

где $Gx = \varepsilon x'(t); Tx = a(t)x(t); A: X \rightarrow Y(X, Y, X_n, Y_n)$ введены в доказательстве теоремы 1); $G: X \rightarrow Y; T: X \rightarrow Y; G, T$ — линейные операторы.

Соответствующее приближённое уравнение имеет вид

$$A_n x_n \equiv P_n A x_n = y_n \quad (x_n \in X_n, y_n = P_n y \in Y_n),$$

$$A_n x_n = G x_n + P_n T x_n, P_n T: X \rightarrow Y, G: X_n \rightarrow Y_n.$$

Докажем, что оператор G — линейно обратим. Пусть $Gx = z$, тогда

$$x = G^{-1}z = \frac{1}{\varepsilon} \int_0^t z(\tau) d\tau \leq \frac{1}{\varepsilon} \int_0^t \max_{0 \leq \tau \leq t} |z(\tau)| d\tau,$$

то есть $\|G^{-1}z\| \leq \frac{1}{\varepsilon} \max_{0 \leq t \leq 1} |z(t)|$ или $\|G^{-1}\|_{Y \rightarrow X} \leq \frac{1}{\varepsilon}$. Однородность и аддитивность оператора G очевидна.

Поскольку $\|A - A_n\|_{Y_n \rightarrow Y} = \|T - P_n T\| \rightarrow 0$ при $n \rightarrow \infty$ (см. теорему 1), то следуя [1, с.27] имеем

$$\begin{aligned} \|x^* - x_n^*\|_X &\leq \|E - A_n^{-1} P_n T\|_{X \rightarrow X} \|G^{-1}\|_{Y \rightarrow X} \|Gx^* - P_n Gx^*\|_Y \leq \\ &\leq \{1 + K_1(\varepsilon)O(1)\} \|G^{-1}\|_{C \rightarrow C^{(1)}} 2 \|P_n\|_{C \rightarrow C} E_{n-1}(Gx^*)_C \leq \\ &\leq K_2(\varepsilon) \frac{\ln n}{n^{\alpha+r}} = O\left(\frac{\ln n}{n^{\alpha+r}}\right), \end{aligned}$$

так как

$$E_{n-1}(Gx^*) = O\left(\frac{1}{n^{\alpha+r}}\right) \quad (Gx^* \in H_\alpha^r); \quad \|P_n\|_{C \rightarrow C} = O(\ln n);$$

$$\|A_n^{-1}\|_{Y_n \rightarrow X_n} \leq \bar{K}_1(\varepsilon) \quad (\text{см. следствие к теореме 1}); \quad \|P_n T\|_{X_n \rightarrow Y} = O(1).$$

Заданная погрешность вычислений δ достигается при $n > n_0$, где $n_0 \in \mathbf{N}$ — минимальное решение неравенства

$$K_2(\varepsilon) \frac{\ln n}{n^{\alpha+r}} \leq \delta$$

относительно n .

Список литературы

- | | |
|---|--|
| 1. Габдулхаев Б.Г. Оптимальные аппроксимации решений линейных задач. — Казань: Из-во Казан. ун-та, 1980. — 232 с. | 2. Даугавет И.К. Введение в теорию приближения функций. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1977. — 184 с. |
| | 3. Натансон И.П. Конструктивная теория функций. — М-Л.: Гостехиздат, 1949. — 688 с. |

ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ОТ СКОРОСТИ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ПРИ ПНЕВМОЗАРЯЖАНИИ

DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2020.6.71.614](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2020.6.71.614)
Ачеева Э.А., Локьяева С.М., Лопушняк Е.В.

АННОТАЦИЯ

Широкое применение пневматического способа заряжания и транспортирования гранулированных взрывчатых веществ (ВВ) при ведении горных работ указывает на необходимость исследований недостатков, сопутствующих этому методу: а именно возникновение электризации в зарядном шланге. Электрический потенциал и заряд являются основными параметрами энергии, выделяющейся при разряде, количество теплоты которого идет на разогрев ВВ. В итоге, зная минимальные скорости движения потока аэровзвеси, можно контролировать величину электрического заряда, превышение которого ведет к незапланированному взрыву.

ANNOTATION

The wide use of pneumatic method of loading and portage of granular explosives (BB) at the conduct of mountain works specifies on the necessity of researches of defects concomitant to this method: namely an origin of electrification in a charge hose. Electric potential and charge are the basic parameters of the energy distinguished at a digit, the amount of warmth of that goes to the warming-up of VV. In the total, knowing the minimum

temperatures of selfignition of a erodredges, it is possible to control the size of electric charge and exceeding of that conduced to the unplanned explosion.

Ключевые слова: скорость транспортирования, пневмозаряжание, электризация, влияние, взрывчатое вещество.

Keywords: transportation speed, pneumoloading, electrification, influence, explosive.

При исследовании влияния на электризацию скорости транспортирования взрывчатых веществ параметр скорости менялся в широком диапазоне: от 5 м/с до 25 м/с, что осуществлялось работой зарядной установки в соответствующем, заранее определенном режиме. Скорость движения частиц ВВ по шлангу определялась с помощью радиоактивных изотопов.

Для изучения этой закономерности были изготовлены из оргстекла имитаторы гранул взрывчатого вещества диаметром 1,5 мм. В них помещались радиоактивный кобальт и вольфрам для придания частицам необходимого веса. Меченные частицы окрашивались в яркий цвет. Удельный вес этих частиц определялся способом водоизмещения после помещения в них радиоактивного вещества и соответствовал удельному весу транспортируемого ВВ. Устройство для загрузки меченных частиц выполнено из пробкового крана, один конец которого через тройник соединялся с транспортирующей магистралью, второй закрывался заглушкой.

Это устройство устанавливалось на расстоянии 0,5 м от конца нагнетательного патрубка заряжающего аппарата и на расстоянии 15 м от места установки первого счетчика, что превышало длину разгонного участка для исследуемых частиц. Расстояние между первым и вторым счетчиками составляло 8,5 м. Измерение скорости производилось на установившемся

режиме работы пневмозаряжающей системы. В процессе работы установки открывался пробковый кран и меченные частицы попадали в транспортирующую магистраль, где подхватывались пылевоздушным потоком ВВ.

Прохождение меченных частиц перед счетчиком регистрировалось на пленке осциллографа в виде всплеска (пика). По расстоянию между пиками на осциллограмме определялось время движения меченої частицы на отрезке пути между соседними счетчиками. По пройденному пути и времени устанавливалась скорость движения частицы, что соответствовало скорости транспортирования ВВ.

Исследовалось влияние скорости транспортирования на величину потенциала электризации. Опыты проводились с аммиачной селитрой, гранулитом АС-8 и игданитом при транспортировании их по полимерному и резиновому диэлектрическим шлангам диаметром 36 мм. Относительная влажность воздуха в момент проведения опытов составляла 45-50%, температура окружающей среды +15°C. относительная влажность ВВ была равна 0,3% - 0,5%. плотность пылевоздушного потока в шланге находилась в пределах 8 – 10 кг на 1 м³ воздуха в зависимости от типа транспортируемого ВВ и материала шланга. В таблице 1 приведены данные по исследованию влияния скорости транспортирования ВВ на процесс электризации.

Таблица 1.

Значения потенциала электризации в зависимости от скорости транспортирования ВВ по шлангу.

| Материал шланга | Транспортируемое ВВ | Потенциал в кВ при скоростях транспортирования по пневмопроводу, м/с | | | | |
|------------------------|---------------------|--|-----|-----|------|-----|
| | | 510 | 15 | 20 | 25 | |
| Полиэтилен диэлектрич. | Аммиачная селитра | 2,7 | 5,3 | 7,6 | ,8,8 | 9,4 |
| | Гранулит АС-8 | 2,2 | 4,5 | 6,4 | 7,3 | 8,0 |
| | игданит | 0,6 | 1,3 | 2,0 | 2,5 | 2,8 |
| Резина | Аммиачная селитра | 1,1 | 2,0 | 3,0 | 4,2 | 4,7 |
| | Гранулит АС-8 | 0,9 | 1,5 | 2,4 | 3,1 | 3,5 |
| | Игданит | 1,2 | 2,7 | 3,6 | 4,7 | 5,5 |

По результатам опытов построены графики зависимости величины потенциала электризации от скорости транспортирования (рис. 1) и определены

корреляционные уравнения связи между этими параметрами

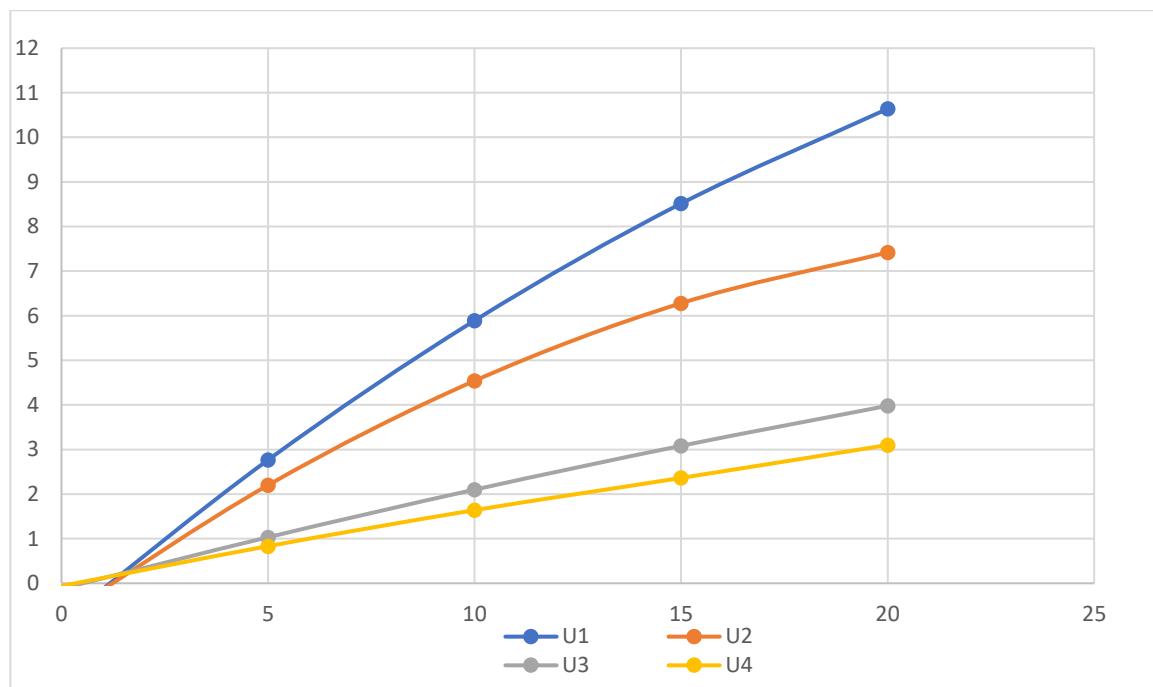


Рис. 1. Зависимость между потенциалом статического электричества и скоростью транспортирования рассыпных ВВ
 1 – резиновый шланг - селитра; 2 – резиновый шланг - гранулит AC-8;
 3 – полиэтиленовый шланг – AC-8; 4 – полиэтиленовый шланг - селитра.

При транспортировании аммиачной селитры, гранулита АС-8 и игданита по полиэтиленовому диэлектрическому шлангу величина электростатического потенциала изменялась по уравнениям:

$$\text{для аммиачной селитры } U = -0,86 + 0,775V - 0,01V^2$$

$$\text{для гранулита АС-8 } U = -0,74 + 0,648V - 0,012V^2$$

$$\text{для игданита } U = -0,40 + 0,208V - 0,003V^2$$

При транспортировании указанных взрывчатых веществ по резиновому шлангу величина потенциала статического электричества в зависимости от скорости определяется уравнениями:

$$\text{для аммиачной селитры } U = -0,06 + 0,187V - 0,0017V^2$$

$$\text{для гранулита АС – 8 } U = -0,12 + 0,239V - 0,0017V^2$$

$$\text{для игданита } U = -0,24 + 0,315V - 0,0034V^2$$

где U – величина электростатического потенциала, кВ; V – скорость транспортирования, м/с.

Из приведенных зависимостей следует, что потенциал электризации растет с повышением скорости транспортирования. Наиболее интенсивный рост электростатических напряжений происходит в интервале скоростей от 0 до 20 м/с. Затем с повышением скорости транспортирования увеличение потенциала электризации замедляется. Для большинства материалов следует предполагать, что с дальнейшим повышением скорости кривые электризации еще больше будут выравниваться, и какой-то скорости наступит предел, за которым дальнейший рост потенциала прекратится вообще.

В литературных источниках [2] указывается, что величина предельной скорости, при которой прекращается дальнейший рост потенциала, колеблется в пределах 50-55 м/с. Видимо, основной причиной, обуславливающей предельный потенциал, является увеличение токов утечки. При равенстве скорости образования зарядов и скорости утечки их в землю дальнейший рост потенциала с увеличением скорости движения частиц транспортируемого ВВ прекращается. Однако, следует учитывать и то обстоятельство, что разнообразие свойств материалов шлангов может изменить величину предельной скорости. Скорость транспортирования, при которой электризация почти прекращается, по мнению большинства авторов, находится в пределах 1-2 м/с.

Библиографический список

1.Белин В.А. Процесс формирования пылевидных частиц при взрывном разрушении горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2002. №5. С. 93.

2.Ачеева Э.А., Шелехов П.Ю., Плиева М.Т. Зависимость параметров электростатического поля в зарядном шланге от скорости транспортирования при пневмозаряжании гранулированными ВВ //Уголь, 2013. №8. С.100-101.

3.Шелехов П.Ю., Белин В.А., Ачеева Э.А., Гаврина О.А. Влияние скорости транспортирования и плотности гранулированных взрывчатых веществ на их электризацию при пневмозаряжании взрывных полостей // Устойчивое развитие горных территорий, 2014.

4.Шелехов П.Ю., Ачеева Э.А., Баликоева М.С. Исследование взрывоопасных условий

электризации при механизированном заряжании взрывных полостей россыпными взрывчатыми веществами //Горный информационно-аналитический бюллетень, 2012, - №4. – С. 342-345.

5.Белин В.А., Кутузов Б.Н., Ачеева Э.А. Снижение интенсивности и вероятности воспламенения взрывчатых аэровзвесей при пневмозаряжании //Горный информационно-аналитический бюллетень, 2014, - №5. – С. 356-361.

SOLUTION WITH SCIENTIFIC PACKAGING SCILAB

DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2020.6.71.613](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2020.6.71.613)

¹Djamale O.Nabiyeva, ²Afsuna X.Xankishiyeva

¹Baku Biznes University,

²Azerbaijan State Pedagogical University

SUMMARY

In the present case, the solution of the ordinary differential equation in the Scilab software package is shown.

Key words: Differential equation, Scilab package.

It is known that,

$$H(t, x, x', x'', \dots, x^{(n)}) = 0 \quad (1)$$

the equation in the form is called the n-order differential equation.

The solution of the differential equation $x(t)$, converts the equation into the same. System of n-order differential equations

$$\begin{aligned} x'_1 &= f_1(t, x_1, x_2, \dots, x_n) \\ x'_2 &= f_2(t, x_1, x_2, \dots, x_n) \\ x'_n &= f_n(t, x_1, x_2, \dots, x_n) \end{aligned} \quad (2)$$

system. (2) system solution

$$x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))$$

It is a vector and converts the system's equations into one.

$$[y, w, iw] = \text{ode}([\text{type}], y0, t0, t, [\text{rtol}, \text{atol}], f, [\text{jac}], [w, iw])$$

Here $y0$ – initial condition vector; $t0$ - the starting point of the integration interval; t – coordinates of the network nodes; f – (2) an external function that determines the right side of the equation ; y – (3) solutions vector.

Thus,

$$\frac{dy}{dt} = f(t, y)$$

$$y(t0) = y0$$

to solve the ordinary differential equation in the form

$$y = \text{ode}(y0, t0, t, f)$$

need to call the function. **ode** Let's take a look at the non-essential parameters of the function.

type - the parameter used to select the solution method or the type of problem to be solved with one of

Differential equations and systems have an infinite number of solutions, which are constants. Additional prerequisites and boundary conditions must be provided for a single solution. The number of such conditions must be consistent with the design of the differential equation or system. Differential equations, depending on the type of additional conditions, on the Koshi problem - all additional conditions are given at one (usually the first) point of the interval. Additional terms of the boundary value problems are provided within the range boundaries.

In many cases there is an exact solution of the equations. However, sometimes it is not possible to find the exact solution of the equation, especially the system of equations. In these cases, the solution is found using numerical methods. Numerical methods are also used to find the numerical solution of the equation known as the analytical solution.

To solve the differential equation and system, Scilab has the following function.

the lines; adams - used in solving Adams method of differential equations or systems; stiff- is used for solving tough issues; rk - used when solving differential equations or systems; rkf - displayed when selecting a five-step four-way Rungee-Kutt method; fix - Apply the Rungee-Kutt method to the intended steps;

rtol, atol - relative and absolute errors of calculations, vector with the size y, in case of silence using rtol = 0.00001, atol = 0.0000001, rkf and fix parameters - rtol=0.001, atol=0.0001 happens; jac is a matrix showing the Jacobian side of the rigid system; The matrix is represented by an external function in the form of J = jack (t, y); w, iw are vectors that store information about integration settings.

Let's look at using functions to solve the following issues.

Problem 1.

$$\frac{dx}{dt} + x = \sin(xt), x(0) = 1.5$$