

Н. В. Семенюк

СТРУКТУРУВАННЯ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ З УРАХУВАННЯМ ВЗАЄМВПЛИВУ РІЗНИХ ЧИННИКІВ

Розглянуто наявні підходи до розрахунку втрат під час передачі транзитної потужності, переваги й недоліки їхнього практичного застосування. Показано можливості застосування методу розрахунку транзитних втрат, заснованого на використанні матриці вузлових опорів мережі й навантаження у вузлах, для різних підходів до визначення транзитних втрат.

Ключові слова: транзит потужності, транзитні навантажувальні втрати, матриці вузлових опорів, неоднорідність мережі, складники втрат.

Вступ. Наявна проблема доволі низьких рівнів рентабельності деяких енергопостачальних компаній (ЕК) змушує шукати нові підходи до реалізації механізмів визначення втрат електроенергії в електричних мережах. Цей першочерговий показник економічності їхньої роботи відображає ефективність енергозбутової діяльності ЕК, свідчить про проблеми, які потребують сучасних розв'язків у розвитку, реконструкції й технічному переоснащенні електричних мереж, в удосконаленні методів і засобів їхньої експлуатації й керування, у підвищенні точності обліку електроенергії, ефективності збору грошових коштів за поставлену споживачам електроенергію і тощо.

Загалом зростання втрат енергії в електричних мережах визначається дією досить об'єктивних закономірностей у розвитку всієї енергетики. Перехід до ринкових відносин, жорстке регламентування оптовим ринком електроенергії (ОРЕ) завантаження блоків електростанцій зараз більше ґрунтується на критеріях вартості електроенергії. Це також призводить до підвищення нерівномірності завантаження основної системоутворювальної мережі, деколи зумовлюючи збільшення транзитної потужності навіть в розподільчих мережах ЕК. На сьогодні технологічні втрати в мережах деяких українських ЕК перевищують аналогічні показники інших європейських країн.

Постановка проблеми. Законодавча база, прийнята в Росії [1], Австралії [2], свідчить про необхідність методично обґрунтованого розподілу втрат у мережах між ліцензіатами як одного з чинників конкурентоспроможності енергопостачальників і лібералізації ринку електроенергії. В електроенергетичній галузі України планують упровадження моделі ринку двосторонніх договорів і балансувального ринку електроенергії, що значно розширює можливості постачальників, споживачів і виробників електроенергії. Згідно з прийнятим у жовтні 2013 р. Верховною Радою України закону "Про основи функціонування ринку електроенергії України" з 2017 р. передбачено можливість свободи вибору постачальника електроенергії шляхом укладання двосторонніх договорів, а також придбання електроенергії на спотовому ринку.

Для дійсної лібералізації ринку електроенергії й забезпечення однакових умов для всіх його учасників треба враховувати складник транзитних навантажувальних втрат. Робити це необхідно, ураховуючи як закони електротехніки, так і економічні чинники.

Мета статті – розглянути можливості структурування втрат потужності від транзитних потоків на основі методу розрахунку втрат з використанням матриці вузлових опорів мережі й потужностей у вузлах, ураховуючи взаємовплив різноманітних чинників.

Аналіз публікацій. Завдання дослідження й визначення явища транзитних втрат розглядали ще в 70 – 80-х роках минулого століття. Однак у період функціонування єдиної енергосистеми, що перебувала в державній власності, воно мало суто теоретичний,

електротехнічний характер і виконувалось із метою пошуку додаткових можливостей аналізу режимів роботи мережі. До прикладу, "Вказівки..." [3] розроблену відповідно до затвердженого Міненерго СРСР «Координационного плана продолжения, дальнейшего развития и внедрения работ по снижению потерь энергии в электрических сетях на 1976 – 1978 гг.». У роботах [4, 5] це питання розглядали також і в контексті уточнення й підвищення прозорості взаєморозрахунків між енергооб'єднаннями. Виходячи з основних положень, указаних у [6, 7], стало можливим визначити фактичні витрати потужності (або електроенергії як інтегральної характеристики) на її передачу до кожного споживача, ґрунтуючись на електротехнічних законах і реально відображаючи міру використання електричної мережі. Далі розглянемо відмінні можливості застосування методу розрахунку втрат потужності від транзитних перетоків з використанням матриці вузлових опорів мережі й потужності у вузлах.

Основні матеріали дослідження. Наведемо основні застосовувані на практиці методи розрахунку втрат потужності й енергії в мережах, зумовлених транзитними перетоками (транзитні втрати):

– прямих розрахунків електричних режимів мережі транзитера на кожному часовому інтервалі на основі розрахункової схеми мережі й даних про режимні параметри вузлів, які отримують із системи телевимірювань, з визначенням середніх втрат потужності й електроенергії за розрахунковий період;

– на основі нормативної характеристики втрат потужності (енергії) в мережі транзитера, яка відображає залежність втрат потужності (енергії) від перетоків, отриману шляхом апроксимації результатів заздалегідь проведених варіантних розрахунків електричних режимів мережі транзитера;

– на основі нормативів транзитних втрат потужності (енергії), що є частками (процентами) від відповідних значень транзитних перетоків.

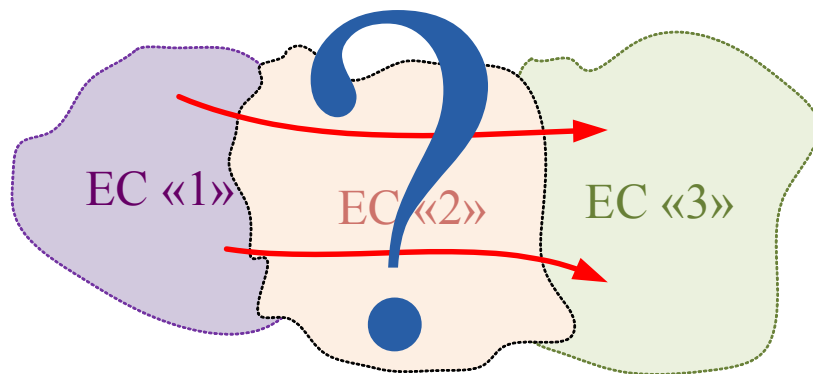


Рис. 1. Різні підходи до визначення транзитних втрат

Із цих перерахованих методів найбільш обґрунтованим вважають перший, тому зупинимося на ньому детальніше. Згідно з методом прямих розрахунків для кожного інтервалу часу виконують розрахунок навантажувальних втрат у мережах транзитера у двох режимах:

- фактичному, у якому транзитна потужність відповідає $P_{mp.}$,
- розрахунковому, у якому транзитна потужність $P_{mp.} = 0$.

Втрати потужності від транзитного перетоку в деякий момент часу в [1] пропонують визначати за формулою:

$$\Delta P_{mp.} = \Delta P_1 - \Delta P_2, \quad (1)$$

де ΔP_1 і ΔP_2 – сумарні навантажувальні втрати потужності в мережах транзитера у Наукові праці ВНТУ, 2014, № 1

відповідних режимах. Під час проведення розрахунків у енергосистемі-транзитері в другому режимі повинні бути збережені значення:

- усіх активних потужностей генераторів;
- напруги у всіх вузлах, де вона регулюється;
- усіх активних і реактивних навантажень;
- по можливості, коефіцієнтів трансформації (крім тих, які змінюються за умовами підтримки напруг у контрольних точках).

В обох режимах має бути один і той же балансувальний вузол. Зміну навантажень у приймальній системі виконують за рахунок зменшення активних і реактивних потужностей навантажувальних вузлів пропорційно у всіх вузлах. Зміну навантажень вузлів генерації проводять на всіх електростанціях, що беруть участь у регулюванні режимів.

Умова збереження вузлових напруг у регульованих вузлах не є запорукою ідентичності вузлових напруг у решті вузлів мережі в навантажувальних режимах, що розглядають. Та й додатково застосоване з цією метою регулювання також призводить до часткового нівелювання принципу накладання й зниження достовірності отримуваних результатів. Обнулення вузлів навантаження зумовлює підвищення рівня напруг і, як наслідок, зниження розрахункового значення втрат порівняно з фактичним.

У [8] розглядають підхід до розрахунку транзитних втрат, коли останні пропонують визначати як значення втрат у досліджуваній мережі за вимкнених *власних* навантажень і генерації. Беручи до уваги квадратичну залежність втрат, спостерігаємо, що в цьому випадку значення транзитних втрат буде суттєво меншим. Зазначимо також, що це можна виконати без розрахункових утруднень для регіональної досліджуваної системи, яка складає в загальній розрахунковій схемі електричної мережі *меншу* частину. Для кращого наближення значень напруг в електричній мережі до вихідних вважають за потрібне вводити в один із зовнішніх (відносно досліджуваної системи) вузлів генератор, однаковий за потужністю балансу її потужностей. Звертаємо увагу на проблему фіксації вузлових напруг як необхідну умову достовірності розрахунку.

Проілюструємо розглянуті вище підходи на прикладі визначення транзитних втрат деякої електроенергетичної системи ЕЕС2, виходячи з умов надлишку генерації в ЕЕС1 і дефіциту її в ЕЕС3 (рис. 1):

$$\Delta P_{mp.}^{EC2} = \Delta P_{\Sigma}^{EC2} - \Delta P_{S_{напр.}=0}^{EC2}, \quad (2)$$

де $\Delta P_{mp.}^{EC2}$ – транзитні втрати енергосистеми ЕЕС2, МВт; ΔP_{Σ}^{EC2} – сумарні втрати в ЕЕС2, зумовлені власними навантаженнями і транзитом у суміжну ЕЕС3, МВт; $\Delta P_{S_{напр.}=0}^{EC2}$ – втрати енергосистеми ЕЕС2 за відсутності транзиту в суміжну ЕЕС3, МВт; або

$$\Delta P_{mp.}^{EC2} = \Delta P_{S_{напр.}=0}^{EC2}, \quad (3)$$

де $\Delta P_{mp.}^{EC2}$ – транзитні втрати енергосистеми ЕЕС2, МВт, які визначають за умов відсутності власних навантажень ЕЕС2 за наявності транзиту в суміжну ЕЕС3, МВт.

Наявність цих двох підходів змушує задуматися про правильність розв'язку поставленої задачі, незважаючи на те, що зазвичай прямий метод розрахунку вважають найбільш обґрунтованим. Однією з вимог упровадженого законодавства, а також одним із головних чинників справедливого й прозорого функціонування ОРЕ згідно зі ст. 14 "Плата за доступ Наукові праці ВНТУ, 2014, № 1

до мереж" директиви №2009/72/ЄС є недискримінаційний доступ до електричних мереж:

«1. Плата, яку застосовують оператори мережі за доступ до мереж, повинна бути прозорою, повинна враховувати необхідність мережевої безпеки й відображати фактично понесені затрати..., повинна застосовуватися на недискримінаційній основі, ...повинна встановлюватися без урахування віддаленості.

2. У випадку необхідності рівень тарифів, які застосовують для виробників і/чи споживачів, повинен ... враховувати величину втрат в мережі й зумовлені перевантаження, а також інвестиційні затрати на інфраструктуру...».

Для ілюстрації дискримінації, яка виникає, розглянемо умови, на яких виконується відпуск електроенергії для "власних" споживачів окремо взятого енергооб'єднання. Не повинно існувати пріоритетності споживачів за принципом розрахунку втрат під час перетоку потужності (з урахуванням квадратичної залежності втрат). Наприклад, втрати для деякого споживача № 1 визначають за відсутності навантаження в мережі (мінімальні), для споживача № 2 – за наявності перетоку до навантаження № 1 (уже залежать від значення цього навантаження), для споживача № 3 – за наявності навантаження № 2 і № 3 і т. д. Очевидно, що такий розрахунок буде несправедливим щодо фінансової оплати за технічні втрати потужності (електроенергії), які виникають під час її постачання. Ті ж висновки можна зробити й розглядаючи підходи до визначення транзитних втрат, проілюстрованих на рис. 1 за виразами (2), (3). У результаті отримуємо або завищення величини транзитних втрат на користь ЕЕС2, або їх заниження на користь ЕЕС3. Видається правильним те, що додаткове "накидання" на власні перетоки транзиту потужності в суміжну ЕЕС і пов'язані з цим додаткові втрати повинні бути компенсовані. Але відповідно до вищенаведеної логіки, порушено основні принципи доступу до електричної мережі на однакових умовах.

Те, що підвищення рівня споживання в будь-якій точці мережі зумовлює відповідне підвищення втрат на передавання потужності до інших споживачів, не потребує доведення. Пропонують використовувати такий метод розрахунку втрат, за допомогою якого можна було б забезпечити справедливий і прозорий їх розподіл як для споживачів окремо взятої ЕЕС, так і за її межами.

Метод з використанням матриці вузлових опорів мережі, крім розв'язку основної поставленої задачі, дає ще й додаткову можливість виділення із сумарних втрат активної потужності складника, зумовленого неоднорідністю складнозамкненої електричної мережі.

Втрати активної потужності, зумовлені транзитом потужності до деякого споживача k електричної мережі з $n+1$ вузлів (споживачів) представляють у вигляді суми двох складників [6, 7]:

$$\Delta P \langle k \rangle = \Delta P_{\min} \langle k \rangle + \delta P_{\text{дон.}} \langle k \rangle, \quad (4)$$

де ΔP_{\min} – мінімальне значення втрат активної потужності; $\delta P_{\text{дон.}}$ – додаткові втрати в замкнутій мережі, які визначають згідно з виразами (5) через задавальні струми у вузлах:

$$\begin{aligned} \Delta P \langle k \rangle_{\min} &= J_{ak} \sum_{j=0}^n J_{aj} \mathfrak{R}_{k,j} + J_{pk} \sum_{j=0}^n J_{pj} \mathfrak{R}_{k,j}, \\ \delta P \langle k \rangle_{\text{дон.}} &= J_{ak} \sum_{j=0}^n J_{aj} \mathbf{A}_{k,j} + J_{pk} \sum_{j=0}^n J_{pj} \mathbf{A}_{k,j}, \end{aligned} \quad (5)$$

де J_a , J_p – активний і реактивний складники струмів у вузлах, \mathfrak{R} – матриця економічних вузлових опорів мережі, \mathbf{A} – матриця вузлових опорів мережі, які характеризують додаткові

втрати активної потужності.

За достатньої достовірності вихідних даних по навантаженнях у вузлах, навантажувальні транзитні втрати можна визначати навіть без розрахунку встановленого режиму й визначення струмів у вітках мережі. Виділення мінімально можливого складника втрат ΔP_{\min} і додаткового складника втрат $\delta P_{\text{доп.}}$, обумовленої неоднорідністю мережі, дає можливість для оптимізації транзитних втрат активної потужності використовувати тільки складник $\delta P_{\text{доп.}}$.

Приклад розрахунку

Для фрагменту транзитної мережі (рис. 2) приведемо результати розрахунків за запропонованим методом. Нехай вузол № 7 суміжний з мережею, яка характеризується надлишковою генерацією, а вузол № 5 суміжний з дефіцитною мережею. Навантаження в досліджуваній мережі не змінюються, а значення відбору потужності дефіцитною мережею будемо збільшувати. Результати розрахунків зведено в табл. 1.

Сумарне споживання навантажень досліджуваної мережі (без врахування навантаження вузла № 5) складає $S=771+j408$ МВА.

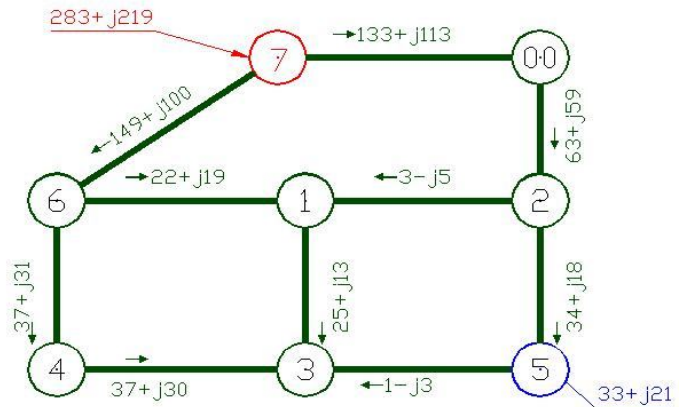


Рис. 2. Фрагмент схеми мережі 220 кВ

Таблиця 1

Результати розрахунків втрат для фрагмента мережі

Сумарні втрати в мережі, МВт		Втрати, зумовлені перетоком потужності до вузла № 5, МВт		Навантаження вузла №5, S, МВА	Втрати від власних навантажень, МВт	Втрати, зумовлені навантаженням вузла № 5, МВт
ΔP_{\min}	$\delta P_{\text{доп.}}$	ΔP_{\min}	$\delta P_{\text{доп.}}$			
2,893	0,080	0,0	0,0	0,0	2,973	0,0
3,977	0,094	0,613	0,150	33 + j 21	3,307	0,763
5,347	0,140	1,514	0,609	66 + j 42	3,363	2,123
8,949	0,323	4,177	0,245	132 + j 84	4,850	4,422
11,181	0,461	5,939	0,384	165 + j105	5,319	6,323
26,648	1,616	19,057	1,541	330 + j210	7,666	20,598

У розглянутому прикладі втрати, зумовлені власним навантаженням, співрозмірні з втратами, зумовленими транзитом потужності в суміжну мережу уже під час перетоку потужності $\dot{S}_5=132+j84$ МВА, що складає 18% власного споживання. Цей аспект обов'язково необхідно враховувати й під час проведення взаєморозрахунків, і на етапі техніко-економічного обґрунтування розвитку мережі, а також під час підключення нових споживачів або джерел електроенергії, особливо нетрадиційних і відновних. При цьому можливе зменшення частини втрат від транзиту електроенергії.

Під час використання *прямого методу розрахунків* сумарні втрати транзитної мережі залишаються на рівні 2,97 МВт (незалежно від значення транзиту). Фактично унаслідок такого підходу виникає дискримінація за принципом доступу до використання транзитної мережі. Застосовуючи *метод із використанням матриць вузлових опорів мережі* для визначення втрат на передачу потужності до вузла споживання, *враховують вплив навантажень всіх вузлів мережі*.

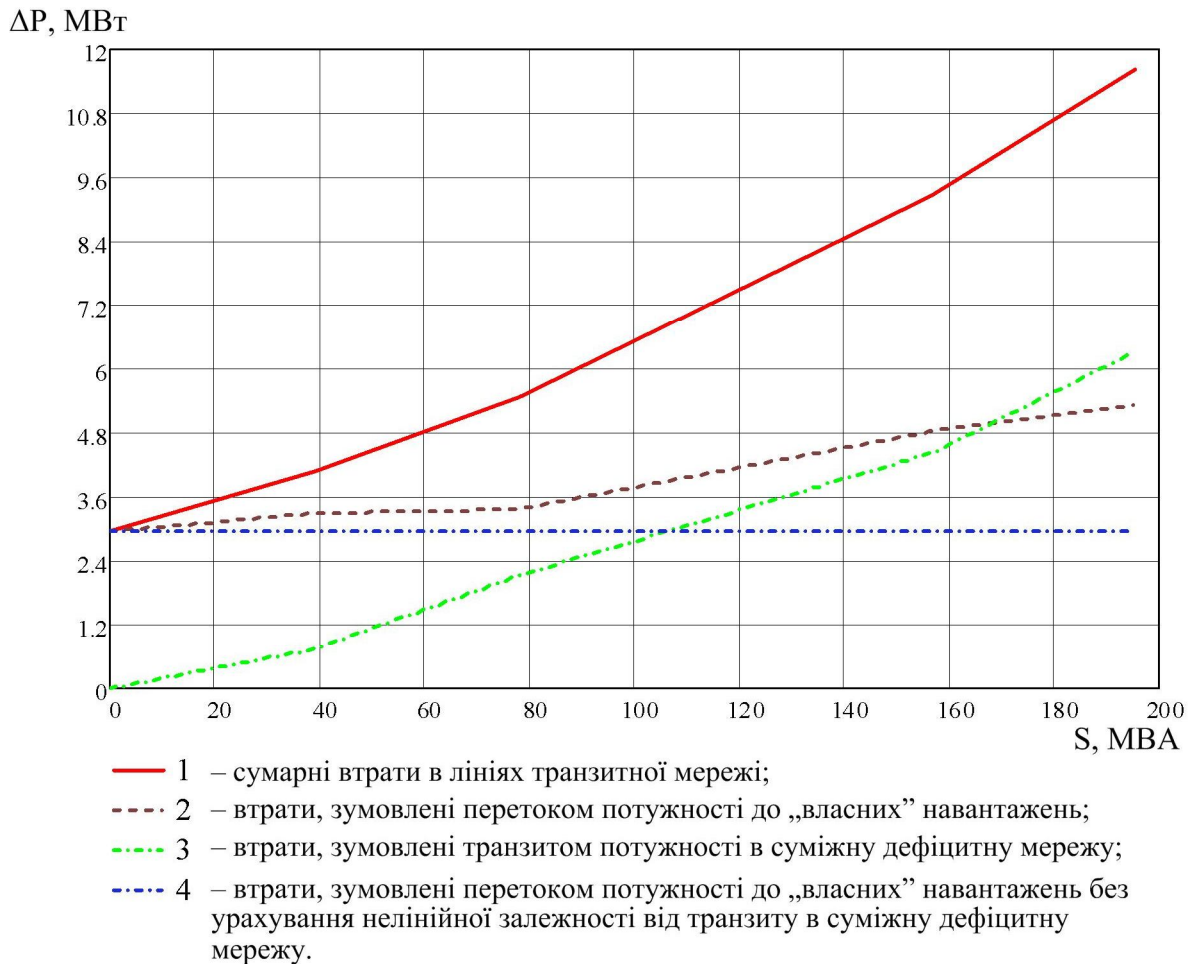


Рис.3. Залежність втрат від обсягів транзитного навантаження

На рис. 3 приведено залежності втрат в транзитній мережі, зумовлених власними і транзитними перетоками. Результати розрахунків показують, що втрати, зумовлені перетоком потужності до власних навантажень мережі (крива 2), нелінійно залежні від обсягів транзиту. Нелінійно збільшуються і втрати в мережі від транзитного перетоку (крива 3). Ці втрати виділено із сумарних втрат, відоме їхнє точне значення. Тобто, залежно від узгоджених між поставником і споживачем домовленостей, є можливість обґрунтовано відносити компенсацію транзитних втрат на суміжну дефіцитну мережу або мережу з надлишковою генерацією чи розподіляти їх відповідно до міри взаємовпливу по виразах (5).

Висновки. Метод розрахунку втрат потужності в електричній мережі від транзитних перетоків з використанням матриці вузлових опорів мережі й потужності у вузлах дозволяє визначати транзитні втрати потужності, виділяючи їх із сумарних втрат, і встановлювати їх залежність від навантажень (генерації) у вузлах. Це дає можливість, у свою чергу, встановити адресність і значення транзитних втрат у мережі від конкретних споживачів. При цьому запропонований метод дозволяє врахувати вплив транзитних перетоків на втрати потужності від власних навантажень у мережі, а також взаємовплив – вплив на значення транзитних втрат власних навантажень мережі транзитера.

Запропонований метод дозволяє структурувати втрати потужності в електричній мережі за складниками з урахуванням взаємовпливу різних чинників. З'являється можливість створення автоматичної системи визначення втрат електроенергії на заданому проміжку часу, яка дозволяє враховувати нелінійну залежність усіх складників від перетоків, а також вплив на них змінних графіків навантажень мережі і транзитних перетоків. У якості вихідних даних використовують параметри мережі й параметри режиму, які формуються ОІК, що забезпечує визначення втрат, у тому числі від транзитних перетоків у темпі процесу.

Дані про значення окремих складників втрат потужності й електроенергії в мережі дозволяють учасникам енергоринку більш точно й об'єктивно визначатися з можливими варіантами електропостачання й вибирати з них оптимальний. Інформація про складники втрат в електричних мережах і залежності їх від чинників впливу дозволяють більш об'єктивно вирішувати задачу про їх компенсацію всіма учасниками. Це сприяє реалізації можливості виконання умови недискримінаційного доступу до мереж.

Як ми впевнилися, існує декілька шляхів застосування цього методу, і баланс транзитних втрат можна буде складати залежно від домовленостей двосторонніх договорів, а також прийняття в майбутньому основоположних рішень по законодавчій базі в електроенергетичній сфері. Можливості практичного застосування методу, наведені в цій статті, є суто технічним засобом розрахунку, питання ж фінансово-економічної взаємокомпенсації доки залишаються відкритими.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Методика расчета транзитных потерь мощности и электроэнергии в электрических сетях субъектов оптового рынка электроэнергии: постановление ФЭК РФ от 14.12.01 [Электронный ресурс] : Офиц. изд. – М.: 2001. (Российское акционерное общество энергетики и электрификации РАО «ЕЭС России». Методика). Режим доступа: <http://www.yug.so-ups.ru/Page.aspx?IdP=272>.
2. Distribution Loss Factor Calculation Methodology/ Powercor Australia Ltd. [Электронный ресурс] : Расчет коэффициентов распределения потерь. Методика ООО «Powercor Australia», 2013. – Режим доступа: <http://www.powercor.com.au/>.
3. Указания о расчете расхода электроэнергии на транзитные межсистемные перетоки: РД 34.09.252:1976. – Офиц. изд. – М. : Союзтехэнерго, МЭЭ СССР, Главтехуправление ЦДУ ЕЭС СССР, 1976. – 8 с. – (Министерство Энергетики и Электрификации СССР. Инструкция).
4. Визначення втрат потужності від транзитного перетікання в електричних мережах. / О. Б. Бурикін, В. А. Видмиш, П. П. Медяний // Наукові праці ВНТУ. – 2010. – № 1. Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/article/view/1024/40>.
5. Клипков С. И. Особенности определения адресности передачи электроэнергии в электроэнергетических системах переменного тока / С. И. Клипков, А. И. Ришкевич, А. В. Семенюк // Новини енергетики. – 2008. – № 3. – С. 32 – 43.
6. Лежнюк П. Д. Інформаційне забезпечення розрахунків втрат потужності й електроенергії від транзитних перетоків / П. Д. Лежнюк, Н. В. Семенюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 1. – С. 66 – 69.
7. Лежнюк П. Д. Визначення втрат від адресних транзитних перетоків за даними ОІУК / П. Д. Лежнюк, Л. Р. Пауткіна, Н. В. Семенюк // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2013. – № 1. – С. 163 – 167.
8. Ольшванг В. М. Собственные и транзитные потоки и потери региональных энергосистем: (доклад на семинаре энергетиков по потерям в сетях 22.02.01) [Электронный ресурс] : В.М. Ольшванг / Режим доступа: <http://mvo.ipc.ru/sobstv23/sobstv23.htm>.

Семенюк Надія Віталіївна – здобувач кафедри ЕСС ІнЕЕЕМ ВНТУ, інженер 1 кат. центральної диспетчерської служби ДП "НЕК "Укренерго", ВП "Донбаська ЕС".