

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СПОЖИВАЧІВ НА РІВНІ НАПРУГИ 20 КВ

Вступ. Розвиток енергетичного сектору та впровадження відновлювальних джерел енергії зумовлюють необхідність модернізації розподільних мереж. Одним із перспективних рішень є переведення мереж з 10(6) кВ на 20 кВ, що дозволяє підвищити ефективність електропостачання та зменшити втрати потужності.

Постановка проблеми. Існуючі електричні мережі 10(6) кВ не забезпечують належної надійності та енергоефективності через значні втрати потужності та обмеження автоматизації, що спричинені відсутністю сучасних систем дистанційного моніторингу, недостатньою гнучкістю систем керування мережею та низьким рівнем інтеграції розумних технологій. Особливо це відчутно в умовах зростаючого навантаження та активного збільшення потужності джерел відновлювальної енергії.

Мета. Дослідження ефективності електропостачання споживачів при переведенні мережі з 10 кВ на 20 кВ зі застосуванням різних схем розподілу навантаження.

Методика. Моделювання режимів роботи розподільної мережі проводиться в програмному середовищі Power Factory. Виконано аналіз трьох варіантів електропостачання району: традиційного (на напрузі 10 кВ), переведеного на напругу 20 кВ без змін у конфігурації та з глибоким вводом потужності з групуванням споживачів.

Результат. В результаті моделювання режимів роботи розподільної мережі в програмному середовищі Power Factory доведено, що переведення мережі на 20 кВ зменшує втрати активної потужності на 22%. Найбільш ефективним виявився варіант з глибоким вводом потужності та групуванням споживачів за допомогою більшої кількості трансформаторів меншої потужності.

Наукова новизна. Запропоновано та досліджено підхід до реконфігурації мережі 0,4 кВ при переведенні основної мережі на 20 кВ з урахуванням різних схем організації електропостачання. Запропоновано методику реконфігурації мережі 0,4 кВ на основі принципу глибокого вводу потужності ті розподілу споживачів на групи з живленням від трансформаторів меншої потужності.

Практична значимість. Впровадження запропонованої методики підвищує надійність та економічність електропостачання, сприяє інтеграції відновлювальних джерел енергії та модернізації енергосистеми України згідно до європейських стандартів.

Ключові слова: розподільні мережі, модернізація, втрати потужності, напруга 20 кВ, енергоефективність, реконфігурація мереж, надійність електропостачання.

Вступ

Переведення розподільних електричних мереж з напруги 10 кВ на 20 кВ викликано сучасними потребами енергетичного сектору, які зростають через активний розвиток промисловості, запровадження джерел відновлюваної генерації, урбанізацію та нарощування темпів використання електротранспорту. Існуючі мережі середньої напруги класу 10(6) кВ у багатьох регіонах вже не здатні повною мірою забезпечити надійне та економічне електропостачання, через значні втрати активної потужності, низький рівень захисту та автоматизації [1]. Важливим фактором, що погіршує ситуацію, є впровадження джерел відновлюваної енергії (ВДЕ) та активного споживача, функціонування яких призводять до зміни перетоків потужності в без того перевантажених мережах 10(6) кВ. В мережах при цьому відбуваються додаткові перевантаження, підвищення втрат потужності і підвищення часу довгострокових перерв в електропостачанні. Застосування мереж 20 кВ показало свою ефективність та вигідність в багатьох дослідженнях, зокрема під час моделювання та аналізу режимів роботи мереж із розподіленою генерецією [2, 3]. Мережі класу напруги 20 кВ широко використовуються в розподільних мережах у більшості європейських країн, таких як Італія, Німеччина, Польща, Болгарія, Австрія [4]. Актуальним питанням в енергосистемі України є не просто переведення мереж на клас напруги 20 кВ, а і принципова зміна режиму роботи нейтралі мережі та зміна структури організації електропостачання з безпосереднім підведенням мереж 20 кВ до невеликих груп споживачів із скороченням мереж класу 0,4 кВ.

Модернізація мереж до рівня напруги 20 кВ забезпечує значне підвищення енергоефективності завдяки зменшенню втрат у лініях електропередавання. Це дозволяє транспортувати більший обсяг електроенергії без необхідності прокладати нові лінії або збільшувати перетин існуючих проводів. До того ж, таке оновлення сприяє оптимальному розподілу електроенергії в мережі та знижує витрати на експлуатацію, що є важливим у контексті обмежених фінансових ресурсів. Перехід на мережі 20 кВ

потребує комплексної ролі конфігурації мережі, що включає оптимізацію топології мережі, оновлення обладнання та впровадження сучасних технологій керування [5].

Технічний стан електричних мереж на пряму пов'язаний із значеннями втрат активної потужності при розподілі електроенергії, а також із якістю та надійністю електропостачання споживачів. Незважаючи на активні військові дії, за 2023 рік індекс середньої тривалості довгих перерв в електропостачанні в системі SAIDI в Україні в цілому знизився на 11,1 % порівняно із попереднім роком. За інформацією Національної комісії, що здійснює регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, такі зміни індексу пов'язані із виконанням інвестиційних програм направлених на покращення надійності електропостачання та з необхідністю досягнення довгострокових параметрів регулювання [6].

Порівнюючи значення індексу середньої частоти довгих перерв в електропостачанні в системі (SAIFI) за 2023 та 2019 рік знову яскраво виражена частка форс-мажорних обставин у 2023 році, що основною мірою спричинена веденням бойових дій на території України та графіками аварійних або планових відключень електроенергії. При цьому необхідно враховувати, що середня частота довгих перерв електропостачання зросла також і внаслідок провини операторів систем розподілу майже в 2 рази – з 3,14 до 5,64 [6]. Загалом, показники SAIDI та SAIFI мають високі значення, що свідчить про тривалу відсутність електропостачання у споживачів внаслідок застарілих електричних мереж операторів систем розподілу [7],[8]. Як наслідок, актуальною стає проблема модернізації розподільних мереж, а в певних випадках і проведення їх реконфігурації з переведенням на вищий клас напруги для збільшення пропускної здатності та підвищення якості та надійності електропостачання за рахунок принципово нового підходу до автоматизації мереж.

На теперішній час зміни у структурі споживання електроенергії, зростання попиту та впровадження відновлюваних джерел енергії вимагають створення нової концепції розвитку розподільних мереж і одним з важливих моментів в цьому плані є переведення мереж 10(6) кВ на клас напруги 20 кВ. Впровадження мереж класу напруги 20 кВ дає можливість подвоїти обсяг переданої потужності порівняно з мережами 10 кВ при використанні однакового перерізу провідників [9]. Переведення існуючих розподільних мереж на вищий клас підвищить ефективність передачі енергії на великі відстані з суттєвим зниженням втрат потужності, що є важливим для інтеграції відновлюваних джерел, які зазвичай розташовані далеко від центрів споживання. Це особливо актуально для України, враховуючи значну віддаленість окремих населених пунктів від основних джерел живлення [10], [11], [12] [13].

За модернізації енерговузлів розподільних мереж 10(6) кВ просто переведення на 20 кВ однозначно є позитивним, але не вирішує всіх проблем розподільних мереж. Важливим в плані автоматизації мережі є зміна режиму нейтралі з використанням резистивного її заземлення [14, 15]. Але не менш важливим моментом є структурна реконфігурація мережі [16, 17]. Необхідно не просто замінити в уже існуючих пунктах високовольтні трансформатори з вторинною обмоткою 10 кВ на трансформатори з вторинною обмоткою 20 кВ, а виконати передавання потужності до споживачів на рівні напруги 20 кВ. При цьому у споживача чи групи споживачів 0,4 кВ необхідно встановити спрощені конструкції трансформаторів 20/0,4 кВ з відповідною потужністю.

Мета роботи

Основною метою роботи є порівняльний аналіз ефективності електропостачання енерговузла розподільної електричної мережі напругою 10/0,4 кВ, напругою 20/0,4 кВ та з безпосереднім підведенням електроенергії до споживачів на рівні 20 кВ з розподілом споживачів на групи по напрузі 0,4 кВ.

Економічна ефективність функціонування розподільних мереж є вагомим аргументом на користь впровадження мереж 20 кВ. Зменшення втрат на лініях дозволяє компенсувати різницю у вартості обладнання для підстанцій 10/0,4 і 20/0,4 кВ, що робить цей перехід фінансово вигідним. Застосування трансформаторних пунктів 20 кВ призводить до зниження навантаження на старі мережі та одночасно створює резерви потужності для підвищення надійності енергопостачання, особливо актуально в періоди максимальних навантажень або під час несприятливих погодних умов. Підвищена надійність електропостачання споживачів на рівні напруги 20 кВ є важливим фактором для стабільного функціонування розподільних мереж.

Матеріал і результати досліджень

Дослідження ефективності електропостачання виконано на прикладі реального енерговузла розподільної мережі напругою 10 кВ (рис.1). Електрична мережа має кабельне та повітряне виконання. Для кабельних ліній використовується кабель типу АСБЛУ-10-3х120 із мідними жилами, армованими сталеву стрічкою, що забезпечує механічну міцність. Кабель використовується для ділянок з підвищеною вібраційною або хімічною дією, відповідно до схеми, між опорами №1 та №2 (довжина 130 м) і між опорою №4/7 та ТП 943 (100 м). Для повітряних ліній використано провід АС-35/6,2, з відповідною провідністю та корозійною стійкістю. Розрахунок усталеного режиму мережі 10 кВ та 20 кВ виконано для зимового максимуму споживання в програмному середовищі Power Factory. Серед необхідних технічних заходів, які виконуються для виконання реконструкції з переведення заданої мережі на вищий клас напруги, проведена заміна трансформаторів та кабельних ліній електропередавання.

Замість кабелю АСБЛУ-10-3х120 було використано силовий кабель типу АПвЕгаПу-20 1х240/70.

Збільшення перерізу призвело до зменшення активного опору, а однофазне виконання поліпшило термічні умови роботи в порівнянні з трифазним виконанням. Виконано повну заміну трансформаторного обладнання на всіх трансформаторних підстанціях (ТП) з класу напруги 10/0,4 кВ на клас напруги 20/0,4 кВ. Окрім цього, виконана заміна ізоляторів на опорах, обладнання підстанції 110/35/10, з переведенням її в 110/35/20.

Аналіз електропостачання споживачів енерговузла виконано в трьох варіантах:

- Перший варіант – електропостачання на рівні напруги 10 кВ з трансформаторами в пунктах 10/0,4 кВ (пункти 313, 943, 401, 261, 262, 263, 389, 482);
- Другий варіант – електропостачання на рівні напруги 20 кВ з трансформаторами в пунктах 20/0,4 кВ (пункти 313, 943, 401, 261, 262, 263, 389, 482);
- Третій варіант – безпосереднє електропостачання (глибокий ввід) на рівні напруги 20 кВ з груповими трансформаторами малої потужності 20/0,4 кВ (3, 4 та 5 груп), з переведенням мережі 0,4 кВ на 20 кВ.

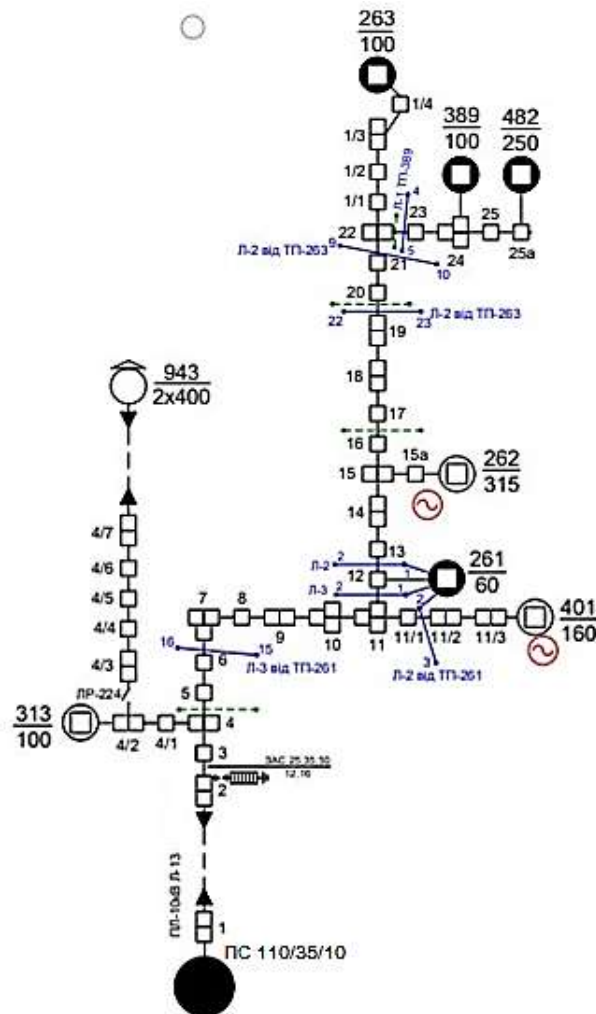


Рисунок 1 – Поопорна схема енерговузла

У табл. 1 наведено результати розрахунку струмового навантаження ділянок на напрузі 10 кВ (варіант 1) та 20 кВ (варіант 2), котрі мають найбільші зміни в значеннях. Навантаження на стороні 0,4 кВ у всіх трансформаторних підстанціях виконано еквівалентним способом, а в ТП 482 побудована розгалужена електрична мережа 0,4 кВ. Дана мережі 0,4 кВ містить два фідери, що виконані проводом типу СПП-4 4х95. Перший фідер (ПЛ 0,4 кВ ТП 482 - Сп1) живить дев'ять споживачів сумарним навантаженням 90 кВт, довжина лінії 580 метри. Другий фідер живить вісім споживачів сумарним навантаженням 80 кВт, довжина лінії складає 480 метри.

Необхідно відмітити суттєве зниження струмового навантаження елементів мережі по варіанту 2, зі зниженням усіх пунктів рівнів напруги, які, знаходяться в межах допустимих значень згідно ДСТУ EN 50160:2014 [18]. За першого варіанту електропостачання втрати потужності в мережі складають 81,981 кВт, з них: на лініях електропередавання 20,472 кВт; в трансформаторах 61,5 кВт. Одним із вагомих результатів модернізації стало зниження струмів у ділянках мережі приблизно вдвічі після підвищення

напруги з 10 кВ до 20 кВ (табл.1). Це сприяло значному зниженню втрат потужності – на 11,2% до рівня 72,7 кВт, при чому в лініях електропередавання втрати знизись на 37,3 %.

За третім варіантом електропостачання, з метою зменшення втрат потужності та підвищення енергоефективності мережі виконано реконфігурацію схеми підключення споживачів з реалізацією глибокого вводу потужності на напрузі 20 кВ та розподілом споживачів на групи з вилученням зі схеми по другому варіанту трансформатора ТМГ-250 20/0,4 (ТП-482) і переведенням двох ліній, що відходили від комірок напругою 0,4 кВ трансформаторної підстанції ТП-482 на напругу 20 кВ.

Таблиця 1 – Порівняльний струмовий розподіл ділянками електричної мережі за варіантом №1 та варіантом №2

Ділянка	Напруга мережі 10 кВ		Напруга мережі 20 кВ		Різниця завантаження ділянок 20 кВ, %
	Завантаження, %	Струм, А	Завантаження, %	Струм, А	
ПС - 1	58,997	97,345	29,093	48,004	-29,9
КЛ 1 - 2	44,68	97,345	12,9	48,004	-31,8
ПЛ 11 - 12	25,83	42,619	12,78	21,088	-13,05
ПЛ 12 - 15	23,993	39,587	11,871	19,583	-12,12
ПЛ 2 - 4	59,032	97,401	29,163	48,116	-29,87
ПЛ 24 - ТП 389	3,227	5,324	1,589	2,621	-15,44
ПЛ 4 - 4/2	2,99	4,934	1,48	2,442	-12,92
ПЛ 4/2 - ТП 313	2,99	4,934	1,48	2,442	-13,74
ПЛ 4/3 - 4/7	25,509	42,09	12,586	20,767	-12,93
ПЛ 4/7 - ТП 943	19,328	42,09	5,591	20,767	-22,76

В третьому варіанті проведено дослідження трьох модифікованих схем електропостачання на напрузі 20 кВ. Основна ідея полягала у розділенні загального навантаження на дві, три та п'ять груп споживачі 0,4 кВ з живленням їх трансформаторами спрощених конструкцій меншої потужності. Відповідно досліджено три варіанти організації живлення:

схема 1: застосування двох трансформаторів ТТР-200 /20/0,4; ТР-1 забезпечує живлення споживачі 1-9, ТР-2 – споживачі 10-17;

схема 2: три трансформатори ТМГ-100/20/0,4; ТР-1 – забезпечує живлення споживачі споживачі 1-6, ТР-2 – споживачі 7-12, ТР-3 – споживачі 13-17;

схема 3 – п'ять трансформаторів ТМГ-63/20/0,4, ТР-1 забезпечує живлення споживачі споживачі 1-3, ТР-2 – споживачі 4-6, ТР-3 – Споживачі 7-10, ТР-4 – споживачі 11-13, ТР-5 – споживачі 14-17.

В табл. 2 представлено параметри модифікованих схем електропостачання на напрузі 20 кВ по третьому варіанту організації живлення споживачів. На рис. 2 наведено порівняльні діаграми сумарних втрат активної потужності в елементах мережі з електропостачанням по варіанту 3 за трьома модифікованими схемами глибокого вводу відносно варіанту 2 електропостачання на напрузі 20 кВ з одним потужним трансформатором ТМГ-250 20/0,4.

Таблиця 2 – Параметри модифікованих схем електропостачання по третьому варіанту

Параметри	Схема 1	Схема 2	Схема 3
Кількість та тип трансформаторів	2хТТР-200 /20/0,4	3хТМГ-100/20/0,4	5хТМГ-63/20/0,4
Загальні втрати потужності, кВт	72,95	67,21	63,79
Втрати в лініях, кВт	12,78	7,22	4,35
Втрати в тр-рах, кВт	60,16	59,98	59,4

З розглянутих трьох схем електропостачання мережі з глибоким вводом за варіантом 3 на напрузі 20 кВ найбільш оптимальною є третя схема електропостачання, з переведенням на 20 кВ двох ліній електропостачання напругою 0,4 кВ від трансформаторної підстанції ТП-482 при формуванні споживачів у п'ять груп з живленням від трансформаторів потужністю 63 кВА напругою 20/0,4 кВ.

На рис.3 представлено зміну втрат активної потужності в енерговузлі при зміні рівня напруги з 10 кВ та 20 кВ.

Втрати активної потужності в енерговузлі при переведенні розподільної мережі з напруги 10 кВ на 20 кВ (схема 3 глибокого вводу за варіантом 3) знижуються на 22 % з 81,981 кВт до 63,79 кВт (рис.3).

Висновки

Переведення мережі на напругу 20 кВ відповідає європейським стандартам і є важливим кроком до інтеграції української енергосистеми в європейський енергопростір. Це сприяє зміцненню енергетичної незалежності країни та її адаптації до сучасних викликів. Рівень напруги 20 кВ полегшує інтеграцію відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні та вітрові електростанції, що відповідає світовим тенденціям декарбонізації. Переведення розподільних мереж 10(6) кВ на напругу 20 кВ дозволить суттєво

зменшити втрати активної потужності та підвищити ефективність функціонування електричних мереж.

Безпосереднє переведення існуючої розподільної мережі 10 кВ на напругу 20 кВ призводить до зменшення втрат активної потужності, особливо в лініях електропередавання, але така модернізація не є оптимальною. Переведення мережі 10 кВ на напругу 20 кВ повинно супроводжуватися реконфігурацією мережі 0,4 кВ на основі переведення основних її фідерів на напругу 20 кВ з формуванням груп споживачів 0,4 кВ, живлення яких повинно виконуватися трансформаторами малої потужності зі спрощеними конструкціями. За такої модернізації додатково буде отримано зниження втрат потужності в лініях електропередавання і зниження втрат потужності в трансформаторах. Суттєве зниження втрат потужності в трансформаторах може бути досягнуто використанням трансформаторів потужністю менше 63 кВА, зокрема, потужністю 10 кВА, 25 кВА.



Рисунок 2 – Втрати потужності в мережі напругою 20 кВ по варіанту 3 за трьома схемами електропостачання глибокого вводу в порівнянні з електропостачання по варіанту 2 без реконструкції мережі 0,4 кВ

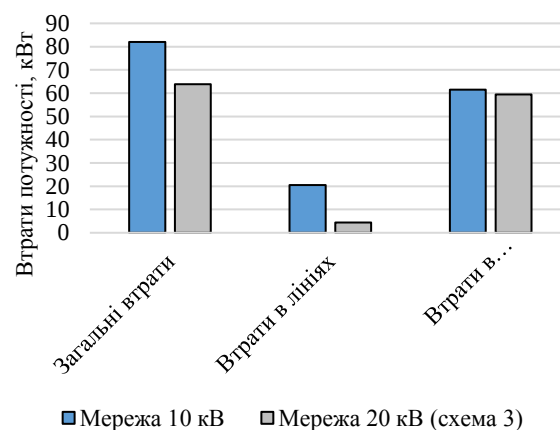


Рисунок 3 – Порівняльні діаграми втрат потужності в елементах мережі на напрузі 10 та 20 кВ

Розглянуті варіанти переведення мережі з рівня напруги 10 кВ на напругу 20 кВ та об'єднання споживачів в групи з глибоким вводом потужності на напрузі 20 кВ з рівномірного розподілом навантаження і живленням споживачів від трансформаторів 20/0,4 кВ меншої потужності, показали свою економічну доцільність, зокрема, зменшення загальних втрат потужності на 22 %.

Переведення мережі на вищий рівень напруги повинно не лише забезпечувати поточні потреби в передачі та розподілі електроенергії, але й враховувати перспективи розвитку енергетичної інфраструктури. Наприклад, модернізація має передбачати можливість подальшого підвищення рівня напруги або інтеграцію сучасних технологій, таких як системи накопичення енергії, «розумні» мережі чи зарядні станції для електромобілів.

Список використаної літератури

1. Іськова М.С. Електричні мережі номінальною напругою 20 кВ з джерелами накопичення енергії / *Renewable Energy* / М.С. Іськова, А.Р. Буряк, В.В. Кирик // *Vidnovluyana Energetyka*. – 2023. – № 2 (73). – стор. 18-23. doi: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.2\(73\).18-23](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.2(73).18-23)
2. Hasibuan, A. Simulation and Analysis of Distributed Generation Installation on a 20 kV Distribution System Using ETAP 19.0 / Arnawan Hasibuan., Firwan Dani, Asran, I Made Ari Nrartha // *Bulletin of Computer Science and Electrical Engineering*.- 2022. – no 3(1). – pp. 18–29. doi <https://doi.org/10.25008/bcsee.v3i1.1151>
3. Degarege A. Distribution network reliability enhancement and power loss reduction by optimal network reconfiguration / Degarege Anteneh, Baseem Khan, Om Prakash Mahela, Hassan Haes Alhelou, Josep M. Guerrero // *Computers & Electrical Engineering*. – 2021. – no 96. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107518>

4. Іськова, М. С. Впровадження в Україні мереж напругою 20 кВ / Іськова М. С., Буряк А. Р., Кирик В. В. // *Енергетика: економіка, технології, екологія : науковий журнал*. – 2022. – № 4. – С. 87-93. doi: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.4.2022.273412>
5. Mahdavi M. An Efficient Stochastic Reconfiguration Model for Distribution Systems With Uncertain Loads / M. Mahdavi, H. Alhelou and M. H. H. Alhelou and MR Hesamzadeh // *IEEE Access*. – 2022. – vol. 10. – pp. 10640-10652, 2022, doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3144665>
6. Звіт щодо показників якості надання послуг у сферах електропостачання і централізованого водопостачання та водовідведення за 2023 рік [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.nerc.gov.ua/storage/app/sites/1/Docs/Monitoring/Zvit_yakist_posluzh/Zvit_yakist_posluzh_2023.pdf.
7. Бурбело М. Матричний метод визначення показників надійності розгалужених розподільних електричних мереж / М.І. Бурбело, Ю.В. Лобода, Р.О. Слободян, А.Р. Слободян // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 2023. – № 3. – pp. 17–23. doi: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-162-3-17-23>
8. Бурбело М. Вибір оптимальної конфігурації розподілених електричних мереж / М. І. Бурбело, Ю. В. Лобода, Р. О. Слободян // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 2023. – № 6. – с. 23–29. doi: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2023-171-6-23-29>
9. Кирик В. В. Розподільні електричні мережі напругою 20 кВ та ефективність їх роботи: монографія / В.В.Кирик, Б.В. Циганенко, О.С. Яндутьський// «КІП ім. Ігоря Сікорського». - 2018. -233с
10. Циганенко Б.В. Особливості функціонування розподільних мереж середнього класу напруги та їх переведення на напругу 20 кВ / Б.В.Циганенко, В.В. Кирик // *Гідроенергетика України*.– 2016.– №3-4.– С.7-13.
11. СОБУ МВБ ЕЕ 40.1-00100227-01:2016 «Технічна політика у сфері побудови та експлуатації розподільних електричних мереж – Частина 2»
12. Олійник Ю. Аналіз переходу електричних мереж на напругу 20 кВ / Ю.С. Олійник Ю.С.; П.В. Васюченко // In: The 3 rd International scientific and practical conference “Topical aspects of modern scientific research”(November 23-25, 2023) CPN Publishing Group/ - Tokyo, Japan.- 2023 -725 p.
13. N. Filimonenko and K. Filimonenko Recommendations Concerning the Renovation Ukraine Electric Power Structure / 2023 *IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*, Kremenchuk, Ukraine. - 2023, pp. 1-5. doi: <https://doi.org/10.1109/MEES61502.2023.10402453>
14. Lopukhova, Tatiana, et al. Integrated presentation of existing approaches to Limit Overvoltages in 6-35 kV Networks // 2022 *4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE)*. IEEE. – 2022. doi: <https://doi.org/10.1109/REEPE53907.2022.9731463>
15. Mayorov, A. V. Analysis of the Reliability of Circuitries for A 20 kV Electrical Network / A.V. Mayorov, , M. Yu Lvov, A. A. Chelaznov// *Power Technology and Engineering*. – 2023. – no 56. – pp. 771-778. doi: <https://doi.org/10.1007/s10749-023-01586-w>
16. Mahdavi M. An Efficient Mathematical Model for Distribution System Reconfiguration Using AMPL / . M. Mahdavi, H. H. Alhelou, N. D. Hatziargyriou, A. Al-Hinai // *IEEE Access*. – 2021. – vol. 9. – pp. 79961-79993. doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3083688>.
17. Çakmak H.K. An Optimization-based Approach for Automated Generation of Residential Low-Voltage Grid Models Using Open Data and Open Source Software / H. K. Çakmak, L. Janecke, M. Weber, V. Hagenmeyer// 2022 *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe)*, Novi Sad, Serbia. – 2022. - pp. 1-6. doi: <https://doi.org/10.1109/ISGT-Europe54678.2022.9960483>.
18. ДСТУ EN: 50160:2014 Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності. Київ, 2014. 21с

V. Kyryk¹, Dr. Sc.(Eng.), Prof., ORCID 0000-0003-0419-8934

O. Bohomolova¹, Cand.Sc. (Eng.), ORCID 0000-0001-5249-4565

¹ National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

EFFICIENCY OF POWER SUPPLY TO CONSUMERS AT THE 20 KV VOLTAGE LEVEL

Introduction. The development of the energy sector and the introduction of renewable energy sources necessitate the modernization of distribution networks. One of the promising solutions is the transfer of networks from 10(6) kV to 20 kV, which allows to increase the efficiency of power supply and reduce power losses.

Problem statement. Existing 10(6) kV electrical networks do not provide proper reliability and energy efficiency due to significant power losses and automation limitations caused by the lack of modern remote monitoring systems, insufficient flexibility of network control systems and a low level of integration of smart technologies. This is especially noticeable in conditions of increasing load and active increase in the capacity of renewable energy sources.

Purpose. Study of the efficiency of consumer electricity supply when transferring the network from 10 kV to 20 kV using various load distribution schemes.

Methodology. Modeling of distribution network operation modes is carried out in the Power Factory software environment. An analysis of three options for the district's power supply was performed: traditional (at a voltage of 10 kV), transferred to a voltage of 20 kV without changes in the configuration, and with deep power injection with consumer grouping.

Results. As a result of modeling the distribution network operating modes in the Power Factory software environment, it was proven that transferring the network to 20 kV reduces active power losses by 22%. The most effective option was the option with deep power injection and consumer grouping using a larger number of transformers of lower power.

Conclusions. An approach to reconfiguring a 0.4 kV network when transferring the main network to 20 kV, taking into account different power supply organization schemes, is proposed and investigated. A method for reconfiguring a 0.4 kV network is proposed based on the principle of deep power injection and consumer grouping into groups powered by transformers of lower power.

Practical significance. The implementation of the proposed methodology increases the reliability and efficiency of electricity supply, promotes the integration of renewable energy sources and the modernization of the Ukrainian power system in accordance with European standards.

Key words: distribution networks, modernization, power losses, voltage 20 kV, energy efficiency, network reconfiguration, reliability of power supply

References

1. Iskova M.S. 20 kV NOMINAL VOLTAGE ELECTRICAL NETWORKS WITH ENERGY STORAGE SOURCES /nRenewable Energy/ M. S. Iskova, A. R. Buriak, V. V. Kyryk // *Vidnovlyuvana Energetyka*. – 2023. – no 2 (73). – pp. 18-23. doi: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.2\(73\).18-23](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.2(73).18-23)
2. Hasibuan, A. Simulation and Analysis of Distributed Generation Installation on a 20 kV Distribution System Using ETAP 19.0 / Arnawan Hasibuan., Firwan Dani, Asran, I Made Ari Nnatha // *Bulletin of Computer Science and Electrical Engineering*. – 2022. – no 3(1). – pp. 18–29. doi <https://doi.org/10.25008/bcsee.v3i1.1151>
3. Degarege A. Distribution network reliability enhancement and power loss reduction by optimal network reconfiguration / Degarege Anteneh, Baseem Khan, Om Prakash Mahela, Hassan Haes Alhelou, Josep M. Guerrero// *Computers & Electrical Engineering*. – 2021. – no 96. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107518>
4. Iskova M.S IMPLEMENTATION OF 20 kV VOLTAGE NETWORK IN UKRAINE / M. S. Iskova, A. R. Buriak, V. V. Kyryk. // *POWER ENGINEERING: economics, technique, ecology*. – 2022. – no 4. – pp. 87-93. doi: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.4.2022.273412>
5. Mahdavi M. An Efficient Stochastic Reconfiguration Model for Distribution Systems With Uncertain Loads / M. Mahdavi, HH Alhelou and MR Hesamzadeh // *IEEE Access*. – 2022. - vol. 10. – pp. 10640-10652, 2022, doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3144665>
6. Report on the quality of service provision in the areas of electricity supply and centralized water supply and wastewater disposal for 2023 [Electronic resource] – Access mode: https://www.nerc.gov.ua/storage/app/sites/1/Docs/Monitoring/Zvit_yakist_posluzh/Zvit_yakist_posluzh_2023.pdf – URL.
7. Burbelo M. Yo. Matrix Method for Determination of Indicators of On-Activity of Branched Distribution Electrical Networks/ M. Yo. Burbelo, Yu. V. Loboda, R. O. Slobodian, A. R. Slobodian// *Visnyk of Vinnytsia Polytechnical Institute*. – 2023. - № 3. – pp. 17–23. doi: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-162-3-17-23>
8. Burbelo M. Yo. Choosing the Optimum Configuration of Electric Distribution Grids / М. Й. Бурбело, Ю. В. Лобода, Р. О. Слободян // *Visnyk of Vinnytsia Polytechnical Institute*. – 2023. - № 6. - pp. 23–29. doi: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2023-171-6-23-29>
9. V. V. Kyryk, B. V. Tsiganenko and A. S. Yandulsky, Distribution electrical networks with a voltage of 20 kV and the efficiency of their work, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine.- 2018. -233c
10. Tsiganenko B. V.. Features of the functioning of medium voltage distribution networks and their conversion to a voltage of 20 kV / V. V. Kyryk, B. V. Tsiganenko // *Hydropower of Ukraine*.– 2016.– no 3-4.– pp.7-13.
11. COBY MEB EE 40.1-00100227-01:2016 «Technical policy in the field of construction and operation of distribution electricity networks – Part 2»
12. Oliynyk Yu. Analysis of the transition of electrical networks to a voltage of 20 kV / Yu.S. Oliynyk Yu.S.; P.V. Vasiuchenko // In: The 3 rd International scientific and practical conference “Topical aspects of modern scientific research”(November 23-25, 2023) CPN Publishing Group/ - Tokyo, Japan.- 2023 -725 p.
13. N. Filimonenko and K. Filimonenko Recommendations Concerning the Renovation Ukraine Electric Power Structure / 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine. - 2023, pp. 1-5. doi: <https://doi.org/10.1109/MEES61502.2023.10402453>
14. Lopukhova, Tatiana, et al. Integrated presentation of existing approaches to Limit Overvoltages in 6-35 kV Networks // 2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). IEEE. – 2022. doi: <https://doi.org/10.1109/REEPE53907.2022.9731463>
15. Mayorov, A. V. Analysis of the Reliability of Circuitries for A 20 kV Electrical Network / A.V. Mayorov, , M. Yu Lvov, A. A. Chelaznov// *Power Technology and Engineering*. – 2023. – no 56. – pp. 771-778. doi: <https://doi.org/10.1007/s10749-023-01586-w>
16. Mahdavi M. An Efficient Mathematical Model for Distribution System Reconfiguration Using AMPL /. M. Mahdavi, H. H. Alhelou, N. D. Hatziargyriou, A. Al-Hinai // *IEEE Access*. – 2021. – vol. 9. – pp. 79961-79993. doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3083688>.
17. Çakmak H.K. An Optimization-based Approach for Automated Generation of Residential Low-Voltage Grid Models Using Open Data and Open Source Software / H. K. Çakmak, L. Janecke, M. Weber, V. Hagenmeyer// *2022 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe)*, Novi Sad, Serbia. – 2022. - pp. 1-6. doi: <https://doi.org/10.1109/ISGT-Europe54678.2022.9960483>.
18. ДСТУ EN: 50160:2014 Characteristics of power supply voltage in general purpose electrical networks. Kyiv, 2014. 21p.

Надійшла: 05.05.2025

Received: 05.05.2025