

УДК 656.212.5:681.3

И. В. ЖУКОВИЦКИЙ^{1*}

^{1*}Каф. «Электронные вычислительные машины», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, г. Днепр, Украина, тел + 38(056)373-15-89, эл. почта ivzhukl@ua.fm, ORCID 0000-0002-3491-5976

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКВИВАЛЕНТНОГО УКЛОНА В ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СКАТЫВАНИЯ ОТЦЕПОВ С ГОРКИ

Целью данной работы является разработка методики определения рационального эквивалентного уклона скатывания отцепов на сортировочной горке. **Методика.** Используя ниточную модель отцепа преобразовать многоточечную модель отцепа в двухточечную. **Научная новизна.** Предложена двухточечная математическая модель отцепа, которая обладает такой же самой точностью, что и известная многоточечная при существенно меньшем объеме вычислений. **Практическая значимость.** Предложенная методика позволяет минимизировать время расчета движения отцепа в имитационной модели, что важно для систем управления, где имитационные модели используются в реальном масштабе времени.

Ключевые слова: сортировочная горка; уклон пути; имитационная модель; отцеп; ниточная модель

Постановка задачи

При исследовании движения отцепов на сортировочных горках часто используют имитационные модели этого процесса [1-5]. Имитационное внесистемное моделирование скатывания группы отцепов с горки можно использовать в цифровых системах управления на сортировочной горке, например для расчета задающих воздействий в системах АЗСР (автоматического задания скорости роспуска) и АРС (автоматическое регулирование скорости) [5]. В цифровых системах, использующих достаточно мощные ЭВМ, возможно реализация системного моделирования (моделирования в реальном масштабе времени). В таких моделях актуальной является задача разработки методики сокращения времени моделирования при сохранении точности и адекватности модели.

Обычно при моделировании движения отцепа известное нелинейное дифференциальное уравнение движения отцепа

$$m \frac{d^2 S}{dt^2} = \sum_j F_j, \quad (1)$$

где m – масса отцепа, S – пройденный путь, $\sum_j F_j$ – сумма сил, действующих на отцеп, заменяют разностным рекуррентным уравнением:

$$V[n] = f(V[n-1], \sum_j F_j[n-1]). \quad (2)$$

При этом процесс движения отцепа рассматривают как дискретный, состоящий либо из множества элементарных перемещений ΔS (например, в [1,2]), либо из множества элементарных отрезков времени Δt (например, в [6]). Внутри каждой n -й дискреты сумма сил, действующих на отцеп, представляется постоянной.

В качестве кинематической модели отцепа, при определении действующих на отцеп сил, часто используется (см., например, [2]) система шарнирно-соединенных материальных точек, расстояния между которыми равны расстояниям между соответствующими осями отцепа, а масса, сосредоточенная в каждой точке, эквивалентна средней нагрузке на соответствующую ось (рис. 1). При таком допущении для расчета одной из составляющих суммы сил – профильной силы – на некотором шаге, при котором отцеп переместился на величину ΔS , используется значение эквивалентного уклона

$$i_{\text{эkv}} = \frac{\sum_{k=1}^r q_k i_k}{\sum_{k=1}^r q_k}, \quad (3)$$

где q_k – нагрузка на k -ю ось отцепа; i_k – средний уклон, по которому перемещается k -я ось на некотором шаге; r – число осей в отцепе.

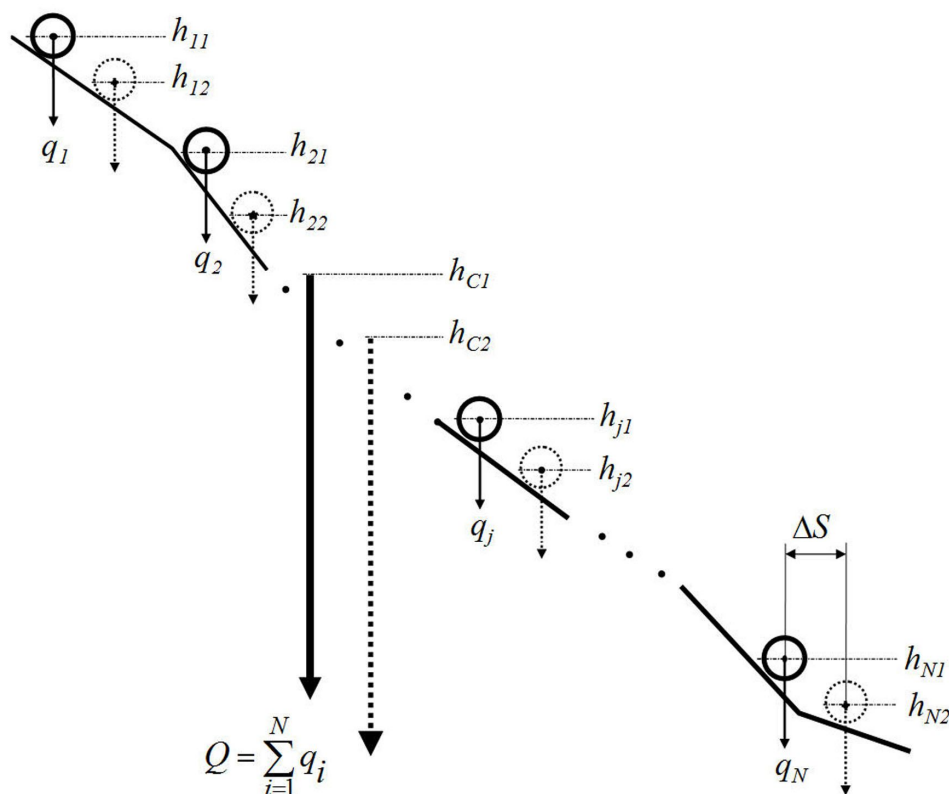


Рис. 1. Кинематическая модель отцепа

При моделировании движения длинных отцепов на каждом шаге моделирования необходимо вычислять сумму в числителе формулы (3), так как уклон i непостоянен вдоль пути S .

Поскольку алгоритмы системного и внесистемного стохастического моделирования требуют достаточно большого количества реализаций, а каждая реализация включает в себя сотни и тысячи шагов в пределах каждого из которых требуется вычислять $i_{\text{эКВ}}$, то актуальной представляется задача упрощения алгоритма вычисления $i_{\text{эКВ}}$.

Предлагаемая методика

Рассмотрим ниточную модель отцепа (нить с массой, распределенной по некоторому закону вдоль нити). В такой модели

$$i_{\text{эКВ}} = \frac{\int_{X_2}^{X_1} \frac{dh(S)}{dS} q(S) dS}{\int_{X_2}^{X_1} q(S) dS}, \quad (4)$$

где $h(S)$ – профиль, по которому движется отцеп; $q(S)$ – распределение нагрузки по длине отцепа; X_1, X_2 – координаты «головы» и «хвоста» отцепа (или какой-либо его части).

Рассмотрим случаи, когда группа осей в от-

цепе имеет одинаковую нагрузку (любой вагон в отцепе либо группа однотипных вагонов с одинаковым грузом). При этом выражение (4) можно упростить. Если предположить, что для какой-либо части отцепа распределение нагрузки в пределах $X_1 \dots X_2$ постоянно и равно q , то, вынося q из под интеграла, получим для этой части отцепа:

$$i_{\text{эКВ}} = \frac{q \cdot \int_{X_2}^{X_1} dh(S)}{q \cdot \int_{X_2}^{X_1} dS} = \frac{h(X_1) - h(X_2)}{L}, \quad (5)$$

где L – длина части отцепа с одинаковой нагрузкой на все оси, эквивалентный уклон для которой рассчитывается.

Формула (5) соответствует формуле (3), которая описывает эквивалентный уклон для отцепа с двумя осями, на каждую из которых приходится нагрузка $Q/2$ и с расстоянием L между этими осями.

Из вышесказанного можно сделать следующие выводы:

- при моделировании движения одного вагона или отцепа из группы вагонов одного веса поосную модель (3) можно заменить моделью «длинного двухосного вагона» (ДДВ);
- в модели длинного отцепа группы одно-

родных вагонов можно заменить моделями ДДВ;

– в модели длинного отцепа в любом случае модель одного вагона можно заменить моделью ДДВ.

Используя эти выводы, можно при моделировании движения отцепа не менее чем в два раза сократить время расчётов $i_{\text{экр}}$ на каждом шаге моделирования.

Таким образом, если несколько (N_θ) расположенных подряд осей отцепа имеют одинаковую нагрузку q_θ (θ – номер группы из числа групп осей с одинаковой нагрузкой, всего ζ групп), то все эти N_θ осей можно в (3) заменить двумя эквивалентными осями с координатами:

$$\begin{aligned} X_{\theta 1_{\text{экр}}} &= X_{\theta 1}; & h_{\theta 1_{\text{экр}}} &= h_{\theta 1}; \\ X_{\theta 2_{\text{экр}}} &= X_{\theta N}; & h_{\theta 2_{\text{экр}}} &= h_{\theta N}, \end{aligned}$$

каждая из которых имеет нагрузку

$$q_{\theta \text{экр}} = \frac{N_\theta \cdot q_\theta}{2}. \quad (6)$$

Формулу (3) теперь перепишем в виде:

$$i_{\text{экр}} = \frac{2 \cdot \sum_{\theta=1}^{\zeta} \left(\frac{h_{\theta 1_{\text{экр}}} - h_{\theta 2_{\text{экр}}}}{L_\theta} \right) \cdot q_{\theta \text{экр}}}{Q}, \quad (7)$$

где ζ – количество групп расположенных подряд осей с одинаковой нагрузкой; Q – вес всего отцепа.

Введя переменную

$$q_\theta^* = \frac{2 \cdot q_{\theta \text{экр}}}{Q \cdot L_\theta} = \frac{N_\theta \cdot q_\theta}{Q \cdot L_\theta}, \quad (8)$$

значение которой можно вычислить до начала цикла моделирования, получим:

$$i_{\text{экр}} = \sum_{\theta=1}^{\zeta} (h_{\theta 1_{\text{экр}}} - h_{\theta 2_{\text{экр}}}) \cdot q_\theta^* \quad (9)$$

Так как ζ всегда меньше r , то расчёт $i_{\text{экр}}$ по формуле (9) будет всегда короче, чем по формуле (3).

Выводы

Предложена методика моделирования свободного движения отцепа по пути (пути скатывания с сортировочной горки или движения по пути накопления) при которой известная многоточечная математическая модель отцепа заменяется двухточечной, обладающую такой же

самой точностью при существенно меньшем объеме вычислений. Это позволяет минимизировать время расчета движения отцепа в имитационной модели, что важно для систем управления, где имитационные модели используются в реальном масштабе времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Муха, Ю. А. Цифровая модель процесса роспуска составов на автоматизированных сортировочных горках / Ю. А. Муха, В. И. Бобровский, С. А. Попов // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях. Межвуз. сб. научн. тр. – Вып. 181/10. – Днепропетровск, 1976.

2. Муха Ю. А. Имитационное моделирование процесса скатывания отцепов при выполнении горочных расчётов / Ю. А. Муха, А. А. Муратов // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях. Межвуз. сб. научн. тр. – Вып. 277/17. – Днепропетровск: ДИИТ. – 1990. С.11–19.

3. Козаченко, Д. Н. Исследование условий интервального регулирования скорости скатывания отцепов на автоматизированных горках / Д. Н. Козаченко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 34. – С. 46-50.

4. Оптимизация режимов торможения отцепов на сортировочных горках : монография / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Н. П. Божко [и др.]. – Днепропетровск : Изд-во Маковецкий, 2010. – 260 с.

5. Жуковичский И. В. Цифровые системы управления скоростью скатывания отцепов на сортировочных горках: монография / И. В. Жуковичский – Дн-вск: Изд-во Маковецкий, 2012. – 172с.

6. Бобровский В. И. Временной принцип моделирования процесса скатывания отцепов с горки / В. И. Бобровский // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях. Межвуз. сб. научн. тр. – Вып. 197/12. – Днепропетровск, 1978. – С. 50–58.

Стаття рекомендована до публікації д.тех.н., проф. ??? (Україна)

Надійшла до редколегії 27.05.2019.

Прийнята до друку 05.06.2019.

І. В. ЖУКОВИЦЬКИЙ

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЕКВІВАЛЕНТНОГО УХИЛУ В ІМІТАЦІЙНІЙ МОДЕЛІ СКОЧУВАННЯ ВІДЧЕПІВ З ГІРКИ

Метою даної роботи є розробка методики визначення раціонального еквівалентного ухилу скочування відчепів на сортувальній гірці. **Методика.** Використовуючи ниткову модель відчепу перетворити багатоточкову модель відчепу в двоточкову. **Наукова новизна.** Запропонована двоточкова математична модель відчепу, яка має таку ж саму точність, що і відома багатоточкова при істотно меншому обсязі обчислень. **Практична значимість.** Запропонована методика дозволяє мінімізувати час розрахунку руху відчепу в імітаційній моделі, що важливо для систем управління, де імітаційні моделі використовуються в реальному масштабі часу.

Ключові слова: сортувальна гірка, ухил шляху, імітаційна модель, відчеп, ниткова модель.

I. V. ZHUKOVYTS'KYY

METHOD OF DETERMINING AN EQUIVALENT SLOPE IN THE IMITATION MODEL OF THE CUT OF CARS ROLLING FROM HUMPS

The purpose of this work is to develop a method for determining the rational equivalent slope of **cut of cars** rolling on a hump yard. **The methodology.** Using the thread release model, convert the multipoint release model to a two-point model. **Originality.** A two-point mathematical model of **cut of cars** was proposed, which has the same accuracy as the well-known multipoint model with a significantly smaller amount of calculations. **Practical value.** The proposed technique allows minimizing the time for calculating the movement of **cut of cars** in a simulation model, which is important for control systems, where simulation models are used in real time.

Keywords: hump yard, slope, imitation model, cut of cars, thread model.