

**Козаченко О.В.,
Шкрегаль О.М.,
Гончаров В.В.**

Харківський національний технічний
університет сільського господарства ім.
П.Василенка,
м. Харків, Україна
E-mail: o.v.kozachenko21@gmail.com

Пахучий А.М.

Дьяконов С.О.

Харківський національний аграрний
університет імені В.В.Докучаєва,
м. Харків, Україна
E-mail: andreyi09773@gmail.com

МОДЕЛЮВАННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ДВОБАРАБАННОЇ ЖНИВАРКИ ОБЧІСУЮЧОГО ТИПУ

УДК 631.17; 633.1

Козаченко О.В., Пахучий А.М., Шкрегаль О.М., Дьяконов С.О., Гончаров В.В. «Моделювання аеродинамічних процесів двобарабанної жнивarki обчислюючого типу»

При розробці жниварок для збирання сільськогосподарських культур методом обчислювання рослин на корені важливим завданням є вибір та обґрунтування конструктивно-режимних параметрів. Проведеними теоретичними дослідженнями встановлено вплив конструктивно-технологічних параметрів жнивarki обчислюючого типу на якість протікання процесу в її області при збиранні льону олійного прямим комбайнуванням. Доведено, що на протікання процесу суттєвий вплив має повітряний потік, що утворюється при роботі бітером-відбивачем і обчислюючим барабаном жнивarki. Дослідження течії повітря проводилося з використанням програмного пакету STAR-CCM+, який реалізовано на основі методу кінцевих елементів. При цьому використовувалися адаптивні регулярні розрахункові сітки із змінним розміром комірки. Базовий розмір комірки прийнятий 0,001 м. В якості моделі сітки було обрано генератор призматичного шару, генератор багатограних комірок та генератор поверхневої сітки. Чисельним моделюванням аеродинамічних процесів в жнивarki обчислюючого типу встановлено розподіл швидкостей потоку повітря в її області, визначено залежності максимальної швидкості повітряного потоку від частоти обертання бітера-відбивача і обчислюючого барабану, положення повітряної сітки та апроксимована форма кожуха, для якої отримані раціональні конструктивно-технологічні параметри жнивarki, що зумовлюють підвищення якості протікання технологічного процесу. За результатами виконаних теоретичних досліджень встановлена можливість спрямованого регулювання процесів в області жниварок обчислюючого типу шляхом обґрунтування їх раціональних параметрів щодо створення ефективних технічних засобів для збирання сільськогосподарських культур

Ключові слова: жнивarka, обчислюючий барабан, режимні параметри, обчислююча гребінка, льон олійний

Козаченко А.В., Пахучий А.М., Шкрегаль А.Н., Дьяконов С.А., Гончаров В.В. «Моделирование аэродинамических процессов двухбарабанной жатки очесывающего типа»

При разработке жаток для уборки сельскохозяйственных культур методом очесывания растений на корню важной задачей является выбор и обоснование конструктивно-режимных параметров. Проведенными теоретическими исследованиями установлено влияние конструктивно-технологических параметров жатки очесывающего типа на качество протекания процесса в ее области при уборке льна масличного прямым комбайнированием. Доказано, что на протекание процесса существенное влияние имеет воздушный поток, образующийся при работе битером-отражателем и очесывающего барабана жатки. Исследование течения воздуха проводилось с использованием программного пакета STAR-CCM +, который реализован на основе метода конечных элементов. При этом использовались адаптивные регулярные расчетные сетки с переменным размером ячейки. Базовый размер ячейки принят 0,001 м. В качестве модели сетки был избран генератор призматического слоя, генератор многогранных ячеек и генератор поверхностной сетки. Численным моделированием аэродинамических процессов в жатке очесывающего типа установлено распределение скоростей потока воздуха в ее области, определены зависимости максимальной скорости воздушного потока от частоты вращения битера-отражателя и очесывающего барабана, положение воздушной сетки и аппроксимирована форма кожуха, для которой получены рациональные конструктивно-

технологические параметры жатки, обуславливающие повышение качества протекания технологического процесса. По результатам выполненных теоретических исследований установлена возможность направленного регулирования процессов в области жаток очесывающего типа путем обоснования их рациональных параметров по созданию эффективных технических средств для уборки сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: жатка, очесывающий барабан, режимные параметры, очесывающая гребенка, лен масличный

Kozachenko A.V., Pakhuchiy A.M., Shkregal A.N., Dyakonov S.A., Goncharov V.V. "Modeling the aerodynamic processes of a double-drum header of a stripping type"

When developing reapers for harvesting crops by combing plants on the vine, an important task is the selection and justification of structural-operational parameters. Conducted theoretical studies have established the influence of the structural and technological parameters of the stripping type header on the quality of the process in its area when harvesting oil flax by direct combining. It is proved that the air flow generated during the operation of the reflector beater and the combing drum of the header has a significant effect on the process. The air flow was studied using the STAR-CCM + software package, which is implemented on the basis of the finite element method. In this case, adaptive regular computational grids with a variable cell size were used. The base cell size was taken to be 0.001 m. A prismatic layer generator, a polyhedral cell generator, and a surface mesh generator were chosen as the mesh model. By numerical modeling of aerodynamic processes in a stripping type header, the distribution of air flow rates in its area is established, the dependences of the maximum air flow rate on the rotational speed of the beater-reflector and stripping drum, the position of the air mesh and the shape of the casing are approximated, for which rational structural and technological parameters of the header are obtained causing an improvement in the quality of the process. Based on the results of theoretical studies, the possibility of directional regulation of processes in the field of harvesting type reapers by substantiating their rational parameters for creating effective technical means for harvesting crops was established.

Keywords: reaper, combing drum, operating parameters, combing comb, oil flax.

Актуальність проблеми

Сучасні технології збирання врожаю передбачають перехід від класичного комбайнового збирання зернових та інших культур до найбільш перспективної технології, що передбачає обчісування рослин на корені. Ефективність такого підходу полягає у зменшенні енергоємності процесу збирання за рахунок зниження навантаження на молотильно-сепаруючі системи комбайнів, підвищення якісних показників збирання, продуктивності тощо [1 - 3].

Сучасний стан розвитку технічних засобів для збирання сільськогосподарських культур методом обчісування рослин на корені, з урахуванням наукового супроводження означеного напрямку галузевого машинобудування, вказує на ефективність застосування продукції провідних фірм-виробників одно та двобарабаних конструкцій жниварок [4 - 6].

Суттєвий вплив на якість технологічного процесу має утворення бітером-відбивачем та обчісуючим барабаном жниварки повітряного потоку, який є змінним за напрямом та величиною в її області. Правильне формування повітряного потоку та сепарації вороху у жниварці обчісуючого типу може бути передумовою підвищення її ефективності у технології збирання сільськогосподарських культур.

Враховуючи суттєвий вплив на процес обчісування повітряного потоку, що утворюється в області жниварки, актуальними слід вважати дослідження, спрямовані на подальше удосконалення і створення технічних засобів з високими показниками ефективності шляхом обґрунтування раціональних конструктивно-технологічних параметрів обчісуючих пристроїв.

Аналіз останніх досліджень

Дослідженнями процесу збирання зернових та інших культур за означеним методом встановлено суттєвий вплив на якісні показники роботи технічних засобів конструктивно-режимних параметрів та параметрів супутніх процесів, до яких, в першу чергу, слід віднести утворення повітряного потоку робочими органами жниварок [7 - 10]. Дослідженнями [7] встановлено, що на величину втрат зерна при збиранні впливають положення і частота обертання обчислюючого барабану, поступальна швидкість машини і швидкість повітряного потоку, значення якого на вході повинно бути не менше 5 м/с та зменшуватися на виході в зоні інтегрального шнека. Авторами встановлено, що зазор між барабаном і кожухом пристрою повинен бути в межах від 0,09 до 0,11 м. При цьому слід відмітити, рекомендовані авторами значення цього показника від результатів, отриманих в [8], визначена відстань між барабаном і кожухом в передній частині при значенні радіусу обчислюючого барабану 0,35 м складає 0,14 м. При цьому, за результатами дослідження зроблено висновок про доцільність застосування всмоктуючого повітряного потоку, що утворюється обчислюючим барабаном жниварки, і позитивно впливає на якість процесу. Доцільність урахування та формування повітряного потоку, що зумовлює можливість керування процесом доведено дослідженнями [9, 10].

На думку авторів [9], для підвищення ефективності роботи жниварки необхідно забезпечувати створенням режиму руху компонентів вороху з урахуванням їх парусності. В роботі стверджується, що доцільним є режим, коли значення середньої швидкості компонентів обчисаного вороху буде більшим швидкості витання зерна. При цьому, в розробленій в [9] математичній моделі процесу обчисування зернових культур показано, що швидкість повітряного потоку, який утворюється барабаном, входить у рівняння руху зерна по обчисуючому зубцю та транспортуючому каналу. Для врахування впливу швидкості повітряного потоку на рух зерна необхідно знати його чисельне значення і напрям, що вивчалось в [10]. Авторами встановлено, що в процесі транспортування обчисаного вороху відбувається його часткова сегрегація. Однією з причин цього явища може бути процес розшарування повітряного потоку, що виявлено в [11].

Підвищення ефективності роботи жниварок обчисуючого типу можливо за рахунок введення в конструкцію додаткового бітера-відбивача [12]. Такий підхід дозволив зменшити втрати зерна до 1,0 %. Авторами встановлено, що форма передньої стінки кожуха залежить від радіуса барабана, положення її нижньої кромки і кута падіння на цю поверхню. При цьому, рух зерна по внутрішній поверхні кожуха, для якої отримана її кривина і яка забезпечує зменшення величини втрат, розглянуто без врахування впливу повітряного потоку утворюваного в області жниварки. В розвиток вирішення проблеми підвищення якісних показників роботи двобарабанного обчисуючого пристрою в [13] отримано оптимальні значення діаметра бітера-відбивача $d = 0,38$ м і частота його обертання $\omega = 86,9$ с⁻¹, що зумовило зменшення втрат зерна з 3,3% до 1,6%. При цьому, автором не враховано при моделюванні процесу вплив утворюваного в області обчисуючої жниварки повітряного потоку.

Тому є підстави вважати, що недостатня вивченість впливу повітряного потоку в області жниварки обчисуючого типу на якість процесу збирання рослин методом їх обчисування, обумовлює необхідність проведення досліджень у цьому напрямку.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є теоретичне обґрунтування конструктивно-режимних параметрів жнивarki обчисуючого типу для збирання льону олійного. Це дасть можливість створення більш ефективних технічних засобів збирання методом обчисування рослин на корені.

Методичний підхід в проведенні досліджень

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- визначити швидкісний режим переміщення повітря в області жнивarki обчисуючого типу;

- обґрунтувати геометричну форму кожуха, розмір і розміщення повітряної сітки в залежності від режимних параметрів бітера-відбивача і обчисуючого барабану;

Для визначення векторного поля швидкостей в області жнивarki обчисуючого типу розглянемо процес руху повітря для плоскої задачі чисельного моделювання в координатах ХОУ. Розрахункова схема жнивarki обчисуючого типу представлена на рисунку 1.

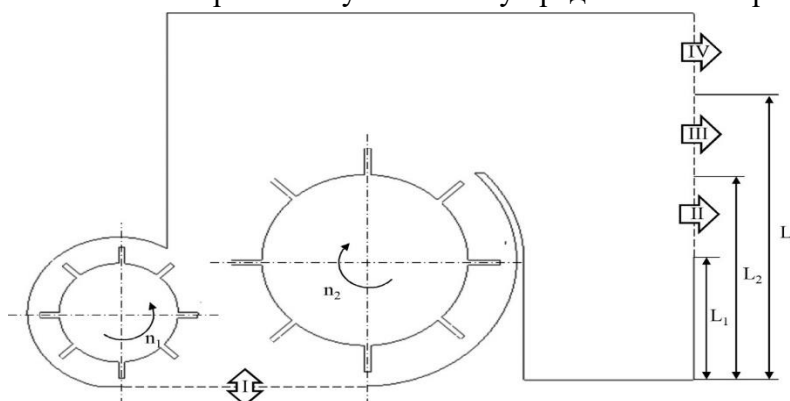


Рис.1. Розрахункова схема жнивarki обчисуючого типу

Розрахунок режимів течії повітря в області жнивarki обчисуючого типу виконувалися при наступних граничних умовах:

- границі представляють собою жорсткі стінки, які не проникні для потоку повітря. При цьому швидкість повітря на їх поверхні дорівнює 0 м/с.

- зона границі I є прозорою із заданим постійним атмосферним тиском.

- зони границь II–IV можуть бути прозорими із заданим постійним атмосферним тиском або жорсткими стінками в залежності від досліджуваного варіанту чисельного досліджу.

Бітер-відбивач обертається проти годинникової стрілки з частотою n_1 , а обчисуючий барабан із частотою обертання n_2 (рис.1).

Дослідження течії повітря проводилося з використанням програмного пакету STAR-CCM+, який реалізовано на основі методу кінцевих елементів [14]. При цьому використовувалися адаптивні регулярні розрахункові сітки із змінним розміром комірки. Базовий розмір комірки прийнятий 0,001 м. В якості моделі сітки було обрано генератор призматичного шару, генератор багатограничних комірок та генератор поверхневої сітки. Через те, що результати чисельного моделювання течії реального газу Ван-дер-Ваальса (повітря) істотно залежать від використовуваної моделі турбулентності, вибору розрахункової сітки, числа її вузлів, граничних умов і обчислювального алгоритму, тому було проведено верифікацію, яка забезпечила збіжність результатів. В якості фізичних моделей для чисельного моделювання були обрані наступні: k-ε модель турбулентності сполученої течії,

поле сили тяжіння, модель реального газу Ван-дер-Ваальса, осереднене по Рейнольдсу рівняння Нов'є-Стокса [15,16].

Результати досліджень

Для чисельного моделювання процесу переміщення повітря в області жнивarki обчислюючого типу були прийняті конструктивно-режимні параметри двобарабанної жнивarki [4]. За фактори чисельного моделювання були прийняті наступні конструктивно-режимні параметри: частота обертання бітера-відбивача n_1 , частота обертання обчислюючого барабана n_2 і положення прозорої зони границь L . Межі варіювання досліджуваних факторів представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Рівні варіацій факторами чисельного моделювання

Рівні варіацій факторів	Фактори		
	Частота обертання бітера-відбивача n_1 , об/хв	Частота обертання обчислюючого барабана n_2 , об/хв	Положення прозорої зони границі L , м
Верхній рівень (+)	800	800	0,35
Основний рівень (0)	600	600	0,60
Нижній рівень (-)	400	400	0,85
Інтервал варіацій факторів	200	200	0,25

Чисельне моделювання було проведено за повним факторним дослідом із загальною кількістю дослідів – $3^3 = 27$. За результатами моделювання було отримано візуалізацію розподілу швидкостей потоку повітря в області жнивarki обчислюючого типу (рис. 2).

Для кожного варіанту чисельного дослідів було розраховано максимальну швидкість повітря та з використанням програмного пакету Wolfram Mathematica проведено апроксимацію отриманих даних, в результаті якої встановлено залежність від факторів дослідів у закодованому вигляді:

$$\begin{aligned}
 V_{\max} = & 21,1293 + 0,0677778 x_1 - 0,0177778 x_1^2 + 1,72333 x_2 + \\
 & + 0,1375 x_1 x_2 + 1,21222 x_2^2 + 6,42111 x_3 - 0,2125 x_1 x_3 - \\
 & - 1,8025 x_2 x_3 + 0,845556 x_3^2.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Проведена статистична обробка отриманого рівняння (1) зведена в таблиці 2., аналіз результатів якої дозволяє скоротити незначущі коефіцієнти в рівнянні (1) і представити його у вигляді:

$$\begin{aligned}
 V_{\max} = & 21,1293 + 1,72333 x_2 + 1,21222 x_2^2 + 6,42111 x_3 - \\
 & - 0,2125 x_1 x_3 - 1,8025 x_2 x_3 + 0,845556 x_3^2.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Після перетворення рівняння (2) у розкодований вигляд остаточно маємо:

$$\begin{aligned}
 V_{\max} = & - 2,53657 + 2,55 L - 0,0007125 n_1 + 0,0000303056 n_1^2 + \\
 & + 0,0363264 n_2 - 0,00425 L n_2 - 0,0000450625 n_1 n_2 + \\
 & + 0,0000211389 n_2^2.
 \end{aligned} \tag{3}$$

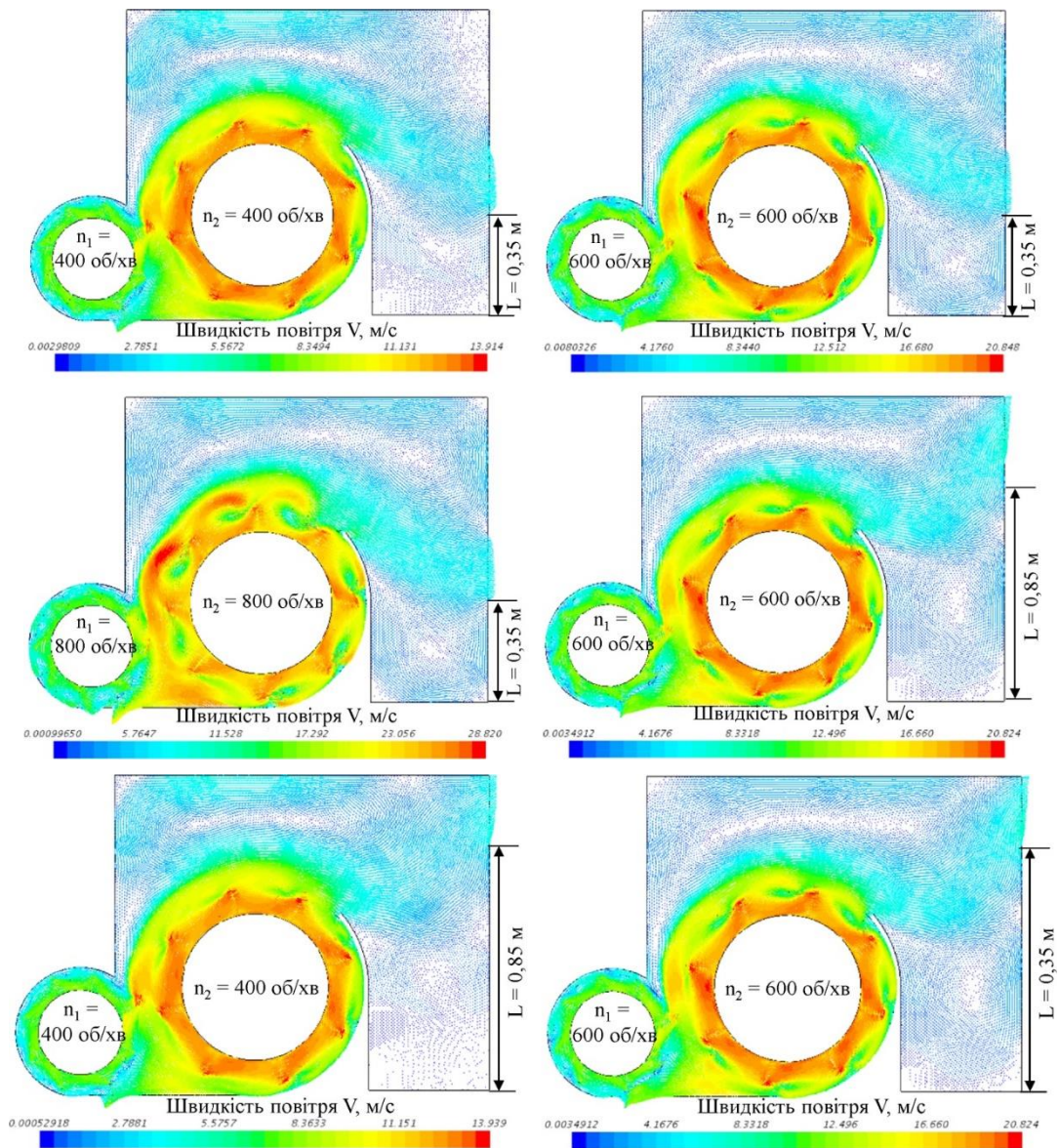


Рис.2. Візуалізація розподілу швидкостей потоку повітря в області жниварки очісуючого типу

Таблиця 2

Статистична обробка рівняння (1)

Коефіцієнт	Стандартна похибка	t-Критерій Стьюдента	Ймовірність помилки при відхиленні
a_{00}	0,636742	33,1834	$6,75942 \cdot 10^{-17}$
a_{10}	0,294754	0,229947	0,820877
a_{20}	0,294754	5,84668	0,0000194275
a_{30}	0,294754	21,7846	$7,37049 \cdot 10^{-14}$
a_{12}	0,360999	0,380888	0,708004
a_{13}	0,360999	-0,588645	0,56384
a_{23}	0,360999	-4,99309	0,000111173
a_{11}	0,510529	-0,0348223	0,972627
a_{22}	0,510529	2,37444	0,0296162
a_{33}	0,510529	1,65623	0,116015

Фіксуючи по чергово фактори досліджень на певному рівні побудовані на рисунку 3 графічні інтерпретації залежності (3).

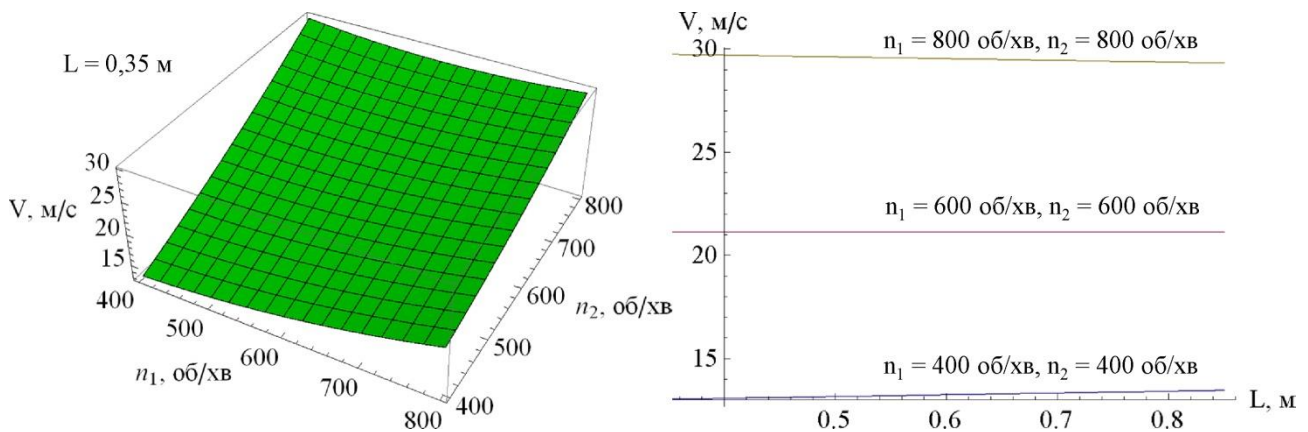


Рис.3. Залежність максимальної швидкості повітря від факторів досліджень

Як видно з рисунку 3, із збільшенням частот обертання ротора-відбивача n_1 і обчислюючого барабану n_2 збільшується і максимальна швидкість повітря в області жнивarki V_{\max} за параболічним законом. В свою чергу положення прозорої зони границь L практично не впливає на значення максимальної швидкості повітря V_{\max} , а згідно рисунку 2, характеризує тільки його напрям.

Накладаючи рисунки розподілу швидкостей потоку повітря в області жнивarki обчислюючого типу в діапазоні від 0 м/с до 2 м/с чітко видно граничну зону де спостерігається швидкість 0 м/с (рис. 4). Апроксимуючи граничну зону нульової швидкості повітря в області жнивarki обчислюючого типу у вигляді півкола із радіусом $R_h = 0,53$ м і центром $y_h = y_c = 0,28$ м і $x_h = x_c + \Delta x_h = 0,64$ м маємо форму кожуха жатки.

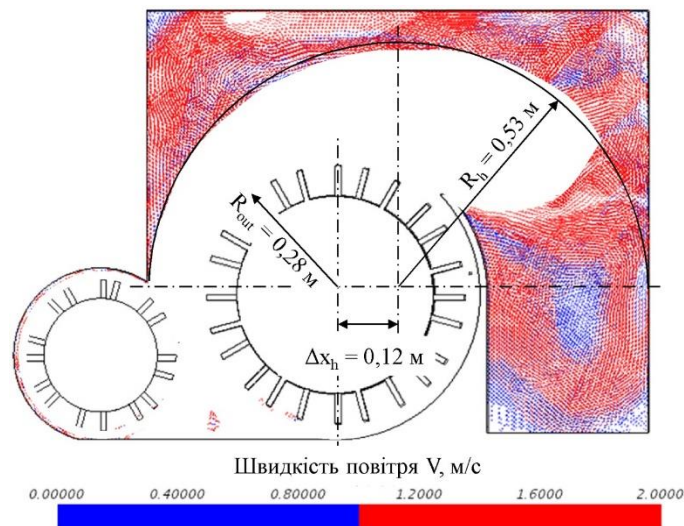


Рис.4. Гранична зона нульової швидкості повітря в області жнивarki обчислюючого типу

З використанням програмного пакету STAR-CCM+ було побудовано розподіл швидкостей утворюваного повітряного потоку в області жнивarki обчислюючого типу із отриманою формою кожуха, візуалізація якого представлено на рисунку 5.

В результаті чисельного моделювання аеродинамічних процесів жнивarki обчислюючого типу встановлено розподіл швидкостей потоку повітря в її області, визначено залежність максимальної швидкості повітря V_{\max} від частоти обертання бітера-відбивача n_1 і обчислюючого барабану n_2 , та положення прозорої зони границі L . Апроксимована форма

кожуха жниварки обчісуючого типу у вигляді півкола із радіусом $R_h = 0,53$ м і центром $y_h = y_c = 0,28$ м і $x_h = x_c + \Delta x_h = 0,64$ м.

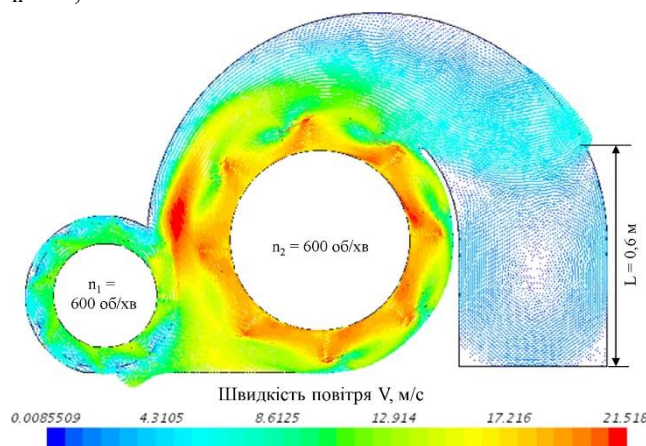


Рис.5. Візуалізація розподілу швидкостей потоку повітря в області жниварки обчісуючого типу із криволінійною формою кожуха жатки

Аналіз рисунка 5 вказує на те, що максимальна швидкість повітряного потоку спостерігаються в зоні обчісування рослин між бітером-відбивачем та обчісуючим барабаном і зменшується в напрямку розташування інтегрального шнека жниварки. Це зумовлює ефективне переміщення компонентів обчісаного вороху та сепарацію по ширині повітряного каналу жниварки в залежності від їх фізико-механічних властивостей та дозволяє обґрунтовано обирати положення прозорі зони границі L.

Висновки

1. Проведеними дослідженнями встановлено вплив конструктивно-технологічних параметрів жниварки обчісуючого типу на утворення повітряного потоку та максимальну швидкість руху повітря в її області, що залежить від чистоти обертання бітера-відбивача та обчісуючого барабану жниварки.

2. Визначена раціональна форма кожуха жниварки обчісуючого типу у вигляді півкола із радіусом $R_h = 0,53$ м і центром $y_h = y_c = 0,28$ м і $x_h = x_c + \Delta x_h = 0,64$ м, що зумовлює якісне протікання технологічного процесу та дозволяє обґрунтовано обирати положення прозорі зони границі L.

Список використаних джерел

1. Погорельый Л.В. Прогноз развития технологий и техники для уборки зерновых культур на первую четверть XXI века / Л.В. Погорельый, С.Н. Коваль // Перспективные технологии уборки зерновых культур, риса и семян трав: сб. док. междунар. науч.-технич. конф. – Мелитополь: ТГАТА, 2003. – С. 17-21.

2. Сысолин П.В. Проблемы и перспективы внедрения в Украине технологии уборки зерновых колосовых культур методом очесывания колосков / П.В. Сысолин, И. Иваненко // Техника АПК. – 2008. - № 5.– С.24–29.

3. Леженкин А.Н. Технология уборки зерновых методом очеса растений на корню: состояние и перспективы/ А.Н. Леженкин, В.И. Кравчук, А.С. Кушнарв. – Дослідницьке. – 2010. - С. 40-44.

4. Электронный ресурс / режим доступа: http://ukragrosv.com.ua/каталог/очесывающая_жатка
5. Электронный ресурс/ режим доступа: http://www.shelbourne.com/3/products/1/harvesting/31_stripper%20header/32_cvs
6. Электронный ресурс/ режим доступа: <http://penzmash.ru/root/1504-2/>
7. Yuan, J. Development of an Improved Cereal Stripping Harvester / J. Yuan, Y. Lan. Agricultural Engineering International: the CIGRE journal. Manuscript PM 07 009. Vol. IX. September, 2007. – Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.504.7187&rep=rep1&ty=pdf>
8. Машков А.М. Изучение воздушного потока однобарабанного очесывающего устройства МОН-4-1 для обмолота зерновых культур на корню. Южный филиал Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет». Киев, 2011. № 138. С. 153-160.
9. Бурьянов А.И. Моделирование процесса очеса зерновых культур однобарабанной жаткой/ А.И.Бурьянов, М.А.Бурьянов // Механизация и электрификация сельского хозяйства, –2012. - № 4. С. 2-5.
10. Бурьянов М.А. Формирование воздушного потока в транспортирующем канале очесывающего устройства / М.А.Бурьянов, И.В.Червяков//Научный журнал КубГАУ, №96 (02), 2014.
11. Фусточенко А.Ю. Исследование воздушного потока, создаваемого барабаном очесывающей жатки. Сельскохозяйственные машины и технологии. Москва, 2014. №1. С. 23-25.
12. Шабанов Н.П. Конструктивно-технологические параметры устройства для уборки пшеницы с обмолотом на корню / Н.П.Шабанов, А.Г.Полегенько.
13. Машков О.М. Обґрунтування параметрів бітера-відбивача обчисувального пристрою для обмолоту зернових культур на корені. Автореф. канд. техн. наук: 05.05.11, Луганськ, 2002. – 18 с.
14. Iguchi Manabu, Pegbusi Olusegun J. Basic Transport Phenomena in Materials Engineering. Springer. 2014. 260 p.
15. Bai C., Gosman A. D. Development of methodology for spray impingement simulation. SAE Technical Paper Series. 1995. 21 p.
16. Wallin S. Engineering turbulence modeling for CFD with a focus on explicit algebraic Reynoldce stress models. Doctoral thesis. Norsteds truckeri, Stockholm, Sweden. 2000. 124 p.

References

1. Pogorelyj L.V. Prognoz razvitiya tehnologij i tehniki dlya uborki zernovyh kultur na pervuyu chetvert ННІ века / L.V. Pogorelyj, S.N. Koval // Perspektivnye tehnologii uborki zernovyh kultur, risa i semyan trav: sb. dok. mezhdunar. nauch.-tehnic. konf. – Melitopol: TGATA, 2003. – S. 17-21.
2. Sysolin P.V. Problemy i perspektivy vnedreniya v Ukraine tehnologii uborki zernovyh kolosovyh kultur metodom ochesyvaniya koloskov / P.V. Sysolin, I. Ivanenko // Tehnika APK. – 2008. - № 5.– S.24–29.
3. Lezhenkin A.N. Tehnologiya uborki zernovyh metodom ochesa rastenij na kornyu: sostoyanie i perspektivy/ A.N. Lezhenkin, V.I. Kravchuk, A.S. Kushnarev. – Doslidnickoe. – 2010. - S. 40-44.

4. Elektronnyj resurs / rezhim dostupa: http://ukragroserv.com.ua/katalog/ochesyvayushaya_zhatka
5. Elektronnyj resurs/ rezhim dostupa: http://www.shelbourne.com/3/products/1/harvesting/31_stripper%20header/32_cvs
6. Elektronnyj resurs/ rezhim dostupa: <http://penzmash.ru/root/1504-2/>
7. Yuan, J. Development of an Improved Cereal Stripping Harvester / J. Yuan, Y. Lan. Agricultural Engineering International: the CIGRE journal. Manuscript PM 07 009. Vol. IX. September, 2007. – Rezhim dostupa: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.504.7187&rep=rep1&ty=pe=pdf>
8. Mashkov A.M. Izuchenie vozdushnogo potoka odnobarabannogo ochesyvayushego ustrojstva MON-4-1 dlya obmolota zernovyh kultur na kornyu. Yuzhnyj filial Nacionalnogo universiteta bioresursov i prirodopolzovaniya Ukrainy «Krymskij agrotehnologicheskij universitet». Kiev, 2011. № 138. S. 153-160.
9. Buryanov A.I. Modelirovanie processa ochesa zernovyh kultur odnobarabannoj zhatkoj/ A.I.Buryanov, M.A.Buryanov // Mehanizaciya i elektrifikaciya selskogo hozyajstva, –2012. - № 4. S. 2-5.
10. Buryanov M.A. Formirovanie vozdushnogo potoka v transportiruyushem kanale ochesyvayushego ustrojstva / M.A.Buryanov, I.V.Chervyakov//Nauchnyj zhurnal KubGAU, №96 (02), 2014.
11. Fustochenko A.Yu. Issledovanie vozdushnogo potoka, sozdavaemogo barabanom ochesyvayushej zhatki. Selskohozyajstvennye mashiny i tehnologii. Moskva, 2014. №1. S. 23-25.
12. Shabanov N.P. Konstruktivno-tehnologicheskie parametry ustrojstva dlya uborki pshenicy s obmolotom na kornyu / N.P.Shabanov, A.G.Polegenko.
13. Mashkov O.M. Obgruntuvannya parametriv bitera-vidbivacha obchisuvalnogo pristroyu dlya obmolotu zernovyh kultur na koreni. Avtoref. kand. tehn. nauk: 05.05.11, Lugansk, 2002. – 18 s.
14. Iguchi Manabu, Ilegbusi Olusegun J. Basic Transport Phenomena in Materials Engineering. Springer. 2014. 260 p.
15. Bai C., Gosman A. D. Development of methodology for spray impingement simulation. SAE Technical Paper Series. 1995. 21 p.
16. Wallin S. Engineering turbulence modeling for CFD with a focus on explicit algebraic Reynolds stress models. Doctoral thesis. Norstedts truckeri, Stockholm, Sweden. 2000. 124 p.