

В. В. БУГАЄНКО, Ю. І. ОСЕНІН (Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля, Луганськ)

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ПІСКУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ПІСКОПОДАВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЛОКОМОТИВА

Розглянуто процес взаємодії потоку повітря, що набігає, й частки абразивного матеріалу на ділянці шляху від вихідного отвору піскоподавальної системи до місця контакту колеса локомотива з рейкою, складена математична модель руху частки, розраховані траєкторії руху часток різних розмірів при різних величинах початкової швидкості й швидкості потоку повітря, що набігає, дані рекомендації з вибору гранулометричного складу використовуваного абразивного матеріалу.

Рассмотрен процесс взаимодействия набегающего потока воздуха и частицы абразивного материала на участке пути от выходного отверстия пескоподающей системы до места контакта колеса локомотива с рельсом, составлена математическая модель движения частицы, рассчитаны траектории движения частиц разных размеров при различных величинах начальной скорости и скорости набегающего потока воздуха, даны рекомендации по выбору гранулометрического состава используемого абразивного материала.

A process of interaction of the running-on air stream and the particle of an abrasive material on a way section from an exhaust outlet of sanding plant to a place of locomotive wheel/rail contact is considered. The mathematical model of movement of a particle is built. The trajectories of movement of particles of different sizes are calculated at various values of initial velocity and speed of a running-on air stream. Recommendations for choice of granulometric composition of the used abrasive material are given.

Для реалізації тягового зусилля й зусилля гальмування рухомого складу на залізничному транспорті широко використовується кварцовий пісок, що дозволяє підтримувати величину коефіцієнта зчеплення коліс із рейками на високому рівні. Важливою умовою ефективної роботи піскоподавальної системи є зниження втрат при доставці піску в область контакту колеса локомотива з рейкою. Кварцовий пісок, що використовується на залізничному транспорті в цей час, є полідисперсним матеріалом. Для доставки піску в область контакту на залізничному транспорті широко використовуються пневматичні системи. Характер взаємодії часток піску із транспортуючим потоком повітря такий, що частки піску різного розміру, здобувають різні по величині швидкості. На шляху від вихідного отвору піскоподавальної системи до місця контакту колеса з рейкою частки піску взаємодіють із потоком повітря, що набігає, швидкість якого визначається швидкістю руху локомотива. У зв'язку із цим, траєкторії руху часток перетерплюють зміни, що залежать від швидкості руху локомотива й розмірів часток. Технічні засоби, що дозволяють змінювати напрямок і швидкість руху часток при русі локомотива, у цей час на залізничному транспорті відсутні. Тому кількість часток піску, що попадають в область контакту, є істотно меншою

кількістю подаваного піскоподавальною системою. За наявними даними, кількість піску, що не потрапляє в область контакту, становить 20...80 % (залежно від режиму руху локомотива) від загальної кількості піску, що подається під колеса рухомого складу [1].

У зв'язку із цим виникає ряд проблем, основою яких є непродуктивна витрата піску:

- забруднення піском баластової призми рейкового шляху;
- підвищений рівень зношування робочих поверхонь коліс і рейок;
- зниження реалізованого коефіцієнта зчеплення коліс із рейками;
- економічні збитки від непродуктивної витрати піску.

Вирішення цих проблем можливо за умови підвищення ефективності роботи піскоподавальної системи, що визначається співвідношенням кількості піску, яка попадає в область контакту, до загальної кількості подаваного піску.

Одним з напрямків пошуку шляхів підвищення ефективності роботи піскоподавальної системи є вивчення механізму взаємодії потоку повітря, що набігає, із частками піску на шляху від вихідного отвору піскоподавальної системи до області контакту колеса з рейкою.

Фактори, які визначають силу впливу потоку повітря, що набігає, на частку піску, це її

розміри, величини початкової швидкості частки й швидкості потоку повітря, що набігає.

У даній роботі розглядаються системи подачі піску з малою об'ємною концентрацією часток піску в піскоповітряній суміші. При малих значеннях об'ємної концентрації твердих часток у повітряному потоці, їхнім впливом на формування поля швидкостей потоку, що набігає, можна знехотити [2]. У цьому випадку вивчення закономірностей руху часток піску в потоці повітря можна провести на основі аналізу закономірностей руху одиначної частки піску при відомому полі швидкостей повітряного потоку, що набігає.

При аналізі руху часток піску були прийняті наступні допущення:

- частки мають сферичну форму;
- потік повітря, що набігає, має горизонтальний напрямок;
- поле швидкостей потоку повітря, що набігає, є рівномірним.

При складанні рівнянь руху частки були враховані тільки сили ваги й сили гідродинамічної природи, що залежать тільки від середніх значень параметрів повітряного потоку. При великих розмірах часток ($\delta > 0,2$ мм) впливом турбулентних пульсацій на їхній рух можна знехотити [3]. Був проведений аналіз руху досить великих часток кварцового піску різних розмірів при різних величинах початкової швидкості часток і швидкості потоку повітря, що набігає. Рух розглядався у вертикальній площині (вісь x спрямована уздовж поверхні рейки, вісь y проходить через центр вихідного отвору піскоподавальної системи, рис. 1).

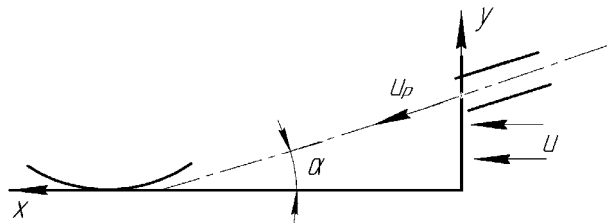


Рис. 1. Розрахункова схема

Були складені рівняння руху частки:

$$m_p \cdot \frac{du_{PX}}{dt} = f_{AX};$$

$$m_p \cdot \frac{du_{PY}}{dt} = -f_{AY} - m_p g, \quad (1)$$

де $m_p = \frac{\pi \cdot \delta^3 \cdot \rho_p}{6}$ – маса частки;

ρ_p – густина матеріалу частки;

u_{PX} – проекція швидкості частки на вісь x ;

f_{AX} – проекція сили аеродинамічного опору на вісь x ;

u_{PY} – проекція швидкості частки на вісь y ;

f_{AY} – проекція сили аеродинамічного опору на вісь y ;

g – прискорення вільного падіння.

Сила аеродинамічного опору при русі частки визначається рівнянням [4]:

$$\vec{f}_A = \zeta \frac{\rho}{2} s \cdot |\vec{u} - \vec{u}_p| \cdot (\vec{u} - \vec{u}_p), \quad (2)$$

де ζ – коефіцієнт аеродинамічного опору частки;

ρ – густина потоку повітря;

$s = \pi \frac{\delta^2}{4}$ – площа міделєва перетину частки;

\vec{u} – швидкість потоку, що набігає;

\vec{u}_p – швидкість частки.

У загальному випадку коефіцієнт аеродинамічного опору частки є однозначною функцією числа Рейнольдса Re .

$$Re = |\vec{u} - \vec{u}_p| \cdot \frac{\delta}{\nu}, \quad (3)$$

де ν – кінематична в'язкість повітря.

Для досліджуваного діапазону величин відносної швидкості частки, її розмірів величина числа Рейнольдса змінювалася в діапазоні: $13 < Re < 2400$. Величина коефіцієнта аеродинамічного опору для діапазону значень чисел Рейнольдса $13 < Re < 800$ визначалася за формулою [4]:

$$\zeta = \frac{12,3}{\sqrt{Re}}. \quad (4)$$

У розглянутому випадку, з урахуванням виразу (3), величина коефіцієнта аеродинамічного опору визначається рівнянням:

$$\zeta = \frac{12,3}{\sqrt{\sqrt{(u_{PY}^2 + (u - u_{PX})^2)} \cdot \delta}}. \quad (5)$$

При значеннях числа Рейнольдса $Re > 800$ величина коефіцієнта аеродинамічного опору не залежить від числа Рейнольдса й приймає значення $\zeta = 0,44$ [4].

Проекції сили аеродинамічного опору на осі координат визначаються за рівняннями [5]:

$$f_{AX} = \zeta \frac{\rho}{2} s \sqrt{u_{PY}^2 + (u - u_{PX})^2} (u - u_{PX}); \quad (6)$$

$$f_{AY} = \zeta \frac{\rho}{2} s \sqrt{u^2_{PY} + (u - u_{PX})^2} u_{PY}. \quad (7)$$

Після підстановки в систему рівнянь (1) рівнянь (6), (7) і ділення кожного рівняння на масу частки m_p одержимо розрахункову систему рівнянь:

$$\frac{du_{PX}}{dt} = \frac{3}{4} \zeta \frac{\rho}{\rho_p \cdot \delta} \sqrt{u^2_{PY} + (u - u_{PX})^2} \cdot (u - u_{PX});$$

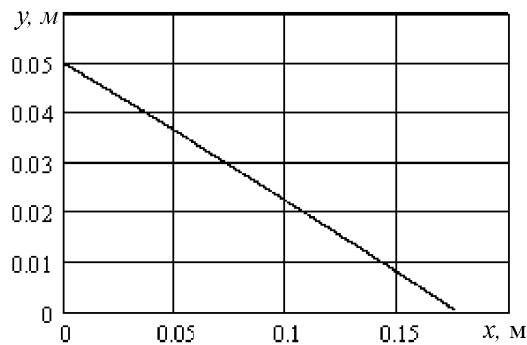
$$\frac{du_{PY}}{dt} = -\frac{3}{4} \zeta \frac{\rho}{\rho_p \cdot \delta} \sqrt{u^2_{PY} + (u - u_{PX})^2} \cdot u_{PY} - g. \quad (8)$$

Отримана математична модель дозволяє провести оптимізацію експлуатаційних характеристик піскоподавальної системи, а саме: здійснити підбір гранулометричного складу використовуваного піску, визначити початкову величину швидкості частки залежно від місця розташування вихідного отвору піскоподавальної системи й швидкості руху локомотива з метою підвищення ефективності доставки часток піску в область контакту колеса локомотива з рейкою.

На рис. 2 наведені розраховані за допомогою даної моделі траєкторії руху часток піску різних розмірів з величиною початкової швидкості $u_p = 8$ м/с за різних величин швидкості потоку повітря, що набігає, й інших рівних умов.

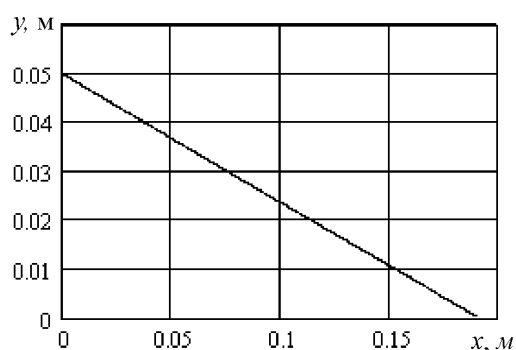
ВИСНОВКИ

Отримані результати показують, що траєкторії часток розміром $\delta = 1,5, 1,0$ мм, $0,5$ мм, при початковій швидкості часток $u_p = 8$ м/с і швидкості потоку, що набігає, $u = 0$, практично збігаються. Але при русі локомотива зі швидкістю $u = 100$ км/год траєкторії часток істотно розрізняються. При зміні швидкості потоку, що набігає, від $u = 0$ до $u = 100$ км/ч, зсув місця контакту частки піску з рейкою, для часток розміром $1,5; 1,0; 0,5$ мм склав $15, 22$ й 51 мм, відповідно. Зсув місця контакту частки з рейкою зростає зі зменшенням початкової швидкості частки. Так, при початковій швидкості частки $u_p = 6$ м/с зазначений зсув для часток розміром $1,5; 1,0; 0,5$ мм, при такій же зміні швидкості потоку, що набігає, склав, відповідно, $30, 45$ й 90 мм. Найменшим змінам, за результатами розрахунку, піддавалися траєкторії часток розміром $\delta = 1,5$ мм. Отже, при використанні монодисперсного за гранулометричним складом піску з розміром часток $\delta = 1,5$ мм втрати піску, викликані зміною швидкісного режиму руху локомотива, будуть мінімальними.



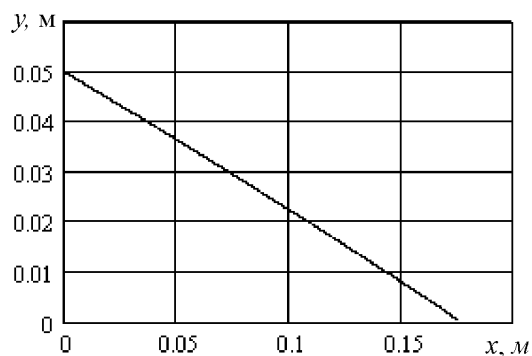
$\delta = 1,5$ мм; $u_p = 8$ м/с; $u = 0$ км/г.

(а)



$\delta = 1,5$ мм; $u_p = 8$ м/с; $u = 100$ км/г.

(б)



$\delta = 1,0$ мм; $u_p = 8$ м/с; $u = 0$ км/г.

(в)

Рис. 2. Траєкторії руху часток піску

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Осенин, Ю. И. Фрикционное взаимодействие колеса с рельсом [Текст] / Ю. И. Осенин, Д. Н. Марченко, И. А. Шведчикова. – Луганск: Изд-во ВУГУ, 1997. – 226 с.
2. Разумов, И. М. Пневмо- и гидротранспорт в химической промышленности. (Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии) [Текст] / И. М. Разумов. – М.: Химия, 1979. – 248 с.
3. Сакс, С. Е. Определение критической скорости взвешенного потока [Текст] / С. Е. Сакс // ИФЖ. – 1970. – т. 18, № 5. – С. 832-837.
4. Турбулентные течения газозвеси [Текст] / А. А. Шрайбер и др. – К.: Наук. думка, 1987. – 240 с.
5. Шрайбер, А. А. Гидромеханика двухкомпонентных потоков с твёрдым полидисперсным веществом [Текст] / А. А. Шрайбер, В. Н. Милютин, В. П. Яценко. – К.: Наук. думка, 1980. – 250 с.

Надійшла до редколегії 17.03.2009.

Прийнята до друку 09.04.2009.

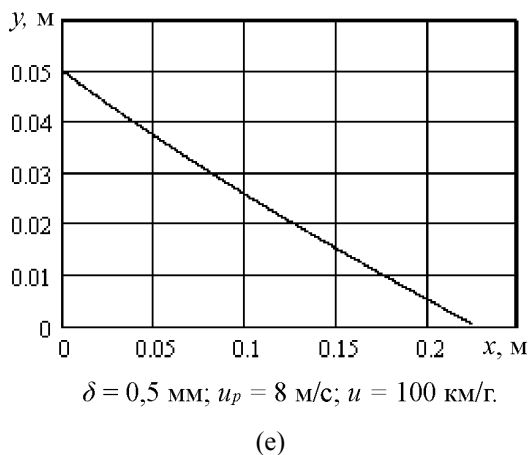
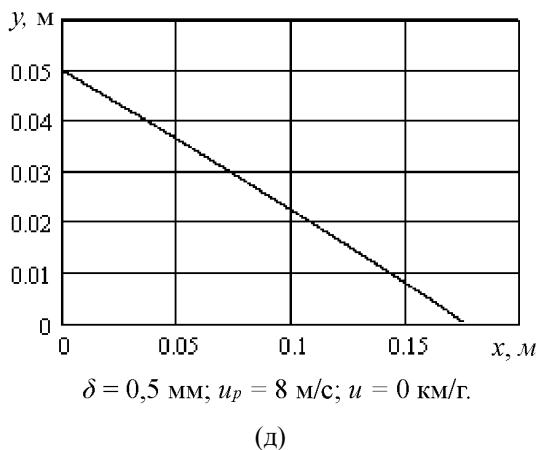
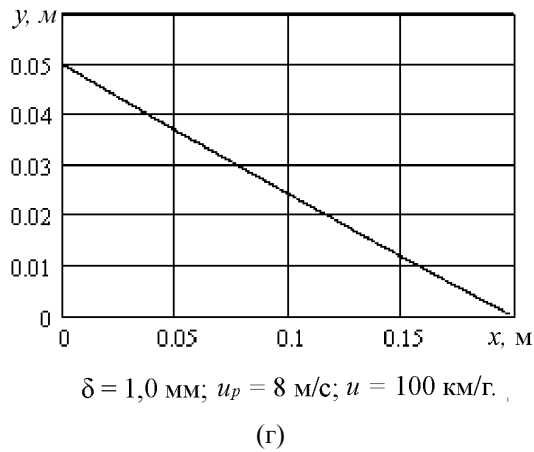


Рис. 2 (закінчення). Траекторії руху часток піску