основного объема, в котором размещены лампы, от окружающей атмосферы достигается загрузкой ламп через заполненный водой сифон [5]. Для проталкивания лампы через сифон служит специальный рычаг, изогнутый по форме сифона.

Хотя каждый из конструктивных вариантов устройств для хранения и транспортирования трубчатых ЛЛ имеет свои достоинства и недостатки, необходимо выбрать наиболее приемлемый из них или разработать новый с применением известных принципов для создания унифицированной емкости многократного использования с обменом заполненной емкости на пустую.

1.Багиров С.А., Брезинский В.Г., Джалилов В.А., Сорока К.А. Экологические проблемы эксплуатации разрядных ламп в городском хозяйстве // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.2. – К.: Техніка, 1993. – С.65-67.

2.Патент СССР №1790533, кл. В 65 D 6/08, 1993.

3.Авт. свид. СССР №1747332, кл. В 65 D 85/42, 1992.

4.Авт. свид. СССР №1729945, кл. В 65 D 85/00, 1992.

5.Авт. свид. СССР №1822851, кл. В 65 F 1/00, 1993.

Получено 09.06.2001

УДК 621.332

Е.І.КАРПУШИН, канд. техн. наук
Харківська державна академія міського господарства

ЕНЕРГОЗАОЩАДЖУЮЧЕ КЕРУВАННЯ РУХОМОЮ ОДИНИЦЕЮ НА ПЕРЕГОНІ БЕЗ ПРОМІЖНИХ ГАЛЬМУВАНЬ

Досліджуються умови проходження перегону за заданий час при мінімумі витрат енергії на рух.

Проходження перегону довжиною S_n за певний час T_n можливе з безліччю варіантів, кожний з яких характеризуватиметься певними витратами енергії. Навіть при точному дотриманні ходового часу T_n витрати енергії будуть випадковими величинами зі своїм розподілом. Якщо це так, то становлять особливий інтерес умови, за яких реалізується розташована по лівий бік від середнього частина розподілу, бо звідси можна отримати практичні рекомендації з керування рухомою одиницею з найменшими витратами енергії.

Розглянемо перегін, на якому для дотримання середньої швидкості транспортного потоку достатньо робити тільки один повторний пуск від швидкості V_1 закінчення першого вибігу довжиною S_1 та тривалістю t_1, до швидкості V_2 на початку другого вибігу довжиною S_2 тривалістю t_2. Довжину і тривалість повторного пуску позначимо через S_{nn} і t_{nn}. Для заданого ходового часу маємо

$$\begin{cases} S_p + S_1 + S_{nn} + S_2 + S_г = S_n; \\ t_p + t_1 + t_{nn} + t_2 + t_г = T_n, \end{cases}$$

в якій змінні зв'язані між собою регресійними залежностями.

У першій зоні відбувається робота з підвищення кінетичної енергії рухомої одиниці з вагою тари G_m і робота подолання опору рухові:

$$A_n = G_m \left[\frac{10^3(1+\gamma+\lambda)}{9{,}81 \cdot 2}(K_n V_n^2 + V_p^2) + (1+\lambda)\left(K_n \int_0^{S_n} w(S)dS + \int_0^{S_p} w(S)dS \right) \right],$$

де K_n – коефіцієнт пуску; V_n, S_n – швидкість виходу на автоматичну характеристику повного поля та відповідний шлях розбігу; $(1+\gamma+\lambda)$ – коефіцієнт, що враховує еквівалентну масу обертових частин привода та пасажирське навантаження.

У другій зоні енергія витрачається на підвищення втраченої на попередньому вибігу кінетичної енергії та роботу з подолання сили опору рухові:

$$A_{nn} = G_m \left[\frac{10^3(1+\gamma+\lambda)}{9{,}81 \cdot 2}(V_2^2 - V_1^2) + (1+\lambda) \int_0^{S_{nn}} w(S)dS \right].$$

Для визначення споживання електроенергії, приведеного до джерела електропостачання, механічний еквівалент треба розділити на сукупний коефіцієнт корисної дії, яким враховуються втрати при електромеханічному перетворенні електроенергії в тягових двигунах, і втрати на перетворення та передачу електроенергії від джерела до струмоприймача.

Функції питомого опору рухові, як відомо, мають вигляд

$$w = a + i + bV^2,$$

в яких $a+i$ відповідають постійним і залежним від шляху факторам, а b – складовій, що залежить від швидкості. Випадкові величини швидкості на межах першої та другої зон, довжини та тривалості розбігу і гальмування зв'язані між собою стохастичними рівняннями

$$S_p = A_p + B_p V_p^2 + \varepsilon_{s\,p}; \quad t_p = C_p + D_p V_p + \varepsilon_{t\,p};$$

$$S_г = A_г + B_г V_г^2 + \varepsilon_г; \quad t_г = C_г + D_г V_г + \varepsilon_{tг},$$

в яких через ε_s, ε_t позначені некорельовані випадкові добавки з нульовим середнім та кінцевими дисперсіями. Коефіцієнти *A, B, C, D* з індексами розбігу і гальмування є коефіцієнтами параболічної та лінійної регресії.

Замість постійних коефіцієнтів *A, C* візьмемо випадкові числа α_s, α_t з математичними сподіваннями *A, C*:

$$S_p = (A_p + B_pV_p^2 + \varepsilon_{sp}) \to B_pV_p^2 + \alpha_{sp}; \quad t_p = (C_p + D_pV_p + \varepsilon_{tp}) \to D_pV_p + \alpha_{tp};$$

$$S_г = (A_г + B_гV_г^2 + \varepsilon_{sг}) \to B_гV_г^2 + \alpha_{sг}; t_г = (C_г + D_гV_г + \varepsilon_{tг}) \to D_гV_г + \alpha_{tг}.$$

З урахуванням цього вираз для механічної роботи під час розбігу набуває вигляду

$$A_p = \left[\frac{10^3(1+\gamma+\lambda)}{9{,}81}(K_nV_n^2 + V_p^2) + (1+\lambda)\left(a + i - \frac{b\alpha_s}{B}\right)(K_nS_n + S_p) + b(K_nS_n^2 + S_p^2)\right].$$

Використовуючи відповідну формулу зв'язку між прирощенням швидкості та відстанню, маємо

$$A_{nn} = G_m\left\{\frac{10^3(1+\gamma+\lambda)}{9{,}81\cdot 2}(V_2^2 - V_1^2)\left[\frac{1+(1+\lambda)\left(a+i+b\frac{V_2^2+V_1^2}{2}\right)}{\frac{10^3(1+\lambda)}{9{,}81}f_p\left[V_1V_2 - g(V_1+V_2)+h_p\right]}\right]\right\}.$$

З цього виразу випливає, що належним вибором довжини першого вибігу, прирощення швидкості під час повторного пуску, довжини другого вибігу в середній частині перегону можна отримати різні величини витрат енергії.

Візьмемо до уваги, що проходження перегону заданої довжини S_n за наперед визначений час T_n при вже реалізованих швидкості наприкінці першої зони V_p та відстані S_p можливе тільки при певному сполученні $V_1, V_2, V_г$. Це сполучення повинно задовольняти вищенаведеній системі рівнянь складових довжини й часу проходження перегону, яка таким чином відображає обмеження.

Розкриємо вирази для відрізків часу та довжин і підставимо їх до системи рівнянь

$$t_1=\frac{2\left(V_p-\sqrt{V_pV_1}\right)}{f_в(V_p^2+h_в)};\quad S_1=\frac{V_p(V_p-V_1)}{f_в(V_p^2+h_в)};$$

$$t_2=\frac{2\left(V_2-\sqrt{V_2V_г}\right)}{f_в(V_2^2+h_в)};\quad S_2=\frac{V_2(V_2-V_г)}{f_в(V_2^2+h_в)};$$

$$t_{nn}=\frac{V_2-V_1}{f_p[V_1V_2-g(V_1+V_2)+h_p]};S_{nn}=\frac{V_2^2-V_1^2}{2f_p[V_1V_2-g(V_1+V_2)+h_p]},$$

$$f_p=\frac{C\text{-}bG_m(1+\lambda)}{102G_m(1+\gamma+\lambda)};\quad 2g=-\frac{B}{C\text{-}bG_m(1+\lambda)};\quad h_p=-\frac{A\text{-}G_m(1+\lambda)a}{C\text{-}bG_m(1+\lambda)}.$$

$$f_в=\frac{b(1+\lambda)}{102(1+\gamma+\lambda)};\quad h_в=\frac{a}{b}.$$

Тут A, B, C – коефіцієнти апроксимації тягової характеристики.

У дійсності початок гальмування визначається не розрахунками, а стереотипом дій водія та ситуацією на смузі руху. Тоді єдиними величинами, на які більш-менш упевнено може впливати водій, є приріст швидкостей повторного пуску. З урахуванням цього маємо систему рівнянь

$$\begin{cases} S_1+S_{nn}+S_2=S_n-\left(B_pV_p^2+B_гV_г^2+\alpha_s\right); \\ t_1+t_{nn}+t_2=T_n-\left(C_pV_p+C_гV_г+\alpha_t\right), \end{cases}$$

$$\alpha_s=A_p+A_г+\alpha_{sp}+\alpha_{sг};\quad \alpha_t=C_p+C_г+\alpha_{tp}+\alpha_{tг},$$

в якій до рівномірного розподілу приєднано постійні додатки, що не змінює вигляду розподілу, а тільки його масштаб [1]. Підставляючи вираз для часу і довжин та виконавши спрощення, маємо

$$\begin{cases} \dfrac{V_p\left(V_p-V_1\right)}{f_в\left(V_p^2+h_в\right)}+\dfrac{V_2^2-V_1^2}{2f_p[V_1V_2-g(V_1+V_2)+h_p]}+\dfrac{V_2\left(V_2-V_г\right)}{f_в\left(V_2+h_в\right)}= \\ \qquad =S_n-\left(B_pV_p^2+B_гV_г^2+\alpha_s\right); \\ \dfrac{2\left(V_p-\sqrt{V_pV_1}\right)}{f_в\left(V_p^2+h_в\right)}+\dfrac{V-V}{f_p[V_1V_2-g(V_1+V_2)+h_p]}+\dfrac{2\left(V_2-\sqrt{V_2V_г}\right)}{f_в\left(V_2{}^2+h_в\right)}= \\ \qquad =T_n-\left(C_pV_p+C_гV_г+\alpha_t\right). \end{cases}$$

Система рівнянь такого вигляду допускає наближене розв'язання, коли відшукувані невідомі V_1, V_2 визначити через комбінації поліномів R_1 , R_2, складених з коефіцієнтів рівнянь:

$$V_1 = \frac{R_2 - R_1}{2}; \quad V_2 = \frac{R_1 + R_2}{2}; \quad V_1^2 + V_2^2 = \frac{R_1^2 + R_2^2}{2}; \quad V_2^2 - V_1^2 = R_1 R_2;$$

$$S_c = S_n - \left(B_p V_p^2 + B_г V_г^2 + \alpha_s\right); \qquad V_c = \frac{S_n - \left(B_p V_p^2 + B_г V_г^2 + \alpha_s\right)}{T_n - \left(C_p V_p + C_г V_г + \alpha_t\right)}.$$

Таким чином, вираз витрат енергії набуде вигляду

$$A_{nn} = G_m \left\{ \frac{10^3 (1+\gamma+\lambda)}{2 \cdot 9{,}81} R_1 R_2 \left[\frac{1+(1+\lambda)\left(a+i+b\dfrac{R_1^2+R_2^2}{2}\right)}{\dfrac{10^3}{9{,}81} f_p (1+\lambda)\left(\dfrac{R_2^2 - R_1^2}{4} - g_p R_2 + h_p\right)} \right] \right\}.$$

Як бачимо, мінімум роботи буде при мінімально можливій різниці між швидкостями повторного розбігу.

Взаємозв'язаність між собою швидкості закінчення розбігу, початку гальмування та швидкостей повторного пуску при заданому часі проходження перегону обумовлює зворотну залежність витрат енергії на рух від середньої швидкості в другій зоні: при зменшенні V_c витрати енергії збільшуються. Так, при зменшенні середньої швидкості з 10,673 до 9,794 м/с, тобто на 8%, витрати енергії зростають з 1,304 до $1{,}371.10^6$ Втс, або на 5%. Це парадоксальне на перший погляд явище пояснюється тим, що приріст швидкості під час повторного пуску для меншої середньої швидкості повинен бути більше, ніж для більшої.

Отже, навчання водіїв енергозберігаючому керуванню в середній частині перегону повинно спрямовуватись на мінімізацію відхилень швидкості від середньої.

1.Сеа Ж. Оптимизация. Теория и алгоритмы. – М.: Мир, 1973. – 447 с.

Отримано 21.08.2001