

При использовании РМ_n в смеси с минеральными топливами для автотракторных дизелей можно рекомендовать ее состав (75 % РМ_n+2 5% ТС-1) и (70 % РМ_n+30 % ДТ) с подогревом до 60–65°С и загрузкой двигателя 85–95 %.

Литература

1. Селиванов Н.И., Доржеев А.А. Биотопливо на основе рапсового масла // Сельский механизатор. – 2013. – № 8. – С. 4–5.
2. Доржеев А.А. Технология приготовления и использования биотопливной композиции на сельскохозяйственных тракторах: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Красноярск, 2011. – 20 с.
3. Селиванов Н.И., Доржеев А.А. Эффективность производства и использования биотоплива на основе рапсового масла в тракторных дизелях // Вестн. КрасГАУ. – 2008. – № 4. – С. – 236–241.



УДК 631.55 001.57

А.П. Ловчиков, В.П. Ловчиков, Ш.С. Иксанов

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРЯМОГО КОМБАЙНИРОВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР С ВЫСОКИМ ИЛИ ДВОЙНЫМ СРЕЗОМ СТЕБЛЕЙ

В статье обоснованы составляющие математической модели и приведены результаты теоретических изысканий, раскрывающие взаимозависимости между факторами технологического процесса прямого комбайнирования зерновых культур с высоким или двойным срезом стеблей. Установлена зависимость часовой производительности комбайна от основных факторов, влияющих на эффективность уборки зерновых однофазным способом.

Ключевые слова: пропускная способность молотилки, комбайн, рабочая скорость, высокий и двойной срез, промежуточный продукт, зерновые культуры.

A.P. Lovchikov, V.P. Lovchikov, Sh.S. Iksanov

THE TECHNOLOGICAL PROCESS SUBSTANTIATION OF THE DIRECT HARVESTING OF THE GRAIN CROPS WITH THE HIGH OR DOUBLE STEM CUT

The components of the mathematical model are substantiated and the theoretical research results revealing the interdependence between the technological process factors of the direct harvesting of the grain crops with the high or double stem cut are given in the article. The dependence of the harvester hour productivity on the major factors influencing the efficiency of the grain crop harvesting by the single-phase method is established.

Key words: thresher throughput, harvester, working speed, high and double cut, intermediate product, grain crops.

Введение. Во многих исследованиях [1, 2, 3, 4] отмечается, что часовая производительность комбайнов при уборке зерновых культур прямым комбайнированием зависит от многочисленных факторов, которые условно можно разбить на четыре группы: агротехнические, природно-климатические, организационно-хозяйственные и конструктивные.

Цель исследований. Обоснование целесообразности применения процесса прямого комбайнирования зерновых культур с высоким или двойным срезом стеблей при уборке урожая.

Задачи исследований. Рассмотреть зависимости, характеризующие изменение часовой производительности комбайнов от технологических свойства зерновых культур; определить изменение технико-эксплуатационных параметров комбайна в зависимости от коэффициента соломистости и длины стебля; оценить энергозатраты процесса обмолота хлебной массы.

Материалы и методы исследований. Часовая производительность (га/ч) зерноуборочного комбайна может быть представлена в виде [3, 4]

$$W_{\text{ч}} = 0,1 \cdot B_{\text{ж}} \cdot V_{\text{м}} \cdot T_{\text{т}}, \quad (1)$$

где V_M – рабочая скорость комбайна, км/ч;
 τ_T – коэффициент, учитывающий потери времени по технологическим причинам, $\tau_T = 0,77- 0,83$.
 Ширина захвата жатки ($B_{ж}$, м) комбайна из выражения (1) зависит от следующих факторов [3, 4]:

$$B_{ж} = \frac{q}{V_M \cdot Y_3 \cdot \left(1 + \frac{1}{\delta_C}\right)}$$

или

$$B_{ж} = \frac{360 \cdot q}{V_M \cdot Y_3 \cdot \left(1 + \frac{1}{\delta_C}\right)}, \quad (2)$$

где q – пропускная способность молотилки комбайна, кг/с;
 V_M – рабочая скорость комбайна, м/с;
 Y_3 – урожайность хлебной массы по зерну, кг/га;
 δ_C – коэффициент солоmistости хлебной массы.
 Пропускная способность молотилки комбайна (кг/с) равна [4]:

$$q = 0,6 \cdot q_{п} \cdot \left(1 + \frac{1}{\delta_C}\right) \cdot X, \quad (3)$$

где $q_{п}$ – паспортная пропускная способность молотилки комбайна, кг/с. В расчетах $q_{п} = 8,5$ кг/с;
 X – коэффициент, учитывающий влияние колебаний подачи хлебной массы на пропускную способность молотилки.

При прямом комбайнировании зерновых культур, кроме продуктивных растений, имеются сопутствующие и непродуктивные стебли в виде сорных растений, поэтому с учетом засоренности выражение (3) примет вид [4]:

$$q = 0,6 \cdot q_{п} \cdot \left(1 + \frac{1-\varepsilon}{\delta_C + \varepsilon}\right) \cdot X, \quad (4)$$

где ε – коэффициент, характеризующий засоренность хлебной массы, доля.
 Исходя из выражений (2) – (3) запишем равенство:

$$\frac{B_{ж} \cdot V_M \cdot Y_3 \cdot (1 + \delta_C)}{360} = 0,6 \cdot q_{п} \cdot \left(1 + \frac{1-\varepsilon}{\delta_C + \varepsilon}\right). \quad (5)$$

После преобразований получим:

$$V_M = \frac{360 \cdot 0,6 \cdot q_{п} \cdot \left(1 + \frac{1-\varepsilon}{\delta_C + \varepsilon}\right) \cdot X}{B_{ж} \cdot Y_3 \cdot (1 + \delta_C)}, \quad (6)$$

где V_M – рабочая скорость движения комбайна, м/с.

Выражение (6) позволяет рассмотреть изменения рабочей скорости комбайна в зависимости от технологических свойств зерновых культур. На основании выражений (1) и (6) можно записать, что часовая производительность комбайна равна:

$$W_{\text{ч}} = 0,1 \cdot 3,6 \cdot B_{\text{ж}} \cdot \left[\frac{360 \cdot 0,6 \cdot q_{\text{п}} \cdot \left(1 + \frac{1-\varepsilon}{\delta_{\text{с}} - \varepsilon} \right) \cdot \chi}{B_{\text{ж}} \cdot Y_3 \cdot (1 + \delta_{\text{с}})} \right] \cdot \tau_T. \quad (7)$$

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты расчетов ($B_{\text{ж}} = 6 \text{ м}$, $q_{\text{п}} = 8,5 \text{ кг/с}$, $Y_3 = 120 \text{ кг/га}$) свидетельствуют, что с увеличением как соломистости ($\delta_{\text{с}}$), так и засоренности (ε) зерновых культур или хлебной массы, при обмолоте наблюдается снижение рабочей скорости движения комбайна, а следовательно, и часовой производительности, что в итоге отразится на сроках уборки и потерях урожая (рис. 1).

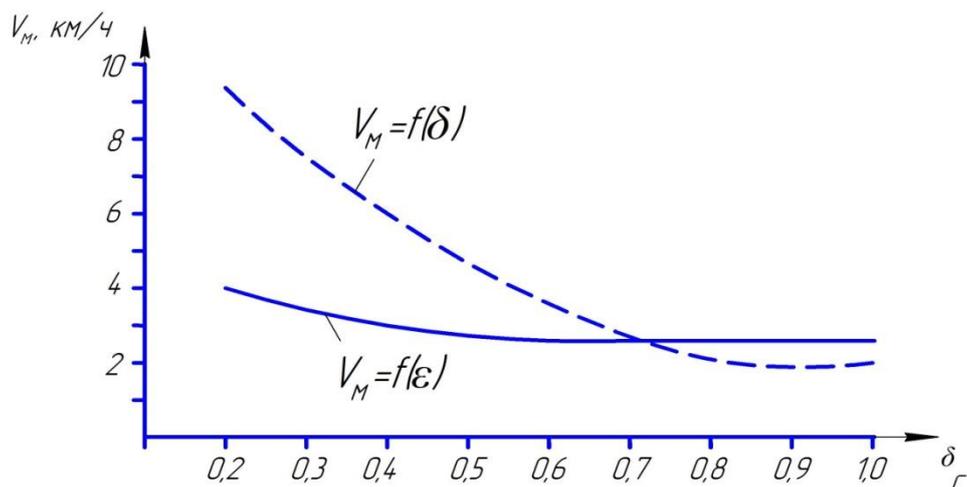


Рис. 1. Изменение рабочей скорости движения (V_M) комбайна в зависимости от соломистости (δ_c) и засоренности (ε) хлебной массы

В работах [4, 5] говорится, что засоренность хлебной массы оказывает двойное влияние на часовую производительность комбайна, с одной стороны, сорняки увеличивают влажность хлебной массы, а с другой – уменьшают относительное содержание зерна в ней. При этом фактор влажности сорняков влияет больше на производительность комбайна, чем их удельная масса в общей растительности, поскольку даже при влажности хлебной массы 14,0–16,0 % влажность сорняков колеблется в пределах 80,0–85,0 %.

На основании экспериментальных данных выведена общая зависимость пропускной способности молотилки комбайна от основных технологических свойств или агробиологических факторов зерновых культур [6]:

$$q = 0,6 \cdot q_{\text{п}} \cdot \left(1 + \frac{1-\varepsilon}{\delta_{\text{с}} + \varepsilon} \right) \cdot \chi \cdot \left(\left[6,67 \cdot 10^{-5} \cdot \omega_{\text{нч}}^3 - 6,3 \cdot 10^{-3} \cdot \omega_{\text{нч}}^2 + 0,158 \cdot \omega_{\text{нч}} - 0,179 \right] \cdot \left(1 - \frac{13,8}{Y_3^2} - \frac{0,1}{Y_3} \right) \right), \quad (8)$$

где $\omega_{\text{нч}}$ – влажность незерновой части урожая (НЧУ), %;

Y_3 – урожайность хлебной массы по зерну, ц/га.

Величина влажности незерновой части урожая ($\omega_{\text{нч}}$) может быть определена по формуле [6]:

$$\omega_{\text{нч}} = \frac{\omega_{\text{с}} \cdot \delta_{\text{с}} \cdot (1 - \varepsilon) + \omega_{\text{сop}} \cdot \varepsilon \cdot (1 + \delta_{\text{с}})}{\delta_{\text{с}} + \varepsilon}, \quad (9)$$

где $\omega_{\text{с}}$ – влажность соломины стебля при прямом комбайнировании зерновых культур, %. В расчетах $\omega_{\text{с}} \in (15,0-40,0)$ %;

$\omega_{\text{сор}}$ – влажность сорных растений хлебной массы, %.

В результате расчетов по формулам (8)–(9) получены графические зависимости на рис. 2, из которых следует, что независимо от объекта воздействия (соломина стебля или сорные растения) происходит увеличение влажности НЧУ с повышением влажности, как соломины стебля, так и сорных растений, а вследствие этого и снижение пропускной способности молотилки комбайна, что в свою очередь отражается на рабочей скорости движения и часовой производительности комбайна.

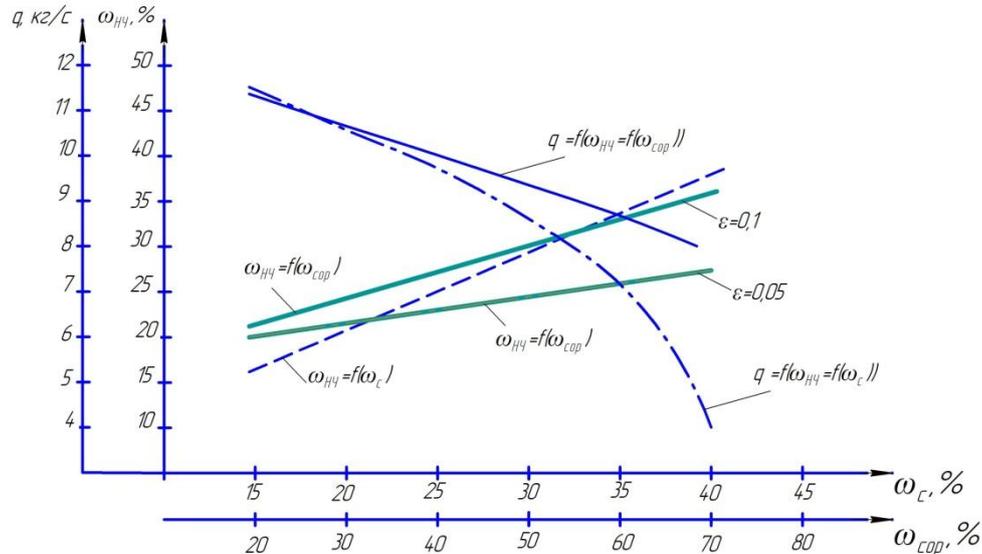


Рис. 2. Изменение влажности незерновой части урожая ($\omega_{\text{нч}}$) и пропускной способности молотилки (q) комбайна в зависимости от влажности соломины стебля (ω_c) и сорных растений ($\omega_{\text{сор}}$)

Графические зависимости (рис. 2) $\omega_{\text{нч}} = f(\omega_{\text{сор}})$ при различной степени засоренности ($\varepsilon = 0,05$ и $\varepsilon = 0,1$ или от 5,0 до 10,0 %) свидетельствуют о том, что с повышением засоренности хлебной массы, то есть доли влажных сорных растений в общей массе, наблюдается резкое увеличение влажности хлебной массы, а это негативно влияет на пропускную способность молотилки, а следовательно, и на рабочую скорость движения комбайна.

В производственных условиях [4, 5, 6] практически все поля зерновых культур засорены в той или иной степени, поэтому увеличение высоты среза на каждые 0,10 м (100 мм) приводит к уменьшению засоренности хлебной массы яровых зерновых культур в среднем на 4,3 %. Уменьшение засоренности и сокращение массы НЧУ, поступающей на рабочие органы молотилки, положительно влияет на выполнение технологического процесса комбайна. Так, увеличение высоты среза на каждые 0,10 м (100 мм) приводит к сокращению массы НЧУ, поступающей в молотилку (яровых на 19,0 %) [4, 5], а это приводит к снижению потерь зерна за молотилкой, особенно свободным зерном в соломе, а также к повышению рабочей скорости движения и часовой производительности комбайна.

Причем из зависимостей рис. 1 видно, что на изменение рабочей скорости движения комбайна более интенсивно влияет такой фактор, как соломистость (δ_c) хлебной массы, который определяется ($m_c / m_c + m_3$), то есть соотношением зерна (m_3) и соломы (m_c) по массе. Соотношение зерна и соломы по массе определяет коэффициент соломистости хлебной массы:

$$\delta_c = \frac{m_c}{m_3 + m_c}, \quad (10)$$

где m_c – масса соломины стебля, г (кг);
 m_3 – масса зерна колоса, г (кг).

На основании экспериментальных данных методом наименьших квадратов (МНК) была получена аналитическая зависимость вида $\delta_c = f(\Delta l_i)$:

$$\delta_c = 4,645 \cdot \Delta l_i^2 - 1,692 \cdot \Delta l_i + 0,724, \quad (11)$$

где Δl_i – уменьшение длины соломины стебля (пшеница Саратовская 38) от основания на линии среза стерни, м. Величина Δl_i изменяется от 0 до 0,20 м с шагом – 0,05 м. Значению $\Delta l_i = 0$ соответствует коэффициент соломистости хлебной массы $\delta_c = 0,724$ при средней длине соломины стебля $l_c = 0,49$ м.

Тогда рабочую скорость движения (м/с) комбайна с учетом изменения коэффициента соломистости (δ_c) в зависимости от высоты срезаемой части стеблей можно записать как

$$V_M = \frac{216 \cdot q_{II} \cdot \left(1 + \frac{1 - \varepsilon}{\delta_c - \varepsilon}\right) \cdot \chi}{B_{ж} \cdot Y_3 \cdot (1 + \delta_c)}$$

или

$$V_M = \frac{216 \cdot q_{II} \cdot \left(1 + \frac{1 - \varepsilon}{(4,645 \cdot \Delta l_i^2 - 1,692 \cdot \Delta l_i + 0,724) + \varepsilon}\right) \cdot \chi}{B_{ж} \cdot Y_3 \cdot (4,645 \cdot \Delta l_i^2 - 1,692 \cdot \Delta l_i + 1,724)}. \quad (12)$$

Совместное решение выражений (12) и (1) позволяет получить изменение часовой производительности комбайна при прямом комбайнировании зерновых культур в зависимости от технологического параметра – длины промежуточного продукта соломины стебля. Результаты расчета рабочей скорости движения комбайна по выражению (12) приведены на рис. 3.

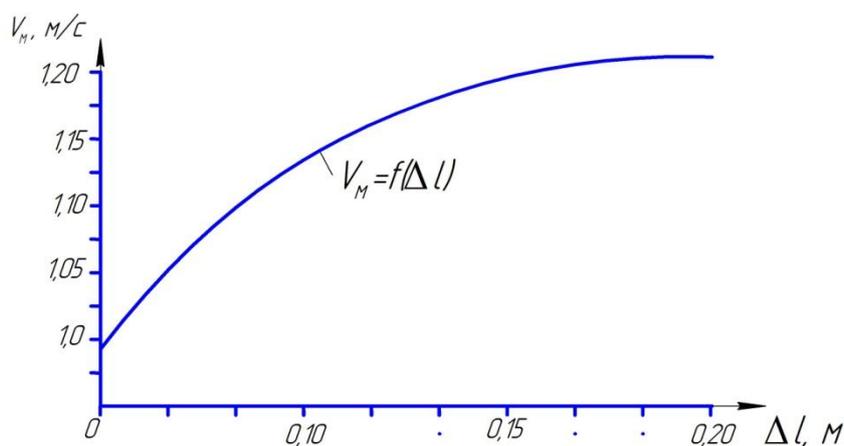


Рис. 3. Изменение рабочей скорости движения (V_M) комбайна в зависимости от уменьшения длины соломины стебля (Δl) от основания на линии среза стерни при прямом комбайнировании зерновых культур

Из рис. 3 видно, что уменьшение длины соломины стебля при их срезе во время скашивания прямым комбайнированием положительно сказывается на рабочей скорости движения машины. Особенно при образовании промежуточного продукта соломины стебля от 0 до 0,10 м от основания линии среза стерни. В этом случае, как показывают расчеты, рабочая скорость движения комбайна увеличивается до 23,0 % по сравнению с традиционным прямым комбайнированием зерновых культур.

Общеизвестно [4, 5, 7], что влажность верхней зерносодержащей части хлебной массы составляет 15,0–25,0 %, а нижней (соломистой) – 21,0–48,0 %. Наличие более влажной нижней части стебля, чем верхней, будет отрицательно сказываться на пропускной способности молотилки, а следовательно, и на рабочей скорости движения, и часовой производительности комбайна. В исследованиях [4, 5, 7] отмечается, что даже в тяжелых условиях работы возможно увеличить производительность комбайна на 20,0–50,0 %, поскольку каждый сантиметр длины нижней части стебля, не поступившего в молотильный аппарат комбайна, позволяет повысить производительность машины на 1,5–2,0 %.

В этом случае изменится энергоемкость процесса обмолота хлебной массы комбайна, которую можно представить в виде баланса следующих составляющих:

$$N_{об} = N_T + N_{из} + N_c + N_3, \quad (13)$$

где N_T – мощность, необходимая на преодоление трения вызванного сжатием хлебной массы в зазорах, кВт;
 $N_{из}$ – мощность, необходимая на преодоление трения от изгиба стеблей, кВт;
 N_c – мощность, необходимая на разрыв стеблей, кВт;
 N_3 – мощность, необходимая на разрушение колосьев, кВт.

Результаты расчетов свидетельствуют, что суммарная необходимая мощность процесса обмолота хлебной массы молотильного аппарата комбайна уменьшается на 5,8–6,8 % при уменьшении длины стеблей. Это позволяет перераспределить эффективную мощность двигателя комбайна в сторону повышения рабочей скорости движения машины, то есть [8]:

$$V_M = \frac{N_e \cdot k_3 - N_{XX}}{(G \cdot f_e / 270 \cdot \eta_{ТА}) + (N_{уд} \cdot B_{ж} \cdot Y_{хл} / 360)}, \quad (14)$$

где V_M – рабочая скорость комбайна, км/ч;
 N_e – эффективная мощность двигателя, кВт;
 k_3 – коэффициент загрузки двигателя;
 N_{XX} – мощность двигателя на холостой привод рабочих органов, кВт;
 G – эксплуатационный вес комбайна, кг.
 Величина $G = G_K + G_3 \cdot k_{зб}$, где G_K – собственный вес комбайна, $G_K = 10500$ кг; G_3 – вес зерна бункера, $G_3 = 6000$ кг; $k_{зб}$ – коэффициент заполнения бункера комбайна зерном, доля. В расчетах $k_{зб} = 1,0$ и $k_{зб} = 0,5$;
 f_e – коэффициент сопротивления движению;
 $\eta_{ТА}$ – тяговый коэффициент полезного действия комбайна;
 $N_{уд}$ – удельная мощность на единицу массы, кВт·с/кг;
 $B_{ж} = B_{жк} \cdot k_{ш}$ – рабочая ширина захвата жатки, м, где $B_{жк}$ – конструктивная ширина захвата жатки; $k_{ш}$ – коэффициент использования ширины захвата жатки;
 $Y_{хл}$ – урожайность (биологическая над линией среза) хлебной массы. Величина $Y_{хл} = Y_3 \cdot (1 + \delta_c)$, ц/га.
 Результаты расчетов по формуле (14) отражены на графической зависимости рис. 4.

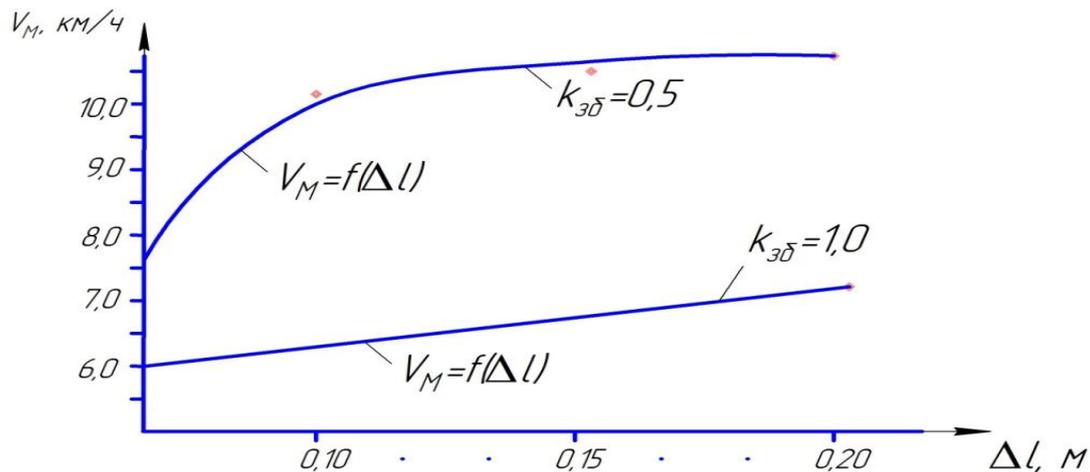


Рис. 4. Изменение рабочей скорости движения комбайна в зависимости от уменьшения длины стеблей (Δl) зерновых культур и степени заполнения бункера зерном ($k_{зб}$)

Зависимость на рис. 4 свидетельствует о том, что с уменьшением длины стеблей при прямом комбайнировании зерновых рабочая скорость движения машины может быть увеличена с 6,0 до 6,9 км/ч, то есть на 15,0 % (степень заполнения бункера зерном 100,0 %). При степени заполнения бункера комбайна зерном на 50,0 % рабочая скорость машины может быть увеличена с 7,6 до 10,3 км/ч, то есть на 35,5 %. Отсюда следует, что снижение соломистости хлебной массы за счет уменьшения длины стеблей ($l_c - \Delta l$) при прямом комбайнировании зерновых культур положительно оказывает влияние на часовую производительность комбайна.

Заключение. Таким образом, аналитические зависимости, раскрывающие взаимосвязь между коэффициентом соломистости, рабочей скоростью движения и часовой производительностью комбайна и длиной промежуточного продукта соломины стебля, свидетельствуют о целесообразности высокого или двойного среза стеблей при прямом комбайнировании зерновых культур.

Уменьшение соломистости хлебной массы за счет изменения соотношения зерна и соломы по массе посредством длины стеблей зерновых культур в момент их скашивания при прямом комбайнировании позволяет увеличить рабочую скорость на 15,0–35,0 %, а следовательно, и часовую производительность комбайна, что отразится на сроках уборки и потерях урожая. При этом суммарная потребная мощность процесса обмолота хлебной массы молотильного аппарата комбайна снижается на 5,8–6,8 % при прямом комбайнировании с высоким или двойным срезом стеблестоя.

Литература

1. Проектирование и организация эффективного процесса уборки зерновых культур /М.М. Константинов, А.П. Ловчиков, В.П. Ловчиков [и др.]. – Екатеринбург: Ин-т экономики УрО РАН, 2011. – 144 с.
2. Ловчиков А.П., Ловчиков В.П., Иксанов Ш.С. Методический подход к разработке процесса прямого комбайнирования зерновых культур с двойным срезом стеблей // Вестн. КрасГАУ. – 2015. – № 1. – С. 89–94.
3. Жалнин Э.В. Презентация курса лекций по теоретическим и прикладным проблемам механизации сельскохозяйственного производства. – М.; Алматы, 2011. – 216 с.
4. Алферов С.А., Коломин А.И., Угаров А.Д. Как работает зерноуборочный комбайн. – М.: Машиностроение, 1981. – 190 с.
5. Пугачев А.Н. Контроль качества уборки зерновых культур. – М.: Колос, 1980. – 255 с.
6. Орманджи К.С. Уборка колосовых культур в сложных условиях. – М.: Россельхозиздат, 1985. – 145 с.
7. Смолинский С.В., Мироненко В.Г. Высота срезания как фактор повышения эффективности функционирования зерноуборочного комбайна // Техника будущего: перспективы развития сельскохозяйственной техники: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – С. 38–39.

