

Енергетика, контроль та діагностика об'єктів нафтогазового комплексу

УДК 621.311.1: 621.315

ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ СХЕМИ ПРИЄДНАННЯ СПОЖИВАЧІВ ДО ТРАНЗИТНОЇ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ НАФТОПРОМИСЛОВОЇ МЕРЕЖІ

Ю.Ф. Романюк, О.В. Демкович

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 48003,
e-mail: feivt@nung.edu.ua

Уточнено методику вибору оптимальних схем приєднання споживачів до існуючих транзитних ліній електропередавання нафтопромислових мереж. Інтегральним критерієм оптимізації схеми прийнято дисконтовані витрати, які включають капітальні вкладення, пов'язані з приєднанням додаткових споживачів, а також витрати на експлуатацію ліній та вартість втрат електроенергії в електричній мережі. У результаті мінімізації цільової функції дисконтованих витрат одержано простий аналітичний вираз для визначення оптимального кута приєднання відгалуження до існуючої транзитної лінії. Показано, що за вибраних параметрів мережі цей кут залежить тільки від співвідношення потужностей трьох сусідніх ділянок мережі відносно місця приєднання відгалуження. Проаналізовані залежності оптимального кута приєднання відгалуження від потужності навантаження, вартості електроенергії і форми графіка електричних навантажень споживачів.

Ключові слова: нафтопромислова мережа, транзитна лінія електропередавання, відгалуження, дисконтовані витрати, оптимізація схеми.

Уточнена методика выбора оптимальных схем присоединения потребителей к существующим транзитным линиям электропередачи нефтепромысловых сетей. Интегральным критерием оптимизации схемы принято дисконтированные затраты, включающие капитальные вложения, связанные с присоединением дополнительных потребителей, а также расходы на эксплуатацию линий и стоимость потерь электроэнергии в электрической сети. В результате минимизации целевой функции дисконтированных затрат получено простое аналитическое выражение для определения оптимального угла подключения ответвления к существующей транзитной линии. Показано, что при выбранных параметрах сети этот угол зависит только от соотношения мощностей трех соседних участков сети относительно места подключения ответвления. Проанализированы зависимости оптимального угла присоединения ответвления от мощности нагрузки, стоимости электроэнергии и формы графика электрических нагрузок потребителей.

Ключевые слова: нефтепромысловая сеть, транзитная линия электропередачи, ответвление, дисконтированные затраты, оптимизация схемы.

The method for the choice of optimal consumers' connection schemes to the existing transit power lines of oil and gas networks was specified. The discounted costs were accepted as the integral criterion of scheme optimization. The costs consist of capital investments related to the connection of additional consumers, line operating costs and energy losses costs. In the result of objective function of the discounted costs minimization simple analytical expression for the definition of optimal angle of branch connection to the existing transit line was obtained. It is shown that at the selected parameters this angle depends on the power correlation of three neighboring network areas with respect to branch connection place. The dependence of optimal angle of branch connection on the load power, energy price, consumers' electrical loads schedule and discount rate was analyzed.

Key words: oil and gas network, transit power line, branch connection, discounted costs, optimization scheme.

Вступ

Під час розвитку чи реконструкції розподільчих електричних мереж нафтопромислових районів виникає необхідність у приєднанні но-

вих споживачів до існуючої мережі, у тому числі до транзитних ліній електропередавання. У нафтопромислових електричних мережах застосовують як радіальні, так і магістральні схе-

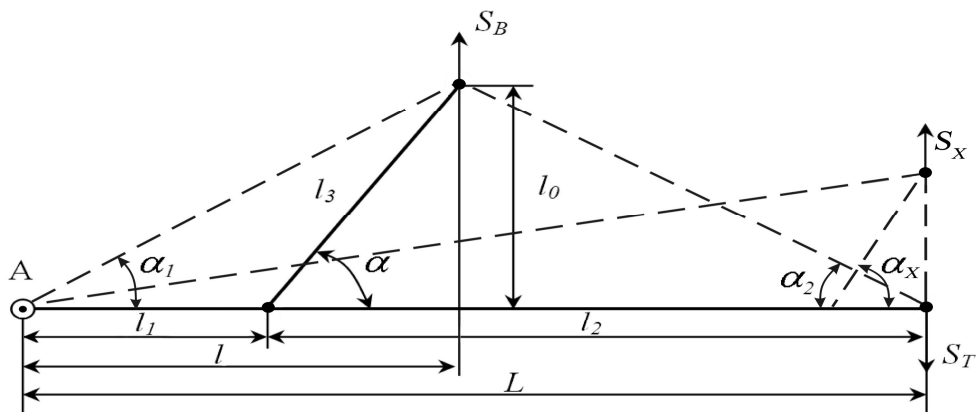


Рисунок 1 – Розрахункова схема мережі

ми живлення споживачів. Залежно від їх розташування та розташування центрів живлення оптимальну схему живлення споживачів вибирають на підставі техніко-економічних розрахунків шляхом порівняння найбільш раціональних схем.

Актуальність і невирішені питання

У роботі [1] був запропонований алгоритм розрахунку оптимальних кутів приєднання відгалужень до транзитних ліній нафтопромислових електричних мереж за критерієм мінімальних зведених розрахункових витрат. Цей алгоритм потребує уточнень в сучасних умовах у зв'язку із введенням у 1997 році нової методики визначення економічної ефективності капітальних вкладень в енергетику [2], згідно з якою оптимальним варіантом схеми електропостачання споживачів є варіант, який відповідає мінімальним дисконтованим витратам. Дисконтовані витрати є інтегральним критерієм оптимізації схеми електричної мережі і загалом включають капітальні вкладення, пов'язані з приєднанням додаткових споживачів, витрати на поточний та капітальний ремонт елементів мережі, а також вартість втрат електроенергії в мережі.

Постановка завдання

Метою цієї роботи є уточнення алгоритму розрахунку оптимальних кутів приєднання відгалужень до транзитних ліній передавання з подальшим аналізом можливих схем приєднання нових споживачів до існуючої мережі з врахуванням їх розташування, форми графіків електричних навантажень, сучасних цін на електрообладнання та вартості електроенергії.

Результати

На рисунку 1 зображена розрахункова схема можливого приєднання споживача потужністю S_B до транзитної лінії з навантаженням S_T . Відгалуження може бути приєднане до транзитної лінії по найкоротшій відстані під кутом $\alpha = 90^\circ$ чи під деяким кутом $\alpha < 90^\circ$, або радіальною лінією від джерела живлення A . При заданих значеннях потужностей S_T і S_B потрібно визначити оптимальний кут приєднання α_{opt} відга-

лування, за якого сумарні дисконтовані витрати на спорудження відгалуження та експлуатацію електричної мережі будуть найменшими.

Питомі дисконтовані витрати на 1 км лінії електропередавання можна записати у вигляді

$$B_0 = \frac{B_{e.0} + B_{emp.0}}{E} + K_0, \quad (1)$$

де $B_{e.0}$ – питомі витрати на технічне обслуговування та ремонт лінії;

$B_{emp.0}$ – питома вартість втрат електроенергії на лінії;

K_0 – питомі капітальні вкладення на спорудження лінії.

E – норма дисконту, яка залежить від знецінювання коштів на експлуатацію мережі внаслідок інфляції, ступеня ризику інвесторів та рівня ліквідності обладнання [3].

Складові виразу (1) відповідно дорівнюють:

$$B_{e.0} = \frac{\alpha_e \%}{100} K_0; \quad (2)$$

$$B_{emp.0} = \Pi \frac{S_{нб}^2}{U_{ном}^2} r_0 \tau, \quad (3)$$

де α_e – коефіцієнт відрахувань на технічне обслуговування та поточний та капітальний ремонт лінії, %;

Π – вартість електроенергії;

$S_{нб}$ – найбільше навантаження ділянки лінії;

$U_{ном}$ – номінальна напруга лінії;

r_0 – погонний опір проводів лінії на 1 км;

τ – час найбільших втрат.

Загалом питомі дисконтовані витрати можна записати як

$$B_0 = \left(\frac{\alpha_e \%}{100E} + 1 \right) K_0 + \Pi \frac{S_{нб}^2}{U_{ном}^2 E} r_0 \tau. \quad (4)$$

Позначивши питомі дисконтовані витрати ділянок 1, 2, 3 відповідно через B_{10} , B_{20} , B_{30} , запишемо рівняння сумарних дисконтованих витрат для магістральної мережі, зображеної на рисунку 1,

$$B_{oc} = B_{10}l_1 + B_{20}l_2 + B_{30}l_3, \quad (5)$$

де l_1 , l_2 , l_3 – довжини ділянок магістральної мережі.

Вартість комутаційного електрообладнання електричної мережі та витрати на його експлуатацію не залежать від кута приєднання відгалуження, тому в рівнянні (4) вони не враховані.

Виразивши довжину кожної ділянки через кут α , одержимо

$$B_{oc} = B_{10} \left(l - \frac{l_0}{\operatorname{tg} \alpha} \right) + B_{20} \times \\ \times \left[L - \left(l - \frac{l_0}{\operatorname{tg} \alpha} \right) \right] + B_{30} \sqrt{\left(\frac{l_0}{\operatorname{tg} \alpha} \right)^2 + l_0^2} . \quad (6)$$

Введемо змінну $z = \frac{l_0}{\operatorname{tg} \alpha}$, при цьому

$$B_{oc} = B_{10} (l - z) + B_{20} (L - l + z) + \\ + B_{30} \sqrt{z^2 + l_0^2} . \quad (7)$$

Виконаємо мінімізацію функції (7) по z . Для цього візьмемо першу похідну дисконтованих витрат B_{oc} по z і прирівняємо її до нуля:

$$\frac{dB}{dz} = -B_{10} + B_{20} + B_{30} \frac{z}{\sqrt{z^2 + l_0^2}} = 0 . \quad (8)$$

Розв'язавши рівняння (8) відносно z , одержимо

$$z = \frac{l_0}{\sqrt{\frac{B_{30}^2}{(B_{10} - B_{20})^2} - 1}} . \quad (9)$$

Підставивши в рівняння (9) значення змінної z і розв'язавши його відносно α , одержимо оптимальне значення кута приєднання відгалуження до транзитної лінії

$$\alpha_{opt} = \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{B_{30}^2}{(B_{10} - B_{20})^2} - 1} . \quad (10)$$

Із формул (4), (10) випливає, що оптимальний кут приєднання відгалуження при вибраних параметрах мережі і вартості електроенергії залежить тільки від співвідношення потужностей трьох сусідніх ділянок відносно місця приєднання відгалуження. Отже, формулу (10) можна використовувати також для розгалуженої магістралі у випадку приєднання до транзитної лінії групи споживачів, у тому числі при поетапному розширенні мережі. Очевидно, що при цьому можна здійснювати тільки часткову оптимізацію схем приєднання споживачів до транзитної лінії. Знайти глобальний мінімум цільової функції сумарних дисконтованих витрат можна, застосувавши чисельні методи розрахунку.

Для розрахунку оптимального кута приєднання відгалуження до існуючої транзитної лінії електропередавання була розроблена комп'ютерна програма на алгоритмічній мові Delphi. Нижче наводиться методика вибору оптимальної схеми електричної мережі.

Спочатку для відомої марки проводу транзитної лінії за довідником визначаємо питомий

опір проводу r_{01} та питомі капітальні вкладення K_{01} . Після цього для запроєктованого відгалуження за заданим навантаженням розраховуємо робочий струм, вибираємо економічний переріз проводів і за довідником визначаємо їх питомий опір r_{02} та питомі капітальні вкладення K_{02} на спорудження лінії.

Під час розрахунку капітальні вкладення на спорудження транзитної лінії K_{01} не враховуємо, так як вона перебуває в експлуатації. В алгоритмі розрахунку враховуємо тільки витрати на її технічне обслуговування та ремонт і вартість втрат електроенергії в електричній мережі. Час найбільших втрат при цьому визначаємо за формулою

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{нб}}{10000} \right)^2 8760 , \quad (11)$$

де $T_{нб}$ – час використання найбільшого навантаження, який характеризує характер графіка електричних навантажень споживачів.

У програмі розрахунку оптимального кута приєднання відгалуження передбачена перевірка перерізу проводів на головній ділянці l магістральної лінії за умовою їх допустимого нагрівання з врахуванням додатково приєданого навантаження S_B . У випадку перевищення тривало допустимого навантаження проводів їх переріз на ділянці l потрібно збільшити й уточнити питомі дисконтовані витрати на цій ділянці з врахуванням витрат на реконструкцію лінії.

Якщо пропускна здатність транзитної лінії вибрана із запасом, то при приєднанні нових споживачів переріз проводів на ділянці l можна не змінювати. Проте, за значного перевищення навантаження порівняно з економічним варто розглянути варіант заміни проводів на головній ділянці з його техніко-економічним обґрунтуванням.

У результаті роботи програми визначається оптимальний кут приєднання відгалуження, дисконтовані витрати для варіантів приєднання відгалуження під прямим і оптимальним кутами, відносна різниця дисконтованих витрат, втрати електроенергії та економічний ефект оптимізації схеми за критерієм мінімальних дисконтованих витрат.

Приклад розрахунку

Розрахуємо оптимальний кут приєднання відгалужувальної лінії з навантаженням $S_B = 450$ кВ·А до транзитної повітряної лінії напругою 10 кВ, довжиною $L = 8$ км і потужністю навантаження $S_T = 1200$ кВ·А (див. рисунок 1). Коефіцієнти потужності навантаження споживачів транзитної лінії та відгалуження приймаємо однаковими. Додатково приєднаний споживач розміщений на відстані $l_0 = 3$ км від транзитної лінії, довжина ділянки $l = 5$ км. Транзитна повітряна лінія виконана проводом АС-70 з тривало допустимим струмом навантаження $I_0 = 265$ А. Погонний опір проводів транзитної лінії $r_{01} = 0,429$ Ом / км, питомі капітальні вкладення $K_{01} = 319$ тис. грн / км. Час використання найбільшого навантаження споживачів

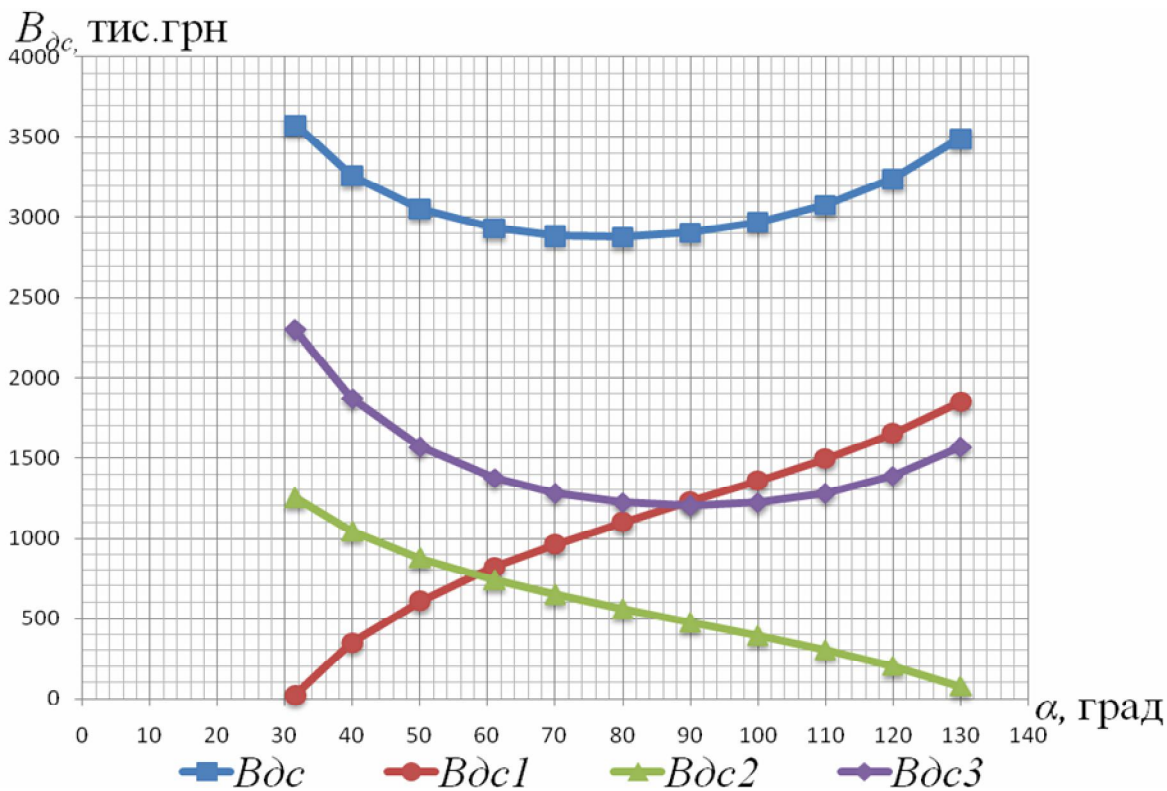


Рисунок 2 – Залежність дисконтованих витрат від кута приєднання відгалуження

$T_{нб}=4500$ год. Норму дисконту приймемо рівною $E=0,2$, вартість електроенергії $C=1,1$ грн / кВт·год, коефіцієнт відрахувань на технічне обслуговування та ремонт $\alpha_e=3,8\%$.

За формулою (11) визначимо час найбільших витрат $\tau = 2886$ год. За даними розрахунку для відгалуження вибираємо провід АС -35, для якого $r_{02} = 0,79$ Ом / км, $K_{02} = 315$ тис. грн / км. Питомі дисконтовані витрати для ліній 1,2,3, обчислені за формулою (4), відповідно дорівнюють $B_{10}=246$ тис. грн / км, $B_{20}=159$ тис. грн / км, $B_{30}=400$ тис. грн / км.

Аналіз результатів розрахунку

Проаналізуємо залежність дисконтованих витрат (6) від кута приєднання відгалуження α (рисунок 2). З рисунка 2 видно, що цільова функція (6) приймає мінімальне значення при деякому (оптимальному) значенні кута α . При збільшенні кута α складова дисконтованих витрат $B_{дс1}$ на ділянці 1 збільшується, а складова витрат $B_{дс2}$ на ділянці 2, навпаки, зменшується. Складова дисконтованих витрат $B_{дс3}$ на ділянці 3 має мінімальне значення у випадку приєднання відгалуження по найкоротшій відстані, тобто під кутом 90° до магістралі. Кут α може змінюватися у діапазоні $\alpha_1 = 31^\circ \leq \alpha \leq \alpha_2 = 135^\circ$, де кут α_1 відповідає радіальній схемі живлення споживача від центра живлення А, а кут α_2 – схемі живлення від вузла навантаження транзитної лінії. За малих значень кута α дисконтовані витрати збільшуються за рахунок відносно великих значень витрат на ділянках 2 і 3, а за великих значень кута α – через збільшення витрат на ділянках 1 і 3.

Розрахуємо сумарні дисконтовані витрати на електричну мережу з приєднанням відгалуження під прямим кутом до транзитної лінії

$$B_1 = 246 \cdot 5 + 159 \cdot (8 - 5) + 400 \cdot 3 = 2907 \text{ тис. грн.}$$

Визначимо оптимальний кут приєднання відгалуження до транзитної лінії за формулою (10)

$$\alpha_{opt} = \arctg \sqrt{\frac{400^2}{(246 - 159)^2} - 1} = 77,4^\circ.$$

Дисконтовані витрати на електричну мережу з оптимальним кутом приєднання відгалуження до транзитної лінії розрахуємо за формулою (5)

$$B_2 = 246 \left(5 - \frac{3}{\operatorname{tg} 77,4} \right) + 159 \left[8 - \left(5 - \frac{3}{\operatorname{tg} 77,4} \right) \right] + 400 \sqrt{\left(\frac{3}{\operatorname{tg} 77,4} \right)^2 + 3^2} = 2878 \text{ тис. грн.}$$

Різниця дисконтованих витрат

$$\Delta B_{дс} = B_1 - B_2 = 2907 - 2878 = 28,9 \text{ тис. грн.}$$

Відносна різниця дисконтованих витрат для порівнюваних варіантів схеми

$$\delta B_{дс} = \frac{B_1 - B_2}{B_2} \cdot 100 = \frac{2907 - 2878}{2878} \cdot 100 = 1\%.$$

Згідно з проведеним розрахунком сумарні витрати електроенергії в мережі з приєднанням відгалуження під прямим кутом становлять $\Delta W_1=236$ МВт, а для мережі з оптимальним кутом приєднання відгалуження – $\Delta W_2=226$ МВт·год.

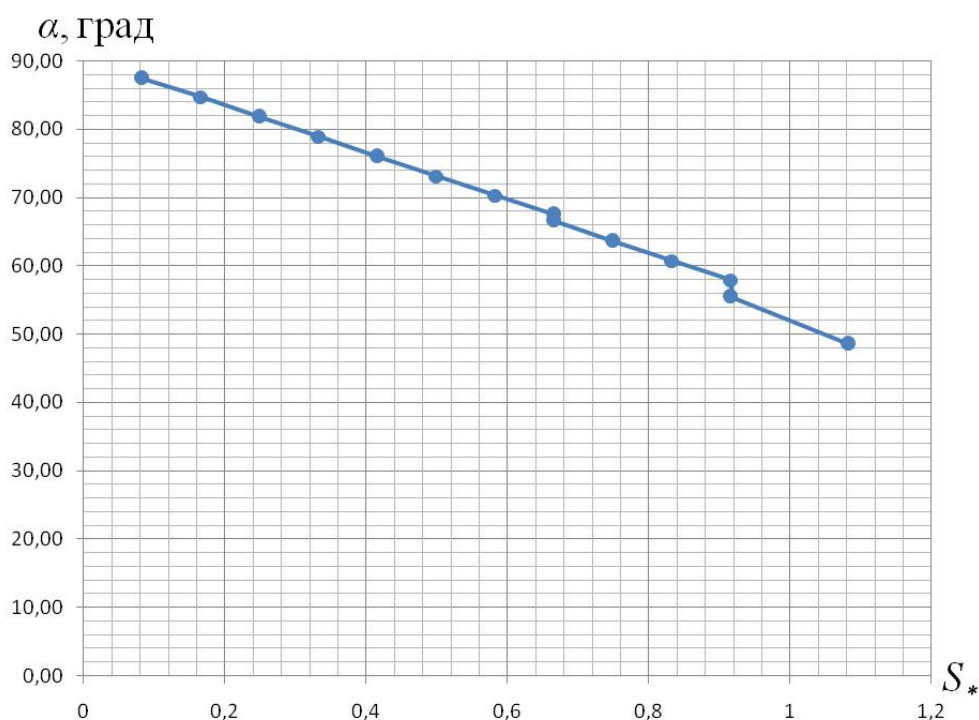


Рисунок 3 – Залежність оптимального кута приєднання відгалуження від відносної потужності навантаження

Річна економія електроенергії за рахунок зниження втрат в оптимізованій схемі мережі

$$\Delta W = \Delta W_1 - \Delta W_2 = 236 - 226 = 10 \text{ МВт}\cdot\text{год},$$

а економія видатків на оплату втрат електроенергії

$$\Delta C = C \Delta W = 1,1 \cdot 10 = 11 \text{ тис. грн.}$$

Проаналізуємо залежність оптимального кута приєднання відгалуження від співвідношення потужностей додаткового навантаження S_B і навантаження транзитної лінії S_T , побудувавши графік залежності α_{opt} від відносного значення потужності відгалуження $S_* = S_B / S_T$ (рис. 3).

Як видно з рисунка 3, оптимальний кут приєднання відгалуження зменшується при збільшенні відносної потужності навантаження відгалуження. Стрибокподібна зміна кута α_{opt} викликана дискретною зміною перерізу проводів відгалужувальної лінії при збільшенні її навантаження. Якщо переріз проводів на відгалуженні замінити на більший, то за реального співвідношення питомої вартості електроенергії та питомої вартості лінії оптимальний кут приєднання відгалуження зменшиться стрибкоподібно, так як питома вартість лінії 3 та витрати на її експлуатацію при переході на більший переріз збільшаться незначно, а вартість втрат електроенергії зменшиться суттєво. Тому питомі дисконтовані витрати B_{30} і кут α_{opt} зменшаться.

Якщо місце приєднання відгалуження знаходиться в зоні, безпосередньо наближеній до центра живлення A , то більш вигідним може виявитись варіант з радіальною схемою живлення споживачів, який забезпечить підвищену

надійність їх електропостачання. У цьому випадку порівняння варіантів слід здійснювати з врахуванням додатково встановленого електрообладнання в електричній мережі та можливого недовідпуску електроенергії в аварійних режимах.

Розглянемо залежність оптимального кута приєднання відгалуження від вартості електроенергії C (рис. 4).

Як бачимо з рисунка 4, підвищення вартості електроенергії призводить до зменшення оптимального кута приєднання відгалуження. Це можна пояснити тим, що складова дисконтованих витрат на ділянці 1 у зв'язку зі збільшенням вартості втрат електроенергії зростає швидше, ніж складові витрат на ділянках 2 і 3. Для того, щоб зменшити сумарні дисконтовані витрати, необхідно зменшити довжину ділянки 1 за рахунок зменшення кута α .

Проаналізуємо залежність оптимального кута приєднання відгалуження α_{opt} від часу використання найбільшого навантаження $T_{нб}$, який характеризує форму графіків електричних навантажень мережі (рис/ 5).

Як видно з рисунка 5, оптимальний кут приєднання відгалуження α_{opt} зменшується при збільшенні часу використання найбільшого навантаження $T_{нб}$ внаслідок збільшення втрат електроенергії на головній ділянці магістральної мережі порівняно з втратами на суміжних ділянках через вирівнювання графіків електричних навантажень споживачів. При цьому складова дисконтованих витрат B_{10} для ділянки 1 зростає швидше, ніж сума цих складових для ділянок 2 і 3. Зменшити сумарні дисконтовані витрати можна зменшивши довжину ділянки 1, а значить кут α .

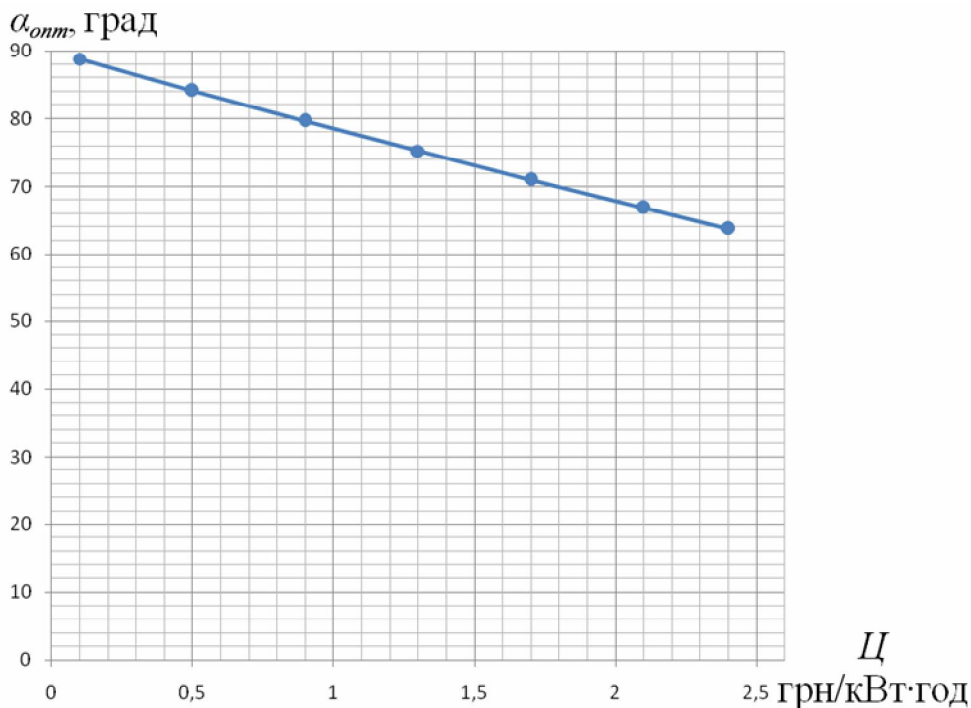


Рисунок 4 – Залежність оптимального кута приєднання відгалуження від вартості електроенергії

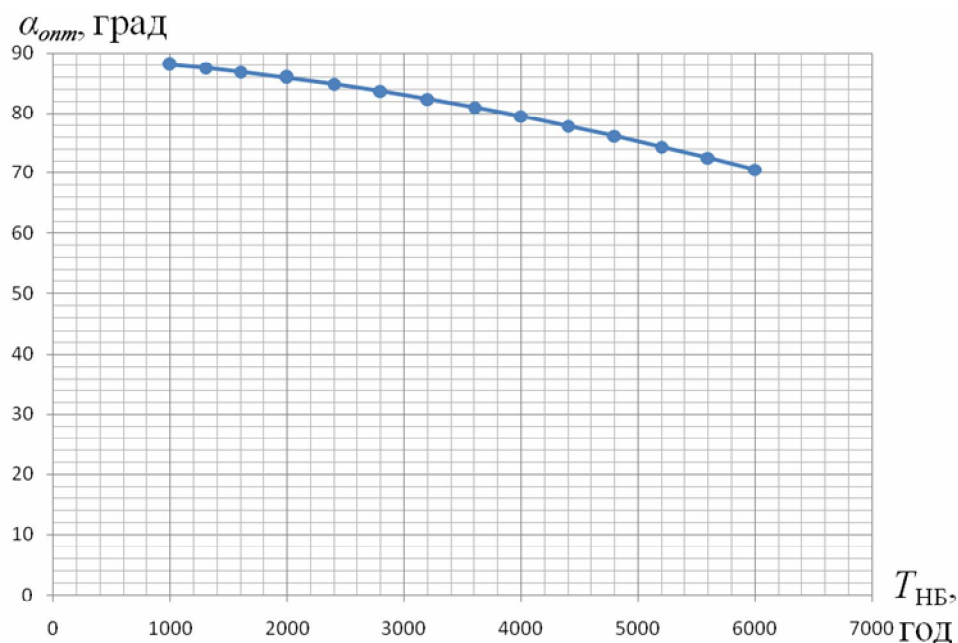
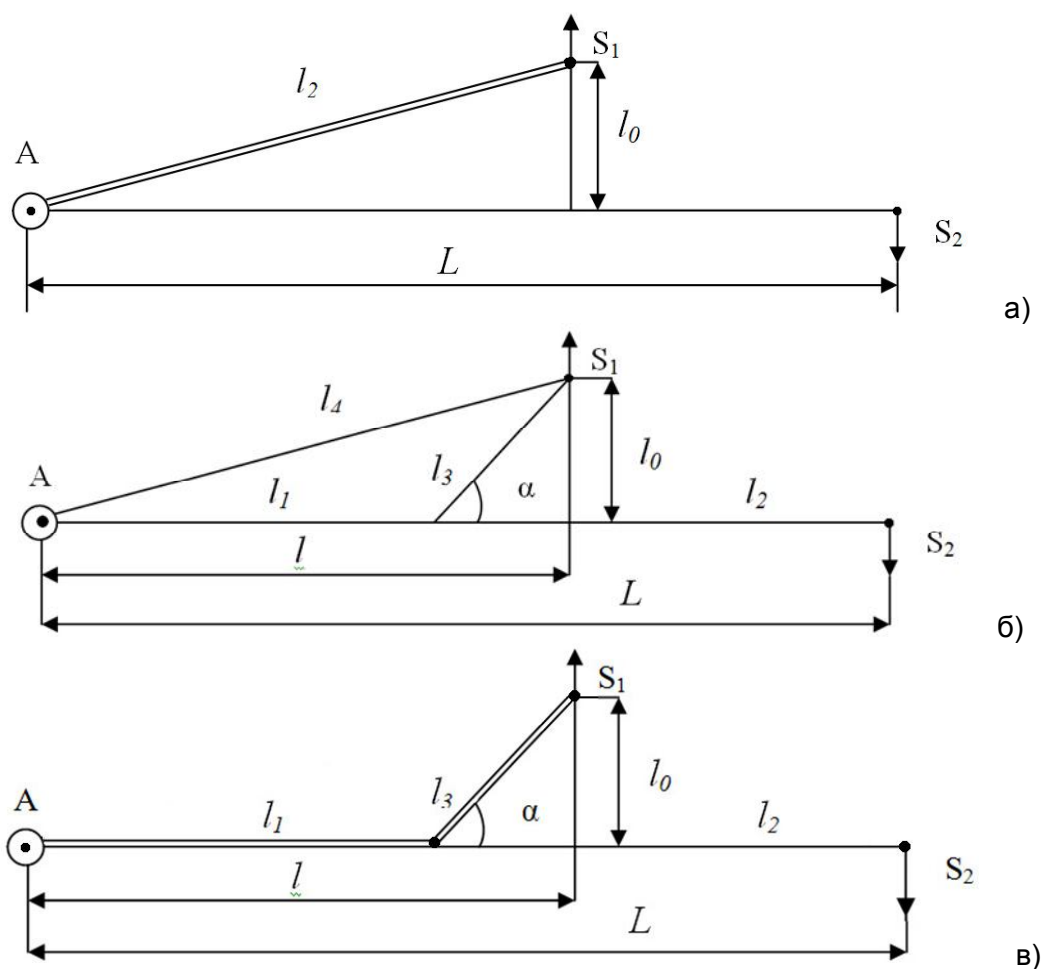


Рисунок 5 – Залежність оптимального кута приєднання відгалуження від часу використання найбільшого навантаження

З метою підвищення надійності електропостачання споживачів можна розглянути інші варіанти схем, наприклад, радіальну схему живлення додатково приєданого споживача двоколловою лінією від центра живлення А (рис. 6, а), варіант двобічного живлення цього споживача (рис. 6, б) або варіант його магістрального живлення двоколловою лінією з реконструкцією головної ділянки транзитної лінії (рис. 6, в). Вибір оптимального варіанта схеми здійснюють на підставі техніко-економічного порівняння варіантів за дискontованими витратами.

У таблиці 1 наведені результати порівняння варіантів різних схем живлення споживача до існуючої транзитної лінії електричної мережі.

Таким чином, для заданих вище умов, найдоцільніше вибрати магістральну схему з оптимальним кутом приєднання відгалуження та заміною проводів на головній ділянці, для якої дискontовані витрати будуть мінімальними. Порівняно з радіальною схемою приєднання відгалуження, дискontовані витрати для цієї схеми будуть на 22% меншими, хоча втрати



*a – радіальна схема; б – схема двобічного живлення;
в – схема магістрального живлення з реконструкцією головної ділянки*

Рисунок 6 – Можливі варіанти схем живлення додатково приєднаного споживача з підвищеною надійністю електропостачання

електроенергії в магістральній мережі збільшаться на 8,2%.

Варіанти магістральної мережі з оптимальним кутом приєднання відгалуження та приєднанням по найкоротшій відстані є практично рівнозначними, оскільки різниця дисконтованих витрат не перевищує 5%. Отже, з метою економії капітальних вкладень, можна прийняти другий варіант схеми. Остаточне рішення приймає інвестор з врахуванням надійності електропостачання, вартості комутаційного обладнання й терміну окупності проекту.

Оскільки укрупнені показники вартості повітряних ліній напругою 10 кВ в даний час відсутні, то при порівнянні варіантів питома вартість цих ліній та вартість їх реконструкції були прийняті за даними кошторисної документації проектних організацій.

Висновки

1. У результаті мінімізації дисконтованих витрат одержано простий аналітичний вираз для визначення оптимального кута приєднання відгалуження до транзитної лінії електропередавання.

2. Оптимальний кут приєднання відгалуження до транзитної лінії при заданих параметрах схеми та вартості електроенергії залежить тільки від співвідношення потужностей трьох сусідніх ділянок мережі відносно місця приєднання відгалуження.

3. Оптимальний кут приєднання відгалуження зменшується за збільшення потужності навантаження відгалуження, вартості електроенергії і часу використання найбільшого навантаження споживачів.

4. Запропонована методика може бути використана для вибору оптимальних схем приєднання споживачів до існуючих транзитних ліній під час проектування та реконструкції електричних мереж нафтопромислових районів, а також розподільчих мереж енергопостачальних компаній і промислових підприємств.

5. Вибір оптимальних схем приєднання споживачів до існуючих транзитних ліній електропередавання нафтопромислових мереж слід виконувати з врахуванням категорії надійності електропостачання споживачів, місця їх розташування, вартості комутаційного електрообладнання та місцевих умов на підставі техніко-економічних розрахунків.

Таблиця 1 – Порівняння варіантів схем приєднання відгалуження

Варіант схеми	Схема електричної мережі	К, тис. грн	В _е , тис. грн	ΔW, МВт·год	В _{втр} , тис. грн	В _{дс} , тис. грн
1	Магістральна схема мережі з оптимальним кутом приєднання споживача одноколловою лінією	968	667	226	249	2878
2	Магістральна схема мережі з приєднанням споживача одноколловою лінією по найкоротшій відстані	945	664	236	260	2907
3	Радіальна схема приєднання споживача одноколловою лінією від центра живлення А	1837	834	170	187	3603
4	Схема двобічного живлення додатково приєданого споживача без заміни проводів на головній ділянці	2787	1014	187	206	4830
5	Магістральна схема мережі з оптимальним кутом приєднання споживача одноколловою лінією та заміною проводів на головній ділянці	1116	671	183	201	2801

Література

1 Романюк Ю. Ф. Определение оптимальных углов подключения отпаяк к транзитным линиям электропередач нефтепромысловых сетей [Текст] / Ю.Ф.Романюк, С.С.Шнерх, Я.Н.Николайчук // Нефтепромысловое строительство. – Москва, 1978. – С.12-13.

2 Методика определения экономической эффективности капитальных вложений в энергетику: ГКД - 340000002-97. – К. : Минэнерго Украины, 1997. – 103 с.

3 Суходоля О. М. Економічна оцінка ефективності іновативних проектів (енергозберігаючих заходів) [Текст] / О.М. Суходоля // Електропанорама. – 2002. – №5. – С. 37-40.

Стаття надійшла до редакційної колегії
28.10.13

Рекомендована до друку
професором **Костишиним В.С.**
(ФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
професором **Бурбелом М.И.**
(Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця)