

DOI: 10.31319/2519-2884.41.2022.9

УДК 621.867.42

Д.П. Часов, к.т.н., доцент, 0969995009@ukr.net

В.О. Бейгул, к.т.н., доцент, dstu.mo@i.ua

В.Ф. Молчанов, к.т.н., v_molchanov@ukr.net

Б.І. Коляда, аспірант

В.В. Бобров, аспірант

О.С. Тарасюк, аспірант

Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОДРІБНЮВАЧА КОМБІНОВАНОГО ІЗ ШНЕКОВИМ ТРАНСПОРТЕРОМ

Об'єктом дослідження є вивчення процесу подрібнення металеві стружки під час транспортування шнековим конвеєром за умови використання спільного приводу для обмеження енерговитрат. Запропонована нова розрахункова схема ножової дробарки з метою економії енергоспоживання та ресурсозбереження при невикористанні окремого джерела енергії. Аналіз результатів дослідження показав, що недостатньо досліджені технології використання спільного джерела потужності для декількох різних додаткових операцій допоміжного обладнання механічних виробництв та підприємств. У роботі наводяться теоретичні дослідження по визначенню дії моментів в різних площинах, які визначають складові величини роботи, додаткових коефіцієнтів та розрахункових потужностей приводу для забезпечення потреб дробарки. Наводяться рекомендації для проектування, розрахунку та промислового використання дробарок ножової дії. Використовуючи розроблені методики і рекомендації, виконано розрахунок всіх необхідних елементів комплексної системи транспортування і переробки стружки для умов механічних підприємств. Використання описаної методики дозволяє використовувати інженерні розрахунки для вирішення технологічних задач проектування та конструювання обладнання агротехнічного та сільськогосподарського напрямків.

Ключові слова: стружка; подрібнення; транспортування; шнековий конвеєр.

The object of the study is the study of the process of grinding metal shavings during transportation by a screw conveyor under the condition of using a common drive in order not to increase energy consumption. A new calculation scheme of the knife crusher is proposed with the aim of saving energy consumption and saving resources when not using a separate energy source. The analysis of the research results showed that the technologies of using a common power source for several different additional operations of auxiliary equipment of mechanical industries and enterprises have not been sufficiently researched. The work presents theoretical studies on determining the action of moments in different planes, which determine the component values of work, additional coefficients and calculated power of the drive to meet the needs of the crusher. Recommendations are given for the design, calculation and industrial use of knife crushers. Using the developed methods and recommendations, the calculation of all the necessary elements of the complex system of transportation and processing of chips for the conditions of mechanical enterprises was performed. The use of the described methodology allows you to use engineering calculations to solve the technological problems of designing and constructing equipment in agrotechnical and agricultural areas.

Keywords: chips; grinding; transportation; screw conveyor.

Постановка проблеми

Використання конвеєрного транспорту для переміщення відходів механічних виробництв обумовлене технологічними особливостями кожного виду транспортерів.

Беручи до уваги аналіз переваг та недоліків конструкцій різних типів конвеєрів, маємо найбільшу ефективність у шнекових транспортерів [1—9]. Однак головним недоліком цього типу є складність у переміщенні зливної стружки. Вирішенням цього завдання є попереднє по-

дрібнення транспортованого матеріалу за допомогою дробарок. Але залишається головна проблема — енергетична складова використання додаткового обладнання, як елемент збільшення вартості кінцевого продукту.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Провівши аналіз обладнання для підготовки стружки до транспортування, визначено, що промисловістю випускається кілька типів і модифікацій стружко перероблюваного обладнання і агрегатів [1—3]. Ще більша кількість найрізноманітніших стружко подрібнювачів створено і створюється конструкторськими відділами на підприємствах, де утворюється велика кількість стружки [4—6]. Все різноманіття існуючого обладнання для подрібнення стружки можна класифікувати на наступні групи: стружкодробарки ножові валкові (одно- і двох валкові), ножові 3-х і 4-х валкові, конусні та молоткові. серед визначених груп не визначено найбільш доцільний тип подрібнювача, оскільки необхідно варіювати декілька параметрів обладнання під конкретні виробничі вимоги [7—9].

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є визначення ефективного методу подрібнення стружки до процесу транспортування за умов енергетичної доцільності використання додаткового обладнання. Для досягнення мети роботи необхідно вирішити такі задачі:

- визначити найефективніший вид руйнування металеві стружки;
- визначити тип дробарок, який найбільш якісно забезпечують процес стружко подрібнення;
- визначити доцільність використання об'єднаного приводу.

Виклад основного матеріалу

Ножова дробарка має низьку ефективність захоплення окремих витків стружки та малу універсальність при переході на подрібнення стружок різних марок сталей і сплавів. Однак, відсутність дна в її конструкції не дозволяє виходити з зони подрібнення стружки та проскакувати (провалюватися) окремими витками стружки без подрібнення.

У 3-х і 4-х валкових дробарках процес руйнування (подрібнення) стружки відбувається в кілька етапів. Основною деформацією руйнування в дробарках цієї групи є розрив при незначному розрізуванні на останніх щаблях подрібнення. До недоліків ножових стружко дробарках першої групи в дробарках цього класу додаються велика металоємність, енергоємність та складність ремонту та монтажу.

У промисловості застосовуються також конусні дробарки. При обертанні стружка захоплюється та затягається всередину корпусу, де вона чіпляється за різці і руйнується. Основною руйнівною деформацією цих дробарок є розрив і зминання. Однак, при неоптимальних габаритних розмірах виникають зусилля, які згинають центральний провідний вал і перекидають дробарку. Застосування конусної передачі обертового моменту знижують ККД, так як:

- будь-яке конусне зачеплення створює розпірні сили, які руйнують шестерні;
- при великих діаметрах зубчастих коліс в них утворюються дуже великі зусилля і як слідство згинається поздовжній вал;
- за рахунок одностороннього навантаження вертикального вала зусиллями руйнування стружки виникають ексцентричні зусилля опорних механізмів дробарки. Це призводить до того, що напруги на приводному валу мають знакозмінну величину і залежать від дуже великої кількості факторів.

Дробарка молоткова складається із зварної рами, в якій знаходиться набір зносостійких поздовжніх брусків у вигляді колосникових ґрат. Основним дробовим елементом є ротор з молотками, що обертається над ґратами, виконаної у вигляді півкола. Завантаження стружки відбувається зверху. Дроблений матеріал потрапляє на ротор, захоплюється молотками і руйнується по дну решітки. Основою руйнівної деформації дробарок цього типу є зминання та розрив при великому стиранні. Подрібнена стружка прокидається через отвір у дні під дробарку. Дробарки цієї групи характеризуються низькою продуктивністю, великою енергоємністю, низькою якістю подрібнення продукту, швидким виходом з ладу молотків. Привід дробарок цього типу потребує великої потужності, що обумовлена тертям стружки по дну.

Для подрібнення зливної стружки пропонується використання ножової дробарки, яка працює по кінематичній схемі ножиці із залученням крутного моменту, отриманого від приводу конвеєру через вал відбору потужності, що забезпечують зниження енергоспоживання та економії ресурсів за рахунок відсутності використання окремого джерела потужності. Подрібнення стружки дробарками є одним з основних найбільш ефективних способів підготовки матеріалу для транспортування та подальшої переробки. Характерною особливістю дробарок ножового типу є розташування нерухомого нижнього та рухомого верхнього ножа на рухомій частині дробарки.

Розглянемо розрахункову схему роботи ножової дробарки із залученням крутного моменту, отриманого від приводу конвеєру через вал відбору потужності (рис. 1).

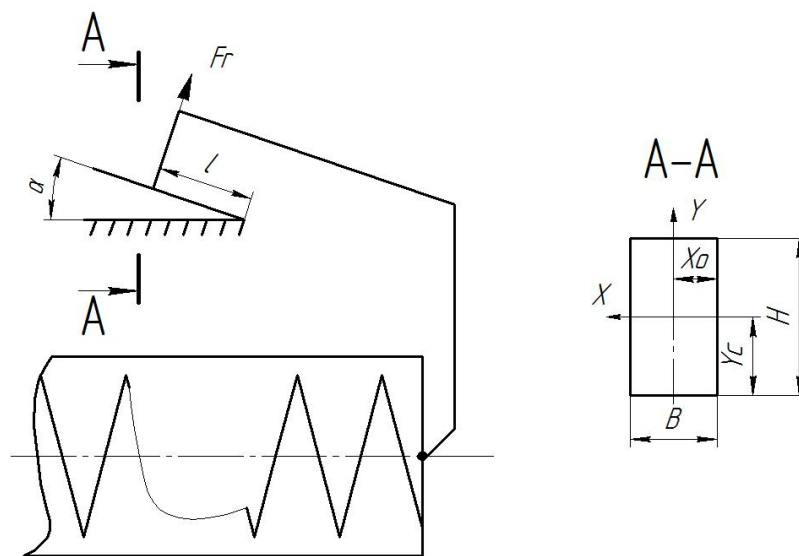


Рис. 1. Розрахункова схема ножової дробарки

Під час стиснення дробарки змінюється робочий кут ножа α ($\alpha_{max} = 15^\circ$). Найбільше розрахункове зусилля різання F_r спостерігається у положенні, коли ніж дробарки прорізає приблизно 1/3 оброблюваного об'єму матеріалу:

$$F_r = \frac{k_1(2 - \varepsilon_n)\varepsilon_n h^2 \sigma_v}{2 \operatorname{tg} \alpha}, \quad (1)$$

де $k_1 = 0,6 \dots 0,75$ — коефіцієнт, відношення меж міцності при різанні та розтяганні; $\varepsilon_n = 0,3$ — коефіцієнт початку розриву, що характеризує величину заглиблення ножів у холодну сталь; h — висота (товщина) стружки, м; σ_v — межа міцності металу; α — кут нахилу верхнього ножа, рад.

Окрім зусилля різання, в горизонтальній площині на ніж діє зусилля розтискання $T_r \approx 0,3F_r$.

Під дією сил T_r та F_r ніж отримує згинаючі моменти в перерізі А-А відносно осі X : $M_x = F_r l$, а відносно осі Y : $M_y = T_r l$,

де l — відстань від лінії подрібнення до точки фіксації ножа, м.

Дії згинаючих моментів викликають максимальні напруження: на нижньому ножі

$$y_d = \frac{M_x y_c}{I_x} + \frac{M_y B}{2I_y} \leq [y]; \quad (2)$$

на верхньому ножі

$$y_u = \frac{M_x(H - y_c)}{I_x} + \frac{M_y B}{2I_y} \leq [y], \quad (3)$$

де I_x та I_y — моменти інерції відносно відповідних вісей, м⁴; H та B — розміри перерізу, м; $[y]$ — допустиме напруження при згинанні, Па.

Відповідно напруження кручення набуває вигляд

$$\tau = \frac{M_{kr}}{2F_c \delta_{\min}} \leq [\tau], \quad (4)$$

де M_{kr} — крутний момент, викликаний розпірним зусиллям

$$M_{kr} = T_r y_c, \quad (5)$$

y_c — відстань від точки прикладення зусилля до центра маси перерізу по вертикалі, м; τ — максимальне напруження кручення, Па; δ_{\min} — мінімальна товщина ножа, м; F_c — площа контакту по перерізу ножа, м²; $[\tau]$ — допустиме напруження кручення, Па.

Беручи до уваги тертя в опорах та втрати пов'язані із цим маємо, що формула для розрахунку роботи різання набуває вигляду

$$A = 1,15 k_r k_r e_n y_v h S, \quad (6)$$

де $k_r = 0,8$ — коефіцієнт роботи різання.

Маючи розрахункові формули роботи, можемо визначити необхідну потужність приводу, яка набуває вигляду:

$$P = \frac{A \omega \lambda}{2\pi}, \quad (7)$$

де P — потужність приводу, Вт; ω — кутова швидкість валу відбору потужності, 1/с; $\lambda = 1,7$ — коефіцієнт, що враховує допустиме перевантаження електродвигуна.

Оскільки механізм комбінований, то розрахункова потужність приводу додається до відповідної потужності транспортера.

Висновки

Аналіз проведених досліджень дозволяє зробити наступні висновки і рекомендації:

- найефективнішим видом руйнування металевої стружки з будь-яких видів сталей і сплавів є зріз, який спостерігається у ножових дробарках;
- найближче до вирішення питання якісного стружко подрібнення підходять дробарки ножові одно-, дво-, трьох- і чотирьох валикові, але вимагають певного доопрацювання;
- доцільне використання об'єднаного вигляду приводу дробарки приєднаного до валу шнекового конвеєру.

Дані розрахункові схеми та методики можливо інтегрувати в аграрні та сільськогосподарські машини при умові корегування коефіцієнтів в'язкості, дрібності, сипучості та злипання переміщованого матеріалу з урахуванням специфіки транспортування відходів.

Список використаної літератури

1. Baranovsky V.M., Potapenko M.V. Theoretical analysis of the technological feed of lifter root crops. INMATEH–Agricultural Engineering. *National Institute of research development for machines and installations designed to Agriculture and food industry*. Inma Bucharest. Vol. 51. No. 1/2017. P. 29–38.
2. Chasov D. «Determining the equation of surface of additional blade of a screw conveyor», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* № 5(1–83) (2016). P. 10–14.

3. Fernandezi J. Cleary P., Mc. Bride W. Effect of screw design on hopper draw down by a horizontal screw feeder : *seventh International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries CSIRO* (Melbourne, Australia, 9–11 December 2009).
4. Hevko R.B. Development and investigation of reciprocating screw with flexible helical surface. INMATEH–Agricultural engineering. *National Institute of research development for machines and installations designed to Agriculture and food industry*. Inma Bucharest. Vol. 46. No. 2/2015. P. 133–138.
5. Gevko R.B., Klendiy O.M. The investigation of the process of the actuation of the safety device of a screw conveyer, INMATEH: *Agricultural engineering*, vol. 42, no. 1/2014, p. 55–60, Bucharest, Romania.
6. Hevko R.B., Dzyura V.O., Romanovsky R.M. Mathematical model of the pneumatic-screw conveyor screw mechanism operation. INMATEH–Agricultural engineering. *National Institute of research development for machines and installations designed to Agriculture and food industry*. Inma Bucharest. Vol. 44. No. 3/2014. P. 103–110.
7. Hevko R.B., Klendiy M.B., Klendiy O.M. Investigation of a transfer branch of a flexible screw conveyer. INMATEH–Agricultural Engineering. *National Institute of research development for machines and installations designed to Agriculture and food industry*. Inma Bucharest. Vol. 48. No.1/2016. P. 29–34.
8. Ince E., Güler M.A. Design and analysis of a novel power-split infinitely variable power transmission system. *Journal of Mechanical Design*. <https://doi.org/10.1115/1.4041783>
9. Pankiv V.R., Tokarchuk O.A. Investigation of constructive geometrical and filling coefficients of combined grinding screw conveyor. INMATEH–Agricultural engineering. *National Institute of research development for machines and installations designed to Agriculture and food industry*. Inma Bucharest. Vol. 51. No. 1/2017. P. 59–68.

INVESTIGATION OF THE PARAMETERS OF THE COMBINED CRUSHER WITH SCREW CONVEYOR

Chasov D., Beihul V., Molchanov V., Kolyada B., Bobrov V., Tarasiuk O.

Abstract

The object of the study is the study of the process of grinding metal shavings during transportation by a screw conveyor under the condition of using a common drive in order not to increase energy consumption.

In the process of work, a fundamentally new scheme for grinding drain chips and chipping chips was proposed, a calculation scheme of a knife crusher was developed, the kinematic scheme of which uses the involved torque of the conveyor drive thanks to the power take-off shaft in order to save energy consumption and resource conservation when not using a separate energy source.

The analysis of the research results showed that in domestic and foreign mechanical engineering, there is little information and recommendations for the design and calculation of equipment for chipping during transportation, especially for chipping waste chips of high-alloy, stainless steels and titanium alloys, as well as insufficiently researched technologies for using a common power source for several different additional operations of auxiliary equipment of mechanical industries and enterprises.

The work presents theoretical studies on determining the action of moments in different planes, which determine the components of the work, additional coefficients and calculated power of the drive to meet the needs of the crusher. Recommendations are given for the design, calculation and industrial use of knife crushers.

Using the developed methods and recommendations, the calculation of all the necessary elements of the complex system of transportation and processing of chips for the conditions of mechanical enterprises was carried out in accordance with the scientific study within the state budget research work "Development and improvement of technological equipment for operating systems of lubricating

and cooling fluids of metal cutting machines, taking into account environmental efficiency of processes of transportation, cleaning and processing of technological environments" of the Dnipro State Technical University.

The use of the described methodology allows you to use engineering calculations to solve the technological problems of designing and constructing equipment in agrotechnical and agricultural areas.

References

- [1] Baranovsky V.M., Potapenko M.V. (2017). Theoretical analysis of the technological feed of lifter root crops. INMATEH–Agricultural Engineering. *National Institute of research development for machines and installations designed to Agriculture and food industry*. Inma Bucharest. Vol. 51. P. 29–38.
- [2] Chasov D. (2016). «Determining the equation of surface of additional blade of a screw conveyor», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* № 5. P. 10–14.
- [3] Fernandezi J. Cleary P., Mc. Bride W. (2009). Effect of screw design on hopper draw down by a horizontal screw feeder : *seventh International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries CSIRO* (Melbourne, Australia).
- [4] Hevko R.B. (2015). Development and investigation of reciprocating screw with flexible helical surface. INMATEH–Agricultural engineering. *National Institute of research development for machines and installations designed to Agriculture and food industry*. Inma Bucharest. Vol. 46. P. 133–138.
- [5] Gevko R.B., Klendiy O.M. (2014). The investigation of the process of the actuation of the safety device of a screw conveyer. INMATEH: *Agricultural engineering*, vol. 42, p. 55–60, Bucharest, Romania.
- [6] Hevko R.B., Dzyura V.O., Romanovsky R.M. (2014). Mathematical model of the pneumatic-screw conveyor screw mechanism operation. INMATEH–Agricultural engineering. *National Institute of research development for machines and installations designed to Agriculture and food industry*. Inma Bucharest. Vol. 44. P. 103–110.
- [7] Hevko R.B., Klendiy M.B., Klendiy O.M. (2016). Investigation of a transfer branch of a flexible screw conveyer. INMATEH–Agricultural Engineering. *National Institute of research development for machines and installations designed to Agriculture and food industry*. Inma Bucharest. Vol. 48. P. 29–34.
- [8] Ince E., Güler MA, (2019). Design and analysis of a novel power-split infinitely variable power transmission system. *Journal of Mechanical Design*. <https://doi.org/10.1115/1.4041783>
- [9] Pankiv V.R., Tokarchuk O.A. (2017). Investigation of constructive geometrical and filling coefficients of combined grinding screw conveyer. INMATEH–Agricultural engineering. *National Institute of research development for machines and installations designed to Agriculture and food industry*. Inma Bucharest. Vol. 51. P. 59–68.