

розрахунковими даними за методикою, наведеною в статті [7]. Відносна нев'язка результатів розрахунків за цими методиками не перевищує 10 %.

Висновки. В роботі наведено методику простого інженерного розрахунку подвійного щільного вентилязованого повітряного прошарку в покритті сільськогосподарського будинку в холодний період року. За цією методикою з достатньою точністю визначаються перепади температур в каналах подвійного вентилязованого повітряного прошарку та теплові потоки в конструкції.

1. Прыгунов Ю.М., Новак В.А., Серый Г.П. *Микроклимат животноводческих и птицеводческих зданий*. — К., 1986. 2. Ярослав В.Ю., Макаревич Т.Т., Лабай В.Й. *Доцільність застосування теплоутилізаторів витяжного повітря у птахівничих будинках* // *Вісн. Львівського політехн. інституту*. — 1991. — № 256. — С. 71—73. 3. А.с. СССР № 1576798. *Система вентиляции одноэтажной постройки* / Ю.Я. Кувшинов, В.Ю. Ярослав // *Открытия. Изобрет.* — 1990. — № 25. 4. Богословский В.Н. *Строительная теплофизика*. — М.: 1982. 5. Табунищikov Ю.А., Хромец Д.Ю., Матросов Ю.А. *Тепловая защита ограждающих конструкций зданий и сооружений*. — М.: 1986. 6. Могилат А.Н., Кривобок Э.Н. *Проектирование теплозащиты покрытий гражданских зданий*. — К., 1982. 7. Ярослав В.Ю. *Про розрахунок повітряних прошарків у покритті* // *Вісн. Держ. ун-ту "Львівська політехніка"*. — 1997. — № 318. — С. 88—90. 8. СНиП II-3-79** *Строительная теплотехника* / *Госстрой СССР*. — М., 1986. 9. Лабай В.Й. *Тепломасообмін*. — Львів, 1998.

УДК 621.316.327.53

В. Липовецький
Тернопільський державний технічний
університет імені Івана Пулюя

НОРМАЛІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ЖИВЛЕННЯ — ОДИН ІЗ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

© Липовецький В., 2004

The problem of the influence of feeding network and lighting sources consumers on their parameters and characteristics was under consideration. Multifunctional inductive-capacity devices of feeding parameters normalization reactivity of its elements for increasing of the existing lighting networks energy effectiveness are suggested. The example of the creating of energy-saving controlled lighting is given and methodical approaches for calculating of its economic effectiveness are suggested.

Вступ. Шоста частина електроенергії, що споживається в Україні, витрачається на потреби освітлення. Приблизно таке саме співвідношення спостерігається і у світі, але питома вага витрат електроенергії на створення штучного освітлення у нас щонайменше у 1,5 раза більша, ніж у розвинутих країнах [1]. Тому актуальною є проблема розробки і використання енергоощадних технологій для освітлювальних мереж, застосовуючи які, можна заощадити до 50—60 % витрат та зменшити частку штучного освітлення у виникненні парникового ефекту [2].

Існує декілька способів підвищення енергоефективності освітлювальних мереж, а саме — заміна застарілих ламп джерелами нового покоління, використання сучасних пуско-регулювальних апаратів, використання освітлювальної арматури, виготовленої за новими технологіями, інтегроване використання природного і штучного світла, керування рівнем світлового потоку, нормалізація параметрів мережі живлення [1, 2]. Їх можна об'єднати у два напрямки: 1) підвищення коефіцієнта корисної дії (ККД) освітлювальних приладів (ОП); 2) підвищення електромагнітної сумісності ОП з

мережею живлення. Ця робота стосується другого напрямку, який реалізують, нормалізуючи якісні показники електроенергії та покращуючи енергетичні параметри її світлотехнічних споживачів.

1. Електромагнітна сумісність мережі живлення і світлотехнічних споживачів. Характеристики і параметри електричних мереж та електрообладнання, зокрема світлотехнічного, зазнають взаємного впливу. Спільна робота джерела енергії і споживача приводить до розсіювання потужності на внутрішніх опорах і додаткового випромінення енергії, викликаного некорисною складовою енергетичних потоків, у вигляді електромагнітних завад і тепла. Електромагнітне поле, яке випромінюється струмопровідними частинами і перевищує допустимі межі, негативно впливає на всі живі організми і є одним із видів забруднення довкілля. Електромагнітна сумісність електротехнічних пристроїв та систем — це їх властивість функціонувати без значних відхилень якісних показників електроенергії та мінімальними втратами через випромінення. Зважаючи на технічні аспекти проблеми, покращання електромагнітної сумісності ОП та мереж живлення характеризується: підвищенням коефіцієнта потужності (КП) та ККД ОП до значень, близьких до одиниці; виправленням форми кривої споживаного струму; обмеженням вмісту вищих гармонік; зменшенням відхилень напруги живлення [3].

Нормативні і реальні показники якості електричної енергії. Якість електроенергії регламентується нормативними документами як в Україні, так і в зарубіжних країнах. Згідно з цими документами [4] показниками якості електроенергії на затискачах приймачів, які найбільше впливають на електромагнітну сумісність споживачів з мережею і залежать від величини і типу навантаження, є відхилення та розмах зміни напруги, а також коефіцієнт несинусоїдності її форми.

Відхилення напруги δU — це середнє значення за деякий час різниці між фактичним значенням напруги і її номінальним значенням у відсотках. У низьковольтних мережах у нормальних режимах допустиме відхилення напруги дорівнює $\pm 5\%$, а допустимі значення коливання напруги на входах ОП встановлені у межах від -2.5% до $+5\%$. Насправді ж реальні відхилення значно більші. Результати досліджень напруги мережі живлення показали, що більше ніж у 50% випадків відхилення знаходяться в зоні додатних значень, максимальне перевищення напруги становить 270 В , а мінімальне 180 В [5].

Спотворення форми кривої характеризується коефіцієнтом несинусоїдності напруги $K_{\text{нс}}$ — відношенням діючого значення гармонічного складу до напруги основної частоти, %:

$$K_{\text{нс}} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n U_k^2}}{U_1} \cdot 100, \quad (1)$$

де U_k — діюче значення n -ї гармоніки; U_1 — діюче значення основної гармоніки. ГОСТ регламентує відхилення $K_{\text{нс}}$ в межах до $+5\%$ на затискачах будь-якого приймача електроенергії. Струми вищих гармонік, які протікають через елементи мережі, призводять до спотворення форми кривої напруги і перевищення коефіцієнтом $K_{\text{нс}}$ нормативних значень.

Енергетичні параметри споживачів. Якість перетворення електричної енергії характеризується такими важливими енергетичними показниками, як ККД η , який визначається як відношення вихідної потужності споживача $P_{\text{вих}}$ до вхідної $P_{\text{вх}}$, та КП, параметром який визначає частку активної потужності щодо повної. Для лінійних електричних кіл КП дорівнює:

$$\text{КП} = \frac{P_{\text{вих}}}{S_{\text{вх}}} = \frac{P_{\text{вих}}/\eta}{S_{\text{вх}}} = \cos \varphi_{\text{вх}}, \quad (2)$$

де $P_{\text{вх}}$, $S_{\text{вх}}$ — відповідно активна і повна вхідні потужності; $\varphi_{\text{вх}}$ — кут зсуву фаз між синусоїдним струмом і напругою. З (2) визначимо вихідну потужність через споживану:

$$P_{\text{вих}} = (\eta \cdot \cos \varphi) \cdot S_{\text{вх}} \quad (3)$$

Добуток ККД η на КП визначає ефективність використання потужності мережі споживачами. Назвемо його коефіцієнтом ефективності k_e перетворення первинної енергії у вторинну і визначатимемо за формулою у відсотках:

$$k_e = \frac{P_{\text{свх}}}{S_{\text{сх}}} \cdot 100\% = \eta \cdot \cos \varphi \cdot 100\%. \quad (4)$$

Коефіцієнт ефективності k_e характеризує якість конструктивно-технологічної і схемотехнічної реалізації перетворювачів електричної енергії, а його значення визначає рівень електромагнітної сумісності з мережею. Ще його називають вольт-амперним ККД [6].

Вищі гармоніки струму. Нелінійні споживачі є джерелами вищих гармонік, які призводять до спотворення форми споживаного струму. Вплив вищих гармонік на роботу електрообладнання та параметри мережі детально розглянуто в [7]. Вираз для визначення КП при синусоїдній напрузі і несинусоїдному струмові матиме вигляд:

$$КП = \frac{U_1 I_1 \cos \varphi_1}{U_1 I_d} = \frac{I_1}{I_d} \cos \varphi_1 = \mu \cos \varphi_1, \quad (5)$$

де U_1, I_1, φ_1 — діючі значення першої гармоніки напруги і струму та кут зсуву між ними; μ — коефіцієнт несинусоїдності струму. Коефіцієнт спотворень форми струму знижує КП. У світі існують жорсткі вимоги до рівня гармонічних складових струму до 49 гармоніки [9] і нормують коефіцієнт гармонік споживаного струму $I_{\text{THD}}(\%)$, який визначають за формулою:

$$I_{\text{THD}} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{49} I_n^2}}{I_1}, \quad (6)$$

де I_n — діючі значення вищих гармонік струму; I_1 — значення першої гармоніки струму.

Коефіцієнт ефективності k_e за наявності вищих гармонік струму дорівнюватиме:

$$k_e = \eta \cdot \cos \varphi_1 \cdot \mu \cdot 100\%. \quad (7)$$

Вплив параметрів якості електроенергії на характеристики джерел світла. Для ОП з лампами розжарювання, низького і високого тиску при зміні напруги живлення істотно змінюються такі параметри, як споживана потужність, величина світлового потоку, струм і напруга та строк служби лампи. Із наведених у [8—10] характеристик ламп видно, що зниження напруги призводить до істотного зменшення світлового потоку (при зниженні напруги на 10 % потік зменшується на 36 % для ламп розжарювання, на 22 % для ламп типу ДРЛ, на 15 % для люмінесцентних ламп), а підвищення напруги призводить до різкого скорочення строку служби джерел світла та істотного збільшення споживаної потужності. У табл. 1 і 2 наведено дані про вплив перенапруги на режим роботи ламп.

Таблиця 1

Залежність збільшення споживаної потужності джерел світла і ПРА від значення напруги в освітлювальних мережах

Збільшення споживаної потужності джерел світла для ламп, $\Delta P/P_{\text{ном}}, \%$	Відносна перенапруга $\Delta U/U_{\text{ном}}, \%, U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$					
	1	2	3	5	7	10
1	2	3	4	5	6	7
Лампи розжарювання	1,6	3,2	4,7	8,5	11,5	16,4
Люмінесцентні лампи з ПРА	2,0	4,0	6,0	10,0	14,0	20,0
Дюгові ртутні лампи з ПРА	2,2	5,0	7,0	12,0	18,0	24,0
Металогалогенні лампи	2,0	4,0	5,0	10,0	14,0	18,0
Натрієві лампи високого тиску	2,0	8,0	11,0	18,0	23,0	34,0

Коливання напруги в мережі ведуть до коливань світлового потоку (пульсацій), що негативно впливає на зорову систему людини. Зниження напруги мережі на 20 % для ЛЛЛ призводить до відмови в запалюванні, а підвищення напруги мережі призводить до швидшого спаду світлового потоку і зниження економічного строку служби ламп [5,10].

**Зміна строку служби ламп і їх витрат залежно
від значень перенапруги в освітлювальних мережах**

Параметр		Відносна перенапруга $\Delta U/U_{ном}$, %, $U_{ном} = 220$ В					
		1	2	3	5	7	10
Відносний строк служби, %	ламп розжарювання	87,1	75,8	66,1	50,5	38,8	26,3
	розрядних ламп	95,0	58,0	90	85,0	80,0	73,0
Відносна кількість ламп, %, необхідна для експлуатації ОУ	ламп розжарювання	114	132	151	198	258	380
	розрядних ламп	105	108	111	118	125	137

Вплив світлотехнічних споживачів на параметри мережі. Існуючі світлотехнічні прилади є нелінійними споживачами, характеризуються низьким КП (0,5...0,8) і генеруванням вищих гармонік струму у мережу. В [11, 12] проаналізовано вплив газорозрядних ламп на енергетичну мережу, досліджено причини спотворення струму, наведено результати вимірювань гармонічного складу струму натрієвих і ртутних ламп високого і низького тиску. ОП були заживлені синусоїдною напругою з коефіцієнтом спотворення, що дорівнює 2 %. У спектрі всіх ламп помітно присутність непарних гармонік, кратних трьом. Рівні третьої і п'ятої співмірні. Коефіцієнт спотворення струму для ОУ з натрієвою і ртутною лампою високого тиску коливається в межах 25 %—35 %. Дані про КП не наведено. У [12] наведено спектри струму, коефіцієнти спотворення струму, КП і $\cos\varphi_1$ для люмінесцентних ламп з індуктивним баластом, з електронним баластом та електронним баластом із коректором КП. Отримані дані зведемо в табл. 3.

Таблиця 3

Якісні параметри освітлювальних приладів

Схема увімкнення та тип лампи	Коефіцієнт спотворення струму $I_{гнд}, \%$	$\cos\varphi_1$	Коефіцієнт потужності КП	Коефіцієнт амплітуди K_a
3 індуктивним баластом, лампа ртутна, 250 Вт	25,4	—	—	1,7
3 індуктивним баластом, лампа натрієва, 50 Вт	35,7	—	—	1,94
3 індуктивним баластом, лампа натрієва, 150 Вт	28,7	—	—	1,55
3 індуктивним баластом, лампа люмінесцентна	12	0,61	0,59	—
3 індуктивним баластом та конденсатором 5 мкФ	14,9	0,70	0,69	—
3 індуктивним баластом та конденсатором 9 мкФ	19,7	0,81	0,80	—
3 індуктивним баластом та конденсатором 12 мкФ	25,14	0,95	0,92	—
3 електронним баластом, лампа люмінесцентна	117,36	0,89	0,58	—
3 електронним баластом та з коректором КП	8,32	0,96	0,95	—

Як видно з табл. 3, тільки схеми з електронним баластом та коректором КП відповідають вимогам електромагнітної сумісності, але собівартість їх сьогодні є значною.

Сучасні методи і засоби покращання електромагнітної сумісності. Для забезпечення повної електромагнітної сумісності між мережею та споживачем необхідні додаткові пристрої місцевого регулювання, які покращують енергетичні параметри споживачів і якісні показники мережі, — компенсатори реактивної потужності (для покращання коефіцієнта потужності), фільтри вищих гармонік (для обмеження гармонік струму) та вторинні стабілізуючі пристрої (для зменшення впливу коливань напруги). Існують схеми, які об'єднують в один пристрій із загальним керуванням стабілізатор і активний фільтр, але їх силові схеми практично між собою не зв'язані і виконують

свої функції незалежно один від одного [13]. Найкраще цю задачу виконали б багатофункціональні пристрої, для яких характерні стабілізуювальні і фільтрувальні властивості та підтримують КП близьким до одиниці.

2. Багатофункціональні пристрої нормалізації параметрів живлення. Такі багатофункціональні можливості характерні індуктивно-ємнісним регулювальним пристроям, які дають змогу керувати декількома параметрами електричної енергії: рівнем вихідної напруги або значенням коефіцієнта потужності, і володіють фільтрувальними властивостями — не пропускають вищі

гармоніки з мережі і навпаки [14]. На рис. 1 наведена схема виконавчого органа такого пристрою нормалізації параметрів живлення, де: $U_{вх}$ — вхідна напруга; $U_{вих}$ — вихідна напруга; C — конденсаторна батарея з регульованою ємністю; $L1$ — серієсний реактор; $L2$ — паралельний реактор; Z_n — навантаження. Математична модель, яка пов'язує параметри елементів цього контуру, має вигляд [15]:

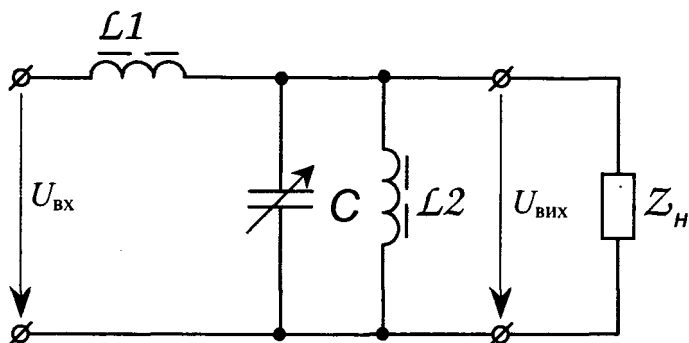
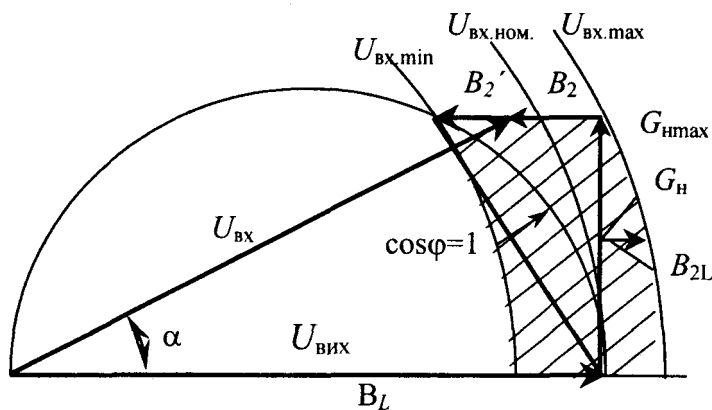


Рис. 1. Схема індуктивно-ємнісного пристрою нормалізації параметрів живлення

$$B_2 = B_L - \sqrt{\frac{B_L^2}{K^2} - G_n^2}, \quad (7)$$

де B_2 — сумарна реактивна провідність паралельно підключених елементів C і (або) $L2$; G_n — провідність навантаження Z_n ; B_L — провідність послідовного реактора $L1$; K — коефіцієнт передачі перетворювача, який визначається як відношення вихідної напруги $U_{вих}$ до вхідної $U_{вх}$ і змінюється в межах від K_{\min} до K_{\max} . При зміні навантаження або значення вхідної напруги, змінюючи провідність B_2 , можна підтримувати стабільною вихідну напругу або КП по входу. На рис. 2 наведено геометричне подання математичної моделі індуктивно-ємнісного перетворювача.



$$U_{вх,мін} \leq U_{вх} \leq U_{вх,маx} \quad G_{н,мін} \leq G_n \leq G_{н,маx}$$

Рис. 2. Геометрична модель індуктивно-ємнісного контуру

Заштрихована ділянка рисунка відповідає робочій зоні перетворювача при зміні навантаження від $G_{н,маx}$ до нуля та зміні вхідної напруги від $U_{вх,мін}$ до $U_{вх,маx}$. При $U_{вх} = U_{вх,мін}$ і $G_n = G_{н,маx}$ перетворювач підтримуватиме стабільною вихідну напругу, а КП буде дорівнювати одиниці. Для цього нам

потрібно підключити паралельний ємнісний елемент з провідністю $B = B_2 + B_2'$. При $U_{\text{вх}} > U_{\text{вхmin}}$, як показано на рис. 2, для забезпечення заданої вихідної напруги нам потрібно підключити паралельний ємнісний елемент з провідністю $B = B_2$. Ємність провідністю B_2' залишається непідключеною і її можна використати для підвищення КП, який у такому разі є меншим від одиниці (робоча точка розташована за лінією $\cos\varphi = 1$). Цю ємність можна підключити на вхід цього контуру, перед послідовним реактором.

Для режиму $U_{\text{вх}} = U_{\text{вхmax}}$, і $G_{\text{н}} = G_{\text{нmax}}/2$ паралельно нам потрібно підключити індуктивний елемент провідністю B_{2L} , а конденсаторна батарея не підключена і її можна використати для компенсації реактивної потужності по входу. Функціональна схема виконавчого органу такого при-

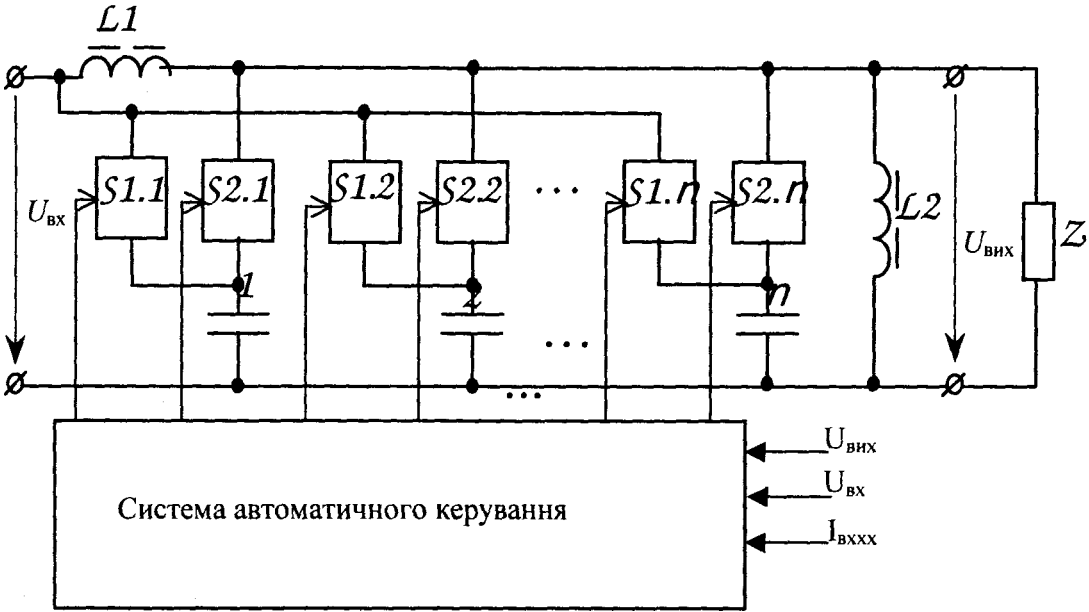


Рис. 3. Функціональна схема дискретного індуктивно-ємнісного перетворювача

строю, який забезпечує стабілізацію вихідної напруги і підтримання КП таким, що дорівнює одиниці, наведена на рис. 3. Ключі $S1.1 \dots S1.n$ служать для підключення ступенів конденсаторної батареї для забезпечення підтримання КП таким, що дорівнює одиниці, а ключі $S2.1 \dots S2.n$ для підключення ступенів для забезпечення режиму стабілізації. Оскільки ця схема являє собою Г-подібний LC-фільтр, який забезпечить фільтрацію вищих гармонік струму.

3. Побудова енергоощадної системи освітлення. Енергоощадні системи освітлення, наприклад, перону вокзалів, тунелів, вулиць і інших великих площ повинні мати місцеві пристрої нормалізації параметрів живлення, з багатофункціональними властивостями, для покращання електромагнітної сумісності ОП з мережею живлення. Структурна схема узгодження мережі живлення і світлотехнічних споживачів наведена на рис. 4. Використання багатофункціонального

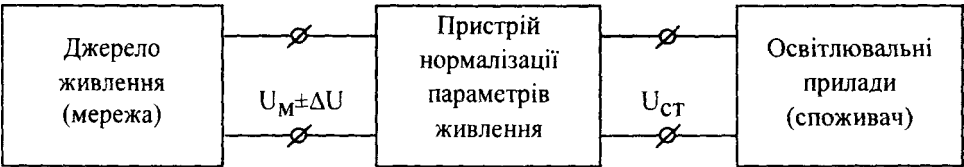


Рис. 4. Схема узгодження мережі живлення і споживачів

перетворювача на основі LC-контурі дає змогу покращити енергетичні показники споживачів, одночасно забезпечивши їх стабілізованою напругою живлення. Крім цього, у такому перетворювачі ми можемо регулювати вихідну напругу, що можна було б використати для регулювання

світлового потоку у перехідні періоди доби, а також для його регулювання при поступовому старінні ламп. Такі схеми доцільно застосовувати при великій потужності освітлювальних систем, а пристрій нормалізації проектувати для трифазної системи напруг. Для малопотужних освітлювальних мереж доцільніше використовувати ОП з електронними пускорегулювальними апаратами з коректорами КП.

Техніко-економічне обґрунтування модернізації відомих та проектування нових систем освітлення необхідно виконувати в такій послідовності: 1) Проаналізувати стан мережі, в результаті якого необхідно виявити залежності (графіки, діаграми) напруги живлення впродовж доби, як середнє значення за рік; 2) За відомими методиками [10] розрахувати термін експлуатації використовуваних ламп при реальних (визначених на попередньому етапі) напругах живлення, а також необхідну їх кількість при номінальному терміні експлуатації із врахуванням коефіцієнта запасу; 3) Розрахувати матеріальні перевитрати, спричинені збільшенням кількості ламп, необхідних при реальних напругах живлення, та затрати на їх заміну. Розрахувати енергетичні втрати, спричинені збільшенням споживаної потужності при напругах, більших від номінального значення і низькому КП освітлювальних приладів; 4) Розрахувати вартість розробки, виготовлення і встановлення пристрою нормалізації параметрів живлення. Ціна його сьогодні коливається в межах від 10 до 25 гривень за один ват встановленої потужності; 5) Розрахувати термін окупності і зробити висновки про доцільність застосування додаткових узгоджувальних пристроїв в системі мережа — світлотехнічний споживач.

Висновки.

1. Виконаний аналіз взаємовпливу мережі живлення і світлотехнічних споживачів на їх параметри і характеристики вказує на необхідність встановлення додаткових пристроїв місцевого коригування як якісних показників мережі, так і енергетичних параметрів споживача. Мірою цього взаємовпливу є значення коефіцієнта ефективності k_e .

2. Для уникнення цього негативного взаємовпливу необхідні багатофункціональні пристрої, які мають стабілізуючі і фільтрувальні властивості та підтримують КП близьким до одиниці. Такі властивості характерні індуктивно-ємнісним перетворювачам.

3. Енергоощадні системи освітлення повинні використовувати місцеві пристрої нормалізації параметрів живлення. Запропоновані методичні підходи до розрахунку їх економічної ефективності дають змогу зробити висновки про доцільність вибраного напрямку підвищення енергоефективності освітлювальних мереж.

1. Пилипчук Р.В., Яремчук Р.Ю. Проблема енергозбереження в освітлювальних установках // *Світло*, 2003. — № 2. — С. 10—13. 2. Миллс Э. Потенциальные возможности всемирного энергосбережения. — *Светотехника*, 200. — № 6. — С. 2—4. 3. Литовецький В.Р., Тарасенко М.Г., Ямко М.П. Електромагнітна сумісність електричних мереж і освітлювальних споживачів // В кн.: "Міжнародна науково-технічна конференція "Світлотехніка-95". Тези доповідей. — Тернопіль, 25—27 жовтня 1995 р. — С. 3, 4. 4. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. — К., 1999. 5. Говоров Ф.П., Гуракова Л.Д. Влияние режима напряжения на характеристики источников света // *Світло*, 2003. — № 2. — С. 42—44. 6. Хантер П. Улучшение характеристик импульсных источников питания путем коррекции коэффициента мощности // *Электроника*, 1992, № 11—12. — С. 60—67. 7. Арриллага Дж., Бредли Д., Боджер П. Гармоники в электрических системах. — М., 1990. 8. Справочная книга по светотехнике / Под ред Ю.Б. Айзенберга. — М., 1995. 9. Емельянов Н.И., Кахнович В.П., Чертова И.И., Шаборкин В.Г. Влияние колебаний напряжения сети на параметры ламп типа ДРЛ // *Светотехника*, 1985, № 12. — С. 10—11. 10. Азалиев В.В., Варенофьева Г.Д., Кроль Ц.Е. Эксплуатация осветительных установок промышленных предприятий. — М., 1984. 11. Цадлер Е., Качмарек Е. Вплив сучасних освітлювальних устав на електроенергетичну мережу // *Електроінформ*, 2003, № 1. — С. 28—29. 12. Ружовіч А. Вміст гармонік і коефіцієнт потужності — параметри якості

енергії в уставах живлення люмінесцентних ламп з електромагнітними і електронними стабілізаторами // *Електроінформ*, 2003, № 2. — С. 10—11. 13. Розанов Ю.К., Рябчицкий М.В. *Современные методы улучшения качества электроэнергии (аналитический обзор)* // *Электротехника*, 1998, № 3. — С. 10—17. 14. Кулинич В.А. *Индуктивноемкостные управляемые трансформирующие устройства*. — М., 1987. 15. Липовецький В. *Енергоекономні пристрої живлення світлотехнічних установок* // *Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка"*, 2002, № 452. — С. 149—152.

УДК 532.522.2:532.542:532.556.2

В. Орел

Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра гідравліки та сантехніки

РОЗРАХУНОК ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБМЕЖЕНИХ СТРУМЕНІВ РІДИНИ

© Орел В., 2004

In paper the computation of geometrical parameters of the restricted jets of a liquid at sudden expansions of pipes are presented.

Постановка проблеми. Вивчення структури течії рідин і газів у замкненому просторі є важливим етапом створення технологічних об'єктів, у конструкціях яких містяться внутрішні потоки [1]. Відривання турбулентного потоку продовжує створювати проблеми гідродинамікам, оскільки може погіршувати робочі характеристики багатьох машин і технічних пристроїв [2].

Відривання потоку, мабуть, належить до найважливіших гідродинамічних проблем, його необхідною умовою є додатний градієнт тиску [3, с. 13], що характерний для дифузорних течій.

Розглянемо раптове розширення поперечного перерізу трубопроводу як дифузор з кутом конусності 180° , оскільки в ньому найповніше виявляються особливості відривних течій [4]. За точкою відривання утворюються замкнені зони руху зі зворотними течіями (рис. 1).

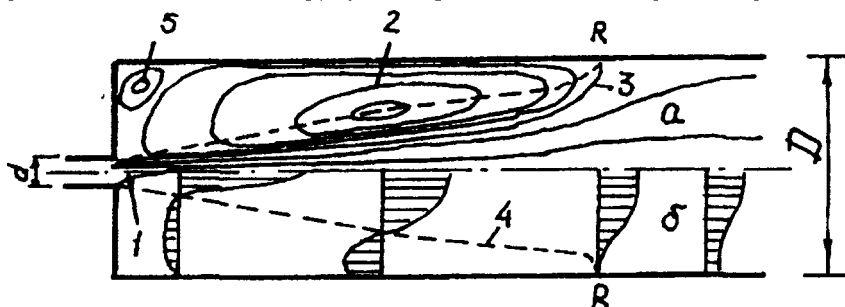


Рис. 1. Картина течії в трубі з раптовим розширенням потоку: а — лінії течії; б — профілі швидкості; 1 — ядро потоку; 2 — область рециркуляційної течії; 3 — розділювальна лінія течії; 4 — лінія нульових швидкостей; 5 — вторинний вихор [5]

Варто зауважити, що при малих значеннях ступеня розкриття дифузора D/d (згідно з [6], $D/d < 1,72$) розвиток циркуляційної течії відбувається в межах початкової ділянки струменя, яка містить ядро потоку [5]. А при $D/d < 1,87$ довжина початкової ділянки приблизно дорівнює довжині зони оберненої течії [5, с. 92].

Струмінь, який втікає в канал, на відміну від вільного затопленого струменя, взаємодіє з турбулізованим середовищем [5, с.40], тобто зі збуреним навколишнім середовищем, яке має високий рівень турбулентних пульсацій швидкості [5, с. 19].