

## NUMERICAL STUDY OF AN IMPROVED MATHEMATICAL MODEL OF THE SOLID DOMESTIC WASTE AFTER COMPACTION DRIVE IN A GARBAGE TRUCK

Bereziuk O. V.

Vinnytsia National Technical University

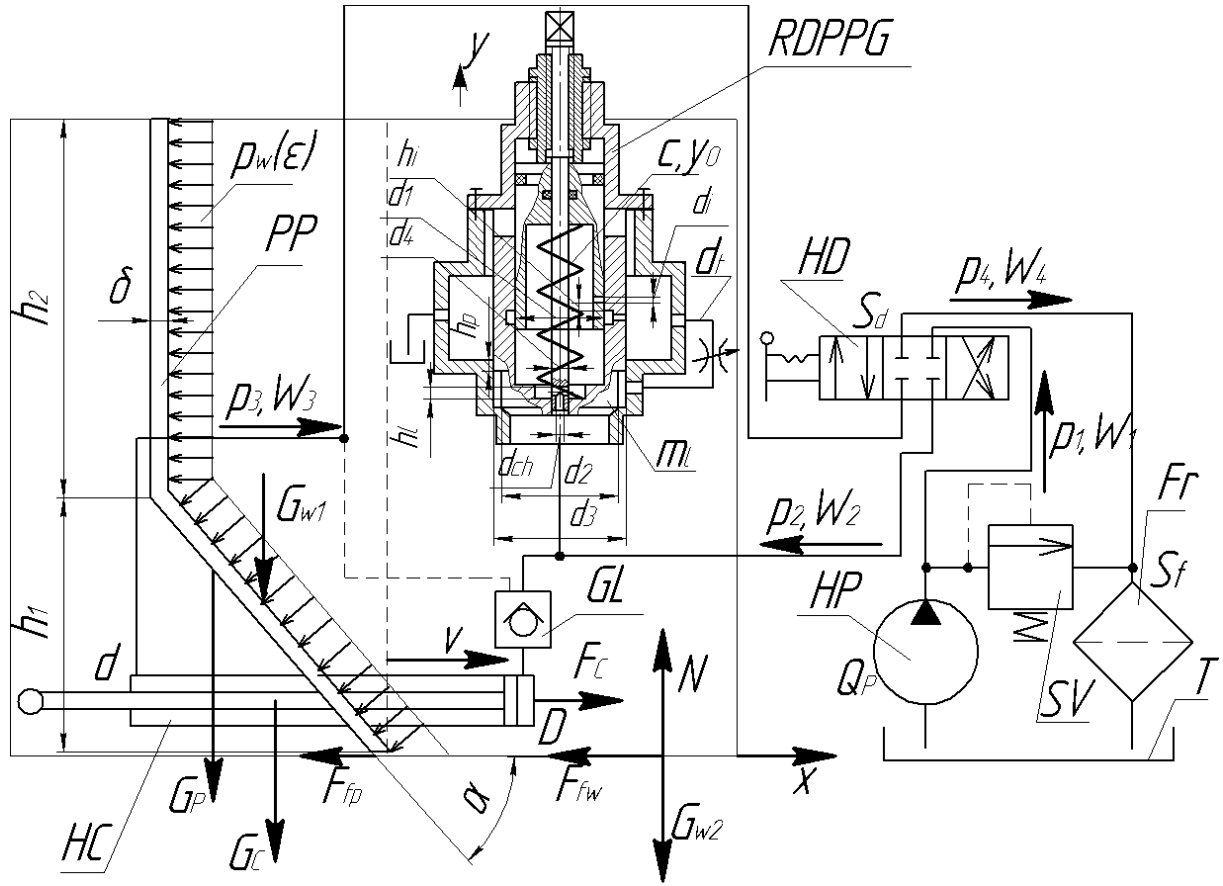
**Introduction.** In Ukraine, about 53 million m<sup>3</sup> of solid domestic waste (SDW) is generated annually, the main part of which is buried in 6107 landfills and landfills with an area of almost 7700 hectares, which threatens health and environmental safety [1]. In contrast to industrial waste [2-6], SDW is characterized by a huge heterogeneity, which makes it difficult to process it.

**Research relevance.** Collection of SDW is the main task of sanitary cleaning of settlements and is carried out by more than 4100 garbage trucks [7], and therefore is associated with significant financial costs. According to preliminary calculations, more than 45 thousand tons of fuel per year are spent on transporting SDW by garbage trucks to the disposal site at a minimum distance of 30 km, which corresponds to the size of the sanitary zone [8]. To reduce the growth rate of landfill areas and the cost of transporting SDW, a technological operation is performed to seal SDW during loading into a garbage truck. High compaction coefficient of SDW contributes to more efficient use of landfill area. The fleet deterioration of garbage trucks of municipal enterprises in Ukraine reaches 70%, which makes it necessary to produce new garbage trucks.

**Problem statement.** According to the Resolution of the Ministers Cabinet of Ukraine No. 265 [9], it is important to ensure the use of modern highly efficient garbage trucks in the country's municipal economy, as the main link in the structure of machines for cleaning and primary processing of SDW. Therefore, the study of an improved mathematical model of the vibration drive for compaction of solid domestic waste in a garbage truck is an urgent scientific and technical task as one of the components for solving the problem of creating scientific and technical bases for designing highly efficient working bodies of machines for collecting and primary processing of solid domestic waste.

**Research result.** Pic. 1 shows the design scheme of a vibration drive for compaction of SDW in a garbage truck using a relay differential pressure pulse generator (RDPPG). The diagram shows the following main geometric, kinematic and power parameters are:  $p_1, p_2, p_3, p_4$  – pressure respectively on the outlet of the pump, at the inlet of the hydraulic cylinder, the output cylinder and the inlet of the filter;  $W_1, W_2, W_3, W_4$  – volume of piping between the pump and directional valve, directional valve and the inlet of the hydraulic cylinder, output cylinder and hydraulic control valve, directional valve and filter;  $Q_p$  – the actual pump flow;  $S_d$  – the area of the nominal bore hole dispenser;  $S_f$  – the surface area of the filter element;  $D, d$  – diameters of the piston and shaft;  $G_p$  – the weight of the pressing plate;  $G_c$  – the weight of the cylinder;  $G_{w1}$  – weight part of waste, which are above the pressing plate;  $G_{w2}$  – weight part of waste, which are outside the pressing plate;  $F_{fp}$  – the friction force between the pressing plate and the guide;  $F_{rw}$  – friction between the SDW and the body;  $F_c$  – force which develops the hydraulic cylinder;  $h_1, h_2$  – the height of the lower and upper pressing plate;  $\delta$  – plate thickness pressing;  $\alpha$  – the angle of the plate pressing;  $x$  – moving the pressing plate;  $y$  – displacement of the locking element RDPPG;  $d_1$  – diameter nakladno cavity;  $d_2, d_3$  – diameter of the 1-st and 2-nd degree of the locking element RDPPG;  $m_l$  – mass of the locking element;  $c$  – spring stiffness;  $y_0$  – preliminary deformation of the spring;  $h_p$  – positive overlap of the locking element,  $d_t$  – diameter bore throttle window,  $h_i$  – internal overlap, which represents the distance from the lowest point of the

inner hole to the upper end of the inner ring bore,  $h_l$  – the lower the ceiling, which represents the distance from the top point of the cross hole to the top of the circle holes in the bottom of the valve,  $d_i$  – is the diameter of the inner hole,  $d_{ch}$  – diameter cross-holes.



Picture 1 – Design scheme of the vibration drive of the aftercompaction DSW using a pressure pulse generator of relay differential action: PP – pressing plate; HC – hydraulic cylinder; HD – hydraulic distributor; HP – hydraulic pump; SV – safety valve; Fr – filter; T – tank with working fluid; GL – hydraulic lock; RDPPG – relay differential pressure pulse generator

On the basis of the calculation scheme, an improved mathematical model of the vibration drive for compaction of SDW in a garbage truck using RDPPG is proposed, which is a system of differential equations (1-6) with corresponding boundary conditions (7):

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_p = \mu S_d \sqrt{2(p_1 - p_2)/\rho_{wf}} + \sigma(p_1 - p_2) + KW_1 \dot{p}_1; \quad (1) \\ S_d \sqrt{2(p_1 - p_2)/\rho_{wf}} = \dot{x} \pi D^2 / 4 + \sigma(p_2 - p_3) + KW_2 \dot{p}_2 + \dot{y} \pi [d_3^2 - \mathbf{1}(h_1 - y)d_1^2] / 4 + \mathbf{1}(y - h_p) \mu \pi d_3 (y - h_p) \sqrt{2p_2/\rho_{wf}} + \mathbf{1}(y) \mu \pi d_i^2 \sqrt{2p_2/\rho_{wf}} / 4 + \mathbf{1}(y - h_i) \mu \pi d_i^2 \sqrt{2p_2/\rho_{wf}} / 4; \quad (2) \\ \dot{x} \pi (D^2 - d^2) / 4 = \mu S_d \sqrt{2(p_3 - p_4)/\rho_{wf}} + \sigma(p_3 - p_4) + KW_3 \dot{p}_3; \quad (3) \\ \mu S_d \sqrt{2(p_3 - p_4)/\rho_{wf}} = k_f p_4 S_f / \mu_d + \sigma p_4 + KW_4 \dot{p}_4; \quad (4) \\ \pi [p_2 D^2 - p_3 (D^2 - d^2)] / 4 = [V_c \rho_1 + (h_2 + h_1 / \sin \alpha) b \delta \rho_s + (m_c + S_{c1} x \rho_{wf})] \ddot{x} + \beta \dot{x} + [(0.04669 - 5.198 \cdot 10^{11} e^{-0.07908 \rho_1}) e^{6.094 Q_p t / (x_{max} S_{c1})} + 1.356 - 1.162 \cdot 10^{13} e^{-0.07908 \rho_1} - 1.267 \cdot 10^{-31} e^{1.658 w_1}] \cdot 10^6 \{ b(h_1 \times \times tg \alpha + h_2) + Sign(\dot{x}) \{ f_s b h_1 / tg \alpha + f_w (V_c - V) [b + 2(h_1 + h_2)] / [b(h_1 + h_2)] \} \} + Sign(\dot{x}) \{ f_s [h_1 \times \times b(h_2 + h_1 / 2) \rho_1 / tg \alpha + (h_2 + h_1 / \sin \alpha) b \delta \rho_s + (m_c + S_{c1} x \rho_{wf})] + f_w \rho_1 [V_c - h_1 b(h_2 + h_1 / 2) / tg \alpha] \}; \quad (5) \\ p_2 \pi \{ \mathbf{1}(y) (d_3^2 - d_2^2) + [d_2^2 - \mathbf{1}(h_1 - y) d_1^2] \} / 4 = m_l (\ddot{y} + g) + Sign(\dot{y}) \pi d_3 L_1 v \rho_{wf} \dot{y}^2 / \Delta_1 + c(y + y_0); \quad (6) \\ 0 \leq \{ p_1, p_2, p_3, p_4 \} \leq p_{sv}; 0 \leq x \leq x_{max}; 0 \leq y \leq y_{max}; \quad (7) \end{array} \right.$$

where  $K$  – the compressibility coefficient of the working fluid;  $\sigma$  – coefficient of hydraulic fluid flow;  $k_f$  – the specific bandwidth of the filter;  $\mu_d$  – the coefficient of dynamic viscosity;  $b$  – plate width pressing;  $x$  – moving the pressing plate;  $\beta$  – the coefficient of viscous friction;  $\mathbf{1}()$  – the identity function;  $Sign()$  – function sign;  $\mu$  – flow coefficient of the working fluid;  $p_{sv}$  – pressure safety valve;  $x_{max}$  – the maximum stroke of the hydraulic cylinder;  $y_{max}$  – is the maximum displacement of the locking element RDPPG until it stops;  $\rho_1$  – density pre-compacted and dewatered SDW;  $w_1$  – is the relative humidity of the pre-compacted and dewatered SDW;  $V_c$  – the volume of the container;  $\Delta_1$  – the clearance between the locking member and the housing RDPPG;  $L_1$  – the length of the friction surface of the locking element RDPPG.

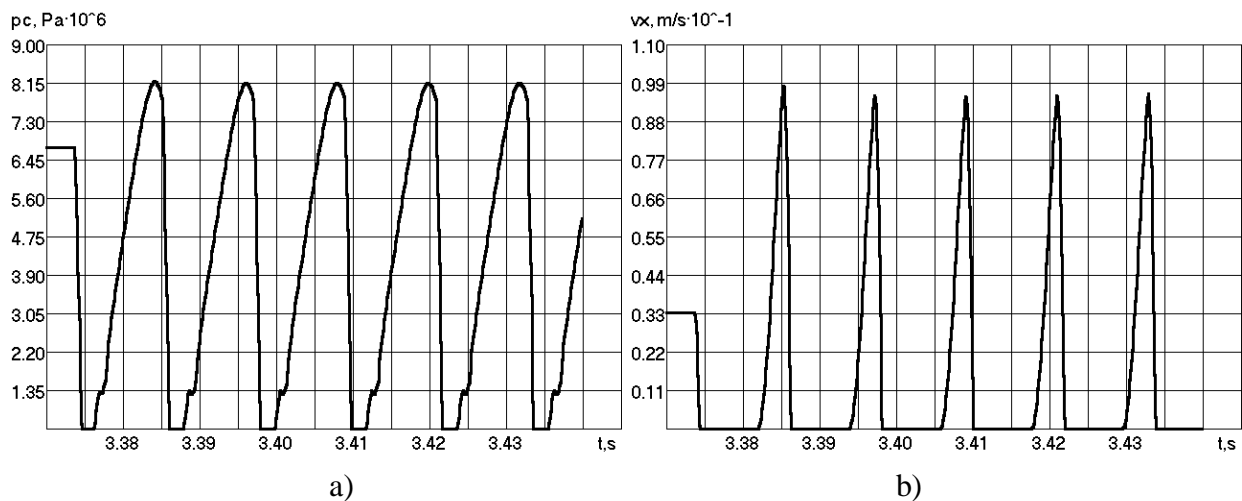
The differential equation (5) uses the compression characteristic of pre-compacted and dehydrated SDW obtained experimentally in [10].

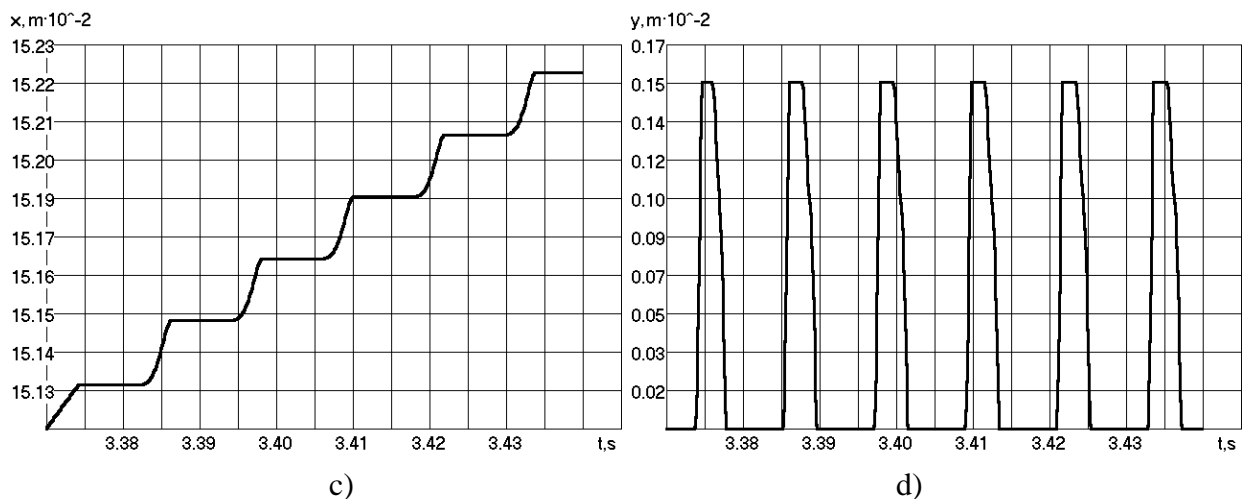
In order to study the drives operation of working bodies of machines for cleaning and primary processing of SDW in the most severe modes, the method of computer simulation was used. Critical to such regimes should include the movement beginning of the pressing plate in vibratory mode. The simulation was performed using the Borland Delphi object-oriented programming environment in the Windows operating environment.

Developed an original computer program "MatModel" that is protected by the certificate of copyright registration in a work [11] and allows you to enter values for the drives parameters of the working processes of the machines for harvesting and primary processing of SDW at each technological operation: loading of SDW into the hopper of the truck (turn the lever [12] and flip your capture of the container [13]), compaction of SDW [8], unloading of solid domestic waste from the garbage truck [14], as well as work attachment pgmtolism equipment [15, 16], which allows to extend the functionality of the truck, numerically solve systems of nonlinear ordinary differential equations by the Runge-Kutta-Felberg method of the 4th order with variable integration step [17] and obtain the corresponding results in the form of graphs and tables.

For pic. 2 presents the results of dynamics study of the vibration drive of a SDW disposal unit in a garbage truck using a relay differential pressure pulse generator, protected by Ukrainian patents, the last of which is 92720 U [18].

During the study, the initial data corresponding to the real parameters of the basic model of the KO-436 garbage truck with a rear method of loading SDW were used as parameters of the mathematical model (1-7) [19], and the results obtained were used to develop a scientifically based methodology for the design calculation of the drive parameters [20]. The calculations were performed with an integration step  $h = 10^{-4}$  s and a relative error  $\varepsilon = 10^{-16}$ . Checking the identity of the results obtained at the full and half integration steps ensured the solution stability of differential equations system.





Picture 2 – Results of dynamics studies of the vibration drive aftercompaction of SDW in the garbage truck using RDPPG: a) changing pressure in a pressure cavity of the hydraulic cylinder; b) moving the pressing plate; c) the speed of the pressing plate; d) moving the locking element RDPPG

The analysis of the dependence graphs presented in Pic. 2 showed that the following vibration parameters are provided for the specified parameters of the vibration drive of the SDW aftercompaction using RDPPG: amplitude  $A = 0.1818$  mm, frequency  $\nu = 84.52$  Hz.

**Conclusions.** A numerical study of an improved mathematical model of a vibration drive for compaction of solid domestic waste in a garbage truck using a relay differential pressure pulse generator is carried out. The results of the study can be used to determine the rational values of parameters that must be taken into account when designing machines for collecting and primary processing of solid domestic waste.

#### LITERATURE

1. Qdais Abu H. Kinetics of solid waste biodegradation in laboratory lysimeters / H. Abu Qdais, A. Alsheraideh // *Jordan Journal of Civil Engineering*. – 2008. – Vol. 2, No. 1. – P. 45-52.
2. Ковальський В. П. Шламосолокарбонатний прес-бетон на основі відходів промисловості / В. П. Ковальський, А. В. Бондарь // Тези доповідей XXIV міжнародної науково-практичної конференції "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я", Харків, 18-20 травня 2016 р. – Харків : НТУ "ХПІ", 2016. – С. 209.
3. Лемешев М. С. В'язучі з використанням промислових відходів Вінниччини / М. С. Лемешев // Тези доповідей XXIV міжнародної науково-практичної конференції "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я", Харків, 18-20 травня 2016 р. – Харків : НТУ "ХПІ", 2016. – С. 381.
4. Ковальський В. П. Передумови активації золи-винесення відходами глиноземного виробництва / В. П. Ковальський // Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції "Наука і освіта 2005". – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2005. – Т. 55. – С. 31-32.
5. Лемешев М. С. Электротехнические материалы для защиты от электромагнитного загрязнения окружающей среды / М. С. Лемешев, А. В. Христич // *Инновационное развитие территорий : Матеріали 4-й Междунар. науч.-практ. конф.*, 26 февраля 2016 г. – Череповец : ЧГУ, 2016. – С. 78-83.
6. Сердюк В. Р. Використання Бетелу-М для іммобілізації рідких радіоактивних відходів / В. Р. Сердюк, О. В. Христич // *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – № 1 (5). – С. 50-54.
7. Попович В. В. Ефективність експлуатації сміттевозів у середовищі "місто-сміттєзвалище" / В. В. Попович, О. В. Придатко, М. І. Сичевський // *Науковий вісник НЛТУ України*. – 2017. – Т. 27, № 10. – С. 111-116.

8. Савуляк В. І. Технічне забезпечення збирання, перевезення та підготовки до переробки твердих побутових відходів : монографія / В. І. Савуляк, О. В. Березюк. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 217 с.
9. Про затвердження Програми поводження з твердими побутовими відходами : постанова Кабінету Міністрів України від 4 березня 2004 р. № 265 // Урядовий кур'єр. – 2004. – № 55.
10. Березюк О. В. Експериментальне дослідження процесів зневоднення твердих побутових відходів шнековим пресом / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2018. – № 5. – С. 18-24. – <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2018-140-5-18-24>.
11. Березюк О. В. Комп'ютерна програма "Математичне моделювання динаміки приводів робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів" ("MatModel") / О. В. Березюк // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 64349. – К. : Державна служба інтелектуальної власності України. – Дата реєстрації : 03.03.2016.
12. Березюк О. В. Математичне моделювання динаміки гідроприводу робочих органів завантаження твердих побутових відходів у сміттєвози / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – № 4. – С. 81-86.
13. Березюк О. В. Математичне моделювання динаміки гідроприводу робочих органів перевертання контейнера під час завантаження твердих побутових відходів у сміттєвоз / О. В. Березюк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2013. – № 5. – С. 60-64.
14. Березюк О. В. Дослідження динаміки гідроприводу вивантаження твердих побутових відходів із сміттєвозів / О. В. Березюк // Машинознавство. – Львів : НУ "Львівська політехніка". – 2008. – № 10 (136). – С. 25-28.
15. Berezyuk O. V. Dynamics of hydraulic drive of hanging sweeping equipment of dust-cart with extended functional possibilities / O. V. Berezyuk, V. I. Savulyak // TEHNOMUS. – Suceava, Romania, 2015. – No. 22. – P. 345-351.
16. Березюк О. В. Розробка та дослідження нової структури екологічної машини для очистки населених пунктів від твердих відходів / О. В. Березюк // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – С. 92-98.
17. Дьяконов В. П. Справочник по алгоритмам и программам на языке бейсик для персональных ЭВМ : справочник / В. П. Дьяконов. – М. : Наука, 1987. – 240 с.
18. Патент України № 92720 U, МПК(2014.01) F15B 21/00. Генератор імпульсів тиску релейної диференціальної дії / Березюк О. В.; заявник і патентовласник Березюк О. В. – u201404118; Заявл. 16.04.2014. Одерж. 26.08.2014, Бюл. № 16.
19. Мусоровоз кузовной КО-436 : [техническое описание и инструкция по эксплуатации]. – Турбов, 1996. – 27 с.
20. Березюк О. В. Методика инженерных расчётов параметров навесного подметального оборудования экологической машины на основе мусоровоза / О. В. Березюк // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2016. – № 2. – С. 39-45.