

3-20-2019

PROBLEM OF A PARTICLE SOLID PARTICLES WITH A GROUND SURFACE AIRFLOW FORMED DUE TO HIGH-SPEED TRAIN MOVEMENT

Sh.S. Fayzibayev

Tashkent Institute of Railway Engineers, Tashkent, 100167, Uzbekistan

R.Sh. Isanov

Tashkent Institute of Railway Engineers, Tashkent, 100167, Uzbekistan

M.Sh. Valiyev

Tashkent Institute of Railway Engineers, Tashkent, 100167, Uzbekistan

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/tashiit>



Part of the [Engineering Mechanics Commons](#)

Recommended Citation

Fayzibayev, Sh.S.; Isanov, R.Sh.; and Valiyev, M.Sh. (2019) "PROBLEM OF A PARTICLE SOLID PARTICLES WITH A GROUND SURFACE AIRFLOW FORMED DUE TO HIGH-SPEED TRAIN MOVEMENT," *Journal of Tashkent Institute of Railway Engineers*: Vol. 15 : Iss. 1 , Article 4.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/tashiit/vol15/iss1/4>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Journal of Tashkent Institute of Railway Engineers by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact sh.erkinov@edu.uz.

PROBLEM OF A PARTICLE SOLID PARTICLES WITH A GROUND SURFACE AIRFLOW FORMED DUE TO HIGH-SPEED TRAIN MOVEMENT

Cover Page Footnote

O'zbekiston temir yo'llari Joint stock company

УДК 532.529.5

PROBLEM OF A PARTICLE SOLID PARTICLES WITH A GROUND SURFACE AIRFLOW FORMED DUE TO HIGH-SPEED TRAIN MOVEMENT

ЗАДАЧА ОБ УНОСЕ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ С ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОТОКОМ ВОЗДУХА ОБРАЗОВАННОГО ВСЛЕДСТВИИ ДВИЖЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ПОЕЗДА

Аннотация

В настоящей работе рассматривается задача об уносе частиц потоком воздуха при увеличении скорости высокоскоростного поезда. Нами получены решения задачи в случае, когда частицы в разрезе имеют форму трапеции. При увеличении скорости высокоскоростного поезда в конце поезда может возникнуть вихрь, который будет нами изучен.

Ключевые слова

Унос частиц, высокоскоростное движение, высокоскоростные поезда, воздухопоток

Annotation

The paper deals with the problem of entrainment of particles by air flow with increasing speed of a high-speed train. We have obtained solutions to the problem in the case when the particles in the section have the shape of a trapezoid. If the speed of a high-speed train increases at the end of the train, a whirlwind may occur, which we will study.

Keywords

Particle entrainment, high-speed traffic, high-speed trains, air flow

Файзибаев Ш.С., д.т.н. проф. (Tashkent institute of railway engineers, Tashkent, Uzbekistan)

Исанов Р.Ш., к.т.н. (Tashkent institute of railway engineers, Tashkent, Uzbekistan)

Валиев М.Ш., к.т.н. (Tashkent institute of railway engineers, Tashkent, Uzbekistan)

Скорость потока воздуха образованного в следствии движения высокоскоростного поезда при наличии твердых частиц на земной поверхности приводит к задаче об обтекании воздуха частиц, лежащих на шероховатой земляной поверхности, что влияет на распределения скоростей частиц воздуха с учетом неравномерности земной поверхности [3, 4].

В этой связи рассмотрим задачу об обтекание твердых частиц потоком воздуха. Ранее была рассмотрена задача об образовании потока воздуха в окружающем регионе при отсутствии твердых частиц на земной поверхности [4-10].

В различных местностях, вдоль которых проезжает высокоскоростной поезд, образуется, поток воздуха большой скорости, который может срывать частицы, лежащие на земной поверхности и уносить в определенном направлении.

Поскольку скоростной поезд движется с большой скоростью, считаем движение равномерным и прямолинейным. Поэтому предполагаем, что движение унесенных частиц в основном будут в направлении движения поезда. Боковая скорость потока воздуха, образованного движением высокоскоростного поезда, считаем относительно малой.

Врассматриваемой задаче возникающее движение потенциальное, воздух несжимаем (т.к. скорость движения поезда $V \leq 250$ км/час, число Маха $M < 0,32$) [1, 2]. Предполагаем, что плотность постоянна $\rho = const$, так что можно ввести потенциал скорости, и функцию тока, удовлетворяющие уравнение неразрывности:

$$v(x, y) = \frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad (1)$$

тогда для решения задачи введем:

$$w(z) = j(x, y) + iy(x, y), \quad (2)$$

комплексный потенциал в области течения $G, z = x + iy$, где $0 < x < \infty, 0 < y < \infty$ будет аналитической функций.

Для получения решения предварительно определим распределение скорости при обтекании потоком воздуха препятствий.

Рассмотрим задачу об уносе твердых частиц, лежащих на земной поверхности с различными конфигурациями образованной движением потоков воздуха высокоскоростного поезда.

В работе [3] рассмотрена задача о сальтационном движении частиц одного твердого тела диаметром d и в модели квадратичного сопротивления движению частиц с земной поверхности. Здесь предполагалось, что вектор скорости отрыва и отрыв происходит в вертикальном направлении.

Ниже рассмотрим задачу об уносе N штук твердых частиц, с плотностью ρ_c и поперечные сечения которых, имеет форму равнобедренных трапеций в виде (рис. 1).

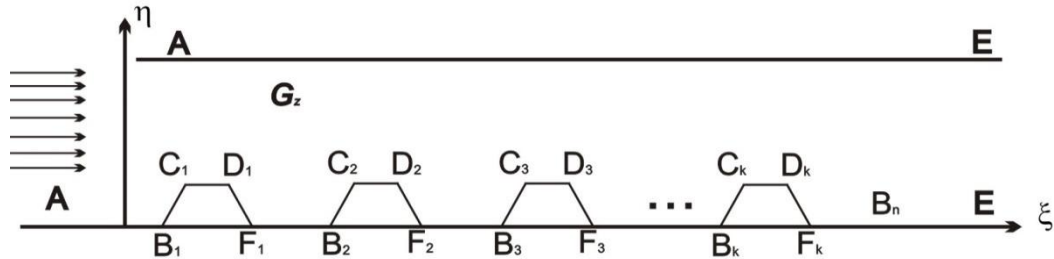


Рис. 1. Твердые частицы рассматриваются в форме трапеций

Пусть расстояния между частицами равна l , общая длина L , которая равна $L = l + lF$, толщина потока воздуха намного меньше, чем высота твердых частиц h расположенных на земной поверхности $G(z = x + iy)$.

Область течения G ограничена (рис.1) снизу G прямолинейными твердыми отрезками и земной поверхностью, а также сверху свободной поверхностью AE форма которой неизвестна.

Предварительно определим гидродинамическую силу воздействия частиц воздуха на частицы тел, для этого решим задачу о потоке воздуха над шероховатой поверхностью.

Введем верхнюю полуплоскость $G_0 \zeta = \xi + i\eta$ (рис. 2).

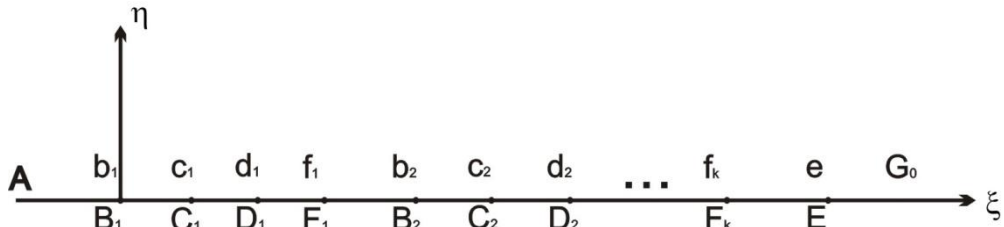


Рис. 2. Верхняя полуплоскость

Предположим, что частицы имеет форму лежащих тел, поперечное сечение которых является трапециями (рис. 1). Поток воздуха образованного за счёт движения скоростного поезда обтекает частицы, имеющие форму трапеции, расположенные на горизонтальной поверхности и в равномерном расстоянии.

Области течения является область ограниченные прямыми отрезками (рис.2). Для решения рассмотрим каноническую область верхнюю полуплоскость G .

Учитывая, что течение плоское, потенциальное введем аналитическую функцию Жуковского:

$$\omega(\xi) = \ln \frac{V}{V} + i\theta, \quad (3)$$

Здесь V – скорость на свободной поверхности AE частиц воздуха, образованной движением высокоскоростного поезда, $\bar{V} = u - iv$ сопряженная комплексная скорость, V – модуль скорости, θ – угол наклона вектора, u, v – компоненты вектора скорости в области течения G .

Форма свободной поверхности неизвестна. Поэтому каноническая область G имеет вид

$$\eta = \xi + in, \eta \geq 0, -\infty < \xi < \infty \quad (4)$$

Действительная ось области G соответствует границе области течения G . Рассматриваются безотрывное обтекание систем частиц, расположенных на земной поверхности. Из равенства (1) будем иметь следующие граничные условия:

$$\begin{aligned} \text{Вдоль } AB : \eta = 0, -\infty < \xi < 0 \quad \text{Im} \omega = 0; \\ \text{Вдоль } BC : \eta = 0, 0 < \xi < c \quad \text{Im} \omega = \beta\pi; \\ \text{Вдоль } CD : \eta = 0, c < \xi < d \quad \text{Im} \omega = 0; \\ \text{Вдоль } DF : \eta = 0, d < \xi < f \quad \text{Im} \omega = -\beta; \\ \text{Вдоль } FB : \eta = 0, f < \xi < b \quad \text{Im} \omega = 0. \end{aligned}$$

Согласно формуле Кристоффеля-Шварца из указанных условий имеем:

$$\omega(\xi) = \frac{1}{\pi} \left\{ \beta : \frac{d\xi}{\xi - \zeta} - \beta : \frac{d\xi}{\xi - \zeta} + \beta : \frac{d\xi}{\xi - \zeta} - \beta : \frac{d\xi}{\xi - \zeta} + \dots + \beta : \frac{d\xi}{\xi - \zeta} - \beta : \frac{d\xi}{\xi - \zeta} \right\} \quad (5)$$

Откуда интегрируя, получим:

$$\omega(\zeta) = \frac{1}{\pi} \left\{ \ln\left(\frac{c - \zeta}{b - \zeta}\right) - \ln\left(\frac{d - \zeta}{f - \zeta}\right) + \ln\left(\frac{c - \zeta}{b - \zeta}\right) - \ln\left(\frac{d - \zeta}{f - \zeta}\right) + \dots + \ln\left(\frac{c - \zeta}{b - \zeta}\right) - \ln\left(\frac{d - \zeta}{f - \zeta}\right) \right\}$$

(6)

либо

$$\omega(\zeta) = \frac{1}{\pi} \ln\left(\frac{c - \zeta}{b - \zeta} \cdot \frac{f - \zeta}{d - \zeta}\right), \quad (7)$$

$$\omega(\zeta) = \frac{1}{\pi} \ln \bar{v}(\zeta), \quad (8)$$

$$V = V, \bar{V}(\zeta) = \bar{v}(\zeta)V, \quad (9)$$

$$dz = \frac{q}{V} \cdot \frac{d\xi}{I(\xi)(e - \xi)}, \quad (10)$$

где q – расход потока воздуха.

Горизонтальное направление вектора скорости:

$$Z(\zeta) = \frac{q}{\pi V} \cdot \frac{d\xi}{(\xi - e)J(\xi)}, \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned} u &= \text{Re} \bar{V} \\ v &= -\text{Im} \bar{V} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

где определения средняя скорость частиц воздуха

$$\bar{u} = \frac{q}{V} \cdot \frac{V(\xi)}{(e - \xi)} d\xi \quad (13)$$

при $0 < \xi < \zeta, \bar{u}(\xi)$ – средней скорости.

Для решения задачи об уносе твердых частиц с земной поверхности воспользуемся методом линейного квадратичного воздействия.

С этой целью используем известный метод определения закономерности движения оторвавшихся шарообразных тел [3].

Для k -той трапеции, воспользуемся решением задачи об обтекании шероховатой поверхности потоком воздуха, введя коэффициент формы C :

$$C = 2\beta[(1 + B)h], \quad (14)$$

$$\text{где } h = \frac{h}{B}, c = \frac{C}{B} \cdot \frac{h}{b},$$

Средняя скорость частиц воздуха определяется V из равенства:

$$\frac{q}{V} \cdot \frac{V(\xi)d\xi}{L}, \quad (15)$$

$$L = L + l \quad (16)$$

где L – длина основной трапеции, l – расстояние между трапециями C – коэффициент сопротивления:

$$C = \frac{L}{L} \cdot C,$$

$$L = L + P \quad (17)$$

$$\left. \begin{aligned} W(\xi, n) &= V \operatorname{Re}[F(\xi)] \\ V(\xi, n) &= V \left[\frac{-\operatorname{Im} F(\xi)}{\sqrt{e - \xi}} \right] \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

$$\left. \begin{aligned} x(\xi, n) &= \operatorname{Re} Z(\xi, n) \\ y(\xi, n) &= \operatorname{Im} Z(\xi, n) \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Равенства (18) и (19) дают распределение скорости частиц воздуха в области течения G_z . Для исследования вопросов уноса твердых частиц с земной поверхности, пользуемся уравнением движения твердых частиц как отдельных частиц в модели сальтационного движения [1, 2, 3] которая позволяет определить траекторию и закономерности каждой.

В качестве коэффицентной формы примем:

$$C = B(1 + h),$$

где \hat{h} средняя высота k -той частицы. Теперь составим уравнение по квадратичному закону сопротивление в следующем виде: $C = C$, коэффициент формы:

$$C = \sqrt{B(1 + h)} \quad (20)$$

$$C = C \frac{L + l}{L} \quad (21)$$

$$\Phi = \frac{3}{8} \delta \frac{L + l}{L + l} \cdot \frac{\rho}{\rho} \cdot \frac{w}{\sigma g d}, \bar{u} = \frac{\bar{u}}{w}, w = w \quad (22)$$

$$C = C \frac{L}{L + l} \quad (23)$$

с условиями $t = 0, x(0) = x, y(0) = y$ координаты центра тяжести твердых тел или равнобедренных трапеций вертикальным поперечным сечением. Предполагаем, что отрыв частиц происходит под углом β или вертикально, т.е. когда $\beta = \frac{\pi}{2}$. На каждую частицу действует гидродинамическое давление $p = rV(x, y)$ [11, 12]:

и сила

$$F = rUS$$

$$\text{где } U = \sqrt{u + v},$$

S – площадь поперечного сечения k -той частицы.

$$\left\{ \begin{aligned} C\rho d \frac{du}{dt} &= \rho d C \sqrt{w + (u - u)}(u - u) \\ C\rho d \frac{dw}{dt} &= -\rho d C \sqrt{w + (u - u)}w - C\rho d g \end{aligned} \right. \quad (24)$$

где \bar{u} – средняя скорость частиц воздуха, u – компоненты вектора скорости по оси Ox , w – компоненты вектора скорости по оси Oz . Распределения скорости определяется равенством:

$$u(\hat{z}, \tau) = V \frac{\Phi \hat{u} \tau}{1 + \Phi \hat{u} \tau} \quad (25)$$

$$w(\hat{z}, \tau) = V \frac{1 - \tau - \Phi \hat{u} \frac{\tau}{2}}{1 + \Phi \hat{u} \tau} \quad (26)$$

где τ – время подъема частиц.

В нижеследующих таблицах приведены расчеты по определению скорости уноса для щепня различного диаметра и различной плотности [13, 14].

Таблица 1.

Расчеты по определению скорости уноса для щебня различной плотности.

P воздух	ρ щебень	g	d средний диаметр частицы	$g = rg$	$g = rg$	h1 высота до первого препятствия	h2 высота от земной поверхности до дна поезда
1,29	2000	9,88	0,005	12,7452	19760	0,39	0,6
	2100		0,01		20748		
	2200		0,015		21736		
	2300		0,02		22724		
	2400		0,025		23712		
	2500		0,03		24700		
	2600		0,035		25688		
	2700		0,04		26676		
	2800		0,045		27664		
	2900		0,05		28652		
	3000		0,055		29640		

Таблица 2.

	V, для h1	V, для h2
	97,68931884	102,1064531
	128,1022515	134,3490227
	149,6915187	157,3422196
γ_{s1} для $r = 2000$	166,9492452	175,7835137
	181,538684	191,4156964
	194,2863996	205,1061246
	205,6713678	217,3580065
	215,9992706	228,492813
	225,4786751	238,7300778
	234,2590608	248,2272657
	242,4516867	257,1016636
	250,1418852	265,4432871
	257,3967202	273,3229242

Расчеты по определению скорости уноса для щебня различной плотности.

Таблица 3.

Расчеты по определению скорости уноса для щебня различного диаметра

r_c	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2800	2900	3000
Для ПТ, для разных	100,10	102,46	104,76	97,69	109,23	111,39	113,51	115,60	117,65	119,66
	131,27	134,36	137,38	128,10	143,23	146,07	148,85	151,59	154,27	156,91
	153,39	157,00	160,53	149,69	167,37	170,69	173,94	177,13	180,27	183,35
	171,07	175,10	179,04	166,95	186,67	190,37	193,99	197,56	201,05	204,49

	186,02	190,40	194,69	181,54	202,98	207,00	210,95	214,82	218,62	222,36
	199,09	203,78	208,36	194,29	217,23	221,54	225,76	229,90	233,98	237,98
	210,75	215,72	220,57	205,67	229,96	234,52	238,99	243,38	247,69	251,92
	221,34	226,55	231,64	216,00	241,51	246,30	250,99	255,60	260,12	264,57
V ответ h2 для разных d	104,63	107,09	109,50	102,11	114,17	116,43	118,65	120,83	122,96	125,07
	137,67	140,91	144,08	134,35	150,22	153,19	156,11	158,98	161,79	164,56
	161,23	165,03	168,74	157,34	175,93	179,41	182,83	186,19	189,48	192,72
	180,13	184,37	188,51	175,78	196,54	200,44	204,26	208,01	211,69	215,31
	196,15	200,76	205,28	191,42	214,02	218,26	222,42	226,51	230,52	234,46
	210,17	215,12	219,96	205,11	229,33	233,87	238,33	242,71	247,01	251,23
	222,73	227,97	233,10	217,36	243,03	247,84	252,57	257,21	261,76	266,24
	234,14	239,65	245,04	228,49	255,48	260,54	265,51	270,38	275,17	279,88

Список литературы

1. Lojcyanskiy, L.G. Mehanika zhidkosti i gaza./L.G.Loicyanskiy. - M.: Fizmatgiz (Nauka), 1973.
2. Sedov, L.I. Mehanika sploshnoj sredy. / L.I.Sedov.Tom 1–2. - M.: Nauka, 1970.
3. Byutner, E.K. Dinamika pripoverhnostnogo sloya vozduha. / E.K.Byutner. - Leningrad.: Gidrometizdat, 1978.
4. Hamidov, A.A. Zadacha ob obtekanii vagona potokom idealnoj szhimaemoj zhidkosti./ A.A.Hamidov, R.Sh. Isanov, M.I. Ruzmatov // Materialy nauchno–tehnicheckoj konferencii po problemam nazemnyh transportnyh sistem. - Tashkentskij institut inzhenerov zheleznodorozhnogo transporta. - Tashkent. - 2008. S. 211–213.
5. Hamidov, A.A. Strujnoe obtekanie vysokoskorostnogo poezda. / A.A.Hamidov, R.Sh. Isanov, B.B. Egamberdiev // Vestnik TashIITA / Tashkentskij institut inzhenerov zheleznodorozhnogo transporta. - Tashkent. - 2011.- №3. S.14–16.
6. Isanov, R. Sh. Objective of solid counter (trains)./ R.Sh.Isanov // Transport Problems / Silesian University of Technology Publication Faculty of Transport. - Katowice. - 2014.
7. Isanov, R.Sh. Dvухslojnyj potok vozduha pri obtekanii vysokoskorostnogo poezda./ R.Sh.Isanov // «Nauka i progress transporta» VДNUZT. - Dnepropetrovsk, Ukraina.- 2013. -S.127–132.
8. Kravec, V.V. Vysokoskorostnoj podvizhnoj sostava i aerodinamika. / V.V.Kravec, E.V. Kravec // Problemy i perspektivy razvitiya zheleznodorozhnogo transporta. - Materialy 65–j Mezhdunarodnoj nauchno – praktičeskoj konferencii. - DNUZhT. – Dnepropetrovsk. - 2005. S. 31–32.
9. Hamidov, A.A. Ploskie zadachi o strujnom obtekanii vysokoskorostnogo poezda. / A.A.Hamidov, V.N.Balabin, R.Sh. Isanov, N.V.Yarоnova // Problemy mehaniki. – Tashkent. – 2013. - № 1–2.
10. Fajzibaev, Sh.S. Obtekanie vysokoskorostnogo poezda v gorizontальной ploskosti. / Sh.S.Fajzibaev, R.Sh.Isanov, B.B. Egamberdiev // Sovremennye naukoymkie tehnologii/ zhurnal Rossijskoj akademii estestvoznaniya. – Moskva.- 2015. - №12, vypusk 2.

1. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа./Л.Г.Лойцянский. - М.: Физматгиз (Наука), 1973.
2. Седов, Л.И. Механика сплошной среды. / Л.И.Седов.Том 1–2. - М.: Наука, 1970.
3. Бютнер, Э.К. Динамика приповерхностного слоя воздуха. / Э.К.Бютнер. – Ленинград.: Гидрометиздат, 1978.
4. Хамидов, А.А. Задача об обтекании вагона потоком идеальной сжимаемой жидкости./ А.А.Хамидов, Р.Ш. Исанов, М.И. Рuzmatov // Материалы научно–технической конференции по проблемам наземных транспортных систем. – Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта. – Ташкент. - 2008. С. 211–213.
5. Хамидов, А.А. Струйное обтекание высокоскоростного поезда. / А.А.Хамидов, Р.Ш. Исанов, Б.Б. Егамбердиев // Вестник ТашИИТа / Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта. – Ташкент. - 2011.- №3. С.14–16.
6. Isanov, R. Sh. Objective of solid counter (trains)./ R.Sh.Isanov // Transport Problems / Silesian University of Technology Publication Faculty of Transport. – Katowice. - 2014.
7. Исанов, Р.Ш. Двухслойный поток воздуха при обтекании высокоскоростного поезда./ Р.Ш.Исанов // «Наука и прогресс транспорта» ВДНУЗТ. - Днепропетровск, Украина.- 2013. -С.127–132.
8. Кравец, В.В. Высокоскоростной подвижной состава и аэродинамика. / В.В.Кравец, Е.В. Кравец // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта. – Материалы 65–й Международной научно – практической конференции. - ДНУЖТ. – Днепропетровск. - 2005. С. 31–32.
9. Хамидов, А.А. Плоские задачи о струйном обтекании высокоскоростного поезда. / А.А.Хамидов, В.Н.Балабин, Р.Ш. Исанов, Н.В.Яронова // Проблемы механики. – Ташкент. – 2013. - № 1–2.

10. Файзибаев, Ш.С. Обтекание высокоскоростного поезда в горизонтальной плоскости. / Ш.С.Файзибаев, Р.Ш.Исанов, Б.Б. Егамбердиев // Современные наукоемкие технологии/ журнал Российской академии естествознания. – Москва.- 2015. - №12, выпуск 2.