УДК 621.878.6

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ РОЗВАНТАЖЕННЯ ҐРУНТУ З КОВША СКРЕПЕРА З НАПІВКРУГЛИМ ДНИЩЕМ

Л.А. Хмара, д.т.н., проф., С.В. Баєв, д.ф.-м.н., проф., М.А. Спільник, асп.

Ключові слова: *скрепер, задні стінкиковша скрепера, розвантаження, дослідження, математична модель*

Постановка проблеми. Сучасне машинобудування спрямоване на створення енергоефективних машин для виконання різних робіт. Основними напрямками розвитку є: зниження енергозатрат на розробку грунту; збільшення продуктивності; підвищення довговічності та надійності; розширення технологічних можливостей та ін.

Традиційні способи розрахунку сил, які діють при розвантаженні ковша скрепера, не дають можливості описати процес повністю, а лише дозволяють розрахувати максимальне зусилля, потрібне при розвантаженні [1; 2]. Тому зусилля, які виникають у процесі розвантаження, невідомі.

Аналіз публікацій. Аналізуючи конструкційні особливості вдосконалення ковша скрепера, слід відзначити тенденцію, спрямовану на підвищення ефективності заповнення ковша. При цьому не розглядається проблема розвантаження ґрунту з ковша скрепера, яка також вимагає додаткових енерговитрат. Підвищення ефективності процесу розвантаження може бути досягнуте за рахунок удосконалення форми елементів ковша, конструкції.

Мета статті.Створення нового теоретичного способу розрахунку, який враховує кількість залишкового ґрунту в ковші протягом усього періоду розвантаження.

Завдання. Розробити математичну модель процесу розвантаження ковша скрепера. Провести теоретичний аналіз процесу розвантаження ковша скрепера з метою аналітичного визначення діючого опору. Розробити алгоритм для розрахунку визначення опору розвантаження.

Виклад матеріалу. Для теоретичного розрахунку сил, які виникають при розвантаженні ковша, за основу був узятий скрепер Д-357 із примусовою системою розвантаження [3−5].

За основу для розрахунку процесу розвантаження приймаємо формули, отримані К. О. Артем’євим [2].

Сила, необхідна для розвантаження ґрунту з ковша скрепера, обладнаного напівкруглим днищем, визначається за формулою (рис.1):

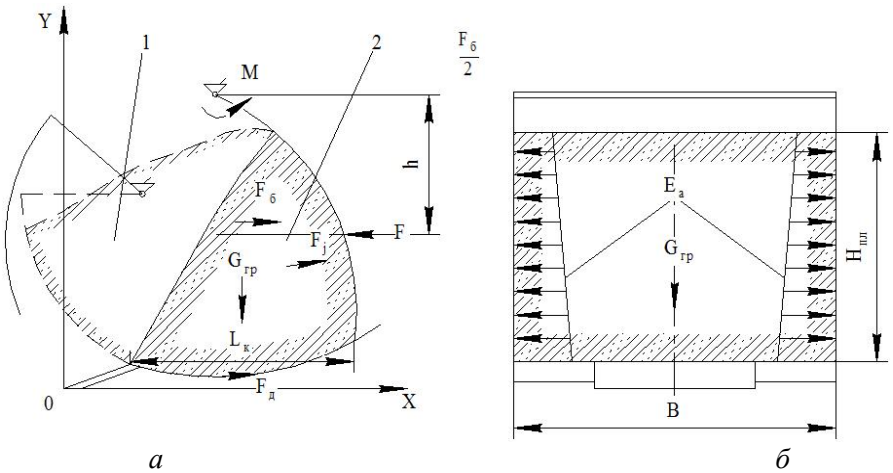
$$F = F_д + F_б + F_{ст} + F_j,$$

де $F_д$– сила тертя ґрунту по днищу ковша;

$F_б$– сила тертя ґрунту по бічних стінках ковша;

$F_{ст}$– сила опору руху задньої стінки;

F_j– сила інерції поступального руху маси ґрунту під часувімкнення механізму розвантаження ґрунту з ковша скрепера.



а *б*

Рис.1. Схема зусиль, які діють при розвантаженні ґрунту з ковша скрепера,обладнаного напівкруглим днищем:а – вигляд збоку; б – вигляд спереду; 1 – ківш у заповненому стані;

2 – об'єм ґрунту в ковші при відкритій передній заслінці

Сила тертя ґрунту по днищу ковша

$$F_д = \mu_1 G_{гр} = \mu_1 \frac{q\gamma_г k_н}{k_д},$$

де μ_1 – коефіцієнт тертя ґрунту по сталі;

q– геометрична місткість ковша в $м^3$;

$\gamma_г$– об'ємна маса ґрунту в природному заляганні в кг/м^3.

За розрахункове положення приймається початок пересування задньої стінки при повному завантаженні ковша ґрунтом і відкритій передній заслінці.

Для розрахунку маси ґрунту, яка залишилася у ковші скрепера, потрібно зробити ряд допущень: після відкриття передньої заслінки, у передній частині ковша ґрунт набирає форму природного відкосу; частина ґрунту, яка залишилася у ковші, у верхній частині заповнює ківш повністю без відкосів від середньої частини.

Поперечний переріз ковша скрепера дає можливість визначити площу $S(\alpha d)$, яку займає ґрунт у ковші (рис.2). Для розрахунку потрібні початкові дані: $H_{пл}$– висота ковша скрепера; h – відстань від осі підвісу задньої стінки до рівня ґрунту у ковші; R – радіус донної частини ковша скрепера; r – радіус, який описує точка E, розташована на середині задньої стінки; ρ – щільність ґрунту; $\gamma_{гр}$ – кут природного відкосу ґрунту; α_a, α_c – кути, які задаються залежно від параметрів ковша скрепера та вказують на початкове та крайнє положення задньої стінки; Q – початковий об'єм ґрунту; $S'(\alpha d)$ – об'єм вивантаженого ґрунту; A – точка крайнього положення задньої стінки; B, B_1 – точки, які визначають рівень ґрунту в ковші скрепера; C – точка початкового положення задньої стінки; D – деяке положення задньої стінки, при якому змінюється рівень ґрунту у ковші (збільшується значення h); S_1 – площа верхнього сектора; S_2– площа нижнього сектора. Підрахунки даної площі виконували за допомогою програми MathCad15.

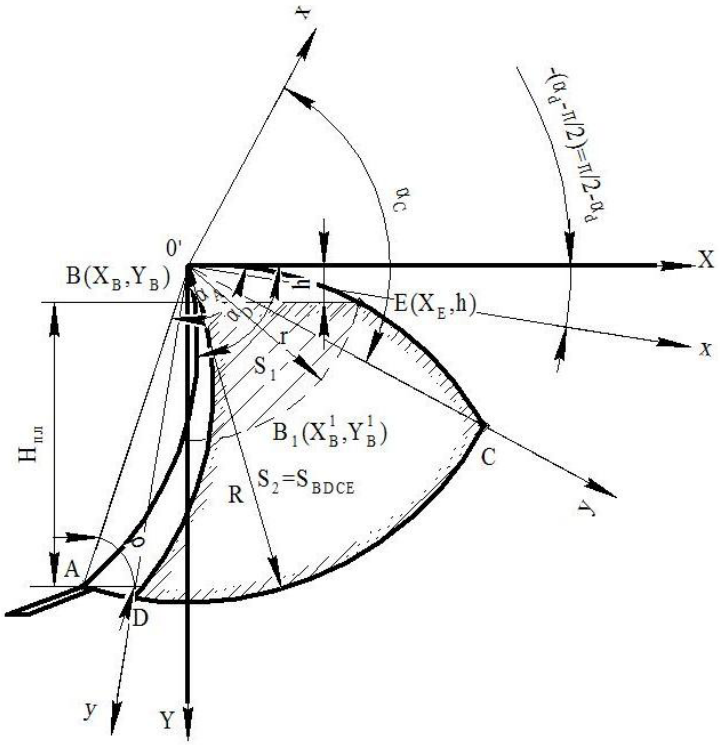


Рис.2. Схема для розрахунку площі поперечного перерізу ковша скрепера, яку займає ґрунт

Оскільки отримані значення дають результат лише по площі поперечного перерізу ковша, який займає ґрунт, вираховуємо масу ґрунту:

$G_{гр}= V\gamma_г$ – маса ґрунту.

$V=BS(\alpha d)$ – об'єм ґрунту,

де B – ширина ковша скрепера;

S(αd)– площа поперечного перерізу ковша, який займає ґрунт.

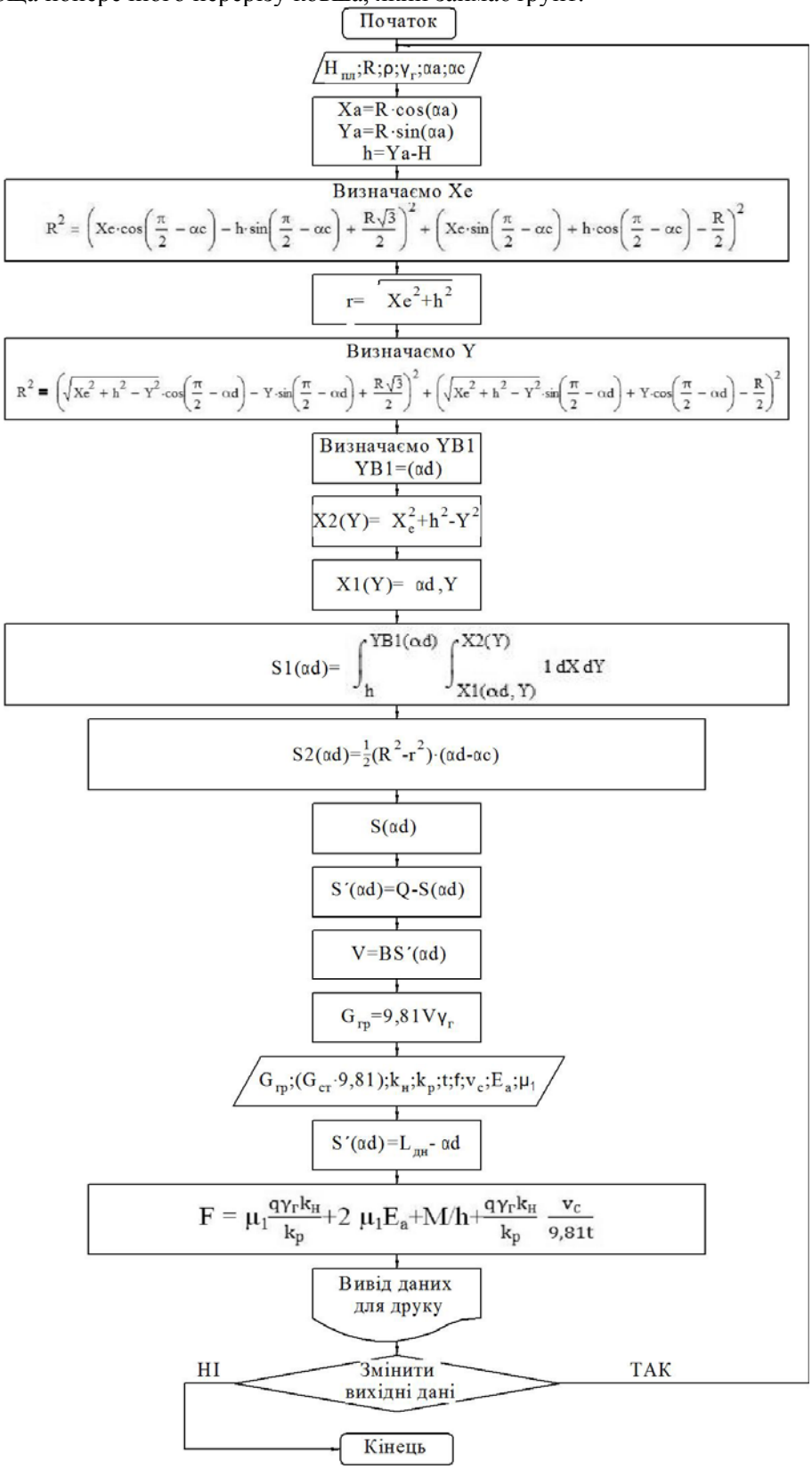


Рис. 3. Алгоритм розрахунку зусилля розвантаження ґрунту з ковша скрепера, обладнаного напівкруглим днищем

Сила тертя ґрунту об бічні стінки ковша:

$$F_б = 2\,\mu_1 E_a,$$

де E_a– активний тиск ґрунту на бічну стінку ковша.

$$E_a = \gamma_г \frac{H^2}{2} L_k tg^2\left(45° - \frac{\varphi_2}{2}\right),$$

де L_k – довжинаднища ковша;

H – висота наповнення ковша ґрунтом.

Сила опору руху задньої стінки [6−8]

$$F_{cm} = \frac{M}{h},$$

де M·− модуль моменту задньої стінки;

h – плече сили F_{cm}.

Сила інерції ґрунту:

$$F_j = \frac{q\gamma_г k_н}{k_р} \frac{v_c}{9{,}81t},$$

де v_c– швидкість руху задньої стінки (0,2 м/с);

t– час розгону (2 с).

Після підстановки складових величин остаточно отримаємо математичну модель для визначення зусилля розвантаження:

$$F = \mu_1 \frac{q\gamma_г k_н}{k_р} + 2\,\mu_1 E_a + M/h + \frac{q\gamma_г k_н}{k_р} \frac{v_c}{9{,}81t}.$$

Для розрахунку процесу розвантаження застосовували програмуMicrosoftExcel.

Алгоритм розрахунку зусилля розвантаження ґрунту з ковша скрепера з напівкруглим днищем наведено на рисунку 3.

У результаті розрахунків отримано залежності зміни маси ґрунту в ковші скрепера у процесі його розвантаження (рис. 4). Дані залежності дозволяють визначити кількість ґрунту в ковші скрепера при будь-якому положенні задньої стінки.

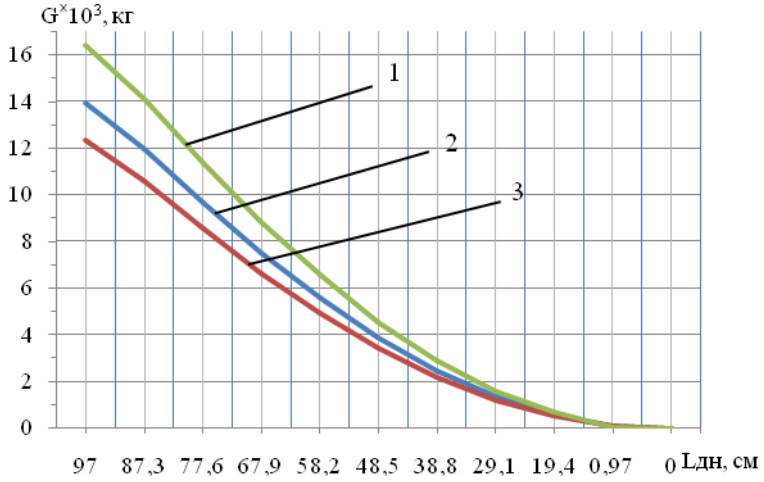


Рис.4. Залежність зміни маси ґрунту G від положення задньої стінки відносно довжини днища $L_{дн}$ скрепера Д-357(q=8м³):1 – ґрунт щільністю 2000 кг/м³; 2 – ґрунт щільністю 1700 кг/м³; 3 – ґрунт щільністю 1500 кг/м³

Залежність зміни зусилля розвантаження від положення задньої стінки відносно довжини днища скрепера показано на рисунку 5. На відміну від традиційного розрахунку, теоретичні значення зусилля, які виникають у період розвантаження, можна розрахувати для проміжного положення задньої стінки відносно днища ковша скрепера.

Висновки.1. Для розглянутого ковша скрепера розроблено математичні моделі процесу розвантаження, які враховують: силу тертя ґрунту по днищу ковша; силу тертя ґрунту по бічних стінках ковша; силу опору коченню роликів підвісу задньої стінки; силу інерції поступального руху маси ґрунту і задньої стінки при ввімкненні механізму розвантаження ґрунту з ковша скрепера; довжину днища; висоту ковша; щільність набраного ґрунту; кут природного осипання ґрунту і дозволяють розраховувати залежність зміни маси ґрунту від

положення задньої стінки відносно довжини днища скрепера, а також зусилля, необхідні для його розвантаження.

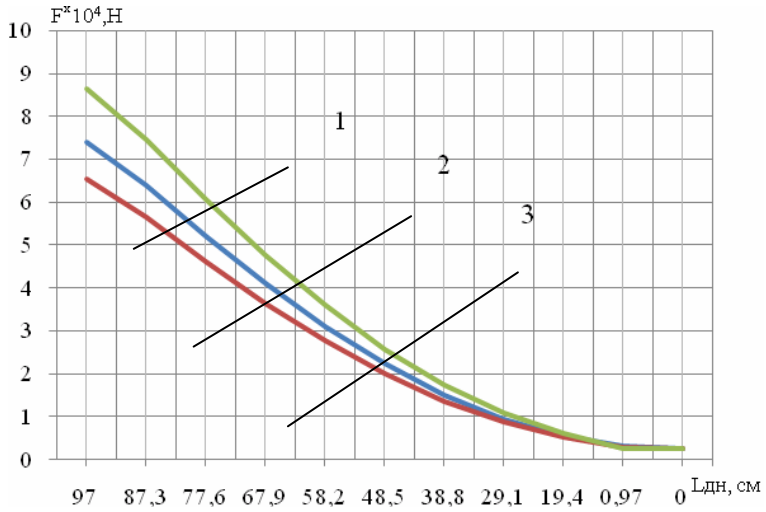


Рис.5. Залежність зміни зусилля розвантаження F від положення задньої стінки відносно довжини днища $L_{дн}$ скрепера Д-357(q=8м^3):1 – ґрунт щільністю 2000 кг/м^3; 2 – ґрунт щільністю 1700 кг/м^3; 3 – ґрунт щільністю 1500 кг/м^3

2. Теоретичний розрахунок дозволяє визначати: опір розвантаження для ковша скрепера з напівкруглим днищем; зміну маси ґрунту у ковші від положення задньої стінки відносно довжини днища скрепера для щільності ґрунту 1500–2000 кг/м^3.

3. Розроблений алгоритм для розглянутого ковша скрепера дозволяє розрахувати силу опору розвантаження.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1.Самоходные пневмоколесные скреперы и землевозы / Д. И.Плешков, С. Ф.Маршак, Э. Г. Ронинсон и др. – М.: Машиностроение, 1971. – 267 с.

2. Дорожные машины / Т. В. Алексеева, К. А. Артемьев, А. А. Бромберг [и др.]. –М.: Машиностроение, 1972. – Ч. I. Машины для земляных работ. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – 504с.

3. **Хмара Л. А.** Конструктивные резервы повышения эффективности скреперов / Л. А. Хмара, С. А. Карпушин // Интенсификация рабочих процессов строительных машин : сб. науч. тр. – Д.: ПГАСА, 1998. – Вып. 4. – С. 51 − 57.

4. **Лещинский А. В.** Исследование принудительного способа разгрузки ковшей скреперов: дисс.... канд. техн. наук: 05.05.04 / А. В. Лещинский. – Омск: СибАДИ, 1972. – 143с.

5. Процесс выгрузки грунта из ковша скрепера : матер. Междунар.науч.-техн.конф. / Л. А. Хмара, М. А. Спильник.– Н.: Интерстроймех, 2013. – С. 204–206.

6. **Бондаренко Л. М.** Деформаційні опори в машинах / Л. М. Бондаренко, М. П. Довбня, В. С. Ловейкин //За ред. В. С. Ловейкина. – Д.: РВА «Дніпро –VAL», 2002. – 200с.

7. **Тарг С. М.** Краткий курс теретической механики : учеб. для втузов / С. М. Тарг. – 11-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 1995. – 416 с.

8. **Кудрявцев Е. М.** Детали машин : учеб. для студентов машиностроительных вузов / Е. М. Кудрявцев. – Л.: Машиностроение, 1980. – 464с.

SUMMARY

Statement of the problem. Modern engineering aimed at creating energy efficient machines to perform various operations. The main areas of development are: reduction of energy consumption for extraction of soil; increase productivity; increase durability and reliability; expanding technological capabilities and so on.

Traditional methods of calculating the forces acting at unloading scraper, make it impossible to fully describe the process, but only allows to calculate the maximum effort that is required when

loading [1; 2]. Therefore, efforts that occur during discharge are unknown.

Analysis publications. Analyzing the design features improve scraper should be a trend aimed at increasing the efficiency of filling the bucket. It is not the problem of unloading soil with a scraper, which also requires additional energy. Increasing the efficiency of the discharge can be achieved by improving the shape elements bucket design.

The purpose of the article. Create a new theoretical method of calculation which takes into account the amount of residual soil in buckets throughout the period of discharge.

Problems. Develop a mathematical model of unloading scraper. To conduct a theoretical analysis of the discharge scraper for the purpose of determining the current analytical support. Develop an algorithm for calculating the definition of resistance discharge.

Conclusions: 1. Scraper considered for the mathematical model of the process of discharge, taking into account : friction force of the soil in the bottoms of the bucket; force of friction of soil on the side walls of the bucket; rolling resistance force of the rollers suspension rear wall; inertia translational motion of the mass of the soil and the back wall when turning the unloading mechanism of soil scraper; the length of the bottom; the height of the bucket; dialed density of the soil; angle of crumbling soil and allow us to calculate the mass dependence of the soil on the position relative to the length of the back wall of the bottom scraper and the efforts that are required for its discharge;

2. Theoretical calculation allows to determine : the resistance to discharge scraper with a semicircular head; change in the mass of soil in buckets on the position relative to the length of the back wall of the bottom scraper for soil density 1500 – 2000 kg/m^3.

3. Algorithm for reporting scraper allows you to calculate the resistance of the discharge.

REFERENCES

1. Samohodnyiepnevmokolesnyieskreperyiizemlevozyi / D. I. Pleshkov, S. F. Marshak, E. G. Roninsoni dr. – M. :Mashinostroenie, 1971. – 267 s.

2. Dorozhnyiemashinyi / T. V. Alekseeva, K. A. Artemev, A. A. Bromberg [i dr.]. – M. :Mashinostroenie, 1972. – Ch. I. Mashinyidlyazemlyanyihrabot. – Izd. 3-e, pererab.idop. – 504 s.

3. **Khmara L. A.**Konstruktivnyierezervyipovyisheniyaeffektivnostiskreperov / L. A. Hmara, S. A. Karpushin // Intensifikatsiyarabochihprotsessovstroitelnyihmashin : sb. nauch. tr. – D. : PGASA, 1998. – Vyip. 4. – S. 51

4. **Leschinskiy A. V.**Issledovanieprinuditelnogosposobarazgruzkikovsheyskreperov : diss.... kand. tehn. nauk: 05.05.04 / A. V. Leschinskiy. – Omsk: SibADI, 1972. – 143 s.

5. Protsessvyigruzkigruntaizkovshaskrepera : mater. Mezhdunar.nauch.-tehn. konf. / L. A. Hmara, M. A. Spilnik. – N. :Interstroymeh, 2013. – S. 204 – 206.

6. **Bondarenko L. M.**DeformatsIynIopori v mashinah / L. M. Bondarenko, M. P. Dovbnya, V. S. Loveykin // Za red. V. S. Loveykina. – D. : RVA «DnIpro – VAL», 2002. – 200 s.

7. **Targ S. M.**Kratkiykurstereticheskoymehaniki :ucheb. dlyavtuzov / S. M. Targ. – 11-e izd.,ispr. – M. :Vyissh. shk., 1995. – 416 s.

8. **Kudryavtsev E. M.**Detalimashin :ucheb. dlyastudentovmashinostroitelnyihvuzov / E. M. Kudryavtsev. – L. :Mashinostroenie, 1980. – 464 s.

УДК 519.6:504.3.054

РАСЧЕТ ЛОКАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИВ ХРАНИЛИЩЕТВЕРДОГО РАКЕТНОГО ТОПЛИВА

*Н.Н. Беляев,*д. т. н., проф.,В.В. Беляева, ** к. т. н,. А.В. Берлов, ** инж.*
** Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна*
*** Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара*

Ключевые слова:*загрязнение атмосферы, численное моделирование, чрезвычайные ситуации*

Постановка проблемы. Одним из потенциальных источников химического загрязнения атмосферы является Павлоградский химический завод, где хранится твердое ракетное топливо ракетной системы РС-22 (рис.1). Твердое топливо находится внутри специально