

УДК 656.212.5

**РОЗРАХУНОК ШВИДКОСТІ І НАПРЯМКУ ВІТРУ В ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЯХ СКОЧУВАННЯ ВІДЧЕПІВ З ГІРКИ**

Д-р техн. наук О.М. Огар

**РАСЧЕТ СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА В ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ СКАТЫВАНИЯ ОТЦЕПОВ С ГОРКИ**

Д-р техн. наук А.Н. Огарь

**CALCULATION OF WIND SPEED AND DIRECTION IN IMITATING MODELS OF ROLLING CUTS FROM HUMP**

Doct. of techn. sciences O. Ogar

*Обґрунтовано доцільність розрахунку швидкості і напрямку вітру в імітаційних моделях скочування відцепів з гірки. Вказано на недоліки способу представлення параметрів метеорологічних умов у вказаних моделях і методах розрахунку конструктивних параметрів. Сформовано метод розрахунку швидкості і напрямку вітру в точці місцезнаходження вагону на основі даних декількох метеорологічних датчиків, що розташовуються на полігоні.*

**Ключові слова:** сортувальна гірка, метеорологічні умови, швидкість і напрямок вітру, імітаційна модель.

*Обоснована целесообразность расчета скорости и направления ветра в имитационных моделях скатывания отцепов с горки. Приведены недостатки способа представления параметров метеорологических условий в указанных моделях и методах расчета конструктивных параметров. Сформирован метод расчета скорости и направления ветра в точке местонахождения вагона на основе данных нескольких метеорологических датчиков, которые располагаются на полигоне.*

**Ключевые слова:** сортировочная горка, метеорологические условия, скорость и направление ветра, имитационная модель.

*Calculation expediency of wind speed and direction in imitating models of rolling cuts from hump using for definition of constructive parameters of sorting humps and driving parameters of car moderators was proved. It was indicated on submission way defects of meteorological conditions in indicated models and calculations methods of constructive parameters. Calculation method of wind speed and direction in car location on data base of several meteorological sensors, located in polygon, was formed. Theoretical function methods of complex variable for solution of set problem were used. The example of interpolative multinomial was given, wind speed and direction in car location for event of four sensors, placed in polygon, with helping of interpolative multinomial is calculated. The conclusion was made, using offered method in models of rolling cuts from hump, which used for constructive hump calculations and driving definition parameters of speed regulation means of rolling cuts, will be allowed to increase adequacy of indicated models.*

**Key words:** sorting hump, meteorological conditions, wind speed and direction, imitative model.

**Вступ.** Повнота урахування умов експлуатації сортувальної гірки на стадії проектування і в процесі її функціонування має велике значення з точки зору забезпечення високих якісних показників сортувального процесу. Суттєвий вплив на ефективність вказаного процесу здійснює обраний спосіб представлення параметрів

метеорологічних умов в імітаційних моделях скочування відчепів з гірки, які використовуються для визначення конструктивних параметрів сортувальних гірок і параметрів керування вагонними уповільнювачами. Відображення реальних метеорологічних умов у вказаних моделях є одним із основних підходів щодо зменшення похибки розрахунку конструктивно-технологічних параметрів сортувальних пристроїв.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Традиційно при розрахунках гірки і моделюванні сортувального процесу припускається, що швидкість і напрямок вітру за час скочування відчепа з гірки не змінюються. При цьому вказані параметри визначаються шляхом узагальнення даних за період спостережень не менше, ніж 25 років. Такий спосіб представлення параметрів метеорологічних умов ставить під сумнів адекватність відомих імітаційних моделей сортувального процесу та надійність конструктивно-технологічних параметрів існуючих сортувальних гірок. Таким чином, формування підходів щодо урахування випадкового характеру руху повітряних мас в імітаційних моделях скочування відчепів з гірки і розробка процедури розрахунку швидкості і напрямку вітру у будь-якій точці полігону є достатньо актуальним науково-прикладним завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розробкою та удосконаленням підходів щодо розрахунку додаткового питомого опору від середовища і вітру займалися такі вчені, як С. Пірат, Г. Міллер, І.І. Костін, Ф.В. Пугачовський, А.Н. Фролов, Б.В. Боцманов, М.О. Рогінський, І.І. Страковський, І.П. Старшов, В.І. Крячко та інші [1]. Серед останніх праць, в яких враховується випадкова природа швидкості і напрямку вітру, слід відзначити праці Бессоненка С.А [2, 3]. Запропоновані ним теоретичні підходи використовуються тільки для розрахунку конструктивних параметрів сортувальних гірок. Застосування розподілу ймовірностей швидкості і напрямку вітру

для моделювання скочування відчепів з гірки не розглядалось.

Слід також відзначити, що на даний момент взагалі відсутні наукові підходи щодо відображення реальних метеорологічних умов в імітаційних моделях сортувального процесу.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою роботи є підвищення ефективності сортувального процесу шляхом урахування реального характеру руху повітряних мас при конструктивних розрахунках гірки і визначенні параметрів керування засобами регулювання швидкості скочування відчепів. Виходячи з цього, основною задачею дослідження є формування методу розрахунку швидкості і напрямку вітру в точці місцезнаходження вагону на основі даних декількох метеорологічних датчиків, що розташовуються на полігоні.

**Основна частина дослідження.** Для вирішення задачі про визначення швидкості та напрямку вітру в точці місцезнаходження вагону на полігоні *П* використаємо методи теорії функцій комплексної змінної [4]. У зв'язку з цим зробимо деяке припущення відносно вказаного полігону та руху повітря над ним:

1) полігон є частиною площини, на якій задано прямокутну декартову систему координат  $XOY$ . Полігон в  $XOY$  називаємо областю, а обрана система координат є правою;

2) в кожній точці полігону в будь-який момент часу можемо однозначно визначити швидкість і напрямок вітру. І тому на полігоні однозначно задано векторне поле  $\vec{V}$  [5];

3) векторне поле  $\vec{V}$  плоско-паралельне, тобто вектори поля паралельні деякій площині  $S$ , частина якої є полігон. Крім цього в усіх точках прямої, перпендикулярної до площини  $S$ , вектори поля  $\vec{V}$  однакові за розміром та напрямком. Для опису плоско-паралельних полів вистачить завдати дві скалярні функції (компоненти вектора поля, що розглядається) від двох аргументів

(декартових координат точок  $X$  та  $Y$  на площині  $S$ );

4) векторне поле  $\vec{V}$  соленоїдально, тобто  $\operatorname{div}\vec{V} = 0$ ;

5) поле  $\vec{V}$  потенціальне або безвихрове, тобто  $\operatorname{rot}\vec{A} = 0$ , де  $\vec{A}$  – вектор поля  $\vec{V}$ . Поток вектора  $\vec{A}$  даного поля через криву  $\gamma$  є інтеграл

$$N = \int_{\gamma} (\vec{A}, \vec{n}) ds = \int_{\gamma} A_n ds, \quad (1)$$

де  $(\vec{A}, \vec{n})$  – скалярний добуток  $\vec{A}$  і  $\vec{n}$  від нормалі;

$A_n$  – величина проекції вектора  $\vec{A}$  на нормаль.

Циркуляцією вектора  $\vec{A}$  вздовж контуру є інтеграл

$$\Gamma = \int_{\gamma} (\vec{A}, \vec{s}) ds = \int_{\gamma} A_y ds + A_x dy, \quad (2)$$

де  $(\vec{A}, \vec{s})$  – скалярний добуток;

$A_x, A_y$  – проекції вектора  $\vec{A}$  на орт.

Ротором є поверхнева щільність

$$\lim_{y \rightarrow z} \frac{1}{d} \int_{\gamma} (\vec{A}, \vec{s}) ds = \frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y} = \operatorname{rot}\vec{A}. \quad (3)$$

Зроблені припущення дозволяють розглянути площину  $S$  як площину, яка суміщається з комплексною площиною  $G$ . Сумістимо вісь  $OX$  з віссю  $Re z$ , вісь  $OY$  з  $Im z$ , початок координат в точці  $O(0,0)$  з точкою  $z=0$ . Дані припущення дозволяють розглянути векторне поле  $\vec{V}$  як поле комплексних чисел  $W$ , де

$$W = V \cdot \cos \varphi + i \cdot V \cdot \sin \varphi \quad (4)$$

Оскільки векторне поле  $\vec{V}$  задається однозначно (в області  $D$ ), то ми маємо комплексозначне відображення  $w: G_z \rightarrow G_w$ , тобто  $W=W(Z)$  комплексна функція комплексної змінної. Кожна точка векторного поля  $\vec{V}$  цілком характеризується комплексним числом

$$W = V_x + i \cdot V_y, \quad (5)$$

де  $V_x = V \cdot \cos \varphi$ ,  $V_y = V \cdot \sin \varphi$ , де  $V = |\vec{V}|$ .

Функція  $W$  однозначно визначена в області  $D$ .

Оскільки векторне поле соленоїдальне ( $\operatorname{div}\vec{V} = 0$ ), то

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} = 0, \quad (6)$$

а вираз  $-V_y dx + V_x dy$  є повним диференціалом деякої функції  $v(x, y)$ , яка є функцією току. Будь-яка лінія рівня цієї функції є лінією для даного поля, тобто вздовж цієї лінії

$$dv = -V_y dx + V_x dy \quad \text{або} \quad \frac{dy}{dx} = \frac{V_y}{V_x}, \quad (7)$$

тобто напрямком дотичної до цієї лінії співпадає з напрямком вектора  $\vec{V}$ . Для даної

функції  $\frac{\partial v}{\partial x} = -V_y$ ,  $\frac{\partial v}{\partial y} = V_x$ , а

$$v(x, y) = \int_{z_0}^z -V_y dx + V_x dy = \text{const}. \quad (8)$$

Виходячи з припущення щодо потенціальності поля  $\vec{V}$  можна також заключити, що вираз  $-V_y dx + V_x dy$  є

диференціалом деякої функції  $v(x, y)$ , тобто

$\frac{\partial u}{\partial x} = A_x$ ,  $\frac{\partial u}{\partial y} = A_y$ . При цьому

$$u(x, y) = \int_{z_0}^z A_x dx + A_y dy = \text{const}. \quad (9)$$



$$(-1)^n \cdot \Delta \tilde{a}_0 + (-1)^{n-1} \cdot \tilde{\Delta} a_1 \cdot z + (-1)^{n-2} \cdot \tilde{\Delta} a_2 \cdot z^2 + \dots + \tilde{\Delta} a_n \cdot z^n - \Delta \cdot w = 0. \quad (20)$$

Поділивши на  $(-1)^n$  і зробивши перетворення маємо

$$\Delta \tilde{a}_0 + (-1) \cdot \tilde{\Delta} a_1 \cdot z + (-1)^2 \cdot \tilde{\Delta} a_2 \cdot z^2 + \dots + (-1)^n \cdot \tilde{\Delta} a_n \cdot z^n + (-1)^{n+1} \cdot \Delta \cdot w = 0. \quad (21)$$

Зауважимо, що права частина виразу є визначник і ми маємо рівняння

$$\begin{vmatrix} 1 & z_0 & z_0^2 & \dots & z_0^n & w_0 \\ 1 & z_1 & z_1^2 & \dots & z_1^n & w_1 \\ 1 & z_2 & z_2^2 & \dots & z_2^n & w_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & z_n & z_n^2 & \dots & z_n^n & w_n \\ 1 & z & z^2 & \dots & z^n & w \end{vmatrix} = 0. \quad (22)$$

Це визначник Вандермонда  $W(z_0, z_1, z_2, \dots, z_n, z)$ , в якому останній стовпчик замінено на стовпчик вільних членів. Звідси маємо інтерполяційний поліном

$$w = - \frac{W_w(z_0, z_1, z_2, \dots, z_n, z)}{W(z_0, z_1, z_2, \dots, z_n)}, \quad (23)$$

де через  $W_w(z_0, z_1, z_2, \dots, z_n, z)$  позначено визначник Вандермонда, в якому останній стовпчик змінено на стовпчик вільних членів доповнений нулем, тобто стовпчиком

$$\begin{pmatrix} w_0 \\ w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (24)$$

Формула (23) в розгорнутому виді має наступний вид

$$w = - \begin{vmatrix} 1 & z_0 & z_0^2 & \dots & z_0^n & w_0 \\ 1 & z_1 & z_1^2 & \dots & z_1^n & w_1 \\ 1 & z_2 & z_2^2 & \dots & z_2^n & w_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & z_n & z_n^2 & \dots & z_n^n & w_n \\ 1 & z & z^2 & \dots & z^n & 0 \end{vmatrix}. \quad (25)$$

Таким чином, випадкові величини  $V\beta^*$  і  $\beta^*$  в точці місцезнаходження вагона з координатами  $(x_\epsilon, y_\epsilon)$  розраховуються з використанням значень дійсної ( $a$ ) і уявної ( $b$ ) частин комплексного числа  $w \leftrightarrow (a, b)$

$$V\beta^* = \sqrt{a^2 + b^2}; \quad (26)$$

$$\beta^* = \arctg \frac{b}{a}. \quad (27)$$

Комплексне число  $w \leftrightarrow (a, b)$  розраховується за формулою (25), де:

–  $z_0, z_1, z_2, \dots, z_n$  – комплексні числа, дійсна і уявна частини яких є відповідно абсцисами і ординатами розміщення  $n$  метеорологічних датчиків на полігоні  $((x_{мд0}, y_{мд0}), (x_{мд1}, y_{мд1}), (x_{мд2}, y_{мд2}), \dots, (x_{мдn}, y_{мдn}))$ . При розташуванні вказаних датчиків в одну лінію, що співпадає з базисом гіркової горловини,  $z_0 = x_{мд0}, z_1 = x_{мд1}, z_2 = x_{мд2}, \dots, z_n = x_{мдn}$ ;

–  $w_0, w_1, w_2, \dots, w_n$  – комплексні числа, дійсна і уявна частини яких є абсолютними величинами проекції вектора миттєвої швидкості вітру відповідно на вісь  $x$  і  $y$  в зоні розміщення  $0$ - $z_0$  ( $V\beta_0^* \cdot \cos \beta_0^*$ ,  $V\beta_0^* \cdot \sin \beta_0^*$ ),  $1$ - $z_0$  ( $V\beta_1^* \cdot \cos \beta_1^*$ ,  $V\beta_1^* \cdot \sin \beta_1^*$ ),  $2$ - $z_0$  ( $V\beta_2^* \cdot \cos \beta_2^*$ ,

$V\beta_2^* \cdot \sin \beta_2^*$ , ...,  $n-20$  ( $V\beta_n^* \cdot \cos \beta_n^*$ ,  $V\beta_n^* \cdot \sin \beta_n^*$ ) метеорологічних датчиків;

$z$  – комплексне число, дійсна і уявна частини якого є абсолютними величинами проекції радіус-вектора до точки  $(x_g, y_g)$  відповідно на вісь  $x$  і  $y$ .

Метеорологічні датчики слід розташовувати один від одного на рівних

$$w = \frac{(z - z_1) \cdot (z - z_2) \cdot (z - z_3)}{(z_0 - z_1) \cdot (z_0 - z_2) \cdot (z_0 - z_3)} \cdot w_0 + \frac{(z - z_0) \cdot (z - z_2) \cdot (z - z_3)}{(z_1 - z_0) \cdot (z_1 - z_2) \cdot (z_1 - z_3)} \cdot w_1 + \frac{(z - z_0) \cdot (z - z_1) \cdot (z - z_3)}{(z_2 - z_0) \cdot (z_2 - z_2) \cdot (z_2 - z_3)} \cdot w_2 + \frac{(z - z_0) \cdot (z - z_1) \cdot (z - z_2)}{(z_3 - z_0) \cdot (z_3 - z_1) \cdot (z_3 - z_2)} \cdot w_3. \quad (28)$$

відстанях. При цьому відстань від першого до останнього метеорологічних датчиків повинна бути не меншою довжини зони моделювання процесу розформування составів.

Для випадку розміщення на полігоні чотирьох метеорологічних датчиків (рис. 1) інтерполяційний багаточлен має наступний вид

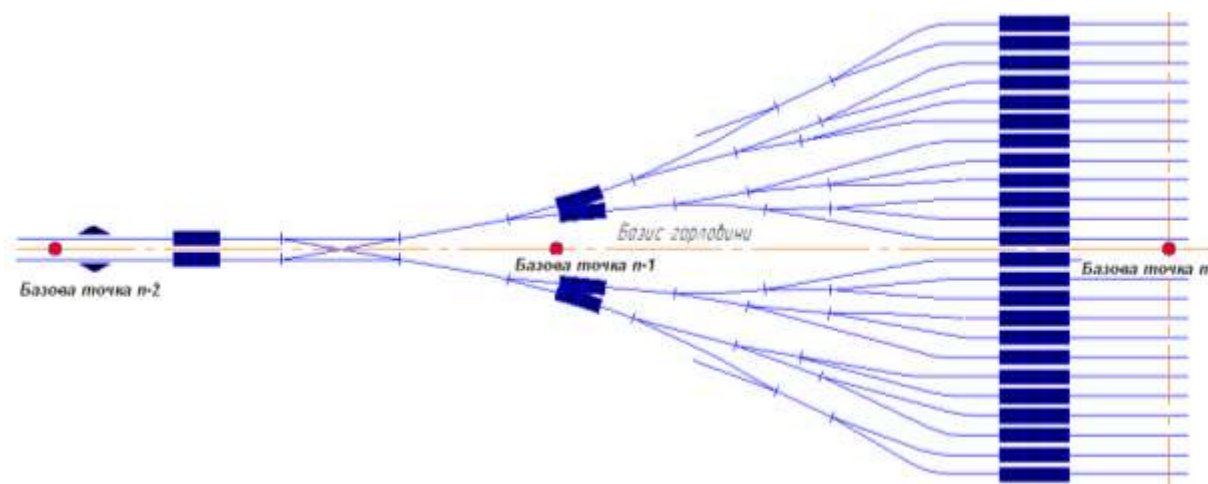


Рис. 1. Варіант розташування на полігоні декількох метеорологічних датчиків

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Застосування запропонованого методу розрахунку швидкості і напрямку вітру у будь-якій точці полігону в імітаційних моделях скочування відчепів з гірки, що використовуються для конструктивних розрахунків гірки і

визначення параметрів керування засобами регулювання швидкості скочування відчепів, дозволить суттєво підвищити адекватність вказаних моделей. Це дасть можливість підвищити ефективність сортувального процесу в умовах його автоматизації і при застосування систем підтримки прийняття рішень.

### Список використаних джерел

1. Крячко, В. И. К вопросу о сопротивлении от воздушной среды при скатывании отцепов на сортировочных горках / В. И. Крячко // РЖ ВИНТИ Железнодорожный транспорт. – 1990. – № 5. – 8 с.
2. Бессоненко, С. А. Комплексный расчет уклонов продольного профиля спускной части и высоты сортировочной горки по вероятностным показателям [Текст] / С. А. Бессоненко // Транспорт: наука, техника, управление. – 2006. – №7. – С. 12 – 19.

3. Бессоненко, С. А. Распределение вероятностей удельного сопротивления движению отцепов на сортировочных горках [Текст] / С. А. Бессоненко // Актуальные аспекты организации работы железнодорожного транспорта: сборник научных статей. – Иркутск, 2006. – С. 185 – 188.

4. Бессоненко, С. А. Расчет распределения вероятностей удельного сопротивления движению отцепов на сортировочной горке по таблицам индексов [Текст] / С. А. Бессоненко // Совершенствование эксплуатационной работы железных дорог : сборник научных трудов. – Новосибирск, 2007. – С. 103 – 115.

5. Бессоненко, С. А. Удельное сопротивление движению отцепов и максимальная скорость входа на вагонные замедлители [Текст] / С.А. Бессоненко // Совершенствование работы железнодорожного транспорта : сборник научных трудов. – Новосибирск, 2009. – С. 83 – 88.

6. Бессоненко, С. А. Методика расчета параметров сортировочных горок [Текст] : тезисы доклада / С. А. Бессоненко // Политранспортные системы. – Красноярск; Новосибирск. – 2009. – С. 74 – 78.

7. Бессоненко, С. А. Вероятностный подход к расчету сортировочных горок [Текст] / С. А. Бессоненко // Транспорт: наука, техника, управление. – 2010. – № 3. – С. 23-25.

8. Бессоненко, С. А. Теория расчета сортировочных горок для различных климатических зон [Текст] : дисс. ... д-ра техн. наук: 05.22.08 / С.А. Бессоненко. – М., 2010. – 411 с.

9. Лаврентьев, М. А. Методы теории функций комплексного переменного [Текст] / М. А. Лаврентьев, Б. В. Шабат. – 4-е изд. – М. : Наука, 1973. – 736 с.

10. Эйхенвальд, А. А. Теоретическая физика. Теория поля [Текст] / А. А. Эйхенвальд – СПб. : Либроком, 2011. – 224 с.

---

Огар Олександр Миколайович, д.т.н., професор кафедри залізничних станцій та вузлів Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: [ogar-07@yandex.ru](mailto:ogar-07@yandex.ru)

Ogar Alexander, doct. of techn. sciences, Ukrainian state academy of railway transport chair “Railway stations and junctions” professor. Tel.: (057) 730-10-42.  
E-mail: [ogar-07@yandex.ru](mailto:ogar-07@yandex.ru)