

УДК 624.132.1

## Особливості руйнування робочих середовищ при інформаційності та співентропійності робочих процесів будівельної техніки

*Анатолій Фомін<sup>1</sup>, Олександр Гаркавенко<sup>2</sup>, Олександр Костенюк<sup>3</sup>,  
Олександр Тетерятник<sup>4</sup>*

Київський національний університет будівництва і архітектури  
пр-т Повітрофлотський, 31, Київ, Україна, 03037

<sup>1</sup>fomin.av@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-5990-4384>

<sup>2</sup>garkavenko.om@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-6889-9791>

<sup>3</sup>KostenyukOO@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-3281-6747>

<sup>4</sup>teteriatnyk.oa@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-9983-0551>

*Received: 14.09.2019; Accepted: 20.10.2019*

<https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.94.0401>

**Анотація.** Аналіз будівельної техніки та її робочих процесів, а також синтез нових робочих органів та машин базується на дослідженнях окремих закономірностей їх роботи. Цей напрямок досліджень в галузі робочих середовищ є достатньо ефективним, але звуження напрямів обмежує позитивний ефект від їх проведення.

Процеси руйнування робочих середовищ є деструкційними. Всі реальні процеси незворотні, тобто ентропія ізольованої (замкненої) системи може тільки зростати. Для відкритих систем, де є обмін з оточуючим середовищем речовиною, а також енергією й імпульсом, ентропія може зменшуватися за рахунок поповнення системи речовиною та енергією, але напрямок протікання природних процесів не змінюється.

В складних, нелінійних, невірноважених і відкритих системах можуть протікати процеси організації, коли упорядкованість системи зростає за рахунок синергетичної відкритості. Складним та нелінійним процесам розробки робочих середовищ притаманні обидва напрямки процесів. Опис еволюції систем руху робочих середовищ, як процесів деградації, науково обґрунтовується другим законом термодинаміки, еволюція системи в сенсі організації для всіх її складових – синергетикою.

При формуванні забою необхідно враховувати те, що процес руйнування повинен співпадати з напрямком процесу природного руйнування для зменшення витрат енергії.

Конструктивна реалізація робочих органів будівельних машин таким способом, коли здійснюється співнаправленість процесів руйнування з протіканням природних процесів дозво-

ляє значно підвищити інформаційність роботи будівельної машини. Такі процеси призводять до кардинального зменшення ресурсних витрат на одиницю продукції та поліпшення всіх параметрів розробки робочих середовищ.

**Ключові слова:** ентропія, інформаційність, синергетика, робоче середовище, гравітаційне поле, конкуруючі фактори.

### ВСТУП

До тепер дослідження в галузі розробки робочих середовищ базувались на вивченні конкретних закономірностей і не торкались загальних природних законів, що значно обмежувало можливості створення високоякісних моделей функціонування технічних комплексів для розробки робочих середовищ [1, 2].

Напрямок перебігу природних процесів визначається другим законом термодинаміки, з якого випливає, що ентропія ізольованої системи може тільки зростати, досягаючи максимуму в стані термодинамічної рівноваги системи. Для відкритих систем, де є обмін з оточуючим середовищем речовиною, а також енергією й імпульсом, ентропія може зменшуватися за рахунок поповнення системи речовиною та енергією, але направленість всіх реальних процесів у бік збільшення ентропії не змінюється і в відкритих системах. У складних, нелінійних, невірноважених і відкритих системах можуть протікати процеси організації, коли

впорядкованість системи зростає за рахунок синергетичної відкритості. Складним процесам розробки робочих середовищ притаманні обидва напрямки протікання процесів. Опис еволюції систем руху робочих середовищ як процесів деградації доводяться та науково обґрунтовуються другим законом термодинаміки, еволюція системи в сенсі організації для всіх її складових – синергетикою.

Отже, процеси руйнування робочих середовищ для зменшення затрат енергії повинні бути співнаправленими з природними процесами руйнування, а конструкції техніки, її робочих органів, а також робочі процеси цієї техніки повинні бути в синергетичному сенсі максимально інформаційними.

### МЕТА СТАТТІ

Ціль роботи – обґрунтування нових підходів до руйнування робочого середовища системами будівельної техніки з урахуванням співентропійної направленості та синергетичного характеру цих процесів.

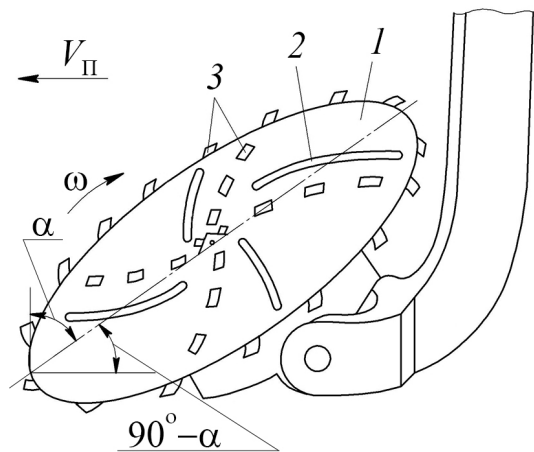
Задачею даного дослідження є конструктивна і режимна реалізація співентропійності і синергетичності руйнування робочих середовищ.

### ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Розробка середовищ при проведенні земляних робіт, а також в робочих процесах при функціонуванні комплексу технічних систем будівельної техніки, пов'язана з навантаженням, деформуванням і руйнуванням цих середовищ [3]. Ефективність розробки оцінюється питомими параметрами: енергоємністю, питомою продуктивністю, масопитомою продуктивністю і всезагальним критерієм ефективності функціонування комплексу технічних систем будівництва і будівельної техніки – питомою ентропією. Руйнування робочих середовищ є деструкційним процесом – процесом руйнування структури середовища. Всі реальні процеси незворотні, тобто ентропія ізольованої (замкненої) системи може тільки зростати. Якщо у відкриту систему потраплять

матерія, енергія й інформація то напрямок протікання природних процесів не зміниться. Для зменшення витрат енергії на руйнування робочих середовищ необхідно формувати робочі процеси комплексів технічних систем таким чином, щоб у руйнуванні цих робочих середовищ були задіяні фізичні поля (природний рух відбувається виключно через дію чотирьох типів фундаментальних фізичних полів). При руйнуванні робочих середовищ відбувається макрорух в гравітаційному полі, тому форму забою необхідно будувати так, щоб максимально використовувати гравітаційні поля.

На Рис. 1 представлено дисковий робочий орган землерийної машини, особливість якого полягає в наступному: забій сформовано таким чином, що ґрунт, який підлягає руйнуванню, розташований над робочим органом [4]. Це досягається тим, що робочий орган нахилений під кутом  $\alpha$  в напрямку, протилежному швидкості подачі  $V_{II}$ . В такому разі частину роботи з руйнування ґрунту виконує гравітаційне поле.



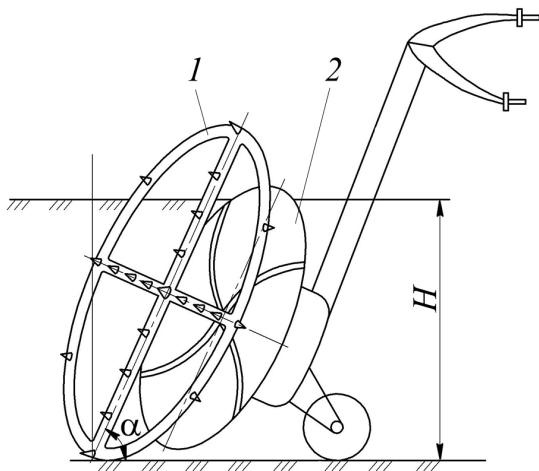
**Рис. 1.** Дисковий робочий орган землерийної машини: 1– диск, 2– металні елементи, 3– ріжучі елементи

**Fig. 1.** Disk working body of the earthmoving machine: 1– disk, 2– throwing elements, 3– cutting elements

Сила тяжіння, що діє на ґрунт, направлена на відрив часток ґрунту від масиву, переміщує відділений ґрунт на торцеву площину диска робочого органу, далі, за

рахунок обертального руху, виносить ґрунт у відвал. Крім того, невеликий замкнений об'єм ґрунту, що знаходиться над робочим органом, потрапляє під дію хвиль напружень (деформацій), що знижує межу міцності ґрунту.

На Рис. 2 зображено робочий орган з металником, що має всі переваги дискового робочого органу, ще й додатково дозволяє окремо змінювати швидкості різання і екскавації (метання) ґрунту в забої [5].



**Рис. 2.** Робочий орган з металником: 1– диск, 2– металник

**Fig. 2.** Working body with a thrower: 1– disk, 2– thrower

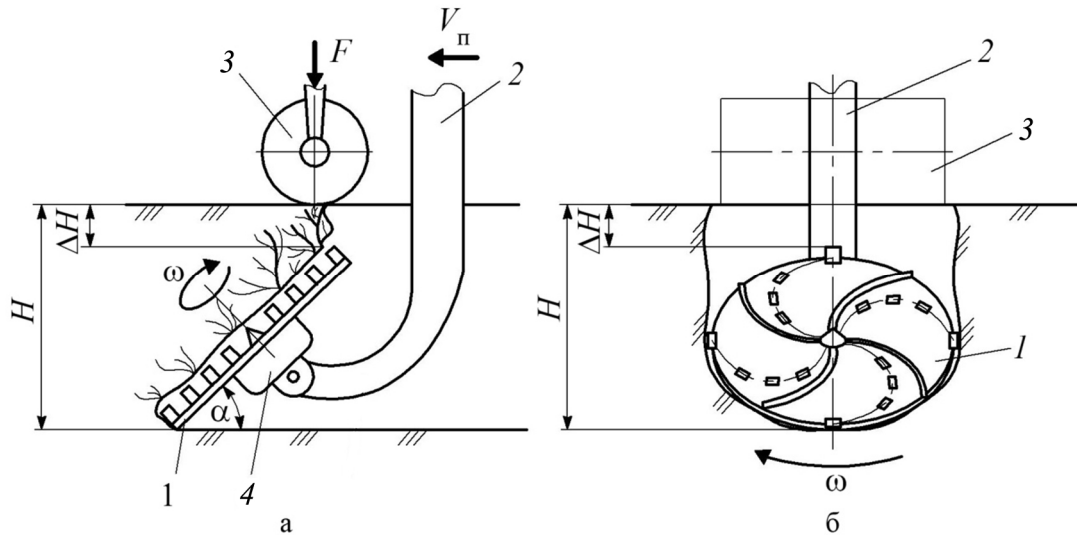
Найбільшу частину роботи з руйнування ґрунту гравітаційне поле виконує при способі руйнування, що реалізується швидкісним обладнанням (Рис. 3), а особливо квазістатичним устаткуванням (Рис. 4). Суть способу руйнування робочих середовищ співентропійної направленості пояснюється наступними запропонованими конструкціями робочого устаткування.

Спосіб руйнування ґрунту швидкісним робочим обладнанням реалізується наступним чином. При розробці траншеї глибиною  $H$  робочий орган розташовується в нижній частині так, щоб розробляти ґрунт

висотою  $H-\Delta H$ , тобто товщина ґрунту  $\Delta H$  робочим органом не розроблюється і залишається незруйнованою. Руйнування цієї частини ґрунту відбувається за рахунок сили тяжіння, яка діє на коток. Тобто нижня частина траншеї розробляється робочим органом за рахунок руху стояка зі швидкістю  $V_{\Pi}$  і кутової швидкості  $\omega$  робочого органу, а верхня частина  $\Delta H$  руйнується котком за рахунок сили тяжіння  $F=mg$ , де  $m$  – маса котка та ґрунту, що відділяється від масиву (коток теж рухається зі швидкістю  $V_{\Pi}$  і має можливість переміщуватися на певну відстань у вертикальному напрямі). В залежності від конкретних умов вертикально на ґрунт може діяти і динамічна сила. Зруйнований ґрунт за рахунок сили тяжіння потрапляє на торцеву поверхню робочого органу і екскаваторними лопатками виноситься за межі траншеї.

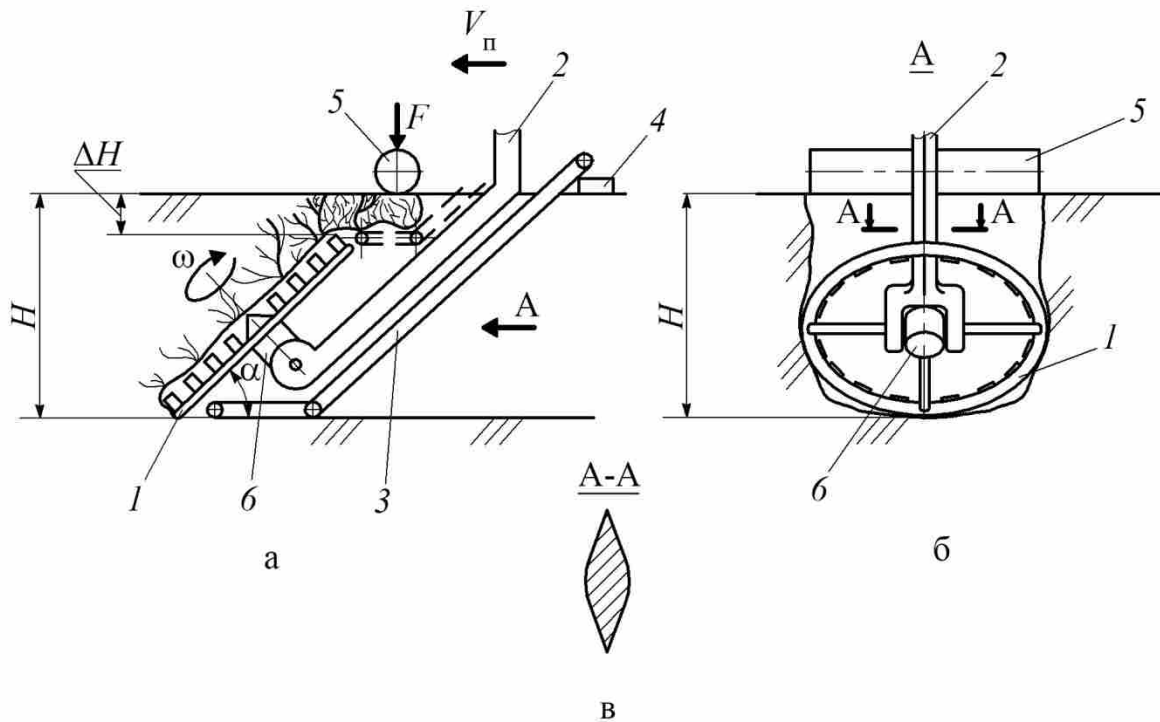
Спосіб руйнування ґрунту квазістатичним робочим устаткуванням реалізується наступним чином. Робочий орган розташовується в траншеї аналогічно попередньому випадку. Через те, що робочий орган складається з обода та спиць, ґрунт, що розробляється різальними елементами внаслідок нахилу колеса під кутом  $\alpha$  в напрямку, протилежному швидкості подачі  $V_{\Pi}$ , під дією сили тяжіння надходить на конвеєр, потім на лоток і видаляється за межі траншеї.

Оскільки значна частина ґрунту руйнується за рахунок гравітаційного поля (природний рух матерії в фізичному полі відбувається у бік від більшого потенціалу поля до меншого потенціалу поля), витрати енергії приводів робочого органу та базової машини на розробку траншеї значно зменшуються, тобто даний спосіб руйнування ґрунтів є менш енергоємним. Конструкцією передбачається додатковий конвеєр, який може встановлюватися окремо для екскавації ґрунту товщиною  $\Delta H$ , що руйнується виключно гравітаційним полем.



**Рис. 3.** Швидкісне ґрунторуйнуче устаткування: а – вигляд збоку, б – вигляд спереду; 1 – дисковий робочий орган, 2 – стоек, 3 – коток; 4 – привод робочого органа

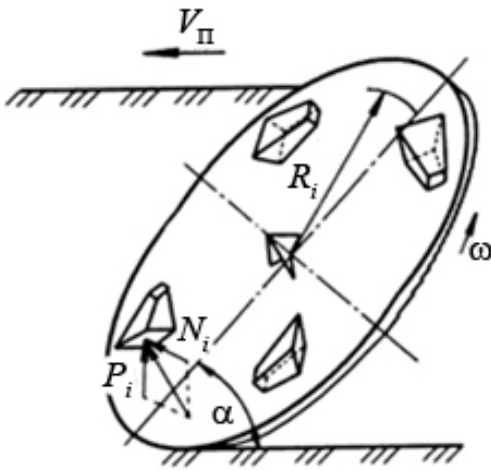
**Fig. 3.** Rapid ground-breaking equipment: a – side view, b – front view; 1 – disk working body, 2 – rack, 3 – cats; 4 – drive of the working body



**Рис. 4.** Квазістатичне ґрунторуйнуче устаткування: а – вигляд збоку, б – вигляд ззаду (конвеєр і лоток умовно не показані); 1 – дисковий робочий орган, 2 – стоек, 3 – конвеєр, 4 – лоток, 5 – коток, 6 – привод робочого органа

**Fig. 4.** Quasi-static soil demolition equipment: a – side view, b – rear view (conveyor and tray not conventionally shown); 1 – disk working body, 2 – rack, 3 – conveyor, 4 – tray, 5 – roll, 6 – drive of working body

На Рис. 5 показано робочий орган зі співентропійним руйнуванням робочого середовища, що знаходиться над робочим органом і гравітаційне поле, яке виконує частину роботи з руйнування ґрунту. Це реалізує співнаправленість руйнування з дією природніх процесів, а робочий орган і робочий процес мають підвищену інформаційність [6].



**Рис. 5.** Дисковий робочий орган зі співентропійним руйнуванням робочого середовища

**Fig. 5.** Disk working body with co-entropy destruction of the working environment

Під час руйнування робочого середовища значно зменшується сила різання і енергоємність. Відповідно зменшується виробництво ентропії внаслідок залучення до процесу руйнування гравітаційного поля, вплив якого обумовлюється зміною кута  $\alpha$  нахилу робочого органу. Збільшення або зменшення кута  $\alpha$  зменшує або збільшує долю гравітаційного поля в загальній енергії робочого процесу.

Експериментальні дослідження силових параметрів дискового робочого органу підтвердили, що при зміні кута  $\alpha$  нахилу диска виникають конкуруючі задачі, а саме: зі зменшенням кута нахилу сила опору ґрунту руйнуванню зменшується, але, при цьому, зменшується й продуктивність робочого органу, внаслідок того, що зменшується поперечний переріз траншеї, що відрива-

ється. Крім того, чим менше кут нахилу робочого органу, тим більше має місце ефект самообвалення ґрунту на площину диска.

При збільшенні кута нахилу диска сила опору ґрунту руйнуванню трохи збільшується, але збільшується й продуктивність робочого органу, тому що зростає площа поперечного перерізу траншеї.

На графіку (Рис. 6) показана залежність продуктивності дискового робочого органу  $\Pi$  від його кута нахилу  $\alpha$ . З графіка видно, що оптимальний кут нахилу робочого органу знаходиться у межах  $65...75^\circ$ .

При  $\alpha < 65^\circ$  робоча площа диска використовується неефективно внаслідок зменшення його робочої площі, а при  $\alpha < 75^\circ$  відсутнє явище самообвалення ґрунту на площину диска, і продуктивність робочого органу також зменшується.

На Рис. 7 показано експериментальні залежності сили опору ґрунту руйнуванню  $P$  і її середньоквадратичного відхилення  $\sigma$  від кількості ґрунторуйнуючих елементів  $m$ , що працюють за схемою "слід у слід" при різних кутах нахилу робочого органу  $\alpha$  [6].

Результати експериментальних досліджень показують, що при збільшенні кута нахилу робочого органу  $\alpha$  сила опору ґрунту руйнуванню  $P$  збільшується внаслідок того, що зменшується ефект самообвалення ґрунту. При цьому встановлено, що середньоквадратичне відхилення сили різання  $\sigma$  при зміні кута  $\alpha$  практично не змінюється.

Отже, з умови мінімізації динамічних навантажень і сили опору ґрунту руйнуванню кількість ґрунторуйнуючих елементів в одному кільцевому ряді, тобто ті, що працюють по схемі "слід у слід", не повинне перевищувати 4...5 шт. У подальших дослідженнях приймаємо, що кількість таких елементів  $m = 4$ .

Під час руйнування робочого середовища так, що робочий орган розробляє середовище тільки в нижній частині траншеї (див. Рис. 3) значно зменшується сила різання та енергоємність. Відповідно зменшується виробництво ентропії внаслідок залучення до процесу руйнування гравітаційного поля, вплив якого обумовлюється

зміною кута  $\alpha$  нахилу робочого органу. Збільшення або зменшення кута  $\alpha$  відповідно зменшує або збільшує долю гравіта-

ційного поля в загальній енергії робочого процесу.

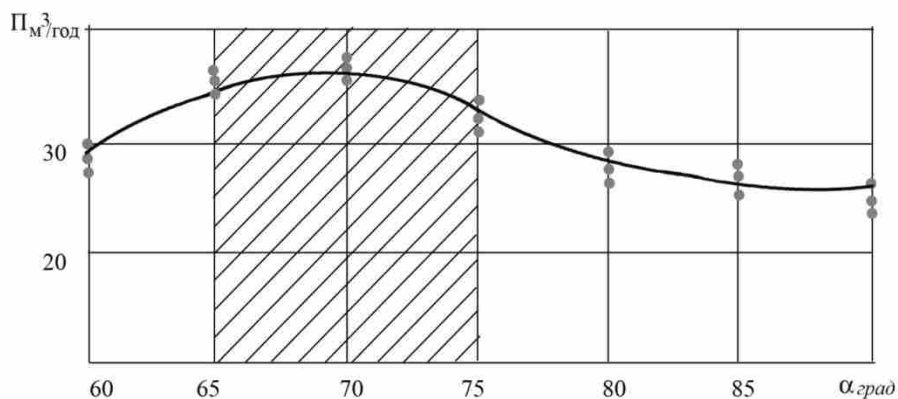


Рис. 6. Залежність продуктивності  $\Pi$  від кута  $\alpha$  нахилу диска

Fig. 6. Dependence of productivity  $\Pi$  on the angle  $\alpha$  of inclination of the disk

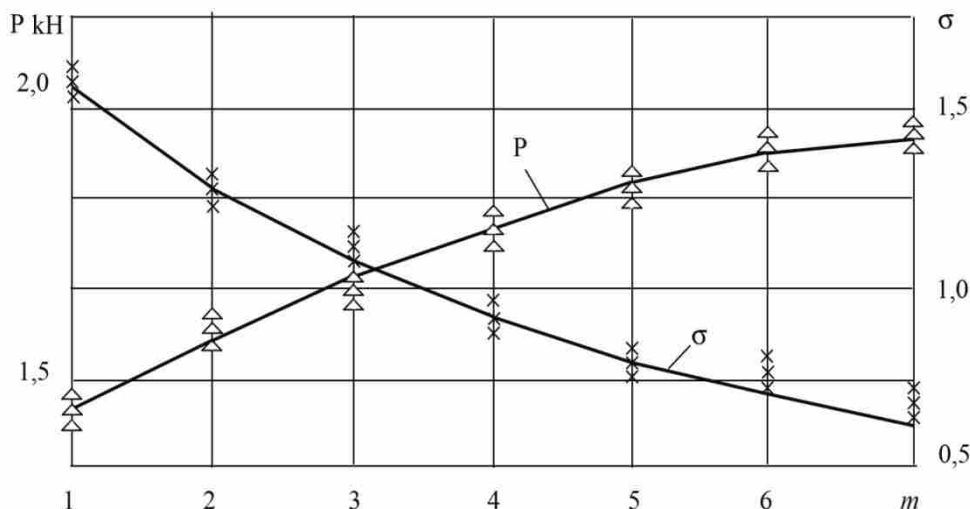


Рис. 7. Залежність  $P$  і  $\sigma$  від  $m$  при  $\alpha < 60^\circ$

Fig. 7. Dependence  $P$  and  $\sigma$  from  $m$  by  $\alpha < 60^\circ$

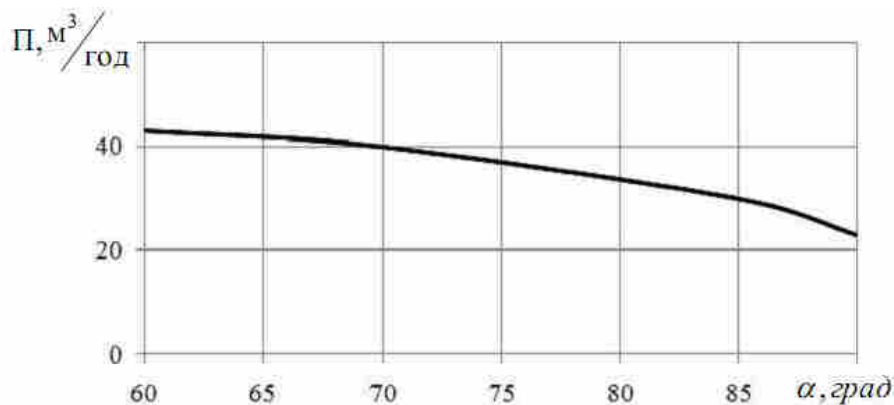


Рис. 8. Залежність продуктивності  $\Pi$  від кута  $\alpha$  нахилу робочого органу

Fig. 8. Dependence of productivity  $\Pi$  on the angle  $\alpha$  of inclination of the working body

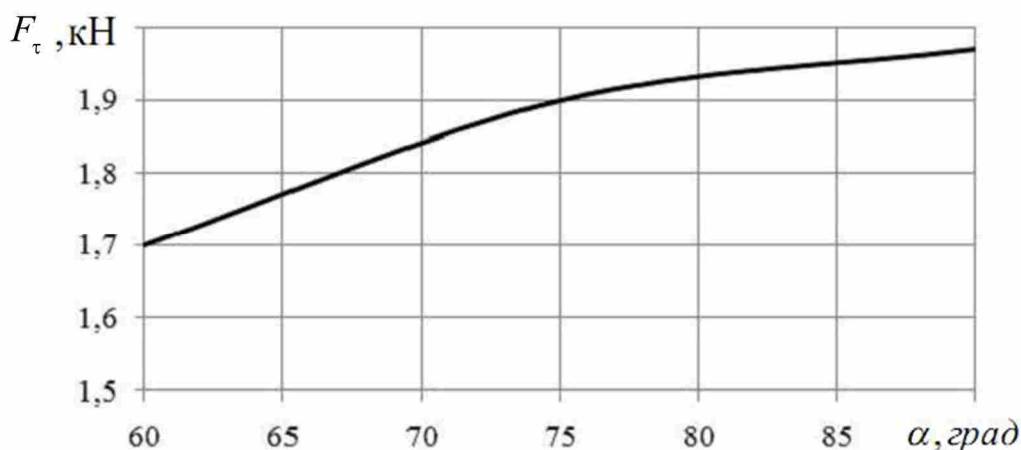


Рис. 9. Залежність  $F_\tau$  від кута  $\alpha$

Fig. 9. Dependence  $F_\tau$  on angle  $\alpha$

Крім того в роботі робочих органів (Рис. 5), як було зазначено вище, виникають конкуруючі фактори. В конструкції дискового робочого органу зі збільшеним співентропійним руйнуванням робочого середовища ці конкуруючі фактори діють в одному напрямку (Рис. 3). Особливістю конструкції дискового робочого органу зі співентропійним руйнуванням робочого середовища є те, що діаметр диска  $D$  більший за глибину траншеї  $H$ , а в швидкісному ґрунторуйнуючому устаткуванні діаметр  $D$  менший глибини траншеї  $H$ . Отже, при зменшенні кута  $\alpha$  робочого органу зменшується сила різання  $F_\tau$  і збільшується продуктивність розробки робочих середовищ  $\Pi$  при сталій потужності, за рахунок збільшення швидкості подачі  $V_\Pi$ .

Враховуючи вищезазначене, експериментальні дослідження проводились для швидкісного ґрунторуйнуючого обладнання з наступними параметрами: діаметр робочого органу  $D = 0,5$  м, глибина траншеї, що розроблюється  $H = 0,7$  м.

Порівняння дискового робочого органу зі співентропійним руйнуванням та швидкісного ґрунторуйнуючого обладнання показало, що енергоємність при куті  $\alpha = 60^\circ$  дорівнює відповідно: для робочого органу зі співентропійним руйнуванням  $e = 8,7$  кДж/м<sup>3</sup>; для швидкісного ґрунторуйнуючого устаткування  $e = 5,8$  кДж/м<sup>3</sup>. Крім того виробництво термодинамічної ентропії при

всіх однакових параметрах руйнування робочого середовища в 1,5 рази менше у швидкісного ґрунторуйнуючого устаткування.

## ВИСНОВКИ

Отже, при організації роботи руйнування з конкуруючими факторами, що діють в одному напрямку, зменшується виробництво ентропії: за рахунок підвищеної інформаційності конструкції робочих органів і максимального залучення гравітаційного поля за рахунок співентропійної направленості руйнування робочих середовищ.

Такі процеси призводять до кардинального зменшення ресурсних витрат на одиницю продукції та поліпшення всіх параметрів розробки робочих середовищ.

Задачею подальших досліджень є синтез робочого устаткування в напрямку збільшення інформаційності та визначення закономірностей процесів руйнування робочих середовищ робочими органами підвищеної співентропійної направленості.

## ЛІТЕРАТУРА

1. **Applied** problems of motion of mechanical systems under action of power loads / I. Nazarenko, L. Pelevin, O. Kostenyk, O. Dedov, A. Fomin, M. Ruchynskiyi, A. Svidersyi, Ye. Mishchuk, V. Slipetsky. – Published in 2019 by

- «Scientific Route» OU Narva mnt 7–634, Tallin, Harju maakond, Estonia, 10117. – 77 с. – ISBN 978-9949-7316-8-8 (Hardback), ISBN 978-9949-7316-9-5 (eBook)
2. **Gorbatyuk I. V., Terentyev O. O., Volianuk V. O., Mishchuk D. O.** Methodology of estimation of efficiency of applying is in industry of new constructions of earthmovers. *Science, society, education: topical issues and development prospects: The 2nd International scientific and practical conference, January 20–21, 2020.* SPC “Sci-conf.com.ua”, Kharkiv, Ukraine. 2020. 150-153. ISBN 978-966-8219-83-2. URL: [http://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2020/01/science-society-education\\_topical-issues-and-development-prospects\\_20-21.01.2020.pdf](http://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2020/01/science-society-education_topical-issues-and-development-prospects_20-21.01.2020.pdf)
  3. **Основи** теорії руху землерийних і ущільнювальних машин з керованими у часі оптимальними параметрами / Пелевін Л. Є., Фомін А. В., Свідерський А. Т., Ручинський М. М., Дедов О.П., Гаркавенко О. М., Мартинюк І. Ю. – Київ. “МП Леся” – 177 с.
  4. **Рабочий орган** землеройной машины. А.с. №1362792. Бюл. № 48, 30.12.87. / В. Л. Баладинский, А. А. Костенюк, Л. Е. Пелевин, А. В. Фомин.
  5. **Рабочий орган** землеройной машины. А.с. №1641949.. Бюл. № 14, 15.04.91. / П.В. Сенченко, Л.Е.Пелевин, А.А.Костенюк, А.Г.Цибизов, Е.А. Альперин, А.Н. Гаркавенко, В.В. Садовой.
  6. **Костенюк О., Фомін А., Тетерятник О., Боковня Г.** Реологічна модель руйнування ґрунту робочими органами зі структурованим рухом різальних елементів / ГБДММ. – К., 2018. – № 91. – С. 58–65. – Режим доступу: <http://gbdmm.knuba.edu.ua/article/view/147348/146724>
  - development prospects: The 2nd International scientific and practical conference, January 20–21, 2020. SPC “Sci-conf.com.ua”, Kharkiv, Ukraine. 2020. 150-153. ISBN 978-966-8219-83-2. URL: [http://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2020/01/science-society-education\\_topical-issues-and-development-prospects\\_20-21.01.2020.pdf](http://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2020/01/science-society-education_topical-issues-and-development-prospects_20-21.01.2020.pdf)
  3. **Pelevin L. E., Fomin A. V., Sviders'kij A. T., Ruchins'kij M. M., Dedov O. P., Garkavenko O. M., Martinyuk I. YU.** Basics of the theory of motion of earth moving and sealing machines with time-controlled optimal parameters, Kyiv, MP Lesya, 177.
  4. **Baladinskij V. L., Kostenyuk A. A., Pelevin L. E., Fomin A. V.** (1987). The working body of the digging machine. Patent no.1362792.
  5. **Senchenko P. V., Pelevin L. E., Kostenyuk A. A., TSibizov A. G., Alperin E. A., Garkavenko A. N., Sadovoj V. V.** (1991). The working body of the digging machine. Patent no.1641949.
  6. **Kostenyuk O., Fomin A., Teteryatnik O., Bokovnya G.** (2018). Rheological model of soil destruction by working bodies with structured movement of cutting elements. *Girničì, budivelnì, dorozhì ta meliorativnì mašini [Mining, constructional, road and melioration machines]*, No91, 58–65. <http://doi.org/10.26884/gbdmm1891.0401>.

**Features of destruction of work environments at information and co-entropy of work processes of construction equipment**

Anatoly Fomin, Oleksandr Garkavenko, Oleksandr Kostenyuk, Oleksandr Teteriatnyk

Kyiv National University of Construction and Architecture

REFERENCES

1. **Nazarenko I., Pelevin L., Kostenyuk O., Dedov O., Fomin A., Ruchynskyi M., Svidersyi A., Mishchuk Ye., Slipetsky V.** (2019). Applied problems of motion of mechanical systems under action of power loads. Published «Scientific Route» OU Narva mnt 7–634, Tallin, Harju maakond, Estonia, 10117, 77. ISBN 978-9949-7316-8-8 (Hardback), ISBN 978-9949-7316-9-5 (eBook)
2. **Gorbatyuk I. V., Terentyev O. O., Volianuk V. O., Mishchuk D. O.** (2020). Methodology of estimation of efficiency of applying is in industry of new constructions of earthmovers. *Science, society, education: topical issues and*

**Abstract.** The analysis of construction machinery and its working processes, as well as the synthesis of new working bodies and machines, is based on the study of the individual patterns of their work. This area of research in the field of work environments is quite effective, but narrowing the focus of research accordingly limits the positive effect of their conduct.

The processes of destruction of work environments are destructive. All real processes are non-reversible, ie the entropy of an isolated (closed) system can only grow. For open systems where there is an exchange of matter with the environment, as well as energy and momentum, entropy can be reduced by replenishing the system with



matter and energy, but the direction of the course of natural processes does not change.

In complex, nonlinear, unbalanced, and open systems, organization processes can occur when the ordering of the system increases due to the synergistic openness of such systems. The complex and nonlinear processes of working environment development are inherent in both directions of the flow of components of these processes. The description of the evolution of systems in the movement of working media as degradation processes is proved and scientifically substantiated by the second law of thermodynamics, the evolution of the system theme in the sense of organization for all its components - synergetics.

The formation of the face must take into account that the process of destruction must coincide with the direction of the process of natural destruction to reduce energy costs.

Constructive implementation of the working bodies of construction machines in such a way, when the co-directionality of the processes of destruction with the course of natural processes is realized, allows to significantly increase the information content of the construction machine. Such processes lead to a dramatic reduction in resource costs per unit of production and to improve all parameters of working environment development.

**Keywords:** entropy, information-ness, synergetics, work environment, playing-field, competing factors.