

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБМОЛОТА В АКСИАЛЬНО-РОТОРНОМ КОМБАЙНЕ

## INCREASING THE EFFICIENCY OF THRESHING IN AN AXIAL ROTARY COMBINE

**М.И. ЛИПОВСКИЙ**, д.т.н.

ИАЭП, Санкт-Петербург, Россия, aperekopskii@mail.ru

**M.I. LIPOVSKIY**, DSc in Engineering

Institute of Agroengineering and Environmental Problems  
of Agricultural Production, Saint-Petersburg, Russia,  
aperekopskii@mail.ru

Целью работы является обоснование способа снижения энергоемкости технологического процесса, улучшение качественных показателей за счет уменьшения микротравмирования зерна, повышение пропускной способности аксиально-роторного молотильно-сепарирующего устройства путем применения разновысоких зубовых бичей вместо рифленых. Приведенные результаты получены путем проведения лабораторных исследований, а также испытаний комбайнов классической схемы, оборудованных молотильными барабанами с разновысокими зубовыми бичами. Испытания проведены при уборке всех зерновых колосовых культур, влажность зерна которых составляла 11–37 %, влажность стеблей достигала 52 %. Для достижения поставленной цели предложено, с учетом свойства колоса зерновых культур, оснащение молотильных элементов зубьями разной высоты. Результаты лабораторных исследований показали, что существенное улучшение технологических показателей наблюдается при доле длины молотильных элементов с низкими зубьями в общей их длине, близкой к значению 0,25. При дальнейшем увеличении указанного соотношения не наблюдается существенного изменения качественных показателей обмола, но энергозатраты возрастают более чем на 20 %. Приведенный анализ показал, что применение в молотильной зоне ротора зубовых бичей вместо рифленых может обеспечить повышение степени сепарации зерна на 4–7 %, снижение степени недомола и удельной потребности мощности, соответственно, на 0,7–1,6 % и 21–24 %. Это соответствует значениям тех же показателей для обычного молотильного аппарата (4; 0,6 и 21 %) или несколько превышает их. Отмеченное позволяет ожидать от применения разновысоких зубовых бичей улучшения показателей эффективности аксиально-роторных комбайнов: уменьшения потерь зерна или повышение пропускной способности при сохранении уровня потерь, снижения энергоемкости и степени микротравмирования зерна, а также упрощения технологического обслуживания за счет исключения регулирования зазоров между декой и ротором. Уменьшение количества выбрасываемых в атмосферу выхлопных газов, обусловленное меньшей энергоемкостью технологического процесса, улучшает экологичность комбайна.

**Ключевые слова:** аксиально-роторный комбайн, обмолот, зубовой бич.

The purpose of the work is to justify the way to reduce the energy intensity of the technological process, improve the quality indicators by reducing the microtraaction of grain, increase the capacity of the axial-rotary threshing-separating device by using a variety of tooth pests instead of corrugated ones. The shown results are received by carrying out of laboratory researches, and also tests of combines of the classical scheme equipped with threshing drums with the various tooth whips. The tests were carried out during the harvesting of all cereal grains, the moisture content of which was 11–37 %, the moisture content of the stems reached 52 %. To achieve this goal, it has been proposed, with the ability of the ear of cereals, to equip threshing elements with teeth of different heights. The results of laboratory studies showed that a significant improvement in technological performance is observed with a fraction of the length of threshing elements with low teeth in their total length close to 0,25. With a further increase in this ratio, there is no significant change in the quality of threshing, but energy costs increase by more than 20 %. The analysis showed that the use of tooth whips instead of grooved in the threshing area of the rotor can provide an increase in the degree of grain separation by 4–7 %, a decrease in the degree of nonsmoking and the specific power requirement by 0,7–1,6 % and 21–24 %, respectively, corresponds to or slightly higher than the values for the same threshing machine (4, 0,6 and 21 %). The noted allows expecting from the use of different tooth whips to improve the performance of axial rotary combines: reducing grain losses or increasing throughput while maintaining the level of losses, reducing the energy intensity and degree of microtraaction of grain, and simplifying maintenance by eliminating the need to adjust the clearances between the deck and the rotor. Reducing the amount of exhaust gases emitted into the atmosphere, due to the lower energy consumption of the process, improves the ecological compatibility of the combine.

**Keywords:** axial rotary harvester, threshing, tooth whip.

## Введение

Роторные комбайны превосходят комбайны классической схемы по технологической эффективности за счет большей удельной пропускной способности (на 1 м ширины молотилки) и значительно меньшего дробления зерна (в 1,5–2,0 раза). Так, удельная пропускная способность роторного комбайна Togum 740 – 8 кг/(с·м<sup>1</sup>), а комбайна классической схемы Acros 530 – 6,3 кг/(с·м<sup>1</sup>). Таким образом, роторный комбайн по рассматриваемому показателю превосходит комбайн классической схемы на 27 %. При уборке озимой ржи дробление зерна комбайном «Дон-1500» составляло 0,6 %, а комбайном «Ротор» – 0,3 %. В то же время микроповреждение зерна снижается незначительно (табл. 1).

Известно, что от уровня микроповреждения зависит стойкость зерна к хранению, его товарные, хлебопекарные, посевные и продуктивные показатели.

Роторные комбайны уступают комбайнам классической схемы по экологичности из-за повышенных выбросов в атмосферу выхлопных газов, обусловленных более высокой энергоемкостью технологического процесса. Так, удельная (на единицу пропускной способности) энергонасыщенность комбайна Togum 740 составляет 33 л.с./(кг·с<sup>-1</sup>), а комбайна Acros 530 – 27 л.с./(кг·с<sup>-1</sup>).

## Цель исследования

Повышенная энергоемкость технологического процесса обмолота является одним из основных недостатков аксиально-роторных комбайнов. Устранению этого недостатка может способствовать применению в качестве молотильных элементов ротора разновысоких зубовых рабочих элементов вместо рифленых бичей [1]. Как показали исследования и испытания опытных образцов комбайнов классической схемы [2], применение указанной раз-

работки [3] позволяет снизить энергоемкость обмолота на 20–30 %, и соответственно, расход горючего на работу двигателя и выброс в атмосферу выхлопных газов на 13–20 %. Целью исследования является обоснование способа снижения энергоемкости технологического процесса, улучшение качественных показателей за счет уменьшения микротравмирования зерна, повышение пропускной способности аксиально-роторного молотильно-сепарирующего устройства путем применения разновысоких зубовых бичей вместо рифленых.

## Материалы и методы

Приведенные результаты получены путем проведения лабораторных исследований, а также испытаний комбайнов классической схемы, оборудованных молотильными барабанами с разновысокими зубовыми бичами. При исследованиях использовались озимая и яровая пшеница, озимая рожь. Испытания проводились при уборке всех зерновых колосовых культур. Влажность зерна убираемых культур составляла 11–37 %, влажность стеблей достигала 52 %.

## Результаты и их обсуждение

Исследования процесса обмолота показывают [4, 5], что увеличение высоты зуба  $h$  рабочего элемента (зубового бича) ведет к снижению энергоемкости  $N_{уд}$  обмолота (рис. 1). Но при этом ухудшаются технологические показатели, в частности увеличивается недомолот  $N_1$  зерна (рис. 2).

Компромиссным решением, учитывающим свойства колоса зерновых культур, является оснащение молотильных элементов зубьями разной высоты – назовем их высокими и низкими. Для снижения энергоемкости обмолота суммарная длина молотильных элементов с низкими зубьями должна быть минимальной. Предел минимализации данного параметра

Таблица 1

Повреждение зерна зерноуборочными комбайнами

Показатель	Тип комбайна	Озимая рожь	Озимая пшеница	Яровая пшеница
Дробление зерна, %	«Сибиряк»	0,7	0,6	0,8
	«Дон»	0,6	0,8	0,7
	«Ротор»	0,3	0,5	0,5
Микроповреждение зерна, %	«Сибиряк»	48,7	24,4	21,7
	«Дон»	47,8	23,9	19,9
	«Ротор»	44,6	22,6	18,3

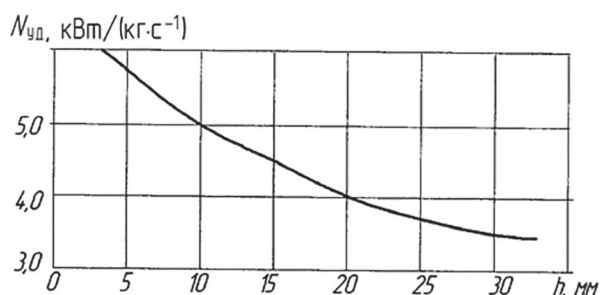


Рис. 1. Потребная на обмолот удельная мощность  $N_{уд}$  в зависимости от высоты зуба  $h$

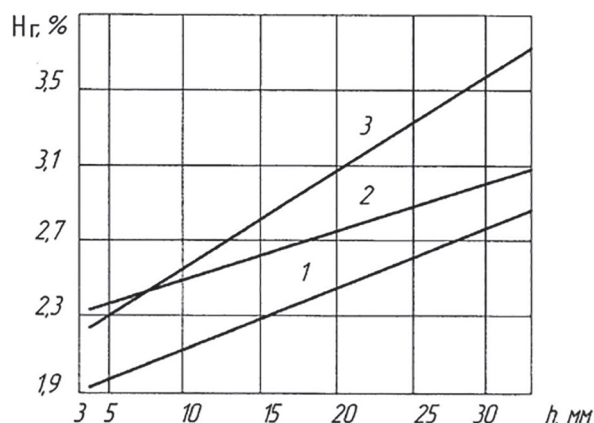


Рис. 2. Недомолот зерна в грубом ворохе в зависимости от высоты зуба  $h$ :

1 –  $\alpha = 13^\circ$ ,  $S = 74$  мм; 2 –  $\alpha = 18^\circ$ ,  $S = 74$  мм;  
3 –  $\alpha = 18^\circ$ ,  $S = 111$  мм ( $S$  – шаг размещения зубьев на планке;  $\alpha$  – угол между радиальным направлением и направлением рабочей поверхности зуба)

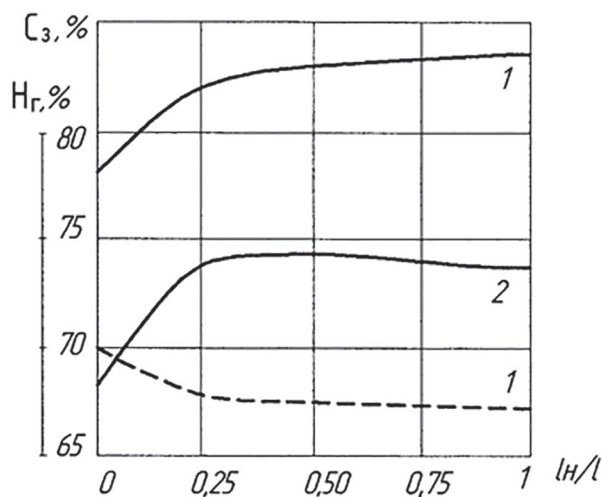


Рис. 3. Показатели работы молотильного аппарата (недомолот зерна в грубом ворохе  $H_r$  и степень сепарации зерна  $C_3$ ) в зависимости от относительной длины  $l_n/l$  бичей с низкими зубьями:

— — — — — степень сепарации зерна;  
- - - - - недомолот зерна в грубом ворохе;  
1 – рожь Ярославна,  $h_n = 12$  мм; 2 – пшеница Ленинградка,  $h_n = 16$  мм

определяется обеспечением рациональных значений качественных показателей технологического процесса, в частности степени сепарации  $C_3$  и недомолота  $H_r$  зерна.

Результаты экспериментального исследования зависимости энергетических и технологических показателей обмолота, проведенного на моделях тангенциального молотильного аппарата, от доли длины молотильных элементов с низкими зубьями  $l_n$  в общей длине молотильных элементов  $l$  представлены на рис. 3 4.

Как видно из рис. 3, существенное улучшение технологических показателей – снижение недомолота и повышение степени сепарации зерна наблюдается при значениях  $l_n/l$ , близких к 0,25. При дальнейшем увеличении указанного отношения не наблюдается существенного изменения качественных показателей обмолота, но энергозатраты возрастают значительно – более чем на 20 % (рис. 4).

На рис. 5 в разрезах представлено аксиальное молотильно-сепарирующее устройство для роторного комбайна с использованием для обмолота зубовых рабочих элементов с обоснованными выше рациональными параметрами.

Устройство с приемной А, молотильной В и сепарирующей С зонами содержит ротор 1 и перфорированный кожух 2, установленный с возможностью вращения на опорах 3. На внутренней стороне кожуха 2 установлены расположенные по винтовым линиям направляющие ребра 4. Ротор снабжен заборными лопастями 5, молотильными элементами 6 и сепарирующими элементами 7. В качестве молотильных элементов 6 использованы зубовые рабочие элементы, представляющие собой ряды изогнутых зубьев 8 с общими основаниями 9. На двух диаметрально противоположных

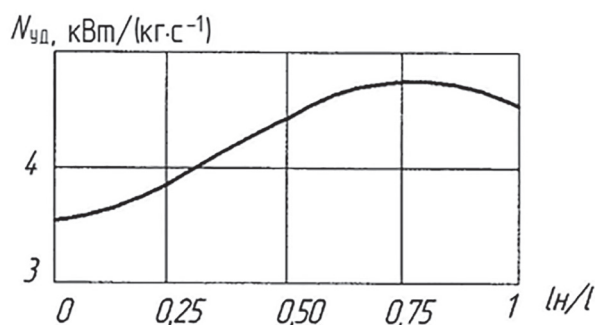


Рис. 4. Потребная на обмолот удельная мощность в зависимости от относительной длины  $l_n/l$  бичей с низкими зубьями

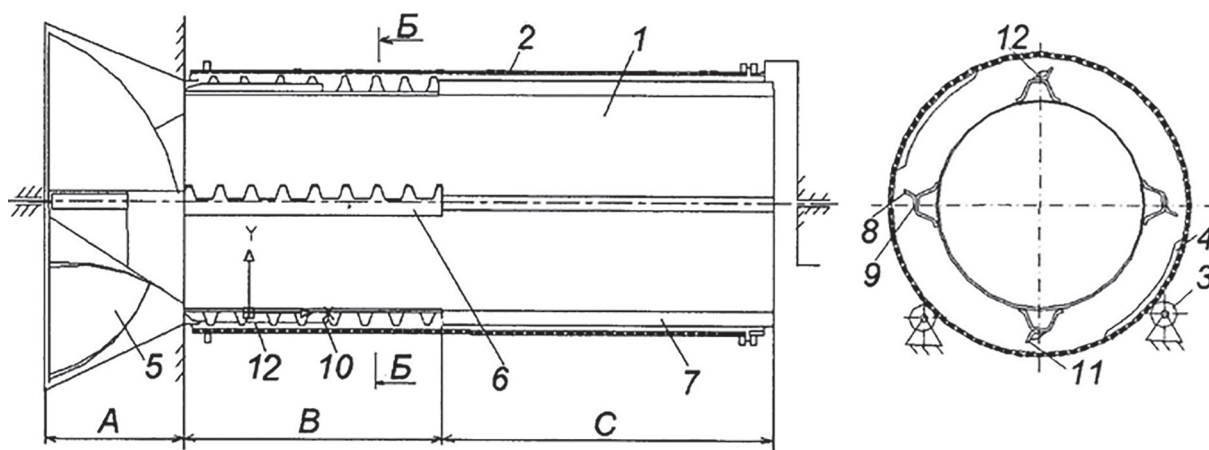


Рис. 5. Аксиальное молотильно-сепарирующее устройство с зубowymi бичами в молотильной зоне ротора

рабочих элементах установлены обтекаемые планки 10 длиной, равной половине длины молотильного элемента. Возможны другие, по сравнению с рис. 5, варианты размещения обтекаемых планок, в том числе при длине последних, равной  $\frac{1}{4}$  длины молотильного элемента (рис. 6). Планки 10 частично перекрывают зубья 8 по высоте, так что рабочая часть 11 последних остается короче, чем зубья при отсутствии планок. Передний край каждой обтекаемой планки выполнен в виде поверхности, обеспечивающей плавное сопряжение рабочей поверхности 12 планки 10 с поверхностью основания 9. Зубья 8 рабочих элементов могут быть расположены на роторе по винтовой линии или шахматном порядке так, что соседние следы зубьев частично перекрывают друг друга, а вершины всех зубьев лежат на одной цилиндрической поверхности.

Аналогичным образом зубовые рабочие элементы могут быть использованы в аксиальном молотильно-сепарирующем устройстве с неподвижным кожухом (рис. 6). В этом случае в зоне В устройства в нижней части кожуха размещается молотильная дека 13.

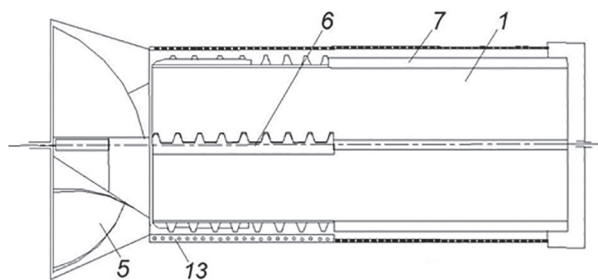


Рис. 6. Аксиальное молотильно-сепарирующее устройство с неподвижным кожухом и обтекаемыми планками длиной, равной  $\frac{1}{4}$  длины молотильного элемента

Аксиальное молотильно-сепарирующее устройство работает следующим образом.

Подаваемая растительная масса в приемной зоне устройства заборными лопастями 5 ротора и приемными элементами кожуха увлекается в винтообразное движение. Значительная часть зерна при этом вымолачивается. Переходя из приемной зоны в основные зоны – молотильную В и сепарирующую С, масса под действием молотильных элементов 6 и сепарирующих элементов 7 ротора и направляющих ребер 4 кожуха 2 продолжает двигаться с относительно малой осевой скоростью в направлении, приобретенным ею в приемной зоне. При этом происходит окончательный вымолот зерна и сепарация его через отверстия кожуха 2 или молотильной деки при неподвижном кожухе. Благодаря использованию в качестве молотильных элементов зубовых рабочих элементов с перекрытием части их длины обтекаемыми планками ударное воздействие на обмолачиваемую массу оказывается на двух уровнях интенсивности – высоком и низком, что обеспечивает уменьшение травмирования зерна, энергоемкости обмолота и расхода топлива на работу комбайна. Благодаря рациональному сочетанию ударного, вытирающего и очесывающего воздействий молотильного устройства на обмолачиваемую культуру повышается пропускная способность комбайна (на 20...25 %), уменьшаются потери зерна и его травмирование.

Для ориентировочной прогнозной сравнительной оценки эффективности применения ротора с зубowymi бичами используем полученные при исследовании молотильного аппарата с зубowymi бичами зависимости сепарации зерна и недомолота в грубом ворохе, а



также потребной на обмолот удельной мощности от значения зазора между барабаном и подбарабаньем на входе молотильного аппарата (рис. 7 – рис. 9).

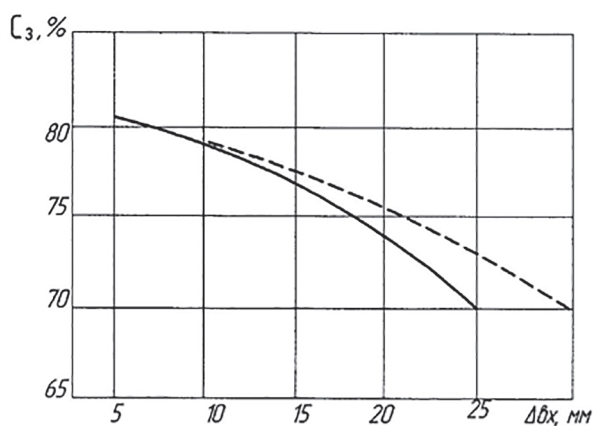
Представленные зависимости позволяют спрогнозировать повышение эффективности обмолота зерновых культур аксиально-роторным МСУ, указанное в табл. 2.

Таблица 2

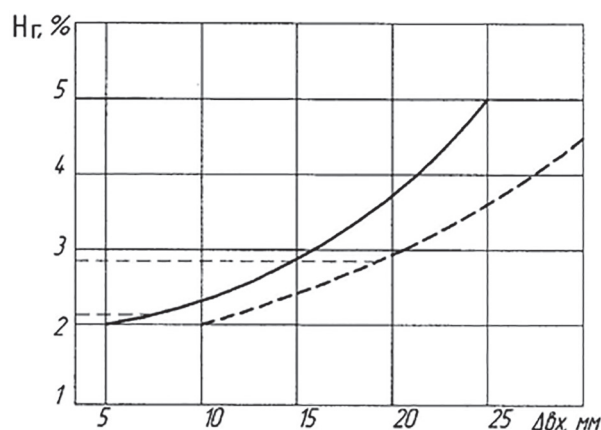
**Повышение эффективности обмолота при применении зубовых бичей вместо рифленых и обычном молотильном аппарате и роторном МСУ**

Показатель эффективности	Значение показателя		
	для молотильного аппарата при зазорах на входе 7,5/19*, мм	для зоны обмолота роторного МСУ при зазорах на входе, мм	
		30/40*	25/40*
Повышение степени сепарации зерна, %	4	4	7
Снижение степени недомолота зерна, %	0,6	0,7	1,6
Снижение потребной удельной мощности, %	22	24	21

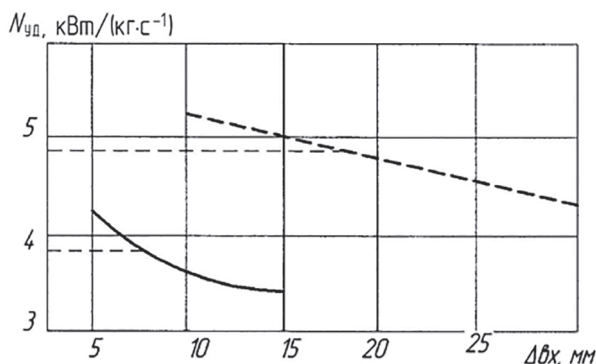
Примечание: \* в числителе приведено значение зазора при применении зубовых бичей, в знаменателе – при применении рифленых.



**Рис. 7. Степень сепарации зерна в зависимости от зазора между барабаном и подбарабаньем на входе молотильного аппарата:**  
 ————— молотильный аппарат с зубовыми бичами;  
 - - - - - бильный молотильный аппарат



**Рис. 8. Недомолот зерна в грубом ворохе в зависимости от зазора между барабаном и подбарабаньем на входе молотильного аппарата:**  
 ————— молотильный аппарат с зубовыми бичами;  
 - - - - - бильный молотильный аппарат



**Рис. 9. Потребная удельная мощность в зависимости от зазора между барабаном и подбарабаньем на входе молотильного аппарата:**  
 ————— молотильный аппарат с зубовыми бичами;  
 - - - - - бильный молотильный аппарат

### Заключение

Как следует из табл. 2, применение в молотильной зоне ротора зубовых бичей вместо рифленых может обеспечить повышение степени сепарации зерна в этой зоне на 4–7 %, снижение степени недомолота зерна и потребной удельной мощности, соответственно, на 0,7–1,6 % и 21–24 %. Это соответствует значениям тех же показателей для обычного молотильного аппарата (4; 0,6 и 21 %) или несколько превышает их. Отмеченное позволяет ожидать от применения зубовых бичей в роторном МСУ достижения тех же показателей эффективности комбайна, которые отмечены при госу-

дарственных испытаниях различных модификаций комбайнов, оснащенных молотильным аппаратом с зубовыми бичами [4, 5], а именно: уменьшение потерь зерна или повышение пропускной способности при сохранении уровня потерь зерна, снижение энергоемкости и степени микротравмирования зерна, а также упрощение технологического обслуживания за счет устранения необходимости регулировать зазоры между декой и ротором. Уменьшение количества выбрасываемых в атмосферу выхлопных газов, обусловленное меньшей энергоемкостью технологического процесса, улучшает экологичность комбайна.

### Литература

1. Липовский М.И., Перекопский А.Н. Аксиальное молотильно-сепарирующее устройство (варианты): патент на изобретение № 2560063, Российская Федерация. Опубликовано 20.06.2013. Бюл. № 17.
2. Липовский М.И., Сухопаров А.И. Результаты испытаний красноярских комбайнов нового поколения // Достижения науки и техники АПК. 2007. № 7. С. 36–37.
3. Арбузов П.М., Бадмацыренов Б.Ц., Игнат'ев В.Г., Козлов В.В., Липовский М.И., Перекопский А.Н., Сухопаров А.И. Способ обмолота зерновых культур и устройство для его осуществления: патент на изобретение № 281642, Российская Федерация. Опубликовано 20.08.2006. Бюл. № 23.
4. Липовский М.И. Рациональный обмолот зерновых культур. СПб.: СЗНИИМЭСХ, 2005. 138 с.
5. Липовский М.И., Перекопский А.Н. Зерноуборочный комбайн: из прошлого – к новому поколению. СПб.: ИАЭП, 2015. 316 с.
6. Липовский М.И., Перекопский А.Н. Энергосбережение при обмолоте // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. Труды 8-й международной научно-технической конференции. Ч. 2 Энергосберегающие технологии в растениеводстве и мобильной энергетике. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2012. С. 106–110.
1. Lipovskiy M.I., Perekopskiy A.N. Aksial'noe molotil'nosepariruyushchee ustroystvo (varianty) [Axial threshing-separating device (variants)]: patent na izobretenie. No 2560063, Rossiyskaya Federatsiya. Opublikovano 20.06.2013. Byul. No 17.
2. Lipovskiy M.I., Sukhoparov A.I. Results of tests of Krasnoyarsk combine harvesters of new generation. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2007. No 7, pp. 36–37 (in Russ.).
3. Arbuzov P.M., Badmatsyrenov B.Ts., Ignat'ev V.G., Kozlov V.V., Lipovskiy M.I., Perekopskiy A.N., Sukhoparov A.I. Sposob obmolota zernovykh kul'tur i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya [Method of threshing cereals and the device for its implementation]: patent na izobretenie. No 281642, Rossiyskaya Federatsiya. Opublikovano 20.08.2006. Byul. No 23.
4. Lipovskiy M.I. Ratsional'nyy obmolot zernovykh kul'tur [Rational grain threshing]. SPb.: SZNIIMESKh Publ., 2005. 138 p.
5. Lipovskiy M.I., Perekopskiy A.N. Zernouborochnyy kombayn: iz proshlogo – k novomu pokoleniyu [Combine harvester: from the past to the new generation]. SPb.: IAEP, 2015. 316 p.
6. Lipovskiy M.I., Perekopskiy A.N. Energy savings in threshing. Energoobespechenie i energosberezhenie v sel'skom khozyaystve. Trudy 8-y mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Ch. 2. Energoberegayushchie tekhnologii v rastenievodstve i mobil'noy energetike [Energy supply and energy saving in agriculture. Proceedings of the 8th International Scientific and Technical Conference. Part 2 Energy-saving technologies in crop production and mobile power engineering.]. Moscow: GNU VIESKh, 2012, pp. 106–110 (in Russ.).

### References