

УДК 631.354:631.362.36

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ В ВОЗДУШНО-РЕШЕТНОЙ ОЧИСТКЕ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Ю.И. ЕРМОЛЬЕВ, Д.К. МУРАТОВ

(Донской государственный технический университет)

Приведена методология оценки параметров воздушных потоков в воздушно-решетной очистке зерноуборочного комбайна с двухсекционным вентилятором, показана целесообразность использования двухсекционного вентилятора в воздушно-решетной очистке зерноуборочного комбайна.

Ключевые слова: воздушно-решетная очистка зерноуборочного комбайна, двухсекционный вентилятор, воздуховод, дефлектор, воздушный поток, решетка.

Введение. Одним из возможных путей повышения эффективности сепарации воздушно-решетных очисток следует считать создание рациональных воздушных потоков в их камере. Структура воздушных потоков и распределения величин их скоростей над решетками в основном зависят от конструкции вентилятора и его воздуховода.

Постановка задачи: оценить рациональные параметры дефлекторов и режимы работы двухсекционного центробежного вентилятора, оптимизировать воздушные потоки в горловине вентилятора, обеспечив их качественное распределение над решетками воздушно-решетной очистки зерноуборочного комбайна.

Методы исследования: стендовые исследования центробежных вентиляторов различной конструкции на макете воздушно-решетной очистки зерноуборочного комбайна, многомерный анализ, моделирование воздушных потоков в горловине вентилятора и их последующее распределение над решетками.

Математическая модель процесса формирования воздушных потоков на выходе из воздуховода вентилятора. Известно, что неравномерность воздушного потока по ширине камеры воздушно-решетной очистки зерноуборочного комбайна предопределяет необходимость снижения скорости воздушного потока в зоне обдува решет (для снижения потерь зерна после очистки), что ухудшает процесс сегрегации мелкого зернового вороха и снижает качество его сепарации.

Изменение структуры воздушного потока возможно при изменении конструкции центробежных вентиляторов с целью обеспечения качественного поступления воздушного потока на крылачи вентилятора и рационального распределения воздушного потока в воздуховоде вентилятора.

Предварительные исследования показали рациональность распределения воздушного потока в воздуховоде вентилятора на трех воздушных потоках. Рассмотрим общий случай формирования трех воздушных потоков в воздуховоде с прямоугольной формой.

Введем обозначения: F_1, F_2, F_3 – площади входных отверстий в воздуховоде вентилятора, поделенном дефлекторами; F_{1B}, F_{2B}, F_{3B} – площади выходных отверстий в воздуховоде вентилятора, поделенном дефлекторами; B – ширина воздуховода вентилятора; h – высота начала воздуховода вентилятора (перед дефлекторами); K_3 – коэффициент сопротивления средней скорости V_3 воздушного потока для преодоления сопротивления верхнего решета; K_2 – коэффициент сопротивления средней скорости V_2 воздушного потока для преодоления сопротивления верхнего и части нижнего решета; K_1 – коэффициент сопротивления средней скорости V_1 воздушного потока для преодоления сопротивления верхнего и нижнего решета.

Для анализа примем допущения:

– воздушный поток в воздуховоде близок к ламинарному;

- сопротивление воздушному потоку в воздуховоде, учитывая его незначительные размеры и простоту конструкции, не учитываем;
- расход воздуха на входе (перед дефлектором) $Q_{вх}$ равен расходу воздуха на выходе $Q_{вых}$ из воздуховода вентилятора;
- в пределах струй воздушных потоков до и после дефлекторов расход воздуха определяется по поперечному сечению воздуховода.

При известных зависимостях скоростей $V(n)$ воздушных потоков в сечении А-А воздуховода вентилятора от числа n оборотов его крылача и координаты y (рис. 1)

$$V(n) = f_i(y) = a_i y^2 + b_i y + c_i \quad (1)$$

(для каждой $i \equiv n_{об/мин}$ крылача вентилятора) были получены выражения для оценки необходимых скоростей $V_1(n)$, $V_2(n)$, $V_3(n)$ воздушных потоков на выходе из воздуховода вентилятора при задаваемых скоростях $V_{1р}$, $V_{2р}$, $V_{3р}$ воздушных потоков над соответствующими участками верхнего решета воздушно-решетной очистки для задаваемых условий сепарации мелкого зернового вороха:

$$V_1(n) = V_{1р} K_1 = \frac{\int_0^{y_1} f_i(y) dy}{Y_{1B}} = \frac{\frac{a_i}{3}(y_1^3 - y_0^3) + \frac{b_i}{2}(y_1^2 - y_0^2) + c_i(y_1 - y_0)}{Y_{1B}}; \quad (2)$$

$$V_2(n) = V_{2р} K_2 = \frac{\int_{y_1}^{y_2} f_i(y) dy}{Y_{2B}} = \frac{\frac{a_i}{3}(y_2^3 - y_1^3) + \frac{b_i}{2}(y_2^2 - y_1^2) + c_i(y_2 - y_1)}{Y_{2B}}; \quad (3)$$

$$V_3(n) = V_{3р} K_3 = \frac{\int_{y_2}^h f_i(y) dy}{Y_{3B}} = \frac{\frac{a_i}{3}(h^3 - y_2^3) + \frac{b_i}{2}(h^2 - y_2^2) + c_i(h - y_2)}{Y_{3B}}. \quad (4)$$

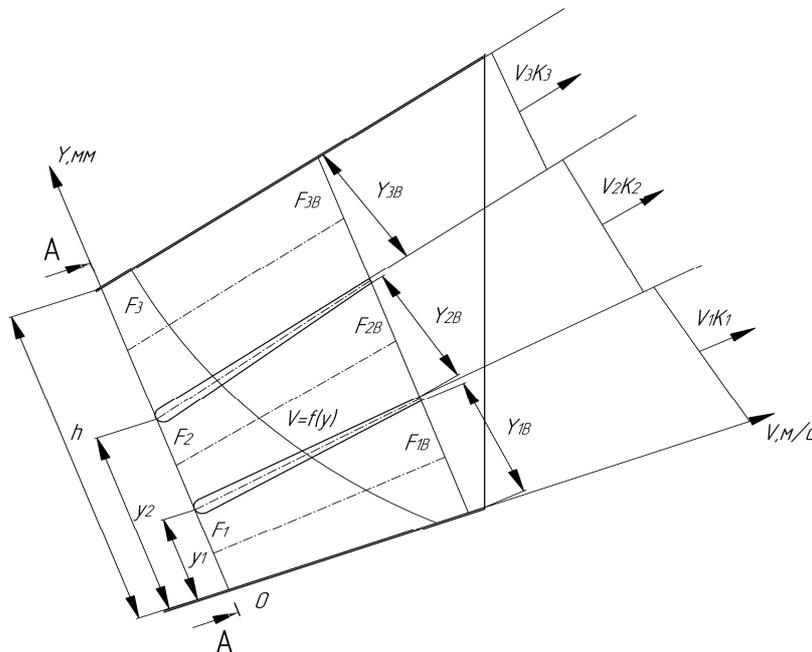


Рис. 1. Схема прямоугольного воздуховода с двумя дефлекторами

Для расчета коэффициентов сопротивления K использованы средние величины скоростей воздушных потоков на участках в торце двухсекционного вентилятора и средние величины скоро-

стей воздушных потоков на соответствующих участках (рис. 2) над верхним решетом воздушно-решетной очистки (табл. 1).

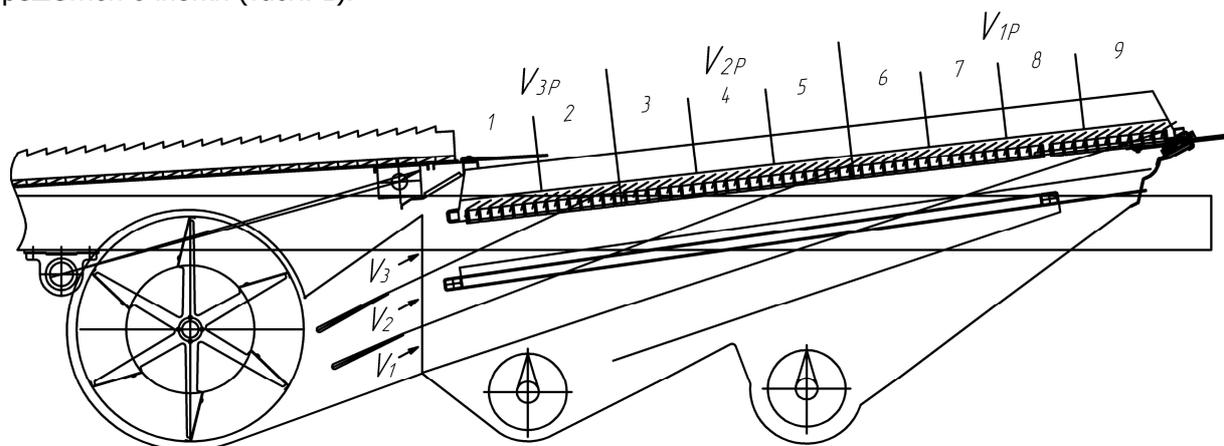


Рис. 2. Схема воздушно-решетной очистки для определения коэффициентов снижения скоростей воздушных потоков при прохождении решет

Таблица 1

Изменение коэффициентов сопротивления K средней скорости V_p воздушного потока над верхним решетом

Деление сечения торца воздуховода вентилятора по высоте	Частота вращения крылача вентилятора, мин ⁻¹				
	500	600	700	800	900
Средние величины скорости воздушного потока на выходе воздуховода вентилятора, м/с					
V_3	7,18	8,27	9,33	10,06	11,37
V_2	10,53	11,71	13,60	15,82	17,14
V_1	13,79	14,81	16,23	19,75	20,70
Средние величины скорости воздушного потока над верхним решетом по его длине, м/с					
V_{3P}	3,74	4,18	4,73	5,16	5,72
V_{2P}	2,52	3,05	3,43	3,87	4,36
V_{1P}	2,24	2,50	2,66	3,22	3,51
Коэффициенты сопротивления K средней скорости V_p воздушного потока над верхним решетом					
K_3	1,92	1,98	1,97	1,95	1,99
K_2	4,18	3,84	3,97	4,09	3,93
K_1	6,16	5,92	6,10	6,13	5,90

Оценка различий величин K_i для различных частот n вращения крылача вентилятора ($n = 500-900 \text{ мин}^{-1}$) по t -критерию Стьюдента [1] показала их статистическую незначимость, следовательно, в первом приближении применительно к конструкции рассматриваемой воздушно-решетной очистки (см. рис. 2) можно принять:

$$K_3 = \frac{V_3}{V_{3P}} \approx 2; K_2 = \frac{V_2}{V_{2P}} \approx 4; K_1 = \frac{V_1}{V_{1P}} \approx 6,$$

где V_{3P}, V_{2P}, V_{1P} – необходимые скорости воздушного потока над соответствующими участками (1-2; 3-5 и 6-9) поверхности верхнего решета в зависимости от вида очищаемой культуры.

Учитывая технологические свойства мелкого вороха сельскохозяйственных материалов, поступающих на воздушно-решетную очистку зерноуборочного комбайна во время уборки, выявляем рациональное распределение скоростей воздушных потоков над поверхностью верхнего решета.

Определяем экспериментально коэффициенты сопротивления средней скорости воздушного потока для преодоления сопротивления решет как отношение скорости воздушного потока на выходе из воздуховода вентилятора к скорости воздушного потока над поверхностью решета.

Определяем зависимости (1) изменения скоростей воздушного потока по высоте воздуховода вентилятора в сечении А-А перед дефлекторами (см. рис. 1) при различной частоте n вращения крылача.

Разделяем горловину вентилятора в сечении А-А (перед дефлекторами) на необходимое количество равных i -ых участков по высоте, равное i -му количеству принятых участков над верхним решетом с примерно равными для i -го участка задаваемыми скоростями воздушных потоков V_{ip} .

Используя метод итераций, варьируя величинами Y_{1B} , Y_{2B} , Y_{3B} (см. рис. 1) и частотой n оборотов крылача вентилятора, рассчитываем параметры установки дефлекторов в горловине вентилятора, используя интегральные зависимости (2) – (4) и нелинейные уравнения регрессии, в виде полинома второго порядка (5) – (9), описывающие зависимость скорости воздушного потока в горловине вентилятора от высоты y воздуховода в его сечении А-А (перед дефлекторами), конструкции вентилятора и частоты n вращения его крылача.

На макете воздушно-решетной очистки комбайна «Дон-1500Б» были проведены замеры полей скоростей на внутреннем сечении А-А (см. рис. 1, перед дефлекторами) воздуховода для различных частот n оборотов крылача двухсекционного вентилятора (рис. 3).



Рис. 3. Общий вид двухсекционного вентилятора

После аппроксимации совокупностей полученных выборок установлены зависимости изменения скоростей воздушного потока по высоте y воздуховода в сечении А-А перед дефлекторами (см. рис. 1) для различных n в виде полиномов второго порядка:

$$V(500) = 267,68y^2 - 116,1y + 20,055; \quad (5)$$

$$V(600) = 272,84y^2 - 117,77y + 21,301; \quad (6)$$

$$V(700) = 230y^2 - 109,94y + 22,815; \quad (7)$$

$$V(800) = 289,49y^2 - 143y + 27,986 ; \quad (8)$$

$$V(900) = 285,01y^2 - 140,43y + 28,995 . \quad (9)$$

Экспериментально поисковые исследования с использованием вышеизложенной методики, исходя из полученных характеристик воздушных потоков по высоте на входе воздуховода двухсекционного вентилятора и обеспечения рационального обдува воздушными потоками с заданными скоростями V_{ip} участков верхнего решета для условий очистки вороха зерна пшеницы (см.табл.1, $n = 800 \text{ мин}^{-1}$), выявили рациональные координаты установки передней части дефлекторов (в воздуховоде) в соотношении $\frac{Y_1}{h} = 0,27$ и $\frac{Y_2}{h} = 0,57$.

Установлено, что построенные математические модели (2)–(9) с 95%-й доверительной вероятностью адекватно описывают процесс распределения скоростей воздушных потоков над верхним решетом воздушно-решетной очистки и возможно их использование для многомерного анализа и математического моделирования рассматриваемых технологических процессов.

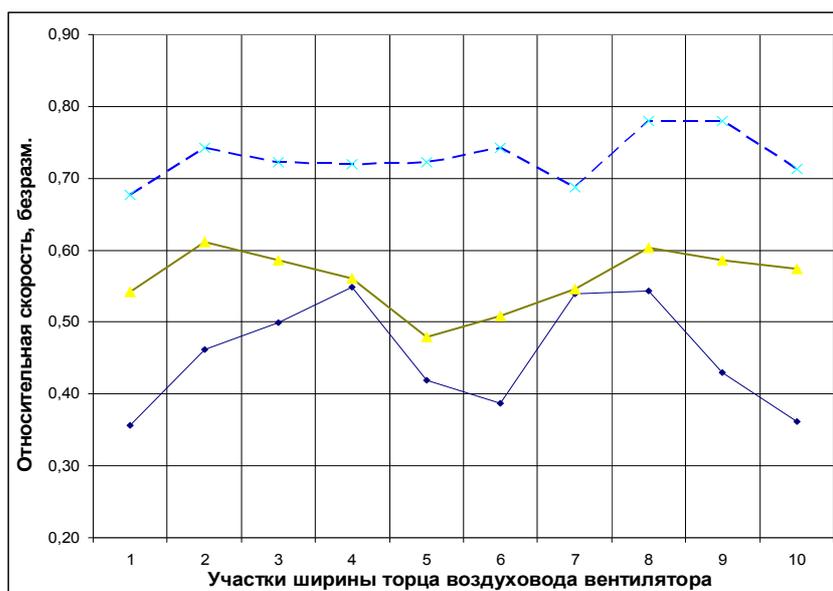
Задавшись скоростями воздушных потоков над верхним решетом воздушно-решетной очистки (см. рис. 2) на участке 1, 2 $V_{3p} = 5,5 \text{ м/с}$, на участке 3, 4, 5 $V_{2p} = 3,5 \text{ м/с}$ и на участке 6, 7, 8, 9 $V_{1p} = 3 \text{ м/с}$, из выражений (2) – (4) для условия $n = 800 \text{ мин}^{-1}$ определили координаты установки дефлекторов Y_{3B} , Y_{2B} и Y_{1B} (см. табл. 2).

Качество воздушного потока на выходе из вентилятора характеризуется графиком изменения относительной скорости \bar{C} по сечениям и коэффициентом неравномерности поля скоростей (коэффициентом вариации) C_v . Расчетные величины этих показателей сведены в табл. 2 и показаны на рис. 4.

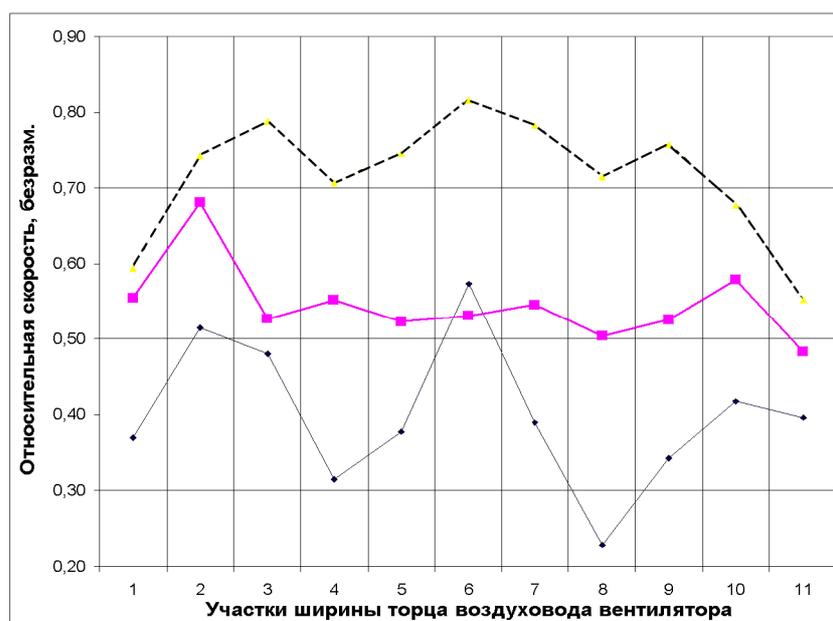
Таблица 2

Сравнение коэффициентов вариации скоростей воздушного потока по горизонтальным участкам торцов воздуховодов сравниваемых вентиляторов воздушно-решетной очистки, частота вращения крылачей вентилятора, $n = 800 \text{ мин}^{-1}$

Номер п/п	Деление торца воздуховода вентилятора по высоте	Коэффициенты вариации скоростей воздушного потока по горизонтальным участкам воздуховода		Соотношение величин коэффициентов вариации, %
		Прототип	Двухсекционный	
1	$Y_{3B} = 0,122 \text{ м}$	21,50	13,40	37,67
		24,25	16,59	31,59
		24,62	15,76	35,99
		21,35	14,80	30,68
		23,59	15,07	36,12
		23,46	15,10	35,64
	Среднее, м/с	22,84	14,89	34,81
2	$Y_{2B} = 0,094 \text{ м}$	9,43	9,16	2,86
		9,15	7,96	13,01
		10,36	8,29	19,98
		9,74	9,28	4,72
		9,35	9,47	-1,28
	8,29	8,79	-6,03	
Среднее, м/с	9,03	6,77	25,03	
3	$Y_{1B} = 0,098 \text{ м}$	11,00	4,02	63,45
		11,03	3,89	64,73
		10,70	4,12	61,50
		10,94	4,87	55,48
		10,86	4,38	59,67
	11,24	4,73	57,92	
Среднее, м/с	10,86	4,21	61,23	



а)



б)

Рис. 4. Изменения величин относительных скоростей по ширине у наружного торца воздуховода двухсекционного вентилятора (а) и вентилятора-прототипа (б) при $n = 800 \text{ мин}^{-1}$

Установлено, что коэффициенты вариации по ширине у двухсекционного вентилятора ниже, чем у вентилятора прототипа (табл. 2 и рис. 5, 6). Например, при оборотах $n = 800 \text{ мин}^{-1}$ (уборка зерновых) средний коэффициент вариации по участкам для прототипа и двухсекционного вентиляторов соответственно 14,24 и 8,62, что соответствует снижению коэффициента вариации у двухсекционного вентилятора на 40%.

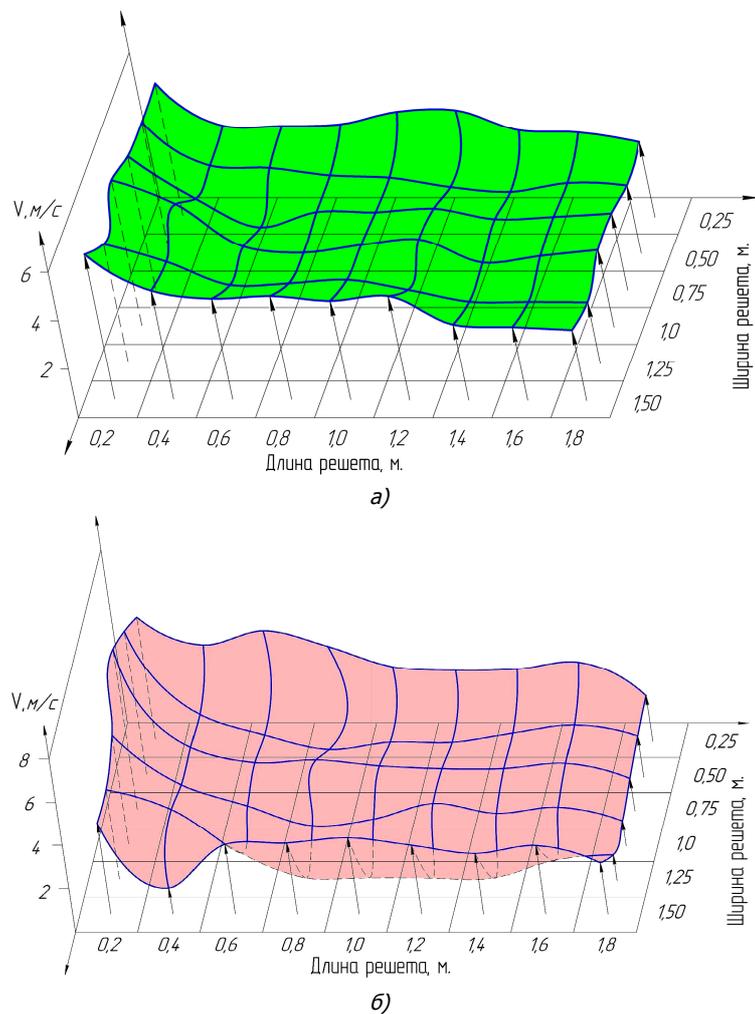


Рис. 5. Средние скорости воздушного потока над верхним решетом воздушно-решетной очистки с двухсекционным вентилятором (а) и с вентилятором-прототипом (б), м/с, при $n = 800 \text{ мин}^{-1}$

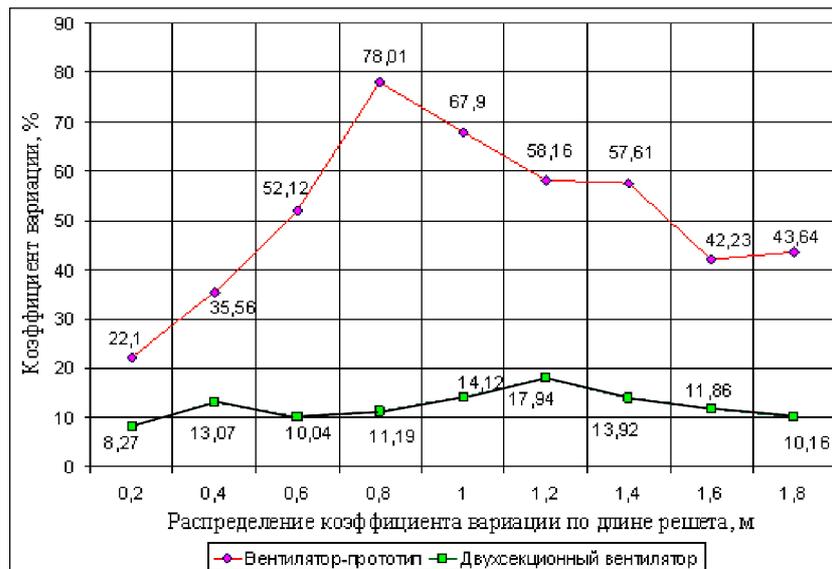


Рис. 6. Изменение коэффициентов вариации скоростей воздушного потока по ширине и длине верхнего решета ВРО зерноуборочного комбайна при использовании различных вентиляторов при $n = 800 \text{ мин}^{-1}$

Выводы:

1. Разработана методика установки дефлекторов в прямоугольной горловине двухсекционного вентилятора и рассчитаны их рациональные параметры применительно к воздушно-решетной очистке мелкого зернового вороха пшеницы. Выявлены координаты установки передней части дефлекторов: $y_3 = 0,286$ м; $y_2 = 0,162$ м; $y_1 = 0,076$ м и выходные координаты $Y_{3B} = 0,122$ м; $Y_{2B} = 0,094$ м; и $Y_{1B} = 0,098$ м при высоте воздуховода $h = 0,4$ м.

2. Анализ структуры и скоростей воздушных потоков на выходе воздуховодов исследуемых вентиляторов показал, что в среднем структура воздушных потоков у двухсекционного вентилятора более равномерная по всей высоте воздуховода, чем у вентилятора прототипа. В среднем коэффициенты вариации скоростей воздушных потоков по горизонтальным участкам воздуховода двухсекционного вентилятора составляют от 3,89 до 16,59, а для вентилятора прототипа от 8,29 до 24,62. Среднее уменьшение этих коэффициентов вариации для двухсекционного вентилятора меньше, чем у вентилятора прототипа на 40%.

3. Анализ рабочих воздушных потоков над верхним решетом воздушно-решетной очистки показал, что величины коэффициента вариации скоростей воздушных потоков по поперечным участкам ширины решета меньше и более устойчивы при использовании двухсекционного вентилятора, чем прототипа. Среднее снижение величины коэффициента вариации по всем участкам двухсекционного вентилятора составило 74%.

4. Снижение коэффициентов вариации скоростей воздушных потоков по поперечным участкам ширины решет обеспечивает рост средних скоростей воздушных потоков по ширине участков решет, рост сегрегации мелкого зернового вороха на решетках, что, в конечном итоге, обуславливает рост производительности и повышение качества вороха в воздушно-решетной очистке.

Библиографический список

1. Ермольев Ю.И. Основы научных исследований в сельскохозяйственном машиностроении: учеб. пособие / Ю.И. Ермольев. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2003. – 243 с.
2. Турбин Б.Г. Вентиляторы сельскохозяйственных машин / Б.Г. Турбин. – Л.: Машиностроение, 1967.
3. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин / под ред. М.И. Клецкина. – М.: Машиностроение, 1966.
4. Научные основы проектирования сельскохозяйственных машин: сб. ст. / РИСХМ. – Ростов н/Д, 1980.
5. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1973.
6. Сычугов Н.П. Вентиляторы. Классификация, основы теории, характеристики, пересчет характеристик, регулирование, выбор и снятие характеристик: учеб. пособие / Н.П. Сычугов. – М., 1970.

Материал поступил в редакцию 25.04.11.

References

1. Ermol`ev Yu.I. Osnovy` nauchny`x issledovanij v sel`skoxozhajstvennom mashinostroenii: ucheb. posobie / Yu.I. Ermol`ev. – Rostov n/D: Izdatel`skij centr DGTU, 2003. – 243 s. – In Russian.
2. Turbin B.G. Ventilyatory` sel`skoxozhajstvenny`x mashin / B.G. Turbin. – L.: Mashinostroenie, 1967. – In Russian.
3. Spravochnik konstruktora sel`skoxozhajstvenny`x mashin / pod red. M.I. Klyoczkina. – M.: Mashinostroenie, 1966. – In Russian.
4. Nauchny`e osnovy` proektirovaniya sel`skoxozhajstvenny`x mashin: sb. st. / RISXM. – Rostov n/D, 1980. – In Russian.
5. Korn G. Spravochnik po matematike dlya nauchny`x rabotnikov i inzhenerov / G. Korn, T. Korn. – M.: Nauka, 1973. – In Russian.
6. Sy`chugov N.P. Ventilyatory`. Klassifikaciya, osnovy` teorii, xarakteristiki, pereschyot xarakteristik, regulirovanie, vy`bor i snyatie xarakteristik: ucheb. posobie / N.P. Sy`chugov. – M., 1970. – In Russian.

MODELING OF CENTRIFUGAL FAN PERFORMANCE IN AIR-SCREEN SEPARATOR OF COMBINE HARVESTER

Y.I. ERMOLYEV, D.K. MURATOV

(Don State Technical University)

The methodology of evaluating airflow parameters in the air-screen separator of the combine harvester with the two-section fan is described. The applicability of the two-section fan in the air-screen separator of the combine harvester is shown.

Keywords: *air-screen separator of combine harvester, two-section fan, air line, deflector, airflow, screen.*