

УДК 621.316.1

Застосування методу лінійної згортки для вибору джерела альтернативної енергії

С.В. Леснік, Т.А. Хижняк, канд. техн. наук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,

вул. Політехнічна, 16, корпус 12, м. Київ, 03056, Україна.

В статті вирішена задача багатокритеріального вибору джерела альтернативної енергії шляхом застосування методу лінійної згортки. Відображено основні етапи реалізації даного методу для конкретних початкових умов та заданих критеріїв вибору. Розглянуто особливості реалізації методу лінійної згортки при збільшенні кількості критеріїв та змінних. Даний метод розглядається як основа для побудови алгоритмів керування джерелами в складі енергетичних систем типу Micro Grid чи Smart Grid. Бібл. 4.

Ключові слова: енергетична система, джерело альтернативної енергії, багатокритеріальний вибір, метод лінійної згортки.

Вступ

Залежність інфраструктури сучасного світу від надійної та безперебійної подачі електроенергії є незаперечною. На жаль, таке явище як збої з подачею електричної енергії до різних об'єктів, є досить поширеними явищами у багатьох регіонах, особливо в зимовий період та за несприятливих погодних умов.

Тому актуальним є питання переходу від використання енергосистем заснованих виключно на традиційних джерелах енергії, до енергосистем, що містять додатково ще і альтернативні джерела електричної енергії. Передусім, це світлова енергія Сонця, енергія вітру та геотермальна енергія. За прогнозом до 2020 р. такі джерела замінять близько 2,5 млрд тон палива [3], а їх частка у виробництві електроенергії і тепла складе не менше 8%, оскільки, наприклад, енергія Сонця надходить на поверхню Землі в об'ємах, що в 14-20 тис. разів перевищують об'єм енергії, що виробляють всі техногенні джерела планети [1].

Спільне використання загальної мережі живлення та альтернативних джерел є технічним рішенням, що дозволяє забезпечити безперебійне надходження електричної енергії до споживачів. Практична реалізація цього рішення передбачає розв'язання наступних задач:

- узгодження роботи альтернативних джерел, навантажень та загальної мережі електричного живлення;
- вибір таких умов роботи альтернативних джерел, які забезпечують максимальний відбір енергії без надмірного зношування джерел та перетворювачів електричної енергії;
- вибір оптимальної потужності альтернативних джерел;
- оптимізація структури енергетичних систем з альтернативними джерелами та електричною мережею;
- зберігання енергії, отриманої від альтернативних джерел.

Вирішення цих задач передбачає як пошук нових технічних рішень, так і розробку нових принципів керування та їх практичну реалізацію.

Метою даної роботи є визначення методу вибору альтернативного джерела з множини наявних в енергосистемі, яке було б найкращим варіантом з позиції заданих умов роботи та критеріїв вибору. Реалізація даного завдання є одним з етапів розв'язання задачі керування в енергетичних системах типу Micro Grid чи Smart Grid та оптимізації їх структури.

1. Огляд методів розв'язання багатокритеріальних задач

У кожного альтернативного джерела є оптимальні умови роботи, які передбачають його доцільне використання за умови отримання необхідного об'єму енергії. Зокрема, надмірне сонячне опромінення викликає вигорання фотоелементів сонячних батарей та призводить до зниження їх коефіцієнта корисної дії. Крім того, в нічний час сонячні батареї не працюють, а навпаки є навантаженням, на якому розсіюється енергія, що також необхідно враховувати при експлуатації. При застосуванні вітрових установок лопаті та внутрішні механічні частини піддаються великому тиску при надмірній силі вітру або перевищенні допустимої швидкості обертання вітряків, що також може стати причиною їх виходу з ладу.

Оскільки працездатність альтернативних джерел суттєво залежить від багатьох факторів, необхідно розробити способи вибору джерела живлення залежно від погодних умов та вимог споживача.

Таким чином, постає задача багатокритеріального вибору, яка вирішується одним з наступних методів:

- принцип Парето;
- метод головного критерію;
- метод аналізу ієрархій;
- метод лінійної згортки.

Принцип Парето [2] - це субоптимальне рішення багатокритеріальної задачі, знайдене за якимось одним критерієм без урахування інших критеріїв.

Принцип Парето дозволяє звужити множину можливих претендентів на остаточне рішення, обмежившись елементами множини Парето, і виключити з розгляду свідомо неконкурентоспроможні варіанти. А остаточний вибір здійснюється на основі додаткової інформації від особи, що приймає рішення.

Недоліком принципу Парето є те, що він пропонує множину рішень, що не завжди є прийнятним, оскільки для того, щоб вибрати з неї єдине рішення потрібні додаткові відомості, припущення, домовленість про те, що ж вважати найкращим рішенням (тобто, деяка додаткова інформація).

При застосуванні методу головного критерію [4] в якості цільової функції обирається один з функціоналів і розв'язується однокритеріальна задача, в якій інші функціонали беруть участь лише у вигляді обмежень. Застосування такого методу зазвичай наштовхується на труднощі, пов'язані з можливою наявністю декількох «головних» критеріїв, що знаходяться в протиріччі один з одним.

Математичним інструментом системного підходу до розв'язання складних задач прийняття рішень є метод аналізу ієрархій (MAI) [2]. MAI, як і інші методи, не вказує особі, що приймає рішення, визначеного правильного рішення, а дозволяє їй в інтерактивному режимі знайти такий варіант, який найкращим чином узгоджується з розумінням суті проблеми і вимогами до її вирішення. Аналіз проблеми прийняття рішень в MAI починається з побудови ієрархічної структури, яка включає мету, критерії, альтернативи і інші фактори, що впливають на вибір. Наступним етапом аналізу є визначення пріоритетів, що відображають відносну важливість або перевагу елементів побудованої ієрархічної структури, за допомогою процедури парних порівнянь. Безрозмірні пріоритети дозволяють об'ру-

нтовано порівнювати різномірні фактори, що є відмінною рисою MAI. На заключному етапі аналізу виконується синтез (лінійна згортка) пріоритетів на ієрархії, в результаті чого обчислюються пріоритети альтернативних рішень щодо головної мети. Кращою вважається альтернатива з максимальним значенням пріоритету.

Ідея методу лінійної [2] згортки полягає в побудові єдиної цільової функції на основі заданої множини цільових функцій. Вибір того чи іншого виду згортки визначається характером взаємозв'язків складових її критеріїв (рівнозначні, домінуючі і т.п.), а також деякими спеціальними обмеженнями на область значень згортки, що впливають із специфіки конкретної задачі. Основні труднощі, що виникають при формуванні та використанні узагальнених критеріїв, полягають в складності визначення вагових коефіцієнтів, на які покладено функцію адекватного відображення ступеня важливості критерію, його фізичної розмірності і, іноді, інших факторів. До недоліків узагальнених критеріїв слід також віднести і те, що при оцінці вони не дозволяють враховувати ієрархічну залежність результуючого показника від значень часткових показників.

Враховуючи переваги та недоліки розглянутих методів, для вирішення багатокритеріальної задачі вибору джерела альтернативної енергії було обрано метод лінійної згортки як найбільш простий в реалізації, але при цьому достатньо об'єктивний.

2. Реалізація методу лінійної згортки для вибору альтернативного джерела в складі системи електричного живлення

Вирішується задача оптимального вибору джерела альтернативної енергії серед наступних:

- фотобатарея (для її представлення вводиться змінна x_1);
- вітрогенератор (змінна x_2);
- дизельний генератор (змінна x_3).

Як критерії оптимальності вибору обрано:

1. критерій f_1 - погодні умови (для прикладу розглянуто варіант з низькою тепловіддачею сонця та достатньою силою вітру);
2. критерій f_2 - екологічність джерела;
3. критерій f_3 - вартість енергії, що генерується джерелом кВт/год.

Використання методу передбачає знаходження двох згорток:

- перша згортка відкидає невідомі альтернативи за всіма критеріями;

– друга згортка – враховує вагові коефіцієнти важливості кожного з критеріїв та відкидає інші невідомі альтернативи.

При застосуванні методу лінійної згортки вводяться відносні вагові коефіцієнти важливості кожного критерію $W_j \geq 0$, сума яких $\sum_j W_j = 1$,

і які у процентному відношенні відображають важливість кожного параметру для особи, що приймає рішення.

Для задачі вибору джерела альтернативної енергії обрано наступні значення: важливість погодних умов $W_1 = 30\%$, значення екологічності $W_2 = 10\%$ і важливість затрат на генерацію енергії $W_3 = 60\%$. Тобто основним для споживача є економічний критерій – вартість енергії, що генерується.

Наступним кроком є знаходження відношення переваг R_j по кожному критерію.

Аналізуючи перший критерій – погодні умови, можна зробити висновок, що при слабкому сонячному опроміненні фотобатарея матиме малий коефіцієнт корисної дії відносно вітрогенератора, тому саме другому джерелу віддається перевага – $x_2 \succ x_1$. З іншого боку, враховуючи той факт, що робота дизельного генератора взагалі не залежить від погодних умов, він матиме перевагу відносно вітрогенератора, тобто $x_3 \succ x_2$.

Аналіз погодних умов виконується виходячи з показів датчиків потужності, що відбирається від джерела. Залежно від їх показів обирається продуктивніше джерело та/чи захищається від впливу навколишнього середовища у випадку аномальної погоди для кожного з джерел.

Таким чином відношення переваг R_1 для першого критерію (погодних умов) записується наступним чином:

$$R_1: x_2 \succ x_1, x_3 \succ x_2, x_3 \succ x_1.$$

Запишемо аналогічно узагальнені дані за всіма критеріями, враховуючи, що при неможливості віддання переваги тому чи іншому критерію між ними встановлюється рівність $x_i = x_j$:

$$R_2: x_2 \succ x_3, x_2 = x_1, x_3 \prec x_1;$$

$$R_3: x_2 \succ x_1, x_1 \succ x_3, x_2 \succ x_3.$$

Знаходимо функцію приналежності – матрицю $\mu_{R_i}(x_i, x_j)$, в якій рядками та стовпцями є альтернативи (1).

$$\mu_{R_i}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & x_{1,3} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & x_{2,3} \\ x_{3,1} & x_{3,2} & x_{3,3} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Матриця $\mu_{R_i}(x_i, x_j)$ заповнюється вона таким чином, що на перетині i -того рядка та j -того стовпчика ставиться:

«0», якщо альтернативі i віддається менша перевага, ніж альтернативі j : $x_i \prec x_j$ ($x_{2,1} = 1$ при $x_2 \prec x_1$);

«1», якщо альтернативі i віддається більша перевага, ніж альтернативі j : $x_i \succ x_j$ ($x_{2,1} = 0$ при $x_2 \succ x_1$);

Функція приналежності будується для кожного окремо взятого критерію. Наприклад, для першого критерію R_1 формується така матриця:

$$\mu_{R_1}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Перший рядок показує матриці (2), що за першим критерієм фотобатарея x_1 немає переваги ні перед якою іншою альтернативою, тому елементи матриці $x_{1,2}$ та $x_{1,3}$ рівні нулю. Аналогічно заповнюються інші рядки та матриці функцій приналежності.

Для двох інших критеріїв матриці набувають наступного виду:

$$\mu_{R_2}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$\mu_{R_3}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Наступним кроком є визначення першої згортки методом поелементного визначення мінімуму між всіма функціями приналежності (2)-(3) та запису цього мінімуму у відповідну матрицю $\mu_{Q_1}(x_i, x_j)$:

$$\mu_{Q_1}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} x'_{1,1} & x'_{1,2} & x'_{1,3} \\ x'_{2,1} & x'_{2,2} & x'_{2,3} \\ x'_{3,1} & x'_{3,2} & x'_{3,3} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Елементи матриці (4) $x'_{i,j}$ визначаються як мінімальне значення елемента $x_{i,j}$ по всіх знайдених матрицях $\mu_{R_i}(x_i, x_j)$:

$$\mu_{Q_1}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Далі шляхом знаходження по елементного максимуму різниці матриці $\mu_{Q_1}(x_i, x_j)$ та транспонованої до неї матриці $\mu_{Q_1}(x_i, x_j)$ визначається ступінь переваги альтернативи x_i відносно x_j :

$$x_{ij}^s = \max\{0; x'_{ij} - x'_{ji}\},$$

причому від'ємний результат замінюється на 0.

Результатом є формування матриці $\mu_{Q_1^s}(x_i, x_j)$, яка відображає взаємну перевагу альтернатив:

$$\mu_{Q_1^s}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} x_{11}^s & x_{12}^s & x_{13}^s \\ x_{21}^s & x_{22}^s & x_{23}^s \\ x_{31}^s & x_{32}^s & x_{33}^s \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Для наведеної матриці (5) елемент x_{12}^s в результуючій матриці $\mu_{Q_1^s}(x_i, x_j)$ визначається як:

$$x_{12}^s = \max\{0; x'_{12} - x'_{21}\} = \max\{0; 0 - 1\} = 0.$$

Розрахувавши аналогічно всі елементи, формується матриця:

$$\mu_{Q_1^s}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Останньою операцією над першою згорткою є визначення ступеня, з яким альтернатива x_j не домінується ні однією іншою альтернативою. Для цього знаходиться різниця $x_j^{H\partial} = 1 - \max\{x_{ij}^s\}$. Наприклад, відповідно до матриці (7) елемент $x_1^{H\partial} = 1 - \max\{x_{i1}^s\} = 1 - 1 = 0$, де елемент x_{i1}^s – максимальний елемент у першому стовпчику матриці (7), визначений по всіх i -х рядках.

В результаті формується вектор наступного вигляду:

$$\mu_{Q_1^{H\partial}}(x_i, x_j) = [x_1^{H\partial} \quad x_2^{H\partial} \quad x_3^{H\partial}] = [0 \quad 1 \quad 1]. \quad (8)$$

Друга згортка, яка передбачена даним методом, враховує важливість кожного з критеріїв.

Для цього функції приналежності (2)-(3) домножаються на вагові коефіцієнти W_1 - W_3 :

$$\mu_{R_1}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 0,3 & 0 & 0 \\ 0,3 & 0,3 & 0 \\ 0,3 & 0,3 & 0,3 \end{bmatrix},$$

$$\mu_{R_2}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 0,1 & 0,1 & 0,1 \\ 0,1 & 0,1 & 0,1 \\ 0 & 0 & 0,1 \end{bmatrix},$$

$$\mu_{R_3}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 0,6 & 0 & 0,6 \\ 0,6 & 0,6 & 0,6 \\ 0 & 0 & 0,6 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Кінцева згортка $\mu_{Q_2}(x_i, x_j)$ будується шляхом поелементної суми отриманих матриць функції приналежності (9):

$$\mu_{Q_2}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} x''_{1,1} & x''_{1,2} & x''_{1,3} \\ x''_{2,1} & x''_{2,2} & x''_{2,3} \\ x''_{3,1} & x''_{3,2} & x''_{3,3} \end{bmatrix},$$

$$\mu_{Q_2}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 1 & 0,1 & 0,7 \\ 1 & 1 & 0,7 \\ 0,3 & 0,3 & 1 \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Аналогічно першій згортці за коефіцієнтами матриці (10) визначається ступінь переваги альтернативи x_i відносно x_j (матриця $\mu_{Q_2}(x_i, x_j)$) та ступінь, з яким альтернатива x_j не домінується ні однією іншою альтернативою (вектор $\mu_{Q_2^{H\partial}}(x_i, x_j)$):

$$\mu_{Q_2^s}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0,4 \\ 0,9 & 0 & 0,4 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$\mu_{Q_2^{H\partial}}(x_i, x_j) = [0,1 \quad 1 \quad 0,6]. \quad (11)$$

Далі виконується аналіз отриманих згорток (8) та (11), шляхом визначення максимальної оцінки:

$$\mu_Q(x_0) = \max \mu_{Q^{H\partial}}(x).$$

При цьому альтернативи, які в згортці (8) отримали «0» не враховуються:

$$\mu_Q(x_0) = \max \mu_{Q^{H\partial}}(x) \text{ і}$$

$$\mu_Q(x_0) = \max \mu_Q(x_2). \quad (12)$$

В рівнянні (12) як найкраща альтернатива визначена змінна x_2 , оскільки цій змінній відповідають максимальні значення «1» в обох згортках (8) та (11). Оскільки ця змінна відображає

вітрогенератор, отже при заданих умовах його можна вважати оптимальним варіантом серед представлених джерел альтернативної енергії.

Розглянутий метод легко розширяється при зростанні кількості альтернатив та критеріїв шляхом збільшення розмірності матриць та їх кількості. Враховуючи просту програмну реалізацію зберігається його гнучкість, що забезпечує швидку обробку даних. Наприклад, для даного прикладу з трьома альтернативами та критеріями кількість простих (додавання, віднімання, визначення мінімуму) операцій складає близько 150, тоді як при використанні чотирьох альтернатив та шести критеріїв – 400 операцій. Для не потужного комп'ютера з частотою роботи 2 ГГц та виділенням 5 тактів на операцію час роботи можливо розрахувати за формулою:

$$t = \frac{N}{f} = \frac{2000}{2 \cdot 10^9} = 1 \text{ мкс} .$$

Аналіз енергетичних характеристик кожного з джерел базується на вимірюванні параметрів, що характеризують погодні умови та визначають фактичні об'єми генерації енергії. Економічним аспектом є вплив не тільки фактично генерованої енергії, але і її вартість, що варіюється між джерелами (так, наприклад, при трохи кращих погодних умовах для сонячної батареї, вибір може впасти на вітрогенератор, через меншу ступінь його амортизації). Враховуючи коефіцієнти важливості, для когось екологічність джерела чи наявний шум від його роботи може зіграти настільки важливу роль, що тільки при значній розбіжності в економічних показниках вибір впаде на більш вигідне з економічної точки зору джерело.

Вузьким місцем даного методу є визначення відношень переваг критеріїв. Оскільки ця процедура містить суб'єктивну думку особи, що приймає рішення, то необхідно в якості критеріїв обирати характеристики, які підлягають вимірюванню, розрахунку або можуть бути кількісно оцінені і задані.

Висновки

В системі Micro Grid кожна підсистема живлення може бути налаштована окремо під конкретного споживача, з яким вона пов'язана, залежно від заданих користувачем критеріїв.

Розв'язання задач багатокритеріального вибору на етапі проектування підсистем електроживлення дозволить визначити потужність джерел альтернативної енергії залежно від вимог користувача та множини погодних умов, типових для місця встановлення джерел живлення, тим самим вирішуючи задачу оптимізації структури енергетичної системи в цілому. Крім того, за результатами обчислень може бути сформована база даних прецедентів, що дозволить обирати один з типових алгоритмів поведінки системи енергозабезпечення залежно від заданих початкових умов.

Обраний для вибору джерела альтернативної енергії метод лінійної згортки дозволяє максимально виключити людський фактор з процесу керування енергосистемою за умови відповідного вибору критеріїв. Даний метод показує високу швидкодію, що дозволяє використовувати його в режимі реального часу, і легко змінюється при зміні кількості джерел та критеріїв вибору.

Література

1. *Бреусов В. П.* Использование солнечной энергии в дачных домах (на приусадебных участках)// *Праці Ін-ту електродинаміки НАН України.* – 2007. – Вип. 12. – С. 64–69.
2. *Зайченко Ю. П.* Дослідження операцій: Підручник, 7-е вид., перероб. та доп. – К.: Вид. дім «Слово», 2006. – 816 с.
3. *Петергеря Ю.С., Жуйков В.Я., Терещенко Т.О.* Інтелектуальні системи забезпечення енергозбереження житлових будинків. Навчальний посібник. – К.: Медіа-ПРЕС, 2008. – 256 с.
4. *Черноруцкий И. Г.* Методы принятия решений: Учебное пособие. – СПб: БХВ-Петербург, 2005. – 51с.

УДК 621.316.1

Применение метода линейной свертки для выбора источника альтернативной энергии

С.В. Лесник, Т.А. Хижняк, канд. техн. наук

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
ул. Политехническая, 16, корпус 12, г. Киев, 03056, Украина.

На сегодняшний день актуальным является использование источников альтернативной энергии (солнечной, ветровой, геотермальной) наряду с традиционными источниками. Такое техническое решение позволяет обеспечить бесперебойное поступление электроэнергии к потребителям. Однако, зависимость эффективности функционирования источников альтернативной энергии от погодных условий требует разработки таких методов и алгоритмов управления процессами в энергетических системах, которые обеспечивают подключение и отключение этих источников в зависимости от требований пользователя. Создание таких алгоритмов предусматривает решение задач многокритериального выбора. На примере системы, содержащей три источника альтернативной энергии - фотобатарею, ветрогенератор и дизельный двигатель - для заданных погодных условий продемонстрировано выбор одного из источников по методу линейной свертки и рассмотрены условия расширения применения данного метода при увеличении количества источников или критериев и при использовании в качестве критериев параметров, подлежащих непосредственному или опосредованному измерению. Библ. 4.

Ключевые слова: энергетическая система, источник альтернативной энергии, многокритериальный выбор, метод линейной свертки.

UDC 621.316.1

Application of the linear convolution to select a source of alternative energy

S.V. Lesnik, T.A. Khyzhnyak, Ph.D.

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute",
str. Peremogy , 37, building 12, Kyiv, 03056, Ukraine.

The use of alternative energy sources (solar, wind, geothermal), together with traditional sources is relevant for today. This ensures uninterrupted flow of electricity to consumers. However, the efficiency of alternative energy sources is dependent on weather conditions. Therefore, the development of control methods and control algorithms in power systems for providing the connection and disconnection of these sources, depending on user requirements, is actual. Creating these algorithms provides a solution to task of multi-selection. The system that contains three sources of alternative energy - photoelectric, wind generator and a diesel engine considered in this paper. This example shows the selection of one of the sources of the method of linear convolution for specific weather conditions. The conditions for extension of the method were considered when the number of sources or criterias is increasing and when we use as criterias different parameters which can be measured directly or indirectly. References 4.

Keywords: energy system, alternative energy source, multi-criteria selection, the method of linear convolution.

References

1. *Breusov V.P.* (2007), Ispolzovanie solnechnoi energii v dachnih domah (na priusadebnykh uchastkakh) [The use of solar energy in country cottages (in home gardens)]. Pratsi Instytutu Elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy. Vol. 12, pp.64–69. (Rus)
2. *Zaichenko Yu.P.* (2006), Doslidzhennia operatsii: Pidruchnyk, 7-t vyd., pereroblene ta dop. [Operations research]. Kyiv, Vyd. dim "Slovo", P. 816. (Ukr)
3. *Petergeria Yu.S., Zhuikov V.Ya., Tereshchenko T.O.* (2008), Intelktualni systemy zabezpechennia energozberezhennia zhytlovykh budynkiv. Navchalnyi posibnyk [Intelligent systems for energy-efficient homes]. Kyiv, Media-PRES. P. 256.(Ukr)
4. *Chernorutskiy I.G.* (2005), Metody priniatiia reshenii: Uchebnoie posobiie [Decision-making methods]. St. Petersburg, BHV-Petersburg. P. 51. (Rus)

Поступила в редакцию 27 мая 2013 г.