

УДК 692.66:62-83



А.А. Бойко,
к.т.н., доцент,
директор інститута
електромеханіки і
енергоменеджмента
Одеського
національного
політехнічного
університета
e-mail: dart77@ukr.net

СИНТЕЗ И АНАЛИЗ ДИАГРАММ ДВИЖЕНИЯ ЛИФТОВЫХ ПОДЪЕМНЫХ МЕХАНИЗМОВ

А.А. Бойко. Синтез и анализ диаграмм движения лифтовых подъемных механизмов. Приводятся результаты изучения диаграмм движения лифтовых подъемных механизмов. Диаграммы движения рассматриваются как оптимальные по критерию обеспечения максимальной производительности при соблюдении условий комфортного перемещения. Синтез диаграмм выполнен для случаев ограничения только ускорения и ограничения ускорения и рывка.

A.A. Boyko. The synthesis and analysis of the movement diagrams of the elevators elevating mechanisms. The results of the movement diagrams study of the elevators elevating mechanisms is executed. The movement diagrams are considered as optimum by criterion of the maximal productivity at observance of comfortable moving. The synthesis of the diagrams is executed for restriction only of acceleration both restriction of acceleration and jerk.

Введение. Главной особенностью работы механизмов подъема пассажирских лифтов является необходимость реализации динамических режимов - ускорения и замедления, с заданными ограничениями скорости, ускорения и ее производной (рывка) [1]. Соответствующие этим условиям диаграммы движения рассматриваются как оптимальные по критерию обеспечения максимальной производительности при соблюдении условий комфортного перемещения [2]. Задача синтеза заключается в расчете задающих воздействий необходимых для формирования диаграммы, обеспечивающей отработку заданного перемещения с заданными ограничениями.

Материал и результаты исследования. Рассмотрим решение задачи синтеза диаграмм движения лифтовых подъемных механизмов для случаев ограничения только ускорения, рис. 1,а и ограничения ускорения и рывка, рис. 1,б. На рисунке приведены: φ, φ_c – угловой путь вала двигателя, задача по пути, rad ; ω, ω_m – угловая скорость, максимальная скорость, rad/s ; $\varepsilon, \varepsilon_m$ – угловое ускорение, максимальное ускорение, rad/s^2 ; ρ, ρ_m – угловой рывок, максимальный рывок, rad/s^3 .

Диаграммы движения с ограничением ускорения.

Трапецидальная форма графика скорости. В соответствии с графиком рис. 1, а, высшей производной перемещения является угловое ускорение ε .

Расчеты выполняются по отдельным участкам, поскольку имеют место скачкообразные изменения ускорения.

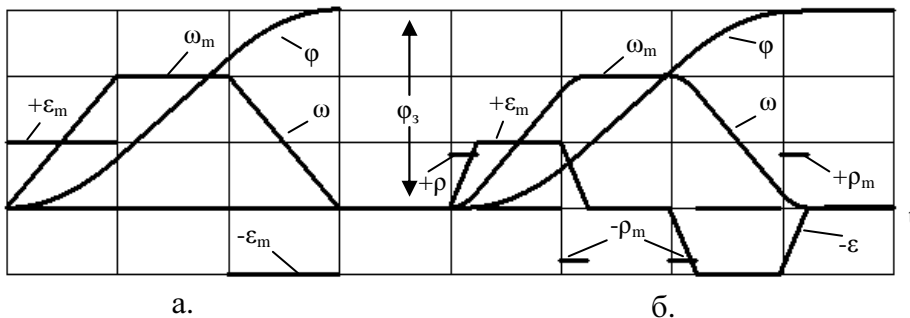


Рис. 1. Графики отработки заданного перемещения в цикле пуск – установившееся движение – замедление а.) с ограничением ускорения; б.) с ограничением ускорения и рывка

Начальные условия функций переменных на каждом новом участке равняются конечным условиям предыдущего участка.

Начальные условия по времени на каждом участке определяются как нулевые [1].

$$\varepsilon = \text{const}, \quad (1)$$

$$\omega = \omega_{\text{нач}} + \int_0^t \varepsilon dt, \quad (2)$$

$$\varphi = \varphi_{\text{нач}} + \int_0^t \omega_{\text{нач}} dt + \int_0^t \varepsilon t dt. \quad (3)$$

Временные функции переменных и значения переменных в пределах участка для трапецидальной диаграммы скорости приведены в табл. 1.

Треугольная форма графика скорости. В отдельных случаях, если задано небольшое перемещение, скорость может не достигать максимальной величины, а участок установившегося движения отсутствовать [3]. Диаграмма скорости в данном случае имеет треугольную форму. Условием этого случая является

$$\frac{\omega_m^2}{\varepsilon_m} \leq \varphi_3 \quad (4)$$

Диаграмма движения имеет 2 участка и задачами расчета являются определение времени разгона и торможения, а так же максимальной скорости, которая достигается механизмом подъема на первом участке.

Таблиця 1 - Характеристики участків трапецеїдальної діаграми руху при обмеженні прискорення

№ уч-ка	Характеристика	Время	Ускорение	Скорость	Путь
1	Функция	$0 < t \leq t_1$	$\varepsilon = \varepsilon_m$	$\omega = \varepsilon t$	$\varphi = \varepsilon t^2 / 2$
	Параметры участка	$t_1 = \omega_m / \varepsilon_m$	$\varepsilon = \varepsilon_m$	$\omega_1 = \varepsilon_m$ $t_1 = \omega_m$	$\varphi_1 = \varepsilon_m t_1^2 / 2$
2	Функция	$t_1 \leq t \leq t_2$	$\varepsilon = 0$	$\omega = \omega_m$	$\varphi = \varphi_1 + \omega_m t$
	Параметры участка	$t_2 = \varphi_2 / \omega_m$	$\varepsilon_2 = 0$	$\omega_2 = \omega_m$	$\varphi_2 = \varphi_3 - 2\varphi_1$
3	Функция	$t_2 \leq t \leq t_3$	$\varepsilon = -\varepsilon_m$	$\omega = \omega_m + \varepsilon t$	$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \omega_m t + \varepsilon t^2 / 2$
	Параметры участка	$t_3 = t_1$	$\varepsilon_3 = -\varepsilon_m$	$\omega_3 = 0$	$\varphi_3 = \varphi_1$

$$t_1 = t_2 = \sqrt{\frac{\varphi_3}{\varepsilon_m}}; \quad \omega_{m1} = \sqrt{\varphi_3 \varepsilon_m} \quad (5)$$

Величини перемещений на першому і другому ділянках

$$\varphi_1 = \varphi_2 = \frac{\varphi_3}{2} \quad (6)$$

Діаграми руху з обмеженням прискорення і ривка. Обмеження ривка при русі підйомного механізму забезпечує максимальну продуктивність при дотриманні умов комфортного переміщення, сприяє значительному зменшенню коливань в пуско-гальмівних режимах [2,4]. Для даної діаграми вища похідна переміщення - це ривок ρ . Розрахунки складаються в інтегруванні цього ривка і зменшення похідної до прискорення ε , швидкості ω і переміщення φ . Початкові умови функцій змінних і часу приймаються аналогічно русі з обмеженням прискорення. В загальному випадку для кожного з ділянок:

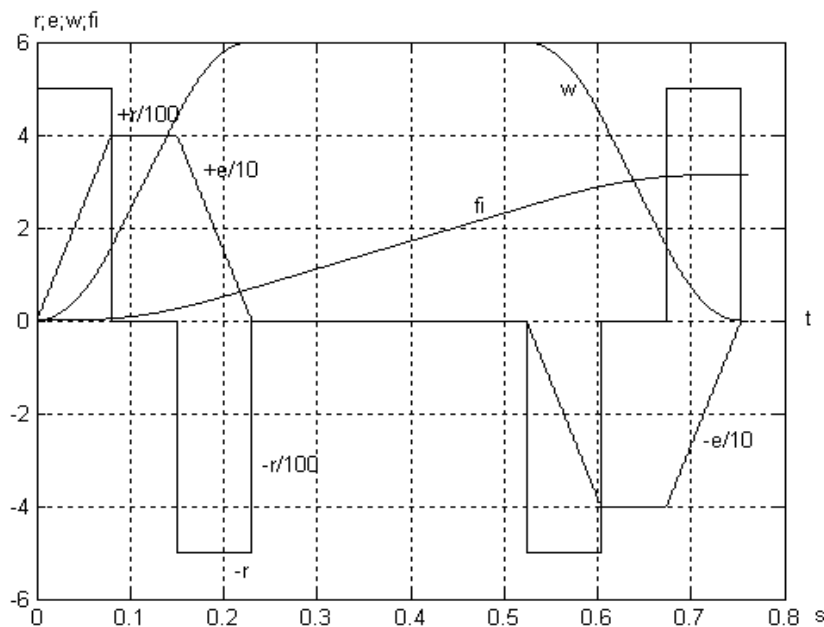
$$\rho = \text{const}, \quad (7)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{нач}} + \int_0^t \rho dt, \quad (8)$$

$$\omega = \omega_{\text{нач}} + \int_0^t \varepsilon_{\text{нач}} dt + \int_0^t \rho t dt, \quad (9)$$

$$\varphi = \varphi_{\text{нач}} + \int_0^t \omega_{\text{нач}} dt + \int_0^t \varepsilon_{\text{нач}} t dt + \int_0^t \frac{\rho t^2}{2} dt. \quad (10)$$

Трапецидальная форма графика скорости. Форма диаграммы скорости механизма подъема приближена к трапеции («большое» перемещение). Диаграмма имеет участок установившейся скорости и состоит из 7 участков.



$$\rho_m = 500 \text{ s}^{-3}$$

Особенностью всех рассматриваемых диаграмм движения лифтовых подъемных механизмов является их симметричность относительно середины времени процесса. Для конкретного случая, это позволяет в первую очередь рассчитать параметры движения на первых трех участках (1; 2; 3). Параметры на участках 5, 6, 7 будут аналогичными (табл. 2). Заданный путь φ_c обеспечивается за счет движения с установившейся скоростью на участке 4, рис. 2.

При меньших значениях задания на перемещение возможны еще два вида диаграмм. Условно, "Среднее" перемещение, когда скорость максимума не достигает, а ускорение достигает максимума, и есть участок движения с постоянным ускорением. "Малое" перемещение характеризуется достижением максимума, как скорости, так и ускорения. В обоих случаях форма графика скорости механизма подъема лифта соответствует треугольнику. Этим графики можно обозначить как "Большой треугольник" и "Малый треугольник", соответственно.

На рис. 2 приведена діаграма руху для переміщення $\varphi_c = 0,5128$ рад., як предельный (граничний) варіант между "Большим треугольником" и "Малым треугольником" [3].

Таблица 2 - Характеристики участков трапецеидальной диаграммы скорости при ограничении ускорения и рывка

№ участка	Характеристика	Время	Рывок	Ускорение	Скорость	Путь
1	Функция	$0 \leq t \leq t_1$	$\rho = \rho_m$	$\varepsilon = \rho t$	$\omega = \rho t^2 / 2$	$\varphi = \rho t^3 / 6$
	Параметры участка	$t_1 = \varepsilon_m / \rho_m$	$\rho = \rho_m$	$\varepsilon_1 = \varepsilon_m$	$\omega_1 = \rho t_1^2 / 2$	$\varphi_1 = \rho t_1^3 / 6$
2	Функция	$t_1 \leq t \leq t_2$	$\rho = 0$	$\varepsilon = \varepsilon_m$	$\omega = \omega_1 + \varepsilon t$	$\varphi = \varphi_1 + \omega_1 t + \varepsilon_m t^2 / 2$
	Параметры участка	$t_2 = \frac{\omega_m - 2\omega_1}{\varepsilon_m}$	$\rho_2 = 0$	$\varepsilon_2 = \varepsilon_m$	$\omega_2 = \omega_1 + \varepsilon_m t_2$	$\varphi_2 = \omega_1 t_2 + \varepsilon_m t_2^2 / 2$
3	Функция	$t_2 \leq t \leq t_3$	$\rho = -\rho_m$	$\varepsilon = \varepsilon_m + \rho t$	$\omega = \omega_2 + \varepsilon_m t + \rho t^2 / 2$	$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \omega_2 t + \varepsilon_m t^2 / 2 + \rho t^3 / 6$
	Параметры участка	$t_3 = t_1$	$\rho_3 = -\rho_m$	$\varepsilon_3 = 0$	$\omega_3 = \omega_m$	$\varphi_3 = \omega_2 t_3 + \varepsilon_m t_3^2 / 2 + \rho_m t_3^3 / 6$
4	Функция	$t_3 \leq t \leq t_4$	$\rho = 0$	$\varepsilon = 0$	$\omega = \omega_m$	$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \omega t$
	Параметры участка	$t_4 = \varphi_4 / \omega_m$	$\rho_4 = 0$	$\varepsilon_4 = 0$	$\omega_4 = \omega_m$	$\varphi_4 = \varphi_c - 2 + (\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3)$
5	Функция	$t_4 \leq t \leq t_5$	$\rho = -\rho_m$	$\varepsilon = \rho t$	$\omega = \omega_m + \rho t^2 / 2$	$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \omega_4 t + \rho t^3 / 6$
	Параметры участка	$t_5 = t_3$	$\rho = -\rho_m$	$\varepsilon = \rho t$	$\omega_5 = \omega_2$	$\varphi_5 = \varphi_3$
6	Функция	$t_5 \leq t \leq t_6$	$\rho = 0$	$\varepsilon = -\varepsilon_m$	$\omega = \omega_5 + \varepsilon t$	$\varphi = \varphi_1 + \dots + \varphi_5 + \omega_5 t + \varepsilon t^2 / 2$

Продолжение табл. 2

6	Параметры участка	$t_6 = t_2$	$\rho_6 = 0$	$\varepsilon_6 = -\varepsilon_m$	$\omega_6 = \omega_2$	$\varphi_6 = \varphi_2$
7	Функция	$t_6 \leq t \leq t_7$	$\rho = \rho_m$	$\varepsilon = -\varepsilon_m + \rho t$	$\omega = \omega_6 - \varepsilon_m t + \frac{\rho t^2}{2}$	$\varphi = \varphi_1 + \dots + \varphi_6 + \omega_6 t - \frac{\varepsilon_m t^2}{2} + \frac{\rho t^3}{6}$
	Параметры участка	$t_7 = t_1$	$\rho_7 = \rho_m$	$\varepsilon_7 = 0$	$\omega_7 = \omega_1$	$\varphi_7 = \varphi_1$

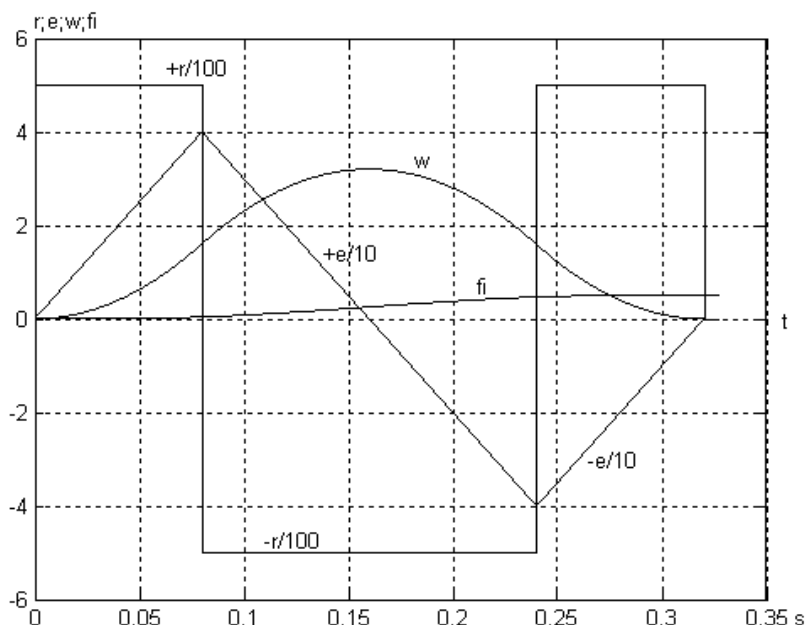


Рисунок 2 – Диаграмма движения с ограничением ускорения и рывка. Треугольная форма графика скорости. $\varphi_3 = 0,5128 \text{ rad}$;
 $\omega_m = 6 \text{ s}^{-1}$; $\varepsilon_m = 40 \text{ s}^{-2}$; $\rho_m = 500 \text{ s}^{-3}$

Определение формы графиков скорости выполняется на основании условий: если $\varphi_3 > 2(\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3)$ - форма диаграммы трапецеидальная, если $2(\varphi_1 + \varphi_3) < \varphi_3 \leq 2(\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3)$ - диаграмма имеет форму "Большого треугольника", перемещение "Среднее"; если $\varphi_3 \leq 2(\varphi_1 + \varphi_3)$ - диаграмма скорости имеет форму "Малого треугольника". Рассмотрим эти случаи.

"Среднее" перемещение, или диаграмма скорости "Большой треугольник". В этом случае отсутствует четвертый участок диаграммы (табл. 2).

Особенностью является, то, что в расчетных выражениях максимальная скорость является максимальной скоростью только для данной конкретной диаграммы, но не заданным ограничением [3]. Для определения параметров диаграммы движения необходимо предварительно рассчитать неизвестное значение максимальной скорости ω_m

$$\omega_m = -\frac{\epsilon_m^2}{2\rho_m} + \frac{\epsilon_m}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_m^2}{\rho_m^2} + 4 \frac{\Phi_3}{\epsilon_m}} \quad (11)$$

Параметры и функции первых трех участков диаграммы совпадают с первыми тремя участками трапецидальной диаграммы, табл. 2. Параметры 4, 5 и 6 участков приведены в табл. 3.

"Малое" перемещение (диаграмма скорости "Малый треугольник"). В этом случае движение с максимальным заданным ускорением отсутствует, а заданное перемещение достигается за счет уменьшения времени действия рывка при сохранении его максимального значения. При отработке малого перемещения сохраняется предельно возможное по требованиям рывка быстроедействие [3,5]. Диаграмма движения имеет 4 участка одинаковой ширины. Параметры участков отображены в табл. 4.

Таблица 3 - Характеристики 4,5,6 участков диаграммы скорости "Большой треугольник" при ограничении ускорения и рывка.

№ участка	Характеристика	Время	Рывок	Ускорение	Скорость	Путь
4	Функция	$t_3 \leq t \leq t_4$	$\rho = -\rho_m$	$\epsilon = \rho t$	$\omega = \omega_m + \rho t^2 / 2$	$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 + \omega_m t + \rho t^3 / 6$
	Параметры участка	$t_4 = t_1$	$\rho = \rho_m$	$\epsilon_1 = \epsilon_m$	$\omega_4 = \omega_2$	$\Phi_4 = \Phi_3$
5	Функция	$t_4 \leq t \leq t_5$	$\rho = 0$	$\epsilon = -\epsilon_m$	$\omega = \omega_4 + \epsilon_m t$	$\Phi = \Phi_1 + \dots + \Phi_4 + \omega_4 t + \epsilon_m t^2 / 2$
	Параметры участка	$t_5 = t_2$	$\rho_2 = 0$	$\epsilon_2 = -\epsilon_m$	$\omega_5 = \omega_1$	$\Phi_5 = \Phi_2$
6	Функция	$t_5 \leq t \leq t_6$	$\rho = \rho_m$	$\epsilon = -\epsilon_m + \rho t$	$\omega = \omega_5 - \epsilon_m t + \rho t^2 / 2$	$\Phi = \Phi_1 + \dots + \Phi_5 + \omega_5 t + \epsilon_m t^2 / 2 + \rho t^3 / 6$
	Параметры участка	$t_6 = t_1$	$\rho_6 = \rho_m$	$\epsilon_6 = 0$	$\omega_6 = 0$	$\Phi_6 = \Phi_1$

Таблица 4 - Характеристики участков диаграммы скорости для случая "Малый треугольник" при ограничении ускорения и рывка.

№ участка	Характеристика	Время	Рывок	Ускорение	Скорость	Путь
1	Функция	$0 \leq t \leq t_1$	$\rho = \rho_m$	$\varepsilon = \rho t$	$\omega = \rho t^2 / 2$	$\varphi = \rho t^3 / 6$
	Параметры участка	$t_1 = \sqrt[3]{\frac{6\varphi}{\rho}}$	$\rho_1 = \rho_m$	$\varepsilon_1 = \rho_m t_1$	$\omega_1 = \rho_m t_1^2 / 2$	$\varphi_1 = \rho_m t_1^3 / 6$
2	Функция	$t_1 \leq t \leq t_2$	$\rho = -\rho_m$	$\varepsilon = \varepsilon_1 + \rho t$	$\omega = \omega_1 + \varepsilon_1 t + \rho t^2 / 2$	$\varphi = \varphi_1 + \omega_1 t + \varepsilon_1 t^2 / 2 + \rho t^3 / 6$
	Параметры участка	$t_2 = t_1$	$\rho_2 = -\rho_m$	$\varepsilon_2 = 0$	$\omega_2 = 2\omega_1$	$\varphi_2 = \omega_1 t_2 + \varepsilon_1 t_2^2 / 2 - \rho_m t_2^3 / 6$
3	Функция	$t_2 \leq t \leq t_3$	$\rho = -\rho_m$	$\varepsilon = \rho t$	$\omega = \omega_2 + \rho t^2 / 2$	$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \omega_2 t + \rho t^3 / 6$
	Параметры участка	$t_3 = t_1$	$\rho_3 = -\rho_m$	$\varepsilon_3 = -\varepsilon_1$	$\omega_3 = \omega_1$	$\varphi_3 = \omega_2 t_3 - \rho t_3^3 / 6$
4	Функция	$t_3 \leq t \leq t_4$	$\rho = \rho_m$	$\varepsilon = \varepsilon_3 + \rho t$	$\omega = \omega_3 + \varepsilon_3 t + \rho t^2 / 2$	$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \omega_3 t + \varepsilon_3^2 / 2 + \rho t^3 / 6$
	Параметры участка	$t_4 = t_1$	$\rho_4 = \rho_m$	$\varepsilon_4 = 0$	$\omega_4 = 0$	$\varphi_4 = \varphi_1$

Выводы:

1. Синтезированные диаграммы движения лифтовых подъемных механизмов оптимальны по критериям ограничения нагрузок и условиям комфортности движения пассажиров. Синтез задающих воздействий дает возможность формирования диаграмм движения, которые обеспечивают обработку перемещения с заданными ограничениями.

2. В случае задания небольшого перемещения, скорость кабины может не достигать максимальной величины, а участок установившегося движения отсутствовать.

Діаграма швидкості в даному випадку має трикутну форму, відмінну від класическої «трапецидальної» оптимальної діаграми. Можливі декілька видів оптимальних «трикутних» діаграм.

3. Ограничение рывка при движении кабины лифта обеспечивает максимальную производительность при соблюдении условий комфортного перемещения, способствует значительному улучшению качества пуско-тормозных режимов.

Література:

1. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для вузов. – М.: Энергия, 1980. - 360 с.
2. Лифты. Учебник для вузов / под общей ред. Д. П. Волкова. - М.: издательство АСВ, 1999. -480 с.
3. Андрищенко О.А. Диаграммы движения электромеханических систем. Электромашинобудування та електрообладнання. Республіканський міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 70, - К.: Техніка, 2008, - С.11-17.
4. Андрищенко О.А., Бойко А.О. Повышение технического уровня пассажирских лифтов Украины, эволюция или революция?// Андрищенко О.А. // Экономист. – 2011. - №8. - С.75-79
5. Разработка оптимальных диаграмм движения электроприводов лифтов с учетом влияния упругости тросов. / Ю. П. Добробаба, А. И. Сафронович // Научный журнал «Труды КубГТУ» / Т. 19. Серия Нефтегазопромысловое дело. - Краснодар: КубГТУ, 2003. - Вып. 3. - С. 59-71.