг |
| Захист рук | Захист від механічних ушкоджень | Рукавички, поліестер з бавовною. | 5 робочих змін | Під час монтажних робіт |
| Захист голови | Захист від електричного струму | Каска від механічног о впливу. Полікарбо нат. | 2 роки | Під час робіт з прокладання кабелю |
| Захист очей | Захист від електричної дуги ті ультра- фіолетового випроміню вання | Закриті подвійні окуляри. Полікарбо нат. | 2 роки | Під час робіт в ЕУ |
| Захист органів слуху | Зниження рівня шуму на 10 дБА | «ДПЕ 30». Поліуретан . | 10 років | Під час роботи з підвищеним звуковим навантаженням |
| Вогнетрив кі стіни | Захист від розповсюдження пожежі | Вогнетрив ка плита «Super Isol» | 15 років | Під час пожежонебезпе чної ситуації |
| Вогнетрив кі і вибухотри вкі двері | Захист від пожежі і ударної хвилі | Захисно- герметичні двері ДУ-І-7 800х1800 | 10 років | Під час вибухо- і пожежонебезпе чної ситуацій |

4.6 Вибір заходів із запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій

Згідно з інструкцією з експлуатації електролізної установки [28] для запобігання надзвичайних ситуацій під час роботи з обладнанням треба строго виконувати наступні заходи безпеки:

1) Роботи з відкритим вогнем у приміщенні ЕУ можуть проводитися після відключення установки, проведення аналізу повітря на відсутність водню і забезпечення безперервної вентиляції приміщення.

2) При необхідності проведення робіт з відкритим вогнем на апаратах ремонтної ЕУ необхідно від'єднати трубопроводи працюючої ЕУ від ремонтної з установкою заглушок з хвостовиками.

3) Проведення ремонтних робіт на апаратах, заповнених воднем, забороняється.

4) Завмерлі трубопроводи і вентилі можна відігрівати тільки паром або гарячою водою. Користуватися вогнем забороняється. Витоку газу зі з'єднань визначають за допомогою мильного розчину або спеціальним течешукачем, але не вогнем.

5) Приміщення ЕУ і близько ресиверів забороняється палити, користуватися відкритим вогнем, електричними нагрівальними приладами і переносними лампами.

6) Для внутрішнього освітлення апаратів під час їх огляду і ремонту слід користуватися переносними світильниками у вибухозахищеному виконанні на напругу не більше 12В, захищеними металевими сітками.

7) При виникненні пожежі в приміщенні ЕУ або близько ресиверів необхідно:

- негайно відключити електролізер;
- викликати пожежну команду;
- припинити подачу водню в ресивери з закриттям відповідних вентилів;
- при можливості знизити тиск в апаратах ЕУ і подати в них азот.

8) У разі витоку водню через нещільності і його займання слід збити полум'я азбестовою тканиною, відключити установку і продуту її азотом.

9) У приміщенні ЕУ повинні бути вивішені плакати: на дверях - «Водень, з вогнем не входити»; всередині приміщення - «Водень, вогненебезпечно»; на ресіверах водню повинні бути зроблені написи - «Водень, вогненебезпечно».

10) На ЕУ повинні знаходитися наступні засоби пожежогасіння: вуглекислотні вогнегасники, азбестова тканина.

11) У приміщенні ЕУ заборонено зберігати легкозаймисті та вибухові речовини.

12) У приміщеннях електролізерів і приготуванні електроліту для змиву електроліту, що потрапив на тіло, на видних і легкодоступних місцях, повинні встановлюватися фонтанчики або раковини самопомоги, підключені до господарсько питного водопроводу.

13) При роботі з електролітом слід користуватися захисним спецодягом та окулярами. Попадання рідкої або твердої лугу на шкіру, волосся і особливо в очі може викликати важкі опіки.

14) При опіку твердої або рідкої лугом слід негайно промити уражене місце рясним струменем води, потім 3% розчином борної кислоти і звернутися в медпункт.

15) Включення електролізера в роботу може проводитися тільки після перевірки стану електроізоляції, огляду апаратури та за відсутності на ній сторонніх предметів.

16) До електролізерів, особливо кінцевим плитам, не слід торкатися без захисних засобів. Не допускається попадання лугу на ізоляційні втулки стяжних болтів і ізолятори під монополярними плитами. При порушенні ізоляції цих елементів може виникнути дуга, що призведе до пожежі і аварії.

17) На підлозі у електролізера завжди повинні бути діелектричні килимки.

18) Устаткування і трубопроводи ЕУ, ресивери та трубопроводи від ресиверів до машинного залу повинні складати на всій довжині безперервний ланцюг і приєднуються до заземлюючих пристроїв. В межах ЕУ апарати та трубопроводи повинні бути заземлені не менше, ніж в двох місцях.

19) Опір заземлювального пристрою повинен бути не більше 100 Ом.

4.7. Автоматичний контроль, захист, сигналізація.

Пропонується обладнати дане обладнання наступними приладами контролю:

- автоматичним газоаналізатором для вимірювання вмісту водню в кисні;
- автоматичним газоаналізатором для вимірювання вмісту кисню у водні;
- манометрами, контролюючими тиск в апаратах і різниця тисків між воднем і киснем в системі;
- термометрами, контролюючими температуру газів, електроліту, пару;
- автоматичним газоаналізатором для вимірювання вмісту водню в повітрі приміщень електролізера і датчиків КВП.

Для безпечної роботи і своєчасного попередження надзвичайних ситуацій електролізна установка повинна мати попереджувальну сигналізацію і аварійний захист. Пропонується наступні заходи:

- Попереджувальний сигнал на ГЩУ подається при наступних відхиленнях від усталеного режиму ЕУ:
- підвищення температури електроліту в електролізерах до 80°C ;
- зниження чистоти водню або кисню до першої межі (вміст O_2 в H_2 0,7% або H_2 в O_2 1,5%);
- підвищення тиску водню або кисню до 10 бар;
- зникнення оперативного струму.
- Технологічний захист діє на відключення перетворювальних агрегатів при наступних відхиленнях від встановленого режиму:
- вміст водню в кисні більше 2,0%;
- вміст кисню у водні понад 1,0%;

| | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------|
| | | | | | Лист |
| | | | | | 73 |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | |

- підвищення тиску водню до 10,5 атм;
- підвищення тиску кисню до 10,5 атм;
- різниця тиску в регуляторах тиску водню і кисню більше 200 мм вод. стовпа;
- межполюсні короткі замикання;
- однополюсні короткі замикання на землю;
- зникнення напруги на перетворювальних агрегатах з боку змінно-го струму;
- вміст водню в повітрі приміщень електролізера і датчиків КВП більше 1%.

4.8 Розрахунок технічного заходу з безпеки експлуатації

В цьому розділі розраховується установка локального пожежогасіння на випадок виникнення пожежі в приміщенні, де розташовується електролізна установка. Для цього, в першу чергу визначається об'єм зони, яку необхідно захистити:

$$V_3 = 15.8 * 8.3 * 6.64 = 870.8 \text{ м}^3; \quad (4.1)$$

Для визначення параметрів установок локального пожежогасіння за об'ємом можна вибрати вогнегасний порошок загального призначення П-2АП. Мінімальна маса вогнегасного порошку розраховується за формулою (4.2):

$$M_{\min} = q_{vo} * V_3 = 0.6 * 870.8 = 522.5 \text{ кг} \quad (4.2)$$

де $q_{vo} = 0.6$ – норма подачі ВП для об'ємного гасіння для обраного типу порошка.

Мінімальна витрата розраховується за формулою (4.3):

$$G_{\min} = \frac{M_{\min}}{30} = \frac{522.5}{30} = 17.4 \text{ кг/с} \quad (4.3)$$

За цими характеристиками обираємо установку Буран-30ШІМ в кількості 18 штук.

4.9. Висновки

Оцінка відповідності умов праці гігієнічним нормативам проводиться шляхом інструментальних вимірювань атестуються організацією.

Вимірювання та оцінки оформляються протоколом.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 74 |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

Об'єктами оцінки травмоопасності робочих місць є: виробниче обладнання; пристосування і інструменти, використовувані при здійсненні технологічних процесів; відповідність підготовки працівників з питань охорони праці

Результати оцінки травмонебезпечності робочого місця оформляються протоколом оцінки травмонебезпечності робочого місця.

Оцінка забезпеченості працівників ЗІЗ проводиться фахівцями атестуються організації Протокол оцінки підписується фахівцями атестуються організації, які проводили їх, а також відповідальною посадовою особою атестуються організації і завіряється печаткою атестуються організації.

За відповідності умов праці на робочому місці гігієнічним нормативам, які не виявленні при оцінці травмонебезпечності робочого місця невідповідності вимогам охорони праці і відповідність робочого місця вимогам забезпеченості працівників ЗІЗ, робоче місце визнається атестованим з комплексною оцінкою умов праці «відповідає державним нормативним вимогам охорони праці».

У разі невідповідності умов праці на робочому місці гігієнічним нормативам і виявленні при оцінці травмонебезпечності робочого місця невідповідності робочого місця вимогам охорони праці, і невідповідність вимогам забезпеченості працівників ЗІЗ, робоче місце визнається атестованим з комплексною оцінкою умов праці «не відповідає державним нормативним вимогам охорони праці».

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | 75 |

5. Розроблення стартап-проекту

Розділ має на меті проведення маркетингового аналізу стартап проекту задля визначення принципової можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації цього впровадження. Проведення маркетингового аналізу передбачає виконання нижченаведених кроків.

5.1. Опис ідеї проекту

Зміст ідеї наведено в табл. 5.1:

Таблиця 5.8. - Опис ідеї стартап-проекту

| <i>Зміст ідеї</i> | <i>Напрямки застосування</i> | <i>Вигоди для користувача</i> |
|---|---|---|
| Виробництво водню в часи мінімальних навантажень енергосистеми за допомогою потужностей АЕС | 1. Покриття нерівномірності добового графіку споживання | Здатність АЕС працювати в базовому режимі без простоїв через обмеження зі сторони оператора енергосистеми |
| | 2. Продаж водню, як паливо для особистого і громадського транспорту | Дешеве і калорійне паливо для пересічних громадян |
| | 3. Декарбонізація економіки України | Чисте паливо для економіки України і виконання Кіотського договору |

Потенційними конкурентними рішеннями для ідеї виробництва водню в часи мінімальних навантажень можна виділити наступні: проект Energy Storage, який являє собою акумуляторні батареї; виробництво теплової енергії і ринок допоміжних послуг, який здійснює регулювання частоти і потужності в Об'єднаній енергосистемі України. Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів наведено в табл. 5.2.:

Таблиця 5.9. - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

| № n/ n | Техніко- економічні характерис- тики ідеї | (потенційні) товари/концепції конкурентів | | | | W (слаб- ка сторо- на) | N (нейт- ральн- а сторо- на) | S (сильн- а сторо- на) |
|--------------|---|--|--|---|----------------------------------|------------------------------------|---|------------------------------------|
| | | Виробни- цтво водню | Energy Storage | Теплова енергія | Ринок допоміжн- их послуг | | | |
| 1. | Накопичення енергії у великих масштабах | Можливість накопичення в підземних газових сховищах необмежено по часу | Можливість накопичення обмежено по часу через фізичну здатність до розряджання батарей | Неможливість накопичення енергії у великих масштабах | Неможливість накопичення енергії | | | + |
| 2. | Можливість працювати АЕС на номінальному режимі без обмеження видачі потужності | Підключення електролізерів в часи мінімуму навантаження | Підключення до батареї в часи мінімуму навантаження, однак, є обмеження по ємності батареї | Неможливість, тому що теплової енергії в такій кількості непотрібно | Неможливість | | | + |
| 3. | Передача енергії на велику відстань | Можливість передавання за допомогою існуючої системи газопроводу України | Можливість передавання накопиченої е/е по існуючим повітряним лініям | Максимальна відстань передачі теплової енергії – до 100 км. | Неможливість передачі | | + | |
| 4. | Використання енергії в побутових цілях | Можливість використання водню як | Електроенергія, накопичена в батареї використо | Використання теплової енергії для потреб | Неможливість | | + | |

| | | | | | | | | |
|----|---|--|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------------|---|--|--|
| | (наприклад, для заправки власного чи громадського транспорту) | альтернатива природного газу чи в суміші з ним | вугілля не для побутових споживачів | населення в якості обігріву житла | | | | |
| 5. | Регулювання частоти і потужності в ОЕС України | Неможливість регулювання | Можливість регулювання | Неможливість регулювання | Можливість регулювання | + | | |

Як можна зазначити з порівняльного аналізу конкурентоспроможності, ідея виробництва водню в часи мінімальних навантажень потужностями АЕС має очевидні переваги над конкурентними рішеннями, зокрема – це, в першу чергу, можливість роботи атомних енергоблоків без необхідності обмеження навантаження, по друге – це використання газотранспортної системи України для передачі енергоносія і відсутність необхідності в побудові окремої газотранспортної інфраструктури.

5.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 5.10. - Технологічна здійсненність ідеї проекту

| № n/n | Ідея проекту | Технології її реалізації | Наявність технологій | Доступність технологій |
|----------|-------------------------|----------------------------|---|--|
| | Виробництво водню | Електроліз водного розчину | Технологія давно відома і вивчена | Технологія доступна, ніяких обмежень для її впровадження немає |
| | Передавання енергоносія | За допомогою ГТС України | Відомо, що додавання водню в природний газ підвищує | Насьогодні(2020 рік) проводиться перевірка рентабельності |

| | | | | |
|--|---|--|--|--|
| | | | калорійність суміші, тому що водень має теплотворну здатність $Q_H=120$ МДж (Q_H природного газу = 33,5 МДж) | технології силами Укртрансгазу і РГК |
| | Можливість згладжування графіку добового навантаження ОЕС України | Можливість роботи АЕС в базовому режимі без необхідності розвантаження блоків через обмеження з боку оператора ОЕС | При відсутності попиту на е/е, оператор не обмежує виробництво, тому що е/е направляється на виробництво водню, що є енергозатратним | Технологія доступна при наявності розподільчого пункту і відгалуження з комутаційним обладнанням |

Обрані технології реалізації ідеї проекту: Будівництво електролізної установки, РП-6 кВ і прокладання газопроводу до існуючого магістрального.

Технологія виробництва водню давно відома і застосовується в багатьох галузях, зокрема, в енергетиці для охолодження ротору турбогенераторів. Найбільш поширений і простий спосіб – це електроліз води. Для передачі водню можна застосовувати ГТС України, що може дати зацікавленість в її модернізації. Для реалізації проекту необхідне будівництво електролізної установки, РП-6 кВ на прилеглий території станції і в перспективі нарощення потужності газопровід до існуючого магістрального для передачі енергоносія у великих об'ємах.

5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Щоб визначити можливості для виходу на ринок, необхідно проаналізувати всі можливі загрози, з якими можна зіштовхнутись під час впровадження проекту і бути готовим вирішити ці проблеми.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | 79 |

По-перше, проводиться аналіз попиту. Як можна побачити, світова тенденція на сьогодні визначає поступову декарбонізацію і перехід енергетики в розвинутих країнах на екологічно чисті види палива. Водень є екологічно чистим паливом, одночасно з тим і калорійним – в 4 рази більше, ніж природний газ. Тому з кожним роком об'єм споживання водню буде тільки зростати. Насьогодні в Україні немає ні єдиного реалізованого проекту виробництва водню в часи мінімальних навантажень на потужностях АЕС. Але якщо порівнювати з конкурентними рішеннями накопичення енергії і завантаження атомних блоків, то можна виділити чотирьох головних гравців на ринку разом із запропонованим проектом з табл. 5.2.

Для отримання середньої норми рентабельності (формула 1) припустимо, що ціна 1 м³ водню дорівнює 200 грн. Продуктивність по водню однієї установки складає 250 м³/год. Електроспоживання електролізної установки БЕУ-250 складає 5 кВт*год/м³. Вартість установки складає 30 млн грн. Амортизація складає 20%.

$$ARR = \frac{Cost\ flowper\ year - Depreciation}{Initial\ Investment} \quad (1)$$

$$ARR = \frac{250 \cdot 200 \cdot 24 \cdot 365 - 0,2 \cdot (250 \cdot 200 \cdot 24 \cdot 365)}{30 \text{ млн}} \cdot 100\% = 11,68\%$$

Таблиця 5.11. - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

| № п/ п | Показники стану ринку (найменування) | Характеристика |
|--------------|--------------------------------------|----------------|
| 1 | Кількість головних гравців, од | 4 |
| 2 | Загальний обсяг продаж, грн/ум.од | 200 |
| 3 | Динаміка ринку | Зростає |

| | | |
|---|---|---|
| 4 | Наявність обмежень для | Залучення інвестицій і отримання дозвільних документів |
| 5 | Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації | Сертифікація об'єкту як той, що є джерелом підвищеної вибухо- і пожежонебезпечності |
| 6 | Середня норма рентабельності в галузі, % | 11,68% |

Середня норма рентабельності є вищою, ніж банківський відсоток, який складає 10%, тому проект є потенційно привабливим для входження на ринок.

Далі необхідно зробити характеристику потенційних клієнтів і визначити групи, яким проект мав би бути цікавим. Результати цього аналізу внесені в табл. 5.6.:

Таблиця 5.12. - Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

| <i>№ п/п</i> | <i>Потреба, що формує ринок</i> | <i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i> | <i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i> | <i>Вимоги споживачів до товару</i> |
|------------------|-------------------------------------|---|--|---|
| 1 | Покриття балансових обмежень на АЕС | НАЕК «Енергоатом» | НАЕК «Енергоатом» буде отримувати гроші за продажу електроенергії для виробництва водню замість того, щоб обмежувати виробництво | Якісне обладнання для запобігання ситуації аварійної зупинки виробництва водню і, як наслідок, до обмеження видачі потужності |
| 2 | Продаж водню як паливо | Побутові споживачі-власники автотранспорту | В майбутньому планується запровадити громадський і особистий автотранспорт, що працює на водні | Водень, що відповідає вимогам по чистоті |

Як можна побачити, проект потенційно цікавий двом групам клієнтів: виробнику атомної енергії і побутовим споживачам. Але, в першу чергу необхідно прагнути вийти на НАЕК «Енергоатом», тому що побутове споживання водню – це перспектива майбутніх 10-15 років.

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають. Всі потенційні ризики внесені в табл. 5.7. – 5.8.:

Таблиця 5.13.- Фактори загроз

| <i>№ n/n</i> | <i>Фактор</i> | <i>Зміст загрози</i> | <i>Можлива реакція компанії</i> |
|------------------|--|--|---|
| 1 | Закриття АЕС | Закриття АЕС і втрата основної ідеї проекту | Можливе перевезення виробництва водню в місця зосередження виробників ВДЕ |
| 2 | Неготовність Укртрансгазу купляти водень | Неготовність Укртрансгазу купляти водень для суміші із природним газом | Побудова місцевого сховища і розвиток автотранспортних перевезень водню |

Таблиця 5.14.Фактори можливостей

| <i>№ n/n</i> | <i>Фактор</i> | <i>Зміст можливості</i> | <i>Можлива реакція компанії</i> |
|------------------|--|--|--|
| 1 | Розширення потужностей виробництва водню | Розвиток водневої галузі, в тому числі впровадження громадського автотранспорту, що працює на водні. Також більша можливість для отримання потужностей від АЕС | Нарощування потужностей із залученням інвестицій, розширення виробництва |
| 2 | Зацікавленість і фінансова підтримка іноземних партнерів | Пропозиції щодо обміну досвідом з подальшим членством України в Об'єднаній газовій системі Європи | Готовність до співтовариства з іноземними партнерами |

Загальні риси конкуренції подані в табл. 5.9.:

Таблиця 5.15.- Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

| <i>Особливості конкурентного середовища</i> | <i>В чому проявляється дана характеристика</i> | <i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i> |
|---|---|---|
| Тип конкуренції - олігополія | По суті, тільки один прямий конкурент – проект Energy Storage | Позитивний розвиток за наявності хоча б кількох конкурентів |
| 2. За рівнем конкурентної боротьби - національний | Конкуренція ведеться на національному рівні, навіть з перспективою конкуренції на міждержавному рівні | Зниження вартості продукту і підвищення його якості |
| 3. За галузевою ознакою - міжгалузева | Конкуренція з проектом Energy Storage | Проект має велику перевагу – необмежений термін зберігання водню |
| 4. Конкуренція за видами товарів - товарно-родова | Конкуренція з тепловою і електричною енергією | Зниження вартості продукту для перспективи переходу на водневе паливо |
| 5. За характером конкурентних переваг - цінова | При дешевому водню на нього буде попит з боку власників особистого і громадського транспорту | Розвиток технологій для зниження питомих витрат виробництва. Співтовариство з іноземними партнерами |
| 6. За інтенсивністю - немарочна | Бренд не є основним, тому що гравців на ринку обмежена кількість | При появі конкурентів - розвиток особистого бренду |

Конкуренції в галузі в принципі немає через те, що це пілотний проект і є необхідність проаналізувати більш детально потенційних конкурентів. Це зроблено за принципом М. Портера, результати аналізу наведені в табл. 5.10.:

Таблиця 5.16. - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

| | <i>Прямі конкуренти в галузі</i> | <i>Потенційні конкуренти</i> | <i>Постачальники</i> | <i>Клієнти</i> | <i>Товари-замінники</i> |
|-------------------------|----------------------------------|--|---|---|--|
| <i>Складові аналізу</i> | <i>Немає</i> | <i>Особливості нормативно-правових обмежень і недосконалість процесу оформлення документації, особливо, земельних питань</i> | <i>АЕС, які надаватимуть постачання е/е в часи мінімальних навантажень</i> | <i>НАЕК «Енергоатом» і в перспективі побутові споживачі</i> | <i>Проект Energy Storage</i> |
| Висновки: | | Відносно велика тривалість впровадження проекту через можливі земельні питання. Потенційно можлива поява конкурентів в майбутні 10-15 років | Постачання електроенергії тільки в часи її профіциту, можливий простій обладнання | Побутові споживачі не зможуть отримувати водень поки він не стане більш дешевшим і поки не розвинеться воднева галузь у світі | При великому обсягу розбудови акумуляторних батарей є потенційна загроза щодо покриття ними всіх «провалів» мінімуму навантажень |

Можна зазначити, що виробництво водню можливе в часи мінімуму навантажень, тобто не цілодобово. Але профіцит електричної енергії в Україні має дуже високу кількість, тому важливо правильно вибрати потужність електролізних установок, щоб вони не простоювали. Проект для високої конкурентоспроможності має бути зроблений якісно і надавати якісне паливо. Поки воднева галузь не достатньо розвинута, є сенс накопичувати водень у сховищах, щоб в подальшому мати певні резерви, тим паче зараз водень у великих масштабах не має попиту.

Перелік факторів конкурентоспроможності проекту виробництва водню в часи мінімальних навантажень наведено в табл. 5.11.:

Таблиця 5.17. - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

| <i>№ п/п</i> | <i>Фактор конкурентоспроможності</i> | <i>Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)</i> |
|------------------|---|---|
| 1 | Зацікавленість НАЕК «Енергоатому» в необмежені видачі потужності з боку оператора ОЕС України | При мінімальних навантаженнях в ОЕС України щоб не обмежувати видачу потужності АЕС, електроенергія піде на виробництво водню електролізними установками. |
| 2 | Використання водню в суміші із природним газом | Висококалорійний водень може сильно підвищити теплотворну здатність суміші і зменшити використання природного газу побутовими і промисловими споживачами |
| 3 | Використання водню як паливо в особистому і громадському транспорті | Продаж палива для заправки особистого і громадського транспорту при умові розвитку водневої галузі і автомобілів на водневому паливі |

В табл. 5.12. поданий порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту:

Таблиця 5.18. - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін виробництва водню потужностями АЕС в часи мінімальних навантажень»

| <i>№ п/ п</i> | <i>Фактор конкурентоспроможності</i> | <i>Бали 1-20</i> | <i>Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з проектом</i> | | | | | | |
|-----------------------|---|----------------------|--|----|----|---|----|----|----|
| | | | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 |
| 1 | Зацікавленість НАЕК «Енергоатому» в необмежені видачі потужності з боку оператора ОЕС України | 15 | | | | + | | | |
| 2 | Використання водню в суміші із природним газом | 5 | | | | + | | | |
| 3 | Використання водню як паливо в особистому і громадському транспорті | 8 | | | | + | | | |

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл.

5.13) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін з табл. 5.7.-5.8., 5.11.-5.12.

Таблиця 5.19. - SWOT- аналіз стартап-проекту

| | |
|--|---|
| Сильні сторони: Зацікавленість НАЕК «Енергоатому» в необмежені видачі потужності з боку оператора ОЕС України; Використання водню в суміші із природним газом; Використання водню як паливо в особистому і громадському транспорті. | Слабкі сторони: недостатньо розвинута воднева галузь для продажу водню побутовим споживачам; неможливість використання водню як резерву потужності (як акумуляторні батареї) |
| Можливості: Розширення потужностей виробництва водню; Зацікавленість і фінансова підтримка іноземних партнерів | Загрози: Закриття АЕС, Неготовність Укртрансгазу купляти водень. |

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 5.14):

Таблиця 5.20. - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

| <i>№ п/п</i> | <i>Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки</i> | <i>Ймовірність отримання ресурсів</i> | <i>Строки реалізації</i> |
|------------------|---|--|--|
| 1 | Будівництво електролізного комплексу на базі потужностей АЕС | Велика ймовірність ,через досить великі досяги (приблизно 2500 млн кВт*год) недовиробництва е/е через балансів обмеження | До 3 років (досвід впровадження проектів НАЕК «Укренерго») |
| 2 | Будівництво електролізного комплексу на базі | Велика ймовірність через стахастичність виробництва | До 3 років (досвід впровадження проектів НАЕК «Укренерго») |

| | | | |
|---|--|--|---|
| | потужностей виробників, що працюють на ВДЕ | електроенергії, особливо вітровими електростанціями | |
| 3 | Будівництво сховища водню поблизу виробництва | Середня ймовірність | До 2 років, краще паралельно з впровадженням основного комплексу, дивитись інформацію в ТЕО |
| 4 | Продаж водню в балонах як альтернатива природного газу | Середня ймовірність через більш велику вартість водню, ніж природного газу | 6 місяці |

Як можна зазначити з табл. 5.14. Найбільш привабливими альтернативами є будівництво електролізних комплексів на базі АЕС і виробників, що працюють ВДЕ, однак через досить маленькі об'єми встановленої потужності і велику собівартість «зеленої» електроенергії, на сьогодні оптимальним є перший варіант.

5.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 5.15):

Таблиця 5.21. - Вибір цільових груп потенційних споживачів

| № п/п | Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів | Готовність споживачів сприйняти продукт | Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту) | Інтенсивність конкуренції в сегменті | Простота входу у сегмент |
|----------|---|---|---|--|--|
| 1 | НАЕК «Енергоатом» | Готовність Енергоатому до співтовариства через обмежений | Попит дорівнює кількості недовиробленої електроенергії через балансові обмеження | Невелика конкуренція через те, що основний конкурент проект Energy Storage | Нескладна процедура виходу на ринок, треба отримати дозвіл на |

| | | | | | |
|--|-----------------------|--|---|--|---|
| | | випуск е/е через балансові обмеження | (2500 млн кВт*год за 5 місяців 2020 року) | тільки розвивається | можливість приймати участь в торгах на аукціонній платформі MMS |
| 2 | Побутові споживачі | Поки неготовність через недостатньо розвинуту водневу галузь у світі, однак з кожним роком світова спільнота наближується до можливості побутового використання водню як альтернативи природного газу | Підвищення попиту з розвитком водневої галузі, аж до масштабів споживання природного газу | Конкуренція з вуглецевими паливами, споживання якого з кожним роком зменшується | Розвиток водневої галузі і пошук шляхів зниження вартості водню |
| Які цільові групи обрано: НАЕК «Енергоатом» як оператор АЕС України | | | | | |

За результатами аналізу потенційних груп споживачів обирається НАЕК «Енергоатом» як цільова група на першому етапі з перспективою в майбутні 10-15 років обрання цільової групи побутових споживачів. Тобто, відразу після впровадження проекту обирається стратегія концентрованого маркетингу з перспективою переходу на диференційний маркетинг в наступні 10-15 років.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (табл. 5.16.):

Таблиця 5.22. - Визначення базової стратегії розвитку

| <i>№ п/ п</i> | <i>Обрана альтернатива розвитку проекту</i> | <i>Стратегія охоплення ринку</i> | <i>Ключові конкурентоспромо жні позиції відповідно до обраної альтернативи</i> | <i>Базова стратегія розвитку</i> |
|-----------------------|--|--|--|--|
| 1 | Будівництво електролізного комплексу на базі потужностей АЕС | Концентрований маркетинг | Готовність Енергоатому до співтовариства через обмежений випуск е/е через балансові обмеження, великий попит на використання е/е, невелика конкуренція | Стратегія диференціації |

Стратегія диференціації передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмітних властивостей (велика теплотворна здатність і екологічна чистота водню), які роблять товар відмінним від товарів конкурентів. Інструментом реалізації стратегії диференціації є ринкове позиціонування.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 5.17.):

Таблиця 5.23. - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

| <i>№ п/п</i> | <i>Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?</i> | <i>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</i> | <i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?</i> | <i>Стратегія конкурентної поведінки</i> |
|------------------|--|---|--|--|
| 1 | Проект являє собою пілотну версію в розрізі використання потужностей АЕС для їх безобмеження | Існує перспектива виходу на ринок постачальників палива для побутових потреб, | Продукт є унікальним за своїми властивостями, використання е/е для виробництва | Стратегія лідера із перспективою стратегії виклику |

| | | | | |
|--|--|--|---|-----------------------|
| | виробництва е/е з боку оператора ОЕС України | тому є можливість конкурувати із постачальниками природного газу | висококалорійного палива із перспективою його використання у подальшому | лідера в іншій галузі |
|--|--|--|---|-----------------------|

Якщо фірма потрапляє під дію антимонопольного законодавства, вона може удатися до стратегії демаркетинга, що припускає скорочення своєї частки ринку, зниження рівня попиту на деяких сегментах за рахунок підвищення ціни. При цьому ставиться завдання недопущення на ці сегменти конкурентів, а компенсація втрат прибутку через зменшення обсягів виробництва компенсується встановленням надвисоких цін.

Проте у більшості випадків найпривабливішою стратегією для компаній-лідерів є диверсифікація, що дозволяє використати переваги масштабу виробництва, know – how.

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника та до продукту із табл. 5.5., а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (табл. 5.16) та стратегії конкурентної поведінки (табл. 5.17.) розробляється стратегія позиціонування (табл. 5.18.). що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати проект:

Таблиця 5.24. - Визначення стратегії позиціонування

| <i>№ п/ п</i> | <i>Вимоги до товару цільової аудиторії</i> | <i>Базова стратегія розвитку</i> | <i>Ключові конкурентоспромо жні позиції власного стартап- проекту</i> | <i>Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)</i> |
|-----------------------|--|--|---|--|
| 1 | Готовність комплексу безвідмовно отримувати живлення в запропонованих кількостях | Стратегія диференціації | Здатність забезпечити видачу потужностей атомних блоків без балансових обмежень, використання висококалорійного і | Виробництво водню; використання потужностей АЕС для їх постійної роботи без балансових обмежень; Паливо майбутнього |

| | | | | |
|--|----------------------------------|--|---------------------------------------|--|
| | для оптимізації роботи блоку АЕС | | екологічного палива в побутових цілях | |
|--|----------------------------------|--|---------------------------------------|--|

Найоптимальнішою ринковою стратегією для впровадження проекту є **стратегія диференціації** - надання товару важливих з точки зору споживача відмітних властивостей, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів та **стратегія лідера із перспективою стратегії виклику лідера** в іншій галузі з точки зору конкурентної поведінки.

5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування *маркетингової концепції товару*, який отримає споживач. Для цього у табл. 5.19. потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару:

Таблиця 5.25. - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

| <i>№ n/n</i> | <i>Потреба</i> | <i>Вигода, яку пропонує товар</i> | <i>Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)</i> |
|------------------|---|---|---|
| 1 | Безперервна робота АЕС без балансового обмеження навантаження | Потреба у великій кількості електроенергії, яка буде надаватись АЕС в часи мінімуму навантажень | Перетворення електричної енергії в інший вид енергії, яка на відміну від енергії, накопиченої в акумуляторних батареях немає терміну зберігання |
| 2 | Паливо в побутових і громадських цілях | Екологічно чисте і калорійне паливо | Використання калорійного і екологічно чистого виду палива |

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточнюються ідея продукту та послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання. Результати моделі наведені у табл. 5.20.:

Таблиця 5.26. - Опис трьох рівнів реалізації ідеї товару

| <i>Рівні товару</i> | <i>Сутність та складові</i> | | |
|--|--|---|---|
| I. Товар за задумом | Споживання профіцитної електроенергії в часи мінімуму навантажень без необхідності балансового обмеження навантаження АЕС; перспектива надання водню як палива в побутових цілях | | |
| II. Товар у реальному виконанні | Висококалорійне і екологічно чисте паливо з необмеженим терміном зберігання. Вартість однієї установки БЕУ-250 складає 30 млн грн. | Гарантований термін служби - 10 років; | Вартість водню на ринку- 200 грн/м³; |
| | | ресурс до капітального ремонту – 25500 год; | Продукт є вибухо- і пожежонебезпечним; |
| | | напрацювання на відмову – 11500 год; | Виробництво водню є екологічно чистим, при електролізі виділяється водень і кисень. |
| | | Продуктивність по водню – 250 нм³. | |
| | Якість: постійна готовність комплексу отримувати електроенергію від АЕС; постачання водню споживачам належної якості і чистоти | | |
| | На першому етапі – зберігання водню в сховищах, з перспективою продажу у балонах. | | |
| | Марка: | | |
| III. Товар із підкріпленням | До продажу отримання водню в побутових цілях | | |
| | Після продажу переоснащення деяких видів двигунів на водневе паливо | | |
| За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: патенту на водень немає, тому виробляти його має право будь-хто. | | | |

Патенту на виробництво і продаж водню немає, тому захищеність технології не відбувається ніяким чином. При появі конкурентів слід змагатись з ними в рамках ринкових правил (зниження собівартості, підвищення якості, тощо).

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на водень, яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 5.21.). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 5.27. - Визначення меж встановлення ціни

| <i>№ n/n</i> | <i>Рівень цін на товари- замінники</i> | <i>Рівень цін на товари- аналоги</i> | <i>Рівень доходів цільової групи споживачів</i> | <i>Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу</i> |
|------------------|--|--|--|--|
| 1 | Ціна на природний газ – 9 грн/м ³ | Ціна на вугілля – 13.7 грн/кг | Від 2270 грн – прожитковий мінімум для працездатних осіб | 6,3 – 8,96 грн/м ³ + 0,336 - 1,464 грн/м ³ |
| 2 | Ціна на вугілля – 13.7 грн/кг | Ціна на природний газ – 9 грн/м ³ | Від 2270 грн – прожитковий мінімум для працездатних осіб | 10-30 грн/кг |

Треба зазначити, що ціна в 200 грн/м³ водню є не конкурентоспроможною, тому що ціна за газ в 12 разів нижче, а теплотворна здатність і, як наслідок, споживання – в 4-5 разів вище. Тому для використання водню в побутових цілях необхідно отримати ціну за м³ водню максимум в 80 грн/м³.

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 5.22):

Таблиця 5.28. - Формування системи збуту

| <i>№ n/n</i> | <i>Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів</i> | <i>Функції збуту, які має виконувати постачальник товару</i> | <i>Глибина каналу збуту</i> | <i>Оптимальна система збуту</i> |
|------------------|--|--|---------------------------------|--|
| 1 | Отримання газу в балонах | Наповнення балонів газом і доставка товару до точок збуту | Ринки, магазини | Через посередників – фірм, які виконують послуги доставки товарів – залучена система |
| 2 | Постачання газу по газопроводах безпосередньо до споживачів | Перекачування газу від постачальника до споживача із належною якістю | Газопроводи в оселях | Через посередника – Укртрансгаз і РГК – залучена система |

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 5.23):

Таблиця 5.29. - Концепція маркетингових комунікацій

| <i>№ п/п</i> | <i>Специфіка поведінки цільових клієнтів</i> | <i>Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти</i> | <i>Ключові позиції, обрані для позиціонування</i> | <i>Завдання рекламного повідомлення</i> | <i>Концепція рекламного звернення</i> |
|------------------|---|---|---|--|---|
| 1 | Побутові споживачі зі споживанням водню як аналог природного газу | Інтернет-ресурси | Рекламна програма в інтернеті і соціальних мережах | Інформування потенційних клієнтів в доцільності переходу на водневе паливо | Рекламні ролики і публікації |
| 2 | Побутові споживачі водню в якості палива для автотранспорту | АЗС, інтернет-ресурси, біг-борди | Реклама в інтернеті, на АЗС, політика агітування за перехід на водневе паливо | Пошук нових клієнтів | Агітування на АЗС і в інтернет-ресурсах |

Як результат розробки пункту 5.5. можна виділити знаходження ключових переваг проекту над конкурентами, політику ціноутворення і запропоновані шляхи вирішення проблеми високої вартості продукту. Також була обґрунтована програма ведення рекламної компанії, опираючись на цільові групи і їх інтереси.

5.6. Висновки

В даному розділі була проведена робота з виявлення можливостей і шляхів реалізації проекту виробництва водню потужностями АЕС в часи мінімальних навантажень, були проаналізовані можливості отримання вигоди від реалізації проекту, знайдені цільові групи і зацікавлені сторони. На першому етапі проект дає можливість АЕС видавати свою потужність в часи мінімальних

навантажень з перспективою розвитку на рівні збуту водню побутовим споживачам, але для цього необхідно розвивати водневу галузь із зниженням вартості газу. Альтернативою цього проекту є розвиток водневої генерації на базі виробників електроенергії, що працюють на ВДЕ, зокрема, найкращий варіант є реалізація проекту на базі вітрових електростанцій через стахастичність і більшу стабільність, ніж в сонячних.

Воднева галузь має великі перспективи у майбутньому і доцільність розбудови ще більше потужностей видобутку є доцільними навіть зараз, з врахуванням великої вартості водню для кінцевого споживача, яка буде в подальшому знижуватись.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 95 |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

Література

1. Проектування електричної частини електричних станцій та підстанцій: Навчальний посібник/ Укл.: Є.І. Бардик, П.Л. Денисюк, Ю.В. Безбереж'єв./ – К.: НТУУ «КПІ», 2011 – 105 с.
2. Проектування електричної частини електричних станцій та підстанцій. Частина 2: Навчальний посібник/ Укл.: Є.І. Бардик, П.Л. Денисюк, Ю.В. Безбереж'єв./ – К.: НТУУ «КПІ», 2012 – 82 с.
3. Проектування електричної частини електричних станцій та підстанцій. Частина 3: Навчальний посібник/ Укл.: П.Л. Денисюк, Ю.В. Безбереж'єв, О.Г. Філатов./ – К.: НТУУ «КПІ», 2014 – 103 с.
4. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций. - М.: «Энергия», 1976. – 552 с.
5. Проектування електричних станцій, ч.1/ Методичні вказівки до виконання курсового проекту/ Укл.: П.Л. Денисюк./ – К.: НТУУ «КПІ», 2012 – 73 с.
6. Проектування електричних станцій, ч.2/ Методичні вказівки до виконання курсового проекту/ Укл.: П.Л. Денисюк./ – К.: НТУУ «КПІ», 2012 – 74 с.
7. Проектування електричних станцій, ч.3/ Методичні вказівки до виконання курсового проекту/ Укл.: П.Л. Денисюк, Г.М. Гаєвська./ – К.: НТУУ «КПІ», 2012 – 61 с.
8. Основи проектування теплових та гідравлічних електростанцій: Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи/ Укл.: П.Л. Денисюк, Є.І. Бардик, Р.В. Вожаков./ – К.: НТУУ «КПІ», 2012 – 66 с.
9. Енергетична стратегія України на період до 2035 року. Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>
10. Киров В., Комарова Я., Душок В., Латий А. Влияние маневренных режимов реакторов ВВЭР-1000 на оболочки ТВЭЛ и КИУМ // Sciences of Europe. 2019. №45-1 (45). Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-manevrennyh-rezhimov-reaktorov-vver-1000-na-obolochki-tvel-i-na-kium>
11. Стратегічний план розвитку ДП «НАЕК «ЕНЕРГОАТОМ» на 2020-2024 роки. Режим доступу: <http://www.energoatom.com.ua/ua/about-6/missia-7>
12. Підсумки роботи ДП «НАЕК «ЕНЕРГОАТОМ» за 5 місяців 2020 року. Режим доступу: http://www.energoatom.com.ua/ua/print_page/category/actvts-16/financial-114/itogi_za_2020_god-239
13. До 2030 року у ЄС планують побудувати 40 ГВт потужностей для отримання водню. Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/projects/greendeal/2020/07/8/662726/>

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 96 |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

- 14.Де використовуються водневі технології: перспективи для України. Режим доступу: <https://ecolog-ua.com/news/de-vykorystovuyutsya-vodnevi-tehnologiyi-perspektyvy-dlya-ukrayiny>
- 15.«Енергоатом» і «Нафтогаз» домовилися про спільну реалізацію водневих проектів. Режим доступу: <https://ua.interfax.com.ua/news/economic/690112.html>
- 16.Аминов Р.З., Байрамов А.Н. Оценка эффективности получения водорода на базе внепиковой электроэнергии АЭС. *Альтернативная энергетика и экология (ISJAEЕ)*. 2016;(5-6):59-70. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2016.05-06.006>
- 17.«Технічні умови експлуатації електролізерів типу СЕУ» - Уралхиммаш, 1980. – 68 с.
- 18.ДБН В.2.5-56:2010. Державні будівельні норми. Системи протипожежного захисту. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2010. 34 с.
- 19.НАПБ А.01001-2004. Правила пожежної безпеки в Україні. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2004. 45 с.
- 20.НАПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 33 с.
- 21.ДБН В.1.2-7-2008. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2008, 25 с.
- 22.НПАОП 0.00-4.12-05. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці: наказ від 26.01.2005 р. № 15. Вид. офіц. Київ: Держнаглядохоронпраці, 2005. 15 с.
- 23.Правила улаштування електроустановок (ПУЕ-2018). Вид. офіц. Харків: Форт, 2018. 458 с.
- 24.ДСТУ EN 529:2006. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Рекомендації щодо вибору, використанню, догляду і обслуговуванню. Настанова EN 529:2005, IDT. Введено у дію 01.10.2007. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2006. 26 с.

- 25.ДСТУ ISO 13688:2001. Одяг захисний. Загальні вимоги. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2002. 6 с.
- 26.НПАОП 0.00-3.09-052004-11-01. Норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту для працівників підприємств електроенергетичної галузі). Вид. офіц. Київ: Держнаглядохоронпраці, 2001. 25 с.
- 27.ДСТУ 7239:2011. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2011. 6 с.
- 28.Інструкція з експлуатації електролізної установки від 2017. 23 с.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | 98 |