

УДК 631.361.022

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ МОЛОТИЛЬНОГО АПАРАТУ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА НА ПРОЦЕС ОБМОЛОТУ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

С. В. Смолінський

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Кореспонденція авторів: staned@ukr.net.

Історія статті: отримано – травень 2018, акцентовано – вересень 2018.

Бібл. 15, рис. 2, табл. 0.

Анотація. Метою дослідження є на основі аналізу робочого процесу молотильного апарату зернозбирального комбайна встановити вплив основних його параметрів на ефективність процесу обмолоту зернових культур. Об'єктом дослідження є робочий процес барабанного молотильного апарату зернозбирального комбайна. Предметом дослідження є взаємозв'язок між параметрами молотильного апарату зернозбирального комбайну і показниками ефективності обмолоту зернових культур.

Моделювання роботи молотильного апарату полягає в дослідженні виділення зерна із колоса внаслідок удару і витирання зерна при русі в молотильному зазорі, а також просіювання зерна через підбарабання.

При дослідженні процесу обмолоту і просівання зерна в молотильному апараті розглянуто кінетику процесу із урахуванням результуючої швидкості удару молотильного апарату по колосі та швидкості переміщення маси і тиску у молотильному зазорі. Взаємозв'язок між основними параметрами молотильних апаратів встановлено згідно аналізу показників технічної характеристики сучасних зернозбиральних комбайнів із інформаційних проспектів фірм.

Результати: отримано модель протікання процесу обмолоту із урахуванням кожного із етапів; встановлено нерівномірність обмолоту та просіювання зерна в молотильному зазорі по довжині підбарабання; встановлено взаємозв'язок між основними параметрами молотильних апаратів сучасних зернозбиральних комбайнів.

Ключові слова: зернозбиральний комбайн, обмолот, просіювання, молотильний апарат, підбарабання, параметри

Постановка проблеми

Основним технічним засобом для збирання зернових культур є зернозбиральний комбайн, від показників ефективності роботи якого істотно залежить рентабельність вирощування зернових культур. Сучасні зернозбиральні комбайни є складною динамічною системою, в якій послідовно відбувається зрізування хлібостою, його подача до молотарки,

обмолот та очищення зерна від домішок та видалення вільного зерна із соломи. При збиранні зернових культур застосовуються високоефективні комбайни провідних фірм-виробників Claas, John Deere, New Holland, Fendt, Messey Fergusson, Sampo і т.д., які хоч і мають подібний процес роботи, але можуть відрізнятися показниками технічної характеристики та ефективності роботи.

Одним із найбільш відповідальних робочих органів зернозбирального комбайна, що визначає ефективність роботи збирального агрегату в цілому, є молотильний апарат, який призначений для виділення зерна із колоска і часткового відділення із соломистої маси.

Молотильні апарати поділяються на два основних типи: барабанні і роторні, а по розміщенню робочого органу – на аксіальні і тангенціальні. Найбільшого поширення в Україні набули зернозбиральні комбайни, які обладнані барабанними молотильними апаратами з тангенціальним розміщенням барабану. Основними параметрами барабанних молотильних апаратів є діаметр і довжина молотильного барабану, частота його обертання та кут обхвату підбарабанням молотильного барабану, які істотно впливають на показники ефективності обмолоту зернових культур.

Аналіз останніх досліджень

Дослідженням процесу обмолоту зернових культур та функціонування молотильних апаратів зернозбиральних комбайнів присвячені роботи [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9], в яких проаналізовано взаємодію хлібної маси з елементами апарату та вплив режимів роботи на якість обмолоту.

В роботі [10] на основі аналізу показників технічної характеристики зернозбиральних комбайнів отримано залежності між основними параметрами машин, у тому ж числі і параметрів молотильних апаратів.

Але з огляду на динамічність процесу обмолоту та мінливість величини подачі хлібної маси в молотарку комбайна виникла потреба в системному аналізі впливу основних параметрів молотильного апарату на

ефективність обмолоту зернових культур як складного процесу.

Мета досліджень

Метою дослідження є на основі аналізу робочого процесу молотильного апарату зернозбирального комбайна встановити вплив основних його параметрів на ефективність процесу обмолоту зернових культур.

Результати досліджень

Процес обмолоту в барабанному молотильному апараті зернозбирального комбайна (класичної схеми) розділимо на декілька етапів: подачу хлібної маси в молотильний апарат; ударну взаємодію хлібної маси з бичами молотильного апарату (при цьому частина зерна відділяється від колоска, а інша – втрачає зв'язок з ним); рух хлібної маси в молотильному зазорі з витиранням зерна із колосків та просіюванням відділеного зерна через шар хлібної маси; проходження зерна через решето підбарабання. Якість виконання кожної із операцій істотно залежить від виконання попередньої операції і має вплив на якість виконання наступних операцій. Розглянемо процес роботи барабанного молотильного апарату шляхом аналізу основних етапів.

Допустимо, що в молотильний зазор подається зерно в колосі з подачею q_0 і відсутності вільного зерна. Якщо масова доля зерна, що виділяється з колоскової частини внаслідок удару бил позначити λ_1 , то подача виділеного з колоса зерна становитиме

$$q_1 = \lambda_1 q_0, \quad (1)$$

а подача зерна в колосі

$$q_0 - q_1 = q_0(1 - \lambda_1). \quad (2)$$

При русі хлібної маси в молотильному зазорі масова доля зерна в колосі λ_2 витиратиметься внаслідок взаємодії з потоком. Тоді загальна подача вимолоченого зерна становитиме

$$q_1 + \lambda_2(q_0 - q_1) = q_0(\lambda_1 - \lambda_1\lambda_2 + \lambda_2), \quad (3)$$

а подача невимолоченого зерна

$$q_0(1 - \lambda_1)(1 - \lambda_2), \quad (4)$$

значення якої згідно умов ефективної роботи має прямувати до мінімуму.

Також при проходженні молотильного зазору вимолочене зерно проходить через шар хлібної маси, що описуватиметься інтенсивністю просіювання зерна

$$\mu_1 q_0(\lambda_1 - \lambda_1\lambda_2 + \lambda_2), \quad (5)$$

де μ_1 – масова доля вимолоченого зерна і просіяного через шар хлібної маси.

Масову долю зерна вимолоченого і просіяного через шар хлібної маси на поверхню підбарабання μ_1 представимо у вигляді функції кута положення α в молотильному зазорі

$$\mu_1 = k_1\alpha^2 + k_2\alpha + k_3, \quad (6)$$

де k_1, k_2, k_3 – емпіричні коефіцієнти, значення яких залежатимуть від властивостей хлібної маси та режимів роботи молотильного апарату.

Тоді, інтенсивність просіювання зерна через підбарабання становитиме

$$\mu_1\mu_2q_0(\lambda_1 - \lambda_1\lambda_2 + \lambda_2), \quad (7)$$

де μ_2 – масова доля просіяного через підбарабання зерна, яку також представимо у вигляді функції кута положення α маси поверхні підбарабання

$$\mu_2 = j_1\alpha^2 + j_2\alpha + j_3, \quad (8)$$

де j_1, j_2, j_3 – емпіричні коефіцієнти, що характеризують просіювальну здатність підбарабання.

Схід зерна з поверхні підбарабання, яке не пройшло шар хлібної маси або не просіялося через отвори у підбарабанні становитиме

$$q_0(1 - \mu_1\mu_2)(\lambda_1 - \lambda_1\lambda_2 + \lambda_2), \quad (10)$$

яке згідно умов ефективної роботи має прямувати до мінімуму.

Для визначення значень $\lambda_1, \lambda_2, \mu_1$ та μ_2 розглянемо протікання відповідних етапів робочого процесу молотильного апарату.

При подачі хлібної маси у молотильний зазор відбувається удар бича по масі, результуюча швидкість якого V_p визначатиме активну дію бича на масі, а отже, і якість виділення зерна із колоса та втрату зв'язку зернини з колосом. Масова доля зерна, що виділяється із колоса внаслідок удару бича λ_1 , залежить від результуючої швидкості співудару [1, 2, 11] і представимо залежністю виду

$$\lambda_1 = d_1 V_p^2 + d_2 V_p + d_3, \quad (11)$$

де a_1, a_2, a_3 – дослідні коефіцієнти, значення яких залежать від характеристик зернової культури, що збирається, умов роботи та параметрів і режимів роботи молотильного апарату.

Для визначення V_p розглянемо швидкості, що діють при ударі: швидкість руху транспортера похилої камери V_T , напрямок якої співпадає з положенням похилої камери і визначатиметься кутом її нахилу до горизонту – β ; колова швидкість обертального руху біла молотильного барабану $\pi D n / 60$, де n – частота обертання молотильного барабану (в об/хв), при кутовому положенні бича молотильного барабану в момент удару відносно вертикалі – θ .

Тоді, згідно теореми косинусів результуюча швидкість удару бича по хлібній масі становитиме

$$V_p = \sqrt{V_T^2 + (\pi D n / 60)^2 + (\pi D n / 30) V_T \cos(\beta + \theta)} \quad (12)$$

При русі хлібної маси в молотильному зазорі відбуватиметься витирання із колосків зерна, що не виділилися внаслідок удару бича, але втратили при цьому зв'язок з колосом. Масу долю зерна λ_2 , що витирається із колоса при русі в молотильному зазорі, визначатимемо по аналогії із залежностями теорії зносу [12] у вигляді:

$$\lambda_2 = a P^b V^c, \quad (13)$$

де P – тиск або напруження в стиснутому шарі хлібної маси, величина якого визначається згідно емпіричної залежності професора М. А. Пустигина [1, 2]:

$P = A e^{C\varepsilon}$; A, C – емпіричні коефіцієнти; ε – відносна деформація маси, яку доцільно приймати як відношення зміни густини хлібної маси до миттєвого значення густини; V – швидкість руху маси в молотильному зазорі.

Процес просіювання зерна в молотильному апараті по аналогії з процесом сепарації ґрунту у відцентровому сепараторі картоплезбиральної машини [13] описуватиметься функцією кутового переміщення хлібної маси в молотильному зазорі

$$q = - \int_{\alpha_0}^{\alpha_1} r [q_0(\lambda_1 - \lambda_1\lambda_2 + \lambda_2)]^{S_1} [K_1 + K_2 + K_3]^{S_2} BR d\alpha, \quad (14)$$

де r – емпіричний коефіцієнт; S_1 – показник степені впливу подачі вимолоченого зерна в молотильному зазорі на інтенсивність просіювання; S_2 – показник степені впливу коефіцієнтів динамічності; K_1, K_2, K_3 – коефіцієнти динамічності відповідно від дії сили тяжіння, відцентрової сили інерції та тиску в стиснутому шарі хлібної маси, які визначатимуться:

$$K_1 = \cos\alpha, K_2 = V^2/(gR), K_3 = PBV/(gq_0(\lambda_1 - \lambda_1\lambda_2 + \lambda_2)). \quad (15)$$

На основі отриманих аналітичних залежностей та із урахуванням результатів досліджень [1, 2, 3, 6], було проведено комп'ютерний експеримент, в результаті якого отримано залежність повноти вимолоту зерна (у масових долях) від кутового положення маси на поверхні підбарабання (в градусах) для молотильного апарату з діаметром барабану 0,6 м, довжиною 1,34 м, кутом обхвату барабану підбарабанням 120 град (при цьому площа підбарабання становить 0,99 м²) при ширині захвату жатки 6,8 м та швидкості руху комбайна 8 км/год (за аналог прийнято комбайн моделі 5275C компанії FENDT).

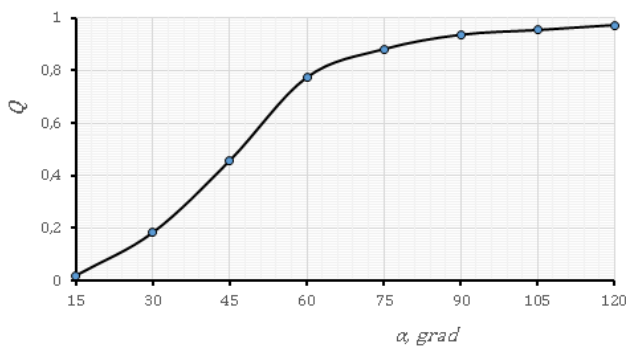


Рис. 1. Залежність повноти вимолоту зерна від кутового положення маси на поверхні підбарабання.

Отримані залежності підтверджують нерівномірність обмолоту та просіювання зерна в молотильному зазорі по довжині підбарабання, яке визначається кутовим положення хлібної маси на його поверхні.

Аналіз показників технічної характеристики сучасних зернозбиральних комбайнів [14] показує, що в схемі більшості марок комбайнів з класичною схемою молотарки встановлюються молотильні барабани діаметром 600...660 мм (молотильні барабани діаметром 450 мм застосовуються в схемах комбайнів Tuscany і Avego фірми Claas, 500 мм – Sampo, 800 мм – Acros та Vector і т.д.) і довжиною від 1180 до 1700 мм. Величина кута обхвату підбарабанням молотильного барабану варіюється на сучасних комбайнах від 105 град (в молотильних апаратах комбайнів фірми Sampo) до 151 град (на комбайнах Tuscany і Avego фірми Claas) та 175 град (в молотильному апараті комбайна КЗС-1624-1 ГомСельмаш).

На ефективність просіювання в молотильному апараті віділеного зерна істотно впливає також площа підбарабання, величина якої відрізняється для різних марок комбайнів. На основі аналізу показників

технічної характеристики сучасних зернозбиральних комбайнів з класичною схемою молотарки фірм-виробників Claas, John Deere, New Holland, Fendt, Messey Fergusson, Sampo та інших [14], встановлено наявність кореляційного зв'язку між площею підбарабання S (м²), пропускною здатністю молотарки q (кг с⁻¹), діаметром D (м) та довжиною L (м) молотильного барабану, який описується залежністю

$$S = -1,56103 + 0,03777q + 2,46085D + 0,36055L. \quad (16)$$

В залежності (16) приймали розрахункове значення пропускної здатності молотарки q , яке визначали згідно формули [15]

$$q = 0,002W - 1, \quad (17)$$

де W – місткість зернового бункера комбайна згідно технічної характеристики, л.

Із аналізу виразу (16) випливає, що існує залежність між площею підбарабання S (м²) та розрахунковою величиною пропускної здатності молотарки q (кг с⁻¹), яка описуватиметься рівнянням

$$S = 1,0993 - 0,1362q + 0,081q^2, \quad (18)$$

графічна інтерпретація якої наведено на рис. 2, що свідчить про потребу у застосуванні в конструкціях зернозбиральних комбайнів з більшою пропускною здатністю молотарок підбарабання більшої площі, а це сприятиме більш повному виділенню вимолоченого зерна із хлібної маси.

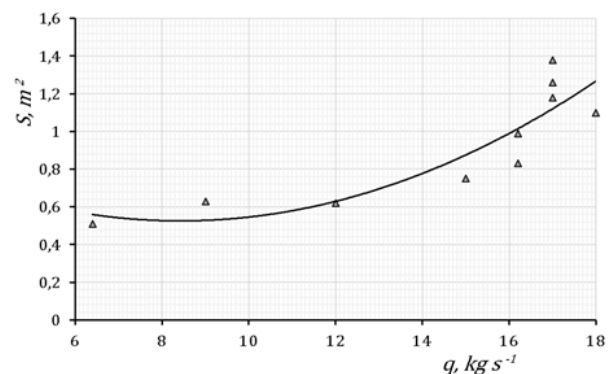


Рис. 2. Залежність площі підбарабання молотильних апаратів зернозбиральних комбайнів від розрахункового значення пропускної здатності молотарок.

Висновки

1. Оскільки процес обмолоту зернових культур в молотильному апараті зернозбирального комбайну є складним багатоетапним процесом, доцільно при його дослідженні проаналізувати кожен із етапів, а також основні параметри молотильного апарату і їх вплив на ефективність протікання процесу.

2. В результаті проведеного аналізу кінетики обмолоту зерна отримано залежності, які свідчать про вплив на протікання процесу показників ефективності кожного із етапів, а також про нерівномірність обмолоту та просіювання зерна в молотильному зазорі по довжині підбарабання.

3. Внаслідок аналізу показників технічної характеристики сучасних зернозбиральних комбайнів встановлено також існування взаємозв'язку між

площею підбарабання, пропускною здатністю молотарки, діаметром та довжиною молотильного барабану, величина яких визначатиме ефективність виділення зерна із колоса і просіювання через хлібну масу та підбарабання.

Література

1. Липкович Э. И. Процессы обмолота и сепарации в молотильных аппаратах зерноуборочных комбайнов. Зерноград, 1973. 168 с.
2. Кленин Н. И. Исследование вымолота и сепарации зерна. Диссертация доктора технических наук. Москва. 1977. 424 с.
3. Алферов С. А., Багрянец В. С. Обмолот и сепарация зерна в молотильных устройствах как вероятный процесс. Тракторы и сельхозмашины. 1972. №4. С. 10–13.
4. Жалнин Э. В. Методические вопросы построения общей теории процессов обмолота и сепарации зерна в зерноуборочных комбайнах. Науч.-тех. бюллетень ВИМ. 1982. Вып. 52. С. 22–29.
5. Занько М. Д., Недовесов В. І. Аналітичне моделювання втрат зерна за молотаркою в залежності від умов роботи зернозбирального комбайна. Механізація та електрифікація сільського господарства. 2013. Вип. 97. С. 483–488.
6. Антипин В. Г., Коробицын В. М. О перемещении обмолачиваемой культуры по подбарабанию/Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1979. № 8. С. 7–9.
7. Bernhardt G., Bischoff L., Herlitzius T. Maschinenuntersuchung funktionaler Baugruppen von Mähdreschern. Agrartechnische Forschung. 2 (1996). H. 2. 138–143.
8. Дудак С. М., Грицака О. М., Спірін А. В. Кінетика процесу вимолоту зерна зернозбиральними комбайнами. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. 2015. №1(89). Том 1. С. 53–56.
9. Klochkov A. V., Gusarov V. V., Kuboń M., Kamiński J. R. Threshing and drain separating mechanism with differentiate concave for intensification of threshing and drain separation. Agricultural Engineering. 2017. Vol. 21. No 3. P. 29–45.
10. Смолінський С. В. Аналіз взаємозв'язку між базовими параметрами сучасних зернозбиральних комбайнів. Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка. Харків. 2010. Вип. 93 Т. 1. С. 182–186.
11. Босой Е. С., Верняев О. В., Смирнов И. И. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин. Москва. Машиностроение, 1978. 568 с.
12. Крагельский И. В., Алисин В. В. Трение, изнашивание и смазка: Справочник. Москва. Машиностроение, 1978. Книга 1. 400 с.
13. Бышов Н. В., Сорокин А. А. Принципы и методы расчета и проектирования рабочих органов комбайнов. Рязань, 1999. 135 с.
14. Проспекти фірм Claas, John Deere, Messey Ferguson, New Holand, Sampo.
15. Занько М. Д., Недовесов В. І. Графічне і математичне моделювання показника об'єм бункера

зернозбирального комбайна. Механізація і електрифікація сільського господарства. 2012. Вип. 96. С. 240–246.

Referentes

1. Lipkovich, E. I. (1973). Threshing and separation processes in threshing machines of combine harvesters. Zernograd, 168.
2. Klenin, N. I. (1977). Research of threshing and grain separation. Moskva, 424.
3. Alferov, S. A., Braginetz, V. S. (1972). Threshing and grain separation in threshing mechanism as probable process. Tractors and agricultural machinery, 4, 10-13.
4. Zhالنin, E. V. (1982). Methodical points for the general theory of threshing and grain separation in grain harvester combines. Scientific and technical table of the Union institute of agricultural mechanization, 52, 22-29.
5. Zanko, M. D., Nedovesov, V. I. (2013). Analytical modeling of grain losses after threshing mechanism depending on the conditions of the combine harvester operation. Mechanization and electrification of agriculture, 97, 483-488.
6. Antipin, V.G., Korobizyn, V. M. (1979). About the movement of threshing culture on concave. Mechanization and electrification of socialist agriculture, 8, 7-9.
7. Bernhardt, G. Bischoff, L., Herlitzius, T. (1996). Machine research of functional parts of combine harvesters. Agrotechnical research, 2, 138-143.
8. Dudak, S. M., Grytzaka, O. M., Spirin, A. V. (2015). Kinetics of the grain threshing process in combine harvesters. Scientific papers of Vinnytsia National Agricultural University, 1(89), 1, 53-56.
9. Klochkov, A. V., Gusarov, V. V., Kuboń, M., Kamiński, J. R. (2017). Threshing and drain separating mechanism with differentiate concave for intensification of threshing and drain separation. Agricultural Engineering, 21, 3, 29-45.
10. Smolinskyi, S. V. (2010). Analysis of the relationship between the basic parameters of modern combine harvesters. Herald of Harakov National Technical P.Vasilenko University of Agriculture, 93, 1, 182-186.
11. Bosoi, E. S., Vernyaev, O. V., Smirnov, I. I. (1978). Theory, design and determination of agricultural machinery. Moskva: Mashinostroenie, 568.
12. Kragelskyi, I. V., Alisin, V. V. (1978). Friction, wear and lubrication. Moskva: Mashinostroenie, 1, 400.
13. Byschov, N. V., Sorokin, A. A. (1999). Principles and methods for determination and designing of combine parts. Razan: RGSMA 135.
14. Brochures of firms Claas, John Deere, Messey Ferguson, New Holand, Sampo.
15. Nedovesov, V. I., Zanko, M. D. (2012). Graphic and mathematical modeling of tank volume for grain harvester. Mechanization and electrification of agriculture, 96, 240-246.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ
МОЛОТИЛЬНОГО АППАРАТА
ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА НА ПРОЦЕСС
ОБМОЛОТА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

С. В. Смолинский

Аннотация. Целью исследования является на основе анализа рабочего процесса молотильного аппарата зерноуборочного комбайна установить влияние основных параметров на эффективность процесса обмолота зерновых культур. Объектом исследования является рабочий процесс барабанного молотильного аппарата зерноуборочного комбайна. Предметом исследования является взаимосвязь между параметрами молотильного аппарата зерноуборочного комбайна и показателями эффективности обмолота зерновых культур.

Моделирование работы молотильного аппарата заключается в исследовании выделения зерна из колоса в результате удара и истирания зерна при движении в молотильном зазоре, а также просеивания зерна через подбарабанье.

При исследовании процесса обмолота и просеивания зерна в молотильном аппарате рассмотрена кинетика процесса с учетом результирующей скорости удара молотильного аппарата по колосу и скорости перемещения массы и давления в молотильном зазоре. Взаимосвязь между основными параметрами молотильных аппаратов установлено согласно анализа показателей технической характеристики современных зерноуборочных комбайнов из информационных проспектов фирм.

Результаты: получена модель протекания процесса обмолота с учетом каждого из этапов, установлено неравномерность обмолота и просеивания зерна в молотильном зазоре по длине подбарабанья установлена взаимосвязь между основными параметрами молотильных аппаратов современных зерноуборочных комбайнов.

Ключевые слова: зерноуборочный комбайн, обмолот, просеивание, молотильный аппарат, подбарабанья, параметры.

There are analyzed during research of the threshing and separation process of grain in the threshing mechanism the kinetics of the process to take into account the resulting blow speed of the threshing drum on the ear and the speed of mass movement and pressure in the threshing area. The relationship between the main parameters of threshing mechanism is established during the analysis of the technical characteristics for modern grain harvesters according to information brochures of firms.

Results: the model of the threshing process in all stages; the unevenness of grain threshing and separation in threshing mechanism along the concave; the correlation between the basic parameters of threshing mechanisms of modern grain harvesters.

Key words: combine harvester, threshing, separation, threshing mechanism, concave, parameter.

ANALYSIS OF INFLUENCE OF PARAMETERS
OF THRESHING APPARATUS OF COMBINE
HARVESTER ON PROCESS OF THRESHING GRAIN

Smolinskyi S. V.

Abstract. The purpose of the research: to determine the effect of the threshing mechanism parameters of combine harvester on the efficiency of the threshing process of grain crops according to the analysis of the threshing mechanism process. The object of research is the operation of the drum threshing mechanism for combine harvester. The subject of research is the correlation between the threshing mechanism parameters for combine harvester and the efficiency parameters of grain crops threshing.

The simulation of the threshing mechanism process investigated the selection of grain from the ear by blow and moving in the threshing mechanism, as well the grain separation through concave.

