

УДК 631.31

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ТРАКТА КОМПЛЕКСА ЗЕРНОУБОРОЧНОГО РОТОРНОГО КЗР-10

В. Б. ПОПОВ, В. Н. ПАРХОМЕНКО, А. С. ЩЕТНИКОВ

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Введение

Характерной особенностью технологического процесса в комбайностроении двух последних десятилетий является все более широкое применение роторных молотильно-сепарирующих устройств (МСУ). В различных странах разработана и реализована в макетных, опытных и серийно выпускаемых комбайнах или стационарных молотилках целая гамма МСУ роторного и комбинированного типов.

От «классических» МСУ, включающих барабанно-дековое МСУ и клавишный, часто комбинированный, соломосепаратор, роторные отличаются повышенной интенсивностью вымолота и сепарации зерна, стабильностью показателей качества работы в изменяющихся условиях уборки и значительно меньшим повреждением зерна [2], [3], [7].

Из всего многообразия роторных МСУ наиболее перспективными можно считать моноагрегатные МСУ с аксиально-роторной (осевой) и тангенциальной (поперечной) запиткой. Они наиболее компактны, просты по конструкции и наименее материалоемки. На их базе созданы типоразмерные ряды зерноуборочных комбайнов США и других стран, молотилки различного назначения, а также и рассматриваемый в данной работе комплекс зерноуборочный роторный КЗР-10 производства ПО «Гомсельмаш».

Сложность и трудоемкость экспериментальной доводки вновь разрабатываемых роторных МСУ толкает большинство разработчиков на путь «проб и ошибок». Отсюда неоправданно большие различия в схемах и основных параметрах МСУ одинакового назначения и пропускной способности. Параметры и технологические возможности роторных МСУ, очистных и транспортирующих систем нередко не соответствуют друг другу, что затрудняет создание сбалансированной, гармоничной и высокоэффективной конструкции технологического тракта высокой производительности (пропускной способности).

Пропускная способность зерноуборочного комбайна должна обеспечивать надежное выполнение технологического процесса с учетом изменения состояния агрофона и урожайности зерновых хлебов. С целью повышения конкурентоспособности и возможности применения КЗР-10 в странах ближнего и дальнего зарубежья необходимо обеспечить повышение пропускной способности технологического тракта в пределах 15–18 кг/с.

В этой связи наиболее острыми представляются следующие проблемы, возникающие при повышении пропускной способности технологического тракта комплекса зерноуборочного роторного КЗР-10:

- совершенствование системы транспортирования зернового вороха;
- совершенствование привода ротора МСУ;
- интенсификация рабочего процесса МСУ.

Аналізу состояния и поиску способов решения перечисленных проблем посвящена данная работа.

Анализ и предложения по совершенствованию транспортирующей системы зернового вороха

Молотильно-сепарирующее устройство тангенциально-роторного типа с пропускной способностью 10–12 кг/с сепарирует зерно с засоренностью $\beta_B = 0,25–0,34$. Меньшие значения засоренности характерны для уборки зерновых колосовых культур при влажности соломы $W_c > 18\%$. Уборка сухих хлебов ($W_c < 13–14\%$) обычно сопровождается ростом перебивания соломы и сепарацией ее мелкой фракции вместе с зерном [3].

Планируемое повышение пропускной способности зерноуборочного комплекса до 15 кг/с неизбежно потребует реализации всех допустимых способов интенсификации процессов вымолота и сепарации зерна МСУ. Интенсификация вымолота и сепарации зерна в современных МСУ пока неосуществима без одновременного роста степени перебивания соломы и сепарации ее мелкой фракции, т. е. без дальнейшего повышения засоренности зерна до $\beta_B = 0,3–0,4$.

Изменение влажности соломы (W_c) и коэффициента соломистости (β) предопределяет широкий диапазон изменения количества сепарируемого МСУ зернового вороха [6], а следовательно, и возможных загрузок транспортирующей системы, подающей этот ворох на очистку комплекса (таблица).

Возможные количества и состав зернового вороха, выделяемого роторными МСУ с пропускной способностью $[q] = 10–12$ и $13,5–15$ кг/с

Показатели	W_c , %	β	q_z , кг/с	q_n , кг/с	q_B , кг/с	β_B	Q_z , т/ч	Q_n , т/ч	Q_B , т/ч	
Пропускная способность МСУ $[q]$, кг/с	10	<13	0,6	4,0	1,8	5,8	0,31	14,4	6,5	20,9
			0,5	6,0	2,5	8,5	0,29	21,6	9,0	30,6
	>18	0,6	4,0	1,5	5,5	0,27	14,4	5,4	19,8	
		0,5	6,0	2,0	8,0	0,25	21,6	7,2	28,8	
	12	<13	0,6	4,8	2,4	7,2	0,33	17,3	8,6	25,9
			0,5	7,2	3,0	10,2	0,29	25,9	10,8	36,7
	>18	0,6	4,8	1,8	6,6	0,27	17,3	6,5	23,8	
		0,5	7,2	2,4	9,6	0,25	25,9	8,6	34,5	
	13,5	<13	0,6	5,4	2,8	8,2	0,34	19,4	10,1	29,5
			0,5	8,1	3,6	11,7	0,31	29,2	13,0	42,2
	>18	0,6	5,4	2,2	7,6	0,29	19,4	7,9	27,3	
		0,5	8,1	3,0	11,1	0,27	29,2	10,8	40,0	
15	<13	0,6	6,0	3,2	9,2	0,35	21,6	11,6	33,2	
		0,5	9,0	4,2	13,2	0,32	32,5	15,2	47,7	
>18	0,6	6,0	2,6	8,6	0,30	21,6	9,4	31,0		
	0,5	9,0	3,5	12,5	0,28	32,5	12,6	45,1		

Здесь q_z , q_n , q_B – подачи зерна, полowy и зернового вороха соответственно; Q_z , Q_n , Q_B – загрузки МСУ зерном, половой и ворохом соответственно.

Убираемые зерновые колосовые культуры характеризуются большим диапазоном изменения коэффициента соломистости $\beta = \frac{m_c}{m_3 + m_c}$ (m_c и m_3 – массы соломы и зерна) – от 0,44 до 0,75 и выше, что соответствует соотношению масс соломы и зерна от $m_c : m_3 = 0,8$ до $m_c : m_3 = 3$ и выше.

На обработке сухой массы (плотностью зерна пшеницы $\rho_3 = 780 \text{ кг/м}^3$ и плотностью полеры $\rho_{\text{п}} = 780 \text{ кг/м}^3$) загрузка системы транспортирования зернового вороха зерноуборочного комплекса может изменяться при пропускной способности:

- $[q] = 10,0 \text{ кг/с}$ – от $Q_{\text{в}} = 20,9$ до $30,6 \text{ т/ч}$;
- $[q] = 12,0 \text{ кг/с}$ – от $Q_{\text{в}} = 25,9$ до $36,7 \text{ т/ч}$;
- $[q] = 13,5 \text{ кг/с}$ – от $Q_{\text{в}} = 29,5$ до $42,2 \text{ т/ч}$;
- $[q] = 15,0 \text{ кг/с}$ – от $Q_{\text{в}} = 33,2$ до $47,7 \text{ т/ч}$.

Подачи вороха ($q_{\text{в}}$) при этом варьируются от $q_{\text{в}} = 5,8$ – $10,2$ (пропускные способности $[q] = 10$ – 12 кг/с) до $q_{\text{в}} = 9,2$ – $13,2 \text{ кг/с}$ (пропускная способность $[q] = 15 \text{ кг/с}$).

На более влажной массе ($W_c > 18 \%$) подача полеры ($q_{\text{п}}$), вороха ($q_{\text{в}}$), а также часовые загрузки зерном (Q_3), половой ($Q_{\text{п}}$) и ворохом ($Q_{\text{в}}$) будут несколько ниже.

Плотность мелкого вороха ($\rho_{\text{в}}$) на сухой массе будет изменяться от 97 до 115 кг/м^3 , а на влажной ($W_c > 18 \%$) – от 120 до 140 кг/м^3 .

С учетом уровня секундных подач ($q_{\text{п}}$ и $q_{\text{в}}$) и часовых загрузок ($Q_{\text{п}}$ и $Q_{\text{в}}$), а также плотности ($\rho_{\text{в}}$) вороха наиболее тяжелые условия работы системы транспортирования зернового вороха будут возникать при уборке сухих перестоявших зерновых культур, при этом максимальная объемная подача может достигать $0,125 \text{ м}^3/\text{с}$.

Ожидаемые уровни подач полеры и вороха по результатам анализа последних разработок зерноуборочных комбайнов на практике достигнуты не были. Только при исследованиях установки П-87 с роторным МСУ фиксировались подачи полеры $q_{\text{п}} = 3,6$ – $4,1 \text{ кг/с}$ [2]. Поэтому проблема надежного сбора и транспортирования зернового вороха от МСУ к очистке в оригинальной компоновочной схеме КЗР-10 представляется весьма сложной, требующей всестороннего анализа и экспериментальной проверки выбранных решений.

Проведя анализ пропускной способности технологического тракта зерноуборочного комплекса КЗР-10, и опираясь на результаты работ [2]–[4] мы можем выделить несколько проблемных участков, одним из которых является шнеко-битерное устройство.

Шнеко-битерное устройство (рис. 1) КЗР-10 состоит из шнека 1 диаметром $D_{\text{ш}} = 320 \text{ мм}$ и битера 2 диаметром $D_{\text{б}} = 190 \text{ мм}$. Частота вращения шнека 375 мин^{-1} , битера – 300 мин^{-1} . Шаг винтовой поверхности шнека $t_{\text{в}} = 260 \text{ мм}$. На 3/4 части длины шнека винт однозаходный, а на последние 1/4 части – двухзаходный [1].

Кожух шнека (поддон) в зоне сепаратора МСУ имеет полуоткрытую форму (см. рис. 1) с углом охвата шнека $\sim 85^\circ$ и очень пологим передним скатом (угол наклона $\sim 24^\circ$). Такая форма кожуха предопределяет невысокие значения коэффициентов забора вороха (K_3) и использование межвиткового объема шнека ($K_{\text{в}}$), а также залегание вороха на переднем скате между битером и шнеком.

В ходе рабочего процесса возникает разделительная горка «А» (рис. 2), выполняющая роль передней боковой стороны шнекового лотка.

Наличие горки может привести к выбрасыванию части вороха лопастями битера в направлении к сепарирующей поверхности «Б».

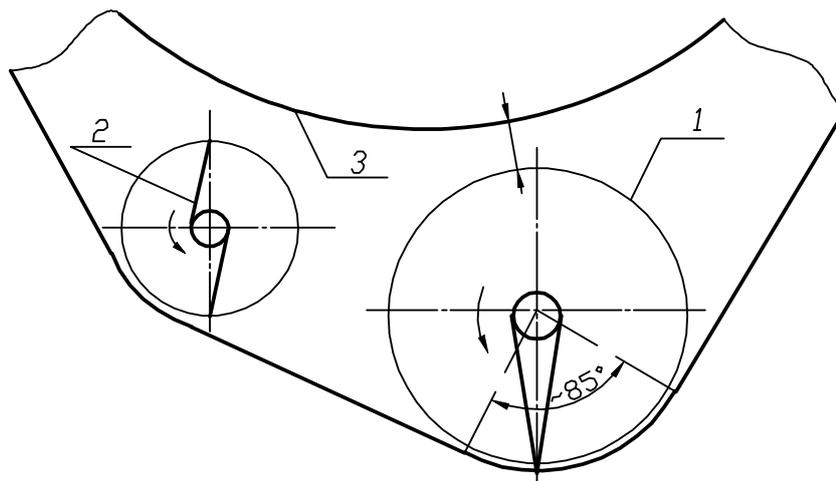


Рис. 1. Схема шнеко-битерного устройства: 1 – шнек; 2 – битер; 3 – кожух ротора
Пропускную способность шнека можно определить по выражению

$$q_{\text{ш}} = K_3 \cdot K_\beta \cdot K_\theta \cdot K_V \cdot K_{\text{п.з}} \cdot \rho \cdot V \cdot \frac{n}{60}, \text{ кг/с,}$$

где K_3 – коэффициент забора вороха, зависящий от формы и параметров кожуха ($K_3 = 0,5-1,0$ при угле 120° $K_3 = 0,94$; при угле 180° $K_3 = 1,0$); K_β – коэффициент учета угла наклона шнека (β°) к горизонту (для $\beta = 0-90^\circ$; $K_\beta = 1-0,3$); K_θ – коэффициент осевой скорости груза ($K_\theta = 0,6-0,9$; меньшие значения для тихоходных и большие – для быстроходных шнеков); K_V – коэффициент использования межвиткового объема шнека (коэффициент заполнения $K_V = 0,2-0,9$); $K_{\text{п.з}}$ – коэффициент загрузки ($K_{\text{п.з}} = 0,94-1,0$; зависит от способа – осевая, угловая и условий разгрузки); $\rho = \rho_{\text{в}}$ – плотность транспортируемого груза, кг/м^3 ; $V = 0,25 \cdot \pi \cdot (D_{\text{ш}}^2 - d^2) \cdot t$, м^3 – объем межвиткового пространства шнека; $D_{\text{ш}}$ – наружный диаметр шнека, м; d – диаметр вала шнека, м; t – шаг винта, м; n – частота вращения вала шнека, мин^{-1} .

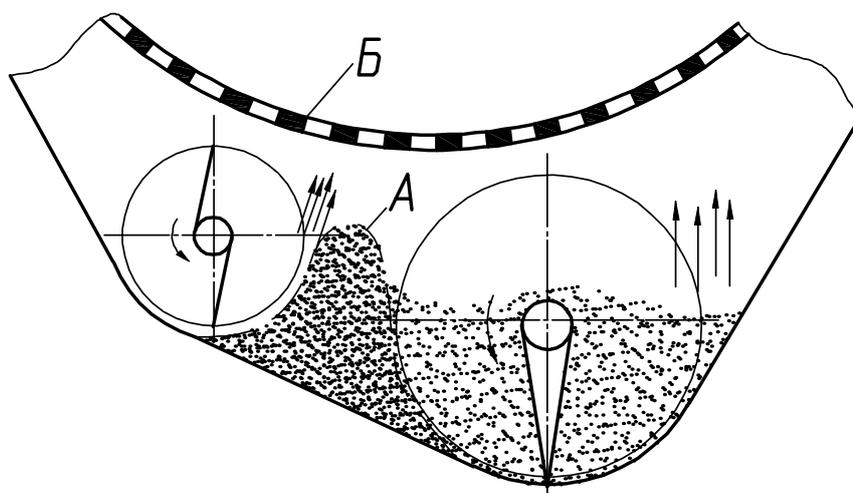


Рис. 2. К обоснованию значений коэффициента K_V шнеко-битерного устройства

Для анализируемой транспортирующей системы значения коэффициентов и параметров находятся в пределах: $K_3 \leq 0,8$ (0,8 – после образования на переднем скате кожуха горки вороха); $K_\beta = 1$ ($\beta = 0^\circ$); $K_g \approx 0,7$; $K_V \leq 0,6$; $K_{p.з} = 0,96$; $\rho = \rho_b = 110 \text{ кг/м}^3$ (близкую к максимальной на сухом ворохе); $n = 376 \text{ мин}^{-1}$; $t = 0,26 \text{ м}$; $d = 0,06 \text{ м}$.

При таких параметрах устройств и значениях коэффициентов пропускная способность шнеко-битерного устройства составит: $q_{ш} = 4,8 \text{ кг/с}$, а производительность: $Q = 17,3 \text{ т/ч}$.

Применение в последней части шнека двухзаходного винта способствует повышению значений коэффициентов K_g до 0,75 (от 0,7) и K_V до 0,7 (от 0,6).

Пропускная способность этой самой нагруженной части шнека может достигать: $q'_{ш} = 6 \text{ кг/с}$, а производительность: $Q' = 21,6 \text{ т/ч}$.

Значения коэффициента $K_V = 0,7$ будут возможны, если между шнеком и битером возникнет разделительная горка «А» (рис. 2), выполняющая роль передней боковой стороны шнекового лотка.

Однако наличие такой горки может привести к выбрасыванию части вороха лопастями битера в направлении к сепарирующей поверхности «Б».

Попадание даже небольшой части зерна внутрь кожуха через сепарирующее отверстие (особенно в последних зонах сепаратора) может серьезно повлиять на уровень потерь свободным зерном в соломе.

Следует отметить, что разбрасывание (повышение) вороха может происходить и из-за сварной конструкции самого шнека (на каждом шаге винтовой поверхности имеется соединение внахлест).

При окружной скорости витков шнека $U_{окр} = 6,3 \text{ м/с}$ и центробежным ускорением до $a_n = 248 \text{ м/с}^2$ разбрасываемые шнеком частицы (в т. ч. и зерно) могут также забрасываться внутрь сепарирующей части кожуха и вызывать некоторое повышение потерь свободным зерном в соломе.

Сопоставление данных по производительности шнека ($Q' = 21,6 \text{ т/ч}$) с данными таблицы по возможным подачам зернового вороха из МСУ с пропускной способностью 10–12 кг/с (КЗР-10) показывает, что только при $[q] = 10 \text{ кг/с}$ и коэффициенте соломистости $\beta = \beta_0 = 0,6$ ($m_c : m_3 = 1,5$) загрузка транспортирующей системы ворохом близка к производительности, заявленной заводом-изготовителем.

В других условиях работы ($\beta = 0,5$ и $[q] = 12 \text{ кг/с}$) шнеко-битерная система комплекса КЗР-10 будет перегружена на 10–70 %.

Применительно к конструкции ($[q] = 15 \text{ кг/с}$) превышение подач вороха над производительностью шнеко-битерной системы КЗР-10 составит минимум 1,3 и максимум 2,2 раза [2].

Мероприятия по повышению пропускной способности и производительности транспортирующей системы зернового вороха

Доработка транспортирующей системы преследует цели:

- повышение ее пропускной способности и производительности;
- снижение возможного отрицательного влияния транспортирующего устройства на уровень потерь свободным зерном в соломе за МСУ;
- повышение степени использования поверхности кожуха ротора (сепарирующей его части) МСУ для сепарации.

Суть предложения по доработке этой части устройства заключается в замене шнеко-битерного транспортирующего устройства двухшнековым устройством.

Проработка конструкции (рис. 3) показывает, что вполне реально создание такого транспортирующего устройства на базе шнека диаметром 250 мм. В СНГ освоено производство винтовой ленты для изготовления таких шнеков, в частности для производства выгрузных шнеков зерноуборочных комбайнов.

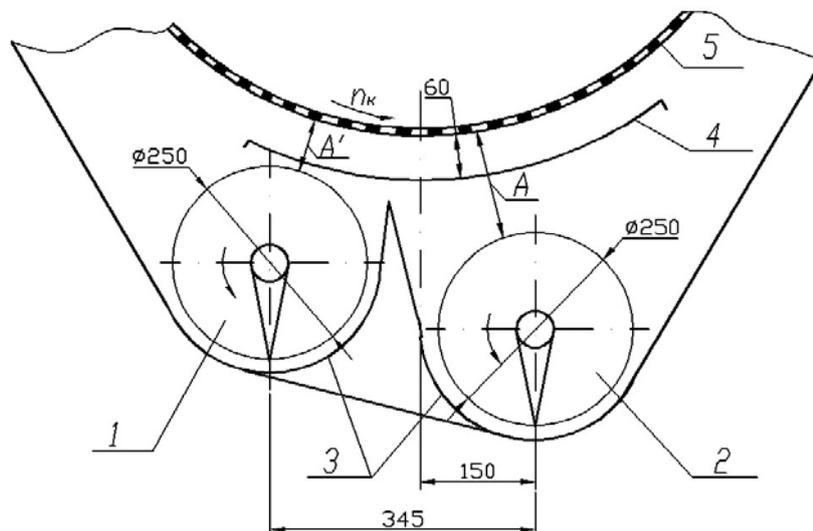


Рис. 3. Схема двухшнекового транспортирующего устройства МСУ: 1, 2 – шнеки; 3 – кожух шнеков; 4 – разделительный щит; 5 – сепарирующая поверхность МСУ

Уменьшение диаметра шнека с 320 до 250 мм позволяет не только разместить под МСУ два одинаковых шнека, но и увеличить расстояние (A') и особенно (A) от шнеков до сепарирующей поверхности 5 по сравнению с существующим вариантом в КЗР-10. Увеличенное расстояние (A) уменьшает вероятность заброса зерна витками шнеков в рабочее пространство роторного МСУ. Это дает возможность отделить лопастную зону разгрузки шнеков, где наиболее вероятен и опасен заброс зерна внутрь сепаратора от сепарирующей части кожуха ротора глухим щитом 4 без вывода (как в КЗР-10) из работы части сепарирующей поверхности 5. Помимо этого уменьшению разброса зерна будет способствовать и цельная витковая лента шнеков.

В двухшнековой схеме удастся применить кожух, с параметрами, близкими к оптимальным для устройств такого типа. Рационализация параметров кожуха в сочетании с более совершенной конструкцией самих шнеков будут способствовать повышению эффективности работы каждого шнека и всего устройства в целом.

С целью сохранения одинаковой по сравнению с существующим вариантом окружной скорости крайних точек винтовой поверхности частоту вращения предлагаемых шнеков определим из соотношения

$$n_2 = \frac{D_1 \cdot n_1}{D_2} = \frac{0,32 \cdot 376}{0,25} = 480 \text{ мин}^{-1}.$$

С учетом большего расстояния от шнеков до сепарирующих поверхностей и применяемой в них бесстыковой винтовой ленты частоту вращения шнеков можно выбирать в пределах 470–510 мин⁻¹.

Пропускная способность каждого шнека диаметром $D = 0,25$ м, шагом винта $t = 0,25$ м, при $n = 480$ мин⁻¹, $K_s = 0,94$; $K_p = 1$; $K_g = 0,75$; $K_v = 0,7$; $K_{p,3} = 0,96$, объ-

еме межвиткового пространства: $V = 0,01178 \text{ м}^3$ и $\rho = \rho_g = 110 \text{ кг/м}^3$ составит $q = 4,9 \text{ кг/с}$.

Производительность одного шнека при этом будет равна: $Q^1 = 17,6 \text{ т/ч}$.

Производительность двухшнековой системы соответственно: $Q_2 = 35,2 \text{ т/ч}$.

Такая производительность позволит обеспечить устойчивый сбор и вывод зернового вороха из-под МСУ при нормируемой соломиности ($m_3 : m_c = 1,5$, $\beta_0 = 0,6$) и при пропускной способности МСУ $[q] = 15 \text{ кг/с}$.

Заключение

Проведенный анализ показывает, что поставленная задача создания тангенциально-роторного МСУ для зерноуборочного комплекса с пропускной способностью 15 кг/с в принципе решаема.

Исходной базой для новой разработки с успехом может служить существующая молотильно-сепарирующее устройство комплекса КЗР-10. Его габаритные размеры: длина и диаметр ротора (естественно и его кожуха), соотношение длин молотильно-сепарирующей, сепарирующей и соломоотводящих частей, позволяют, по нашим представлениям, довести пропускную способность МСУ до 15 кг/с . Помимо этого интенсификация технологического процесса МСУ, весьма вероятно приблизит нас к намеченному по производительности рубежу.

На первом этапе модернизации МСУ предлагается оставить неизменными параметры ротора, предусмотрев при этом возможность замены планок сепарирующей части ротора на более высокие, а интенсификацию рабочего процесса, главным образом сепарацию зерна, осуществить путем глубокой модернизации кожуха ротора МСУ.

Предложенные способы интенсификации рабочего процесса МСУ и рекомендуемые параметры рабочих элементов кожуха ротора должны привести к повышению уровня пропускной способности (до 15 кг/с) или максимально приблизится к нему.

К сожалению, интенсификация процессов вымолота и сепарации зерна в МСУ роторного типа пока невозможна без роста степени перебивания соломы и сепарации ее мелкой фракции (увеличение подачи половы на очистку), а также повышения энергоемкости процесса сепарации в МСУ.

Отсутствие опыта работы и достоверных экспериментальных данных для такого высокого уровня подач крайне осложняет выбор окончательных решений и параметров составных элементов МСУ. Поэтому новый вариант МСУ должен быть подвергнут углубленной экспериментальной проверке. Экспериментальная проверка поможет уточнить дальнейшие мероприятия по доведению технологических возможностей нового МСУ до намеченного уровня.

Выбор окончательных решений и параметров МСУ в высокой степени осложняют такие факторы как:

- нерешенность в комплексе КЗР-10 проблем транспортирования зернового вороха от МСУ к очистителю-накопителю прицепному;
- обеспечение устойчивого энергообеспечения ротора и, возможно, ветро-решетной очистки (отсутствие данных по этому важнейшему устройству роторного комплекса не позволяет пока обоснованно анализировать соответствие технологических возможностей очистки прогнозируемой ее нагрузке).

На наш взгляд, без решения вышеупомянутых проблем нельзя кардинально интенсифицировать рабочий процесс МСУ, так как конечный результат может оказаться отрицательным.

Литература

1. Комплекс зерноуборочный роторный КЗР-10 «ПОЛЕСЬЕ-РОТОР» // Инструкция по эксплуатации, 2005.
2. Ломакин, С. Г. Создание конструкции роторного высокопроизводительного МСУ / С. Г. Ломакин // МГАУ им. В. П. Горячкина ; сб. междунар. науч.-практ. конф. – Москва, 2003.
3. Доронин, Е. Ф. Зерноуборочные комбайны и их производительность / Е. Ф. Доронин // Тракторы и с.-х. машины. – 2007. – № 4.
4. Романенко, В. Н. Высокопроизводительная очистка зерноуборочного комбайна с активатором сепарации зернового вороха / В. Н. Романенко // Тракторы и с.-х. машины, 2007. – № 9.
5. Механизация уборки зерновых культур / Науч. тр. ВАСХНИЛ ; под ред. А. И. Филиппова. – Москва : Колос, 1977.
6. Справочник инженера-механика сельскохозяйственного производства : в 3 ч. – Москва : Росинформагротех, 2004. – Ч. 1.
7. Айкель, Г. Зерноуборочный комбайн John Deere 9780i CTS / Г. Айкель // Тракторы и другая сельхозтехника. – Спец. вып. журн. «Профи». – 2007.
8. Бабкин, К. А. Сельхозмашиностроение России–2006: итоги и прогнозы / К. А. Бабкин // Тракторы и с.-х. машины. – 2007. – № 5.

Получено 14.07.2008 г.