

## ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ СЕКЦІЙ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПОСІВНИХ МАШИН З МЕТОЮ РЕКУПЕРАЦІЇ ЕНЕРГІЇ

Андрій Войтік<sup>1</sup>, к. т. н., Василь Кравченко<sup>2</sup>, к. т. н., Олександр Пушка<sup>3</sup> к. т. н.

Уманський національний університет садівництва,

вул. Інститутська 1, м. Умань, Черкаська обл., Україна

<sup>1</sup>e-mail: av.afex81@gmail.com; <sup>2</sup>e-mail: kr.vasyl.v@gmail.com <sup>3</sup>e-mail: pushka79@ukr.net

Рекуперація використаної енергії є одним з напрямків розвитку енергозбереження при використанні машин. При роботі сільськогосподарських машин одним з резервів рекуперації енергії є виконання посівних робіт машинами робочі органи яких розміщені на рухомих секціях, що копіюють поверхню поля. Так як поля зазвичай не є ідеально рівними, тому існує велика ймовірність примусового руху секцій відносно рам машин. Створену таким рухом енергію, і можна розглядати як енергію для рекуперації.

Основними схемами кріплення висівних секцій сівалок є паралелограмна та радіальна. Виконавчим механізмом системи рекуперації руху секцій сівалок буде гідроциліндр, рух поршня якого буде створювати потік робочої рідини. В паралелограмній підвісці розмістимо гідроциліндр по лінії більшої діагоналі паралелограму. У радіальній підвісці сошникової секції хід штоку гідроциліндра буде залежати від зміни вертикального положення сошника, а також від конструктивних особливостей секції.

Результати розрахунків показують, що при однакових зовнішніх умовах, а саме нерівностях поля, та при фактичних розмірах паралелограмної та радіальної підвісок робочих органів вибраних сівалок, зміна довжини проєктованого штока гідроциліндра радіальної підвіски менш виражена, ніж паралелограмної підвіски. Також проведені теоретичні дослідження з визначення можливих переміщень штока вмонтованого в багат шарнірні секції посівних машин показали, що при використанні гідроциліндра з діаметром поршня 40 мм, вони дозволяють створювати подачу робочої рідини до 8,1 л/хв. для паралелограмних секцій сівалки та до 3,9 л/хв. для радіальних підвісок секцій.

**Ключові слова:** рекуперація енергії, гідравлічний циліндр, секції робочих органів, посівні машини.

**Постановка проблеми.** Однією з найголовніших проблем над якими на сьогодні працюють вчені є енергозбереження в усіх сферах діяльності людини. Особливо це стосується галузей, які є найенергонасиченішими. До таких галузей можна віднести і сільське господарство, де польові роботи виконуються з використанням потужних двигунів внутрішнього згорання.

Одним з напрямків розвитку енергозбереження при використанні машин і механізмів є рекуперація використаної енергії з метою повторного її використання. При цьому використовується потенціальна енергія накопичена масивними механізмами або кінетична енергія рухомих елементів машин. Найпоширенішим способом накопичення енергії є використання гідроаккумуляторів, але для цих цілей також використовуються додаткові мехатронні системи, які дозволяють перетворювати механічну енергію в електричну.

При роботі сільськогосподарських машин також є резерви рекуперації енергії. Одним з таких процесів є виконання ґрунтообробних або посівних робіт машинами робочі органи яких розміщені на рухомих секціях, що копіюють поверхню поля. Так як поля зазвичай не є ідеально рівними, тому існує велика ймовірність примусового руху секцій відносно рам машин. Вони долають при цьому опір різних притискних механізмів, найчастіше витих пружин, витрачаючи на це значну частину енергії. Саме цю кінетичну енергію, створену підняттям та опусканням секцій, і можна розглядати як потенційну енергію для рекуперації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Збирання і накопичення енергії, яка генерується внаслідок виконання основних процесів роботи поширено в багатьох галузях [3], [11]. Здорожчання палива та перехід до більш жорстких стандартів по шкідливим викидам двигунів внутрішнього згорання є каталізатором до збільшення кількості робіт спрямованих на дослідження рекуперації використаної енергії [4]. В значній мірі це стосується навантажувально-розвантажувальних машин, таких як екскаватори та телескопічні навантажувачі де потенціальна енергія піднятих вантажів та важких піднімальних механізмів може регенеруватись на накопичуватись під час їхнього опускання [8].

Але, для прикладу, в роботі [9] пропонується принцип збирання енергії від проїжджаючих автомобілів через автомобільний тунель для обслуговування даного тунелю. Запропонована система складається з чотирьох основних елементів: «лежачого поліцейського» з рухомою підвіскою, генератора і модулів накопичення енергії. Проїжджаючи через цей «лежачий поліцейський» автомобілі тиснуть на

нього і переміщують донизу, генеруючи таким чином енергію, та приводячи в дію генератор, а підвіска поліцейського повертає його в попереднє положення.

В залізничному транспорті пропонуються засоби рекуперації енергії [5] від проїжджаючих потягів шляхом збирання енергії вібрації колій. Згенерована енергія збирається в накопичувачах та використовується для обслуговування цих шляхопроводів.

Також поширеним способом рекуперації енергії на транспортних засобах є використання енергії гальмування. В основному така технологія забезпечує перетворення кінетичної енергії в електричну, яка потім може зберігатися в спеціальних накопичувачах, таких як акумулятор або ультраконденсатор для повторного використання під час руху [7]. В сільськогосподарських машинах така концепція розглядається в роботі [10], фірмою ZF було встановлено електропривод на колісну вісь причепа Fliegl: на середню вісь причепа було поставлено два високооборотні трифазні асинхронні двигуни з редуктором, які працюють від напруги 400 В, ці електромотори було інтегровано в маточини коліс. Така гібридна система ZF дозволяє рекуперувати енергію під час руху згори.

Питання рекуперації енергії в сільськогосподарських машинах розглянуто в роботі [2]. Тут для зменшення впливу змінного навантаження на режими роботи агрегату запропоновано обладнати трансмісію трактора механічним накопичувачем енергії. За рахунок властивостей маховика, накопичувач може миттєво сприймати і повертати накопичену енергію в період пікових навантажень.

Багато досліджень спрямовано на розгляд отримання енергії від нерівностей доріг через підвіску транспортних засобів [15]. Так в роботі [12] досліджено модель гідро-пневматичної регенеративної системи підвіски в порівнянні зі звичайною підвіскою. За рахунок коливань в системі підвіски гідравлічний циліндр прокачує рідину через гідравлічний мотор який в свою чергу з'єднаний з генератором струму. Отримана електрична енергія накопичується в акумуляторній батареї.

Автори роботи [13] представили розробку гідроелектричної регенеративної підвіски автомобілів. Дослідження показали, що зі збільшенням швидкості руху автомобіля від 10 до 30 м/с кількість отриманої енергії зростає від 5 до 160 Вт, залежно від класу доріг.

Також дослідження гідроелектричної регенеративної підвіски показало, що при будь-якій частоті коливання потужність регенеративної енергії спочатку зростає, а потім із збільшенням опору зменшується [6], а частота коливань колеса автомобіля дуже добре забезпечує генерацію відновлюваної енергії.

Рух підвіски автомобілів є найбільш близьким до руху секцій сільськогосподарських машин. Положення секцій одноланкових та багатоланкових навісних систем робочих органів культиваторів, а саме кутове переміщення у вертикальній площині залежно від конструктивних параметрів секції та сил прикладених до неї знайдено авторами [1]. В цій роботі вказано що інтенсивність зміни кута відхилення секції у вертикальній площині при багатоланковому приєднанні менша ніж при одноланковому. Також в роботі [14] зроблено висновки, що на коливання ланок паралелограмного механізму підвісу секцій найбільше впливають вага секції робочих органів, сила опору ґрунту, кут встановлення ланок секцій та сила тиску притискних пружин.

Таким чином, в розглянутих джерелах, комплексного дослідження щодо можливості рекуперації енергії сільськогосподарськими машинами, і саме машинами, які мають секційне кріплення робочих органів з можливістю копіювання поверхні поля не відображено.

**Постановка завдання.** Дослідити рух багатоланкових шарнірних секцій посівних машин з метою визначення переміщення штока вмонтованого в них притискного гідроциліндра залежно від швидкості руху агрегату та рельєфу поля.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянемо найпопулярніші на ринку схеми кріплення висівних (сошникових) секцій сівалок (рис. 1).



а)

б)

**Рис. 1** Типи підвісок сошникових секцій: а) паралелограмна (Jonh Deere); б) радіальна з пружинним довантаженням (Yetter)

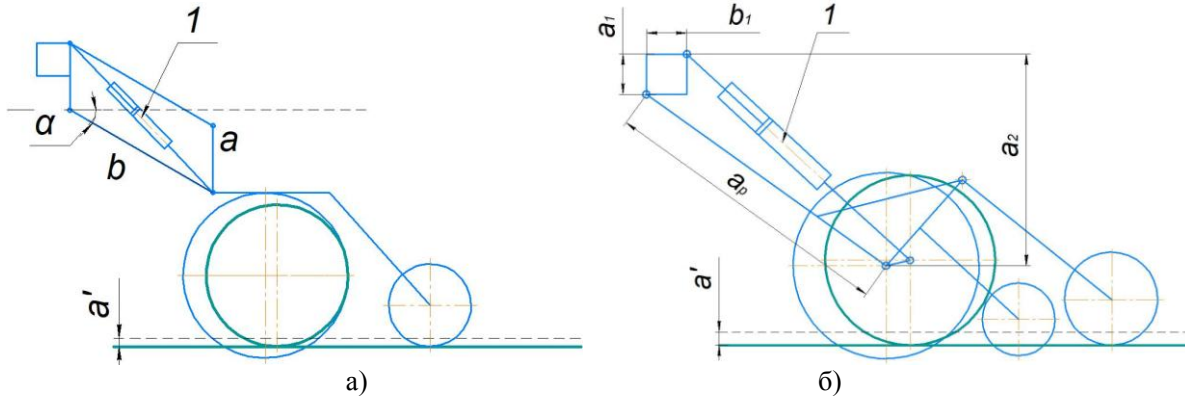
**Fig. 1.** Types of suspensions of opener sections: a) parallelogram (Jonh Deere); b) radial with spring loading (Yetter)

Паралелограмний механізм кріплення сошникових секцій (рис. 1, а) досить часто зустрічається в конструкціях сівалок, особливо сівалок точного висіву. Він дозволяє копіювати рельєф поля та забезпечувати достатнє притисне зусилля секції до ґрунту. Сам механізм являє собою шарнірний чотириланковий вузол у формі паралелограма, короткими сторонами який кріпиться з одного боку до центральної рами сівалки, а з другого – до рами секції. В середині паралелограмного механізму може розміщуватися пружинний або гідравлічний вузол для регулювання жорсткості системи, а також притискного зусилля.

Радіальна підвіска (рис. 1, б) є простішою за конструкцією та має меншу вагу. Однак копіювання рельєфу та притисне зусилля на сошнику тут менше. Тому сучасні виробники сівалок додають в конструкцію підвіски пружинний або гідравлічний механізм, що створює додатковий тиск на сошник, покращуючи таким чином дотримання заданої глибини висіву та проникнення сошника в ґрунт. В результаті маємо наступну конструкцію. До центральної рами сівалки в нижній частині шарнірно кріпиться підвіска, яка являє собою лише одну ланку. З іншої сторони до ланки, також шарнірно, кріпиться сама сошникові секція. Зверху до центральної рами кріпиться механізм регулювання притискного зусилля, який іншим кінцем приєднаний до сошникові секції вище кріплення ланки підвіски. Таким чином утворюється шарнірний чотирикутник, який, як правило, має може приймати довільну форму.

При русі агрегатів по полю, секції, долаючи опір притискних механізмів, здійснюють вертикальний рух відносно рами машини. З метою рекуперації енергії в результаті вертикальних переміщень сошників при копіюванні рельєфу поля додамо в конструкцію секцій гідроциліндри, які відповідатимуть за притисне зусилля та одночасно прокачуватимуть робочу рідину при зміні положення секції.

Проведемо дослідження руху розглянутих вище секцій робочих органів з метою визначення їх можливих переміщень. Зобразимо схематично конструкції підвісок секцій сошників (рис. 2).



**Рис. 2** Схеми підвісок сошникових секцій: а) – паралелограмна; б) – радіальна  
**Fig. 2.** Schemes of suspension brackets of opener sections: a) - parallelogram; b) – radial

В паралелограмній підвісці (рис. 2, а) розмістимо гідроциліндр (1) по лінії більшої діагоналі паралелограму. Відповідно при копіюванні рельєфу поля положення ланок паралелограмного механізму змінюватиметься, що викликатиме зміни довжини діагоналі, а в нашому випадку – це рух штоку гідроциліндра. Даний рух, тобто хід штоку, визначатимемо як різницю двох довжин діагоналі паралелограму у найнижчому та найвищому положенні секції сівалки. Дана величина залежатиме від: довжини короткої ланки паралелограма  $a$ ; довжини довгої ланки паралелограма  $b$ ; кута положення паралелограмного механізму відносно горизонту  $\alpha$ ; висоти переміщення сошника у вертикальній площині від найнижчого до найвищого положення  $a'$ .

У випадку радіальної підвіски сошникові секції (рис. 2, б) хід штоку гідроциліндра 1 при зміні вертикального положення сошника на величину  $a'$  буде залежати також від конструктивних особливостей секції. Для вирішення геометричної задачі нам потрібні наступні розміри: поперечний переріз центральної рами сошникових секцій, що визначається розмірами  $a_1$  та  $b_1$ ; висота розміщення сошника відносно рами  $a_2$ ; довжина ланки радіальної підвіски  $a_p$ .

Введемо змінну  $\vartheta$ , яка визначатиме положення сошника відносно балки центральної рами враховуючи конструктивні параметри секції та початкове положення сошника. Значення даної змінної знайдено із застосуванням методів класичної геометрії для кожного типу підвіски сошникової секції. Враховуючи дану змінну отримаємо наступні рівняння для визначення довжини ходу штока гідроциліндра

- для паралелограмної підвіски:

$$\Delta l_n(\vartheta) = \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab \cdot \cos(0,5\pi - \arcsin(\vartheta))}, \quad (1)$$

де:  $\Delta l_n$  - довжина ходу штока гідроциліндра паралелограмної підвіски секцій, м;  $\vartheta$  - змінна, яка визначає положення робочих органів відносно балки центральної рами;  $a$  - довжини короткої ланки паралелограма, м;  $b$  - довжини довгої ланки паралелограма, м;

- для радіальної підвіски:

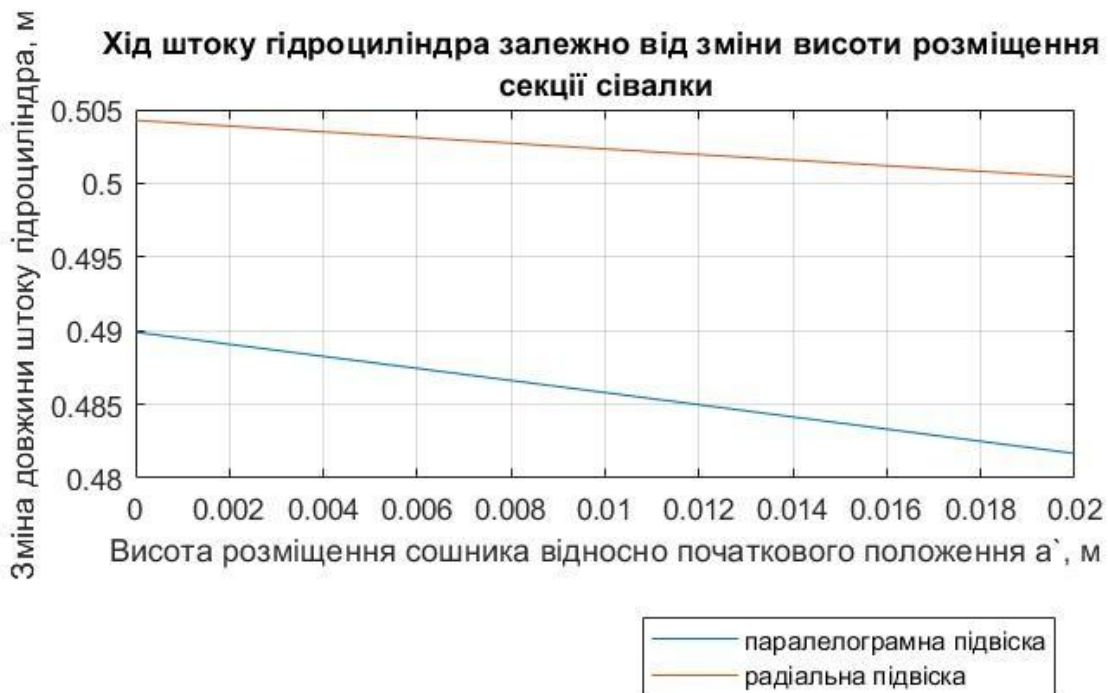
$$\Delta l_p(\vartheta) = \sqrt{\vartheta^2 + \left( \sqrt{a_p^2 - (\vartheta - a_1)^2} - b_1 \right)^2}, \quad (2)$$

де:  $\Delta l_p$  - довжина ходу штока гідроциліндра радіальної підвіски секцій, м;  $a_p$  - довжина ланки радіальної підвіски, м;  $a_1, b_1$  - поперечний переріз центральної балки секцій робочих органів, м.

Визначення величини ходу штоку гідроциліндра в обох випадках відбувається як різниця між найбільшим і найменшим значенням довжини ланки 1 (рис. 2), яка змінюється в результаті вертикальних переміщень сошника при копіювання рельєфу поверхні поля.

Рельєф поля опишемо як гармонічні коливання секції сівалки з певною амплітудою (відповідає за величину зміни вертикальної складової положення секції) та частотою, яка фактично залежить від довжини хвилі гармонічних коливань та швидкості руху сівалки в повздовжньому напрямку (фактично робоча швидкість сівалки).

Для візуалізації отриманих даних використаємо отримані в MatLab залежності та проаналізуємо зміну довжини штоку гідроциліндра від висоти розміщення сошника відносно початкового положення для сошникових секцій сівалок з паралелограмною та радіальною підвіскою (рис.3).



**Рис. 3.** Хід штоку гідроциліндра залежно від зміни висоти розміщення секцій сівалок  
**Fig. 3.** The stroke of the hydraulic cylinder rod depending on the change in the height of the seeder sections

Отримані в результаті розрахунків за формулами (1) та (2) графіки показують, що при однакових зовнішніх умовах, а саме нерівностях поля, та при фактичних розмірах паралелограмної та радіальної підвісок робочих органів вибраних сівалок, зміна довжини проектованого штока гідроциліндра радіальної підвіски менш виражена, ніж паралелограмної підвіски. Так при зміні нерівностей поля від початкового положення (0 см) на 2 см призводить до зміни довжини штока гідроциліндра в межах

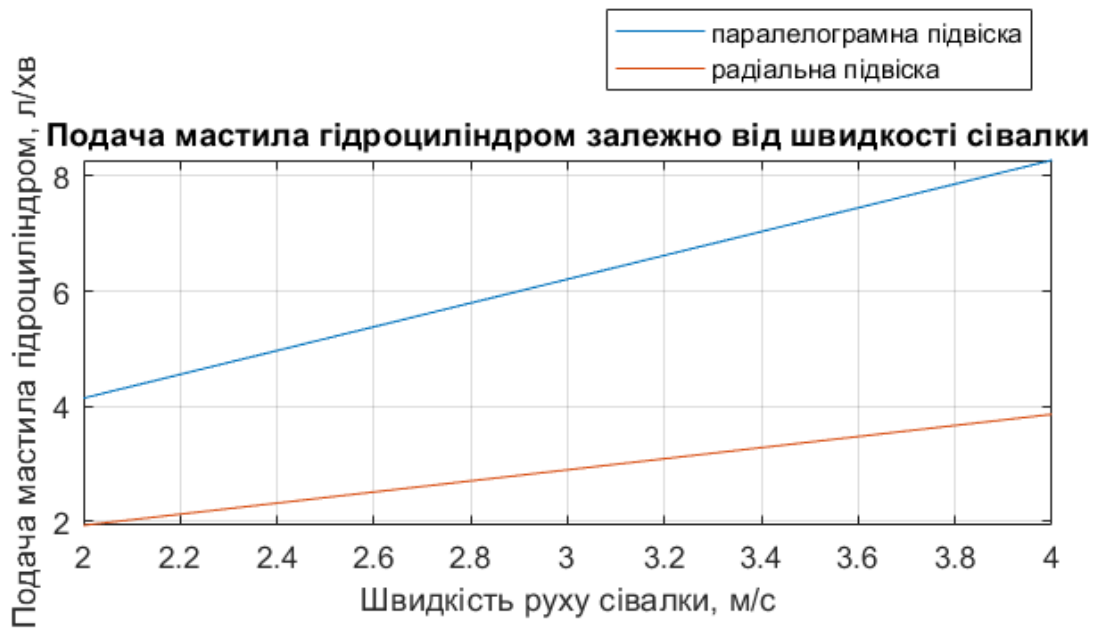
$\Delta_{\text{п}}=0,504-0,501=0,003$  м для радіальної підвіски та  $\Delta_{\text{р}}=0,490-0,482=0,008$  м для паралелограмної підвіски відповідно, тобто тут існує різниця майже в три рази.

Визначивши можливі переміщення штока гідроциліндра є можливість дослідити створюваний таким гідроциліндром потік робочої рідини. Для побудови графіка залежності подачі робочої рідини від швидкості руху сівалки використаємо гідроциліндр з діаметром поршня 40 мм.

В даному випадку гідроциліндр буде працювати як поршневий насос, який при переміщенні поршня створює потік робочої рідини. Параметри цього потоку будуть залежати від робочого об'єму гідроциліндра та частоти його коливань:

$$Q(t) = S \cdot h(t), \quad (3)$$

де  $Q(t)$  – подача робочої рідини гідроциліндром, м<sup>3</sup>/с;  $S$  – площа поршня, м<sup>2</sup>;  $h(t)$  – швидкість поршня, м/с.



**Рис. 4.** Теоретична подача робочої рідини залежно від швидкості руху агрегату

**Fig. 4.** Theoretical supply of working fluid depending on the speed of the machine

Отримана залежність (рис. 4) демонструє, що, в межах прийнятих нерівностей поля та розрахованого відповідно до них руху штока гідроциліндра, подача робочої рідини збільшується зі збільшенням швидкості агрегату прямолінійно. Так як хід штоку в паралелограмній і радіальній підвісках відрізняється (рис.3), то ця різниця, також, простежується і в подачі робочої рідини даними секціями сівалок. В паралелограмній підвісці подача у вибраних межах зміни швидкості руху агрегату зростає від 4,2 до 8,2 л/хв., тоді як в радіальній підвісці секції при таких же параметрах швидкості подача буде зростати з 1,9 до 3,9 л/хв., тобто буде меншою майже в 2 рази. Також слід зауважити, що в обох випадках, збільшення швидкості руху в 2 рази призводить і до збільшення подачі робочої рідини штоком гідроциліндра майже в 2 рази.

**Висновки.** Таким чином, проведені теоретичні дослідження з визначення можливих переміщень штока вмонтованого в багатопланові секції посівних машин показали, що при використанні гідроциліндра з діаметром поршня 40 мм, вони дозволяють створювати подачу робочої рідини до 8,1 л/хв. для паралелограмних секцій сівалки та до 3,9 л/хв. для радіальних підвісок секцій. Отримані дані показують, що дослідження спрямовані на отримання рекупераційної енергії від руху секцій робочих органів при копіюванні рельєфу поля заслуговують на увагу і потребують подальших досліджень, в яких необхідно обґрунтувати гідравлічну схему роботи пристрою та способи накопичення енергії.

#### Бібліографічний список

1. Василенко П.М., Бабий П.Т. Культиваторы (конструкция, теория и расчет). Київ, 1961. 239 с.
2. Олядничук Р.В. Применение накопителя энергии в составе почвообрабатывающего агрегата. *MOTROL «Commission of Motorization and Energetics in Agriculture»*. 2015. Vol. 17, No 3. P.264-269.

3. Семенов О., Підлісний В., Слива О., Якубов І. Регенерація теплової енергії в процесах стерилізації і пастеризації. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження*. 2016. № 20. С. 198-202.
4. A hydraulic test stand for demonstrating the operation of Eaton's energy recovery system (ERS) / Wang, M., et al. *10th International Fluid Power Conference: March 8–10. Dresden: 2016. Volume 1. P. 219-230.*
5. A portable high-efficiency electromagnetic energy harvesting system using supercapacitors for renewable energy applications in railroads / Zhang, X., et al., *Energy Conversion and Management*. 2016. Volume 118. P. 287-294.
6. An Optimal Algorithm for Energy Recovery of Hydraulic Electromagnetic Energy-Regenerative Shock Absorber / Fang, Z. *Applied Mathematics & Information Sciences*. 2013. Sci. 7, No. 6. P. 2207-2214.
7. Co-operative control for regenerative braking and friction braking to increase energy recovery without wheel lock / Ko J.W, et al. *International Journal of Automotive Technology*. 2014. 15(2). P. 253-262.
8. Comparison of energy saving and recovery systems for hydraulic mobile machines. / Bonavolonta A. et al. *AIP Conference Proceedings*. 2019. 2191.
9. Design, modelling and practical tests on a high-voltage kinetic energy harvesting (EH) system for a renewable road tunnel based on linear alternators / Zhang, Z., et al. *Applied Energy*. 2016. Volume 164. P. 152-161.
10. Götz, M., Gumpoltsberger, G., Weinmann, O. Electrification and Driver Assist Technology in the ZF Innovation Tractor. *ATZheavy duty worldwide*. 2016. 9, P. 16–21.
11. Paulsen K., Hensel F. Introduction of a new Energy Recovery System – optimized for the combination with renewable energy. *Conference on Desalination and the Environment. Santa Margherita, Italy, 22–26 May. 2005. Volume 184, Issues 1-3. P. 211-215.*
12. Performance Evaluation and Damping Characteristics of Hydro-Pneumatic Regenerative Suspension System / Awad, M. et al. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2018. 13(7). P. 5436-5442.
13. The ride comfort and energy-regenerative characteristics analysis of hydraulic-electricity energy regenerative suspension / Gong, B. et al. *Journal of Vibroengineering*. 2016. Vol. 18, issue 3. P. 1765-1782.
14. The stability stroke of cotton seeder moulder / Mamatov, F. et al. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. 883.
15. Zheng P., Gao J. Damping force and energy recovery analysis of regenerative hydraulic electric suspension system under road excitation: modelling and numerical simulation. *Mathematical Biosciences and Engineering*. 2019. 16(6). P. 6298–6318.

## **INVESTIGATION OF MOVEMENT OF SECTIONS WITH WORKING BODIES OF SEEDING MACHINES FOR THE PURPOSE OF ENERGY RECOVERY**

*Andriy Voitik, Vasyl Kravchenko, Oleksandr Pushka.  
Uman National University of Horticulture*

**Summary:** Recovery of used energy is one of the directions of energy saving development when using machines and mechanisms. This uses the potential energy accumulated by massive mechanisms or the kinetic energy of the moving elements of machines.

There are also energy recovery reserves in the operation of agricultural machinery. One of such processes is the performance of sowing work by machines, the working bodies of which are placed on moving sections that copy the surface of the field. Since the fields are usually not perfectly flat, there is a high probability of forced movement of the sections relative to the machine frames. The energy generated by the movement of the sections can be considered as energy that can be used for recovery.

Today the most popular schemes of fastening of sowing sections of drills are parallelogram and radial. The actuator of the recovery system of the movement of the drills sections will be a hydraulic cylinder, the movement of the piston which will create a flow of working fluid. In the parallelogram suspension, place the hydraulic cylinder along the line of the larger diagonal of the parallelogram. Accordingly, when copying the relief of the field, the position of the links of the parallelogram mechanism will change, which will cause changes in the length of the diagonal, and in our case - is the movement of the hydraulic cylinder rod. In the radial suspension of the opener section, the stroke of the hydraulic cylinder rod will depend on the change of the vertical position of the opener, as well as on the design features of the section: cross section of the central frame of the opener sections, height of the opener relative to the frame.

As a result of calculations the equation for definition of length of a course of the hydraulic cylinder rod is received. According to the obtained equations, it is determined that with field irregularities of 2 cm, the change in the length of the hydraulic cylinder rod for the radial suspension will be within  $\Delta n = 0.3$  cm, and for the parallelogram suspension -  $\Delta p = 0.8$  cm. The flow of the working fluid will vary: for the parallelogram suspension sections 4.2 - 8.2 l / min., for the radial suspension 1.9 - 3.9 l / min. at the speed of the unit 2-4 m / s and provided the use of a hydraulic cylinder with a piston diameter of 40 mm.

The obtained data show that the recovery energy from the movement of sections of the working bodies when copying the terrain deserves attention and requires further research, which must substantiate the hydraulic scheme of the device and methods of energy storage.

**Key words:** energy recovery, hydraulic cylinder, working body sections, seeding machines

## REFERENCES

1. Vasilenko P.M., Babiy P.T. (1961). *Kultivatoryi (konstruktsiya, teorIya i raschet)*. Kyiv. UASHN. 239 p.
2. Olyadnichuk R.V. (2015). *Primenenie nakopitelya energii v sostave pochvoobrabatyivayuschego agregata*. MOTROL «Commission of Motorization and Energetics in Agriculture». Vol. 17, No 3. P.264-269.
3. Semenov O., Pidlisnyi V., Slyva O., Yakubov I. (2016). *Reheneratsiia teplovoi enerhii v protsesakh sterylizatsii i pasteryzatsii*. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Ahroinzhenerni doslidzhennia*. 20. 198-202.
4. Meng (Rachel) Wang, Per Danzl, Chad Larish, Vishal Mahulkar, Damrongrit (Neng) Piyabongkarn, Paul Brenner. (2016). A hydraulic test stand for demonstrating the operation of Eaton's energy recovery system (ERS) 10th International Fluid Power Conference: March 8–10. Dresden.1. 219-230.
5. Zhang, Xingtian & Zhang, Zutao & Pan, Hongye & Mohammed, Waleed & Liu, Yujie. (2016). A portable high-efficiency electromagnetic energy harvesting system using supercapacitors for renewable energy applications in railroads. *Energy Conversion and Management*. 118. 287-294. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.04.012>.
6. Fang, Zhigang & Guo, Xuexun & Xu, Lin & Zhang, Han. (2013). An Optimal Algorithm for Energy Recovery of Hydraulic Electromagnetic Energy-Regenerative Shock Absorber. *Applied Mathematics & Information Sciences*. 7. 2207-2214. <https://doi.org/10.12785/amis/070610>.
7. Ko, J. & Ko, S. & Kim, Ick-Soo & Hyun, D. & Kim, H.. (2014). Co-operative control for regenerative braking and friction braking to increase energy recovery without wheel lock. *International Journal of Automotive Technology*. 15. 253-262. <https://doi.org/10.1007/s12239-014-0026-6>.
8. Bonavolontà, Antonella & Dolcin, Cesare & Marani, Pietro & Frosina, Emma & Senatore, Adolfo. (2019). Comparison of energy saving and recovery systems for hydraulic mobile machines. *AIP Conference Proceedings*. 2191. 020025. <https://doi.org/10.1063/1.5138758>.
9. Zutao Zhang, Xingtian Zhang, Yagubov Rasim, Chunbai Wang, Bing Du & Yanping Yuan. (2016) Design, modelling and practical tests on a high-voltage kinetic energy harvesting (EH) system for a renewable road tunnel based on linear alternators. *Applied Energy*. 164. 152-161. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.11.096>.
10. Götz, Manuel & Gumpoltsberger, Gerhard & Weinmann, Olrik. (2016). Electrification and Driver Assist Technology in the ZF Innovation Tractor. *ATZoffhighway worldwide*. 9. 16-21. <https://doi.org/10.1007/s41321-016-0539-1>.
11. Paulsen, Kay & Hensel, Frank. (2005). Introduction of a new Energy Recovery System - Optimized for the combination with renewable energy. *Desalination*. 184. 211-215. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.03.060>.
12. Awad, Magdy & Sokar, Mohamed & Rabbo, Saber & El-Arabi, M. (2018). Performance Evaluation and Damping Characteristics of Hydro-Pneumatic Regenerative Suspension System. *International Journal of Applied Engineering Research*. 13. 5436-5442.
13. Gong, Bian & Guo, Xuexun & hu, Sanbao & Fang, Zhigang. (2016). The ride comfort and energy-regenerative characteristics analysis of hydraulic-electricity energy regenerative suspension. *Journal of Vibroengineering*. 18. 1765-1782. <https://doi.org/10.21595/jve.2016.16746>.
14. Mamatov, F & Mirzaev, B & Berdimuratov, P & Turkmenov, Kh & Muratov, L & Eshchanova, G. (2020). The stability stroke of cotton seeder moulder. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 883. 012145. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/883/1/012145>.
15. Zheng, Peng & Gao, Jingwei. (2019). Damping force and energy recovery analysis of regenerative hydraulic electric suspension system under road excitation: modelling and numerical simulation. *Mathematical Biosciences and Engineering*. 16. 6298-6318. <https://doi.org/10.3934/mbe.2019314>.