

Теоретический аспект технологического процесса прямого комбайнирования зерновых культур с двойным срезом стеблей

А.П. Ловчиков, д.т.н., В.П. Ловчиков, к.т.н., Ш.С. Иксанов, аспирант, ФГБОУ ВПО Челябинская ГАА

Многочисленные исследования свидетельствуют о том, что часовая производительность зерноуборочных комбайнов при прямом комбайнировании во многом зависит от многочисленных факторов, которые характеризуют технологические свойства зерновых культур [1–3].

Цель исследования – установление закономерностей и зависимостей, характеризующих изменение технико-эксплуатационных параметров комбайнов при уборке зерновых культур прямым комбайнированием с двойным срезом стеблей.

Задачи исследования: рассмотреть закономерности и зависимости, характеризующие изменение часовой производительности комбайнов от технологических свойства зерновых культур, в частности от длины стебля и соотношения зерна и соломы по массе; определить изменение технико-эксплуатационных параметров комбайна в зависимости от коэффициента соломистости и длины стебля.

Материалы и методы исследований. В общем виде часовая производительность (га/ч) зерноуборочного комбайна как преобразующей технической системы может быть представлена в виде [3–5]:

$$W_{\text{ч}} = 0,1 \cdot B_{\text{жс}} \cdot V_M \cdot \tau_T, \quad (1)$$

где V_M – рабочая скорость комбайна, км/ч;

τ_T – коэффициент, учитывающий потери времени по технологическим причинам, $\tau_T = 0,77$ – $0,83$ [3].

Ширина захвата жатки ($B_{\text{жс}}, \text{м}$) комбайна из выражения (1) зависит от следующих факторов [3, 5]:

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

или

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

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 соломистости хлебной массы.

Пропускная способность молотилки комбайна (кг/с) равна [3, 5]:

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

где $q_{\text{п}}$ – паспортная пропускная способность молотилки комбайна, кг/с. В расчётах $q_{\text{п}} = 8,5$ кг/с;

χ – коэффициент, учитывающий влияние колебаний подачи хлебной массы на пропускную способность молотилки.

При прямом комбайнировании зерновых культур в производственных условиях в стеблестое, кроме продуктивных растений, имеются сопутствующие и непродуктивные стебли в виде сорных растений, поэтому с учётом засорённости выражение (3) примет вид [3]:

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

где ε – коэффициент, характеризующий засорённость хлебной массы, доля.

Исходя из выражений (2) и (3), запишем равенство:

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

После преобразований получим:

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

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

Выражение (6) позволяет рассмотреть изменение рабочей скорости комбайна в зависимости от технологических свойств стеблестоя зерновых культур. В расчётах принимаем $B_{\text{жс}} = 6$ м, $q_{\text{п}} = 8,5$ кг/с, $Y_3 = 120$ кг/га, $\chi = 0,97$.

На основании выражений (1) и (6) можно записать, что часовая производительность комбайна равна:

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

Результаты исследований. Результаты расчётов (рис. 1) свидетельствуют, что с увеличением как соломистости (δ_C), так и засорённости (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.

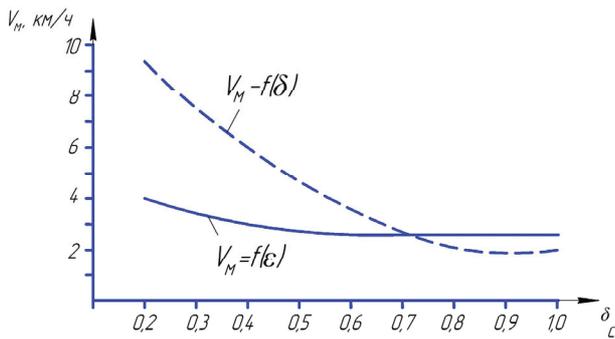


Рис. 1 – Изменение рабочей скорости движения (\$V_M\$) комбайна в зависимости от солоmistости (\$\delta_c\$) и засоренности (\$\epsilon\$) хлебной массы

Установлено, что засоренность хлебной массы (стеблестоя) оказывает двойное влияние на часовую производительность комбайна, вследствие того, что с одной стороны, сорняки увеличивают влажность хлебной массы, а с другой — уменьшают относительное содержание зерна в ней [3–6]. При этом фактор важности сорняков влияет больше на производительность комбайна, чем их удельная масса в общей растительности, поскольку даже при кондиционной влажности хлебной массы (14,0–16,0%) влажность сорняков колеблется в больших 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 [3]:

$$q = 0,6 \cdot q_n \cdot \left(1 + \frac{1 - \epsilon}{\delta_c + \epsilon}\right) \cdot \chi \cdot \left[\left(6,67 \cdot 10^{-5} \cdot \omega_{НЧ}^3 - 6,3 \cdot 10^{-3} \cdot \omega_{НЧ}^2 + 0,158 \cdot \omega_{НЧ} - 0,179 \right) \cdot \left(1 - \frac{13,8}{Y_3^2} - \frac{0,1}{Y_3} \right) \right], \quad (8)$$

где \$\omega_{НЧ}\$ — влажность незерновой части урожая (НЧУ), %;

\$Y_3\$ — урожайность хлебной массы по зерну, ц/га.

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

$$\omega_{НЧ} = \frac{\omega_c \cdot \delta_c \cdot (1 - \epsilon) + \omega_{СОР} \cdot \epsilon \cdot (1 + \delta_c)}{\delta_c + \epsilon}, \quad (9)$$

где \$\omega_c\$ — влажность соломины стебля при прямом комбайнировании зерновых культур, %. В расчётах \$\omega_c \in (15,0 - 40,0)\$ %;

\$\omega_{СОР}\$ — влажность сорных растений хлебной массы, %.

В результате расчётов по формулам (8) и (9) получены графические зависимости (рис. 2), из которых следует, что независимо от объекта воздействия (соломина стебля или сорные растения) происходит увеличение влажности НЧУ с повы-

шением 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.

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

В производственных условиях практически все поля зерновых культур засорены в той или иной степени, что составляет около 15,0% (по массе сорняков) [3, 5, 6]. Поэтому увеличение высоты среза на каждые 0,10 м (100 мм) приводит к уменьшению засоренности хлебной массы яровых зерновых колосовых культур в среднем на 4,3% (по сравнению на корню).

Помимо этого для улучшения выполнения технологического процесса молотилки комбайна имеет значение не только уменьшение засоренности, но и сокращение массы незерновой части урожая (НЧУ), поступающей на рабочие органы молотилки. Так как увеличение высоты среза на каждые 0,10 м (100 мм) приводит к сокращению массы НЧУ, поступающей в молотилку (яровых на 19,0%) [3, 6], а это в свою очередь уменьшает соотношение массы зерна и соломы по массе, что приводит к снижению потерь зерна за молотилкой, особенно свободным зерном в соломе, а также к повышению рабочей скорости движения и часовой производительности комбайна.

Причём из зависимостей (рис. 1) видно, что на изменение рабочей скорости движения комбайна более интенсивно влияет фактор солоmistости (\$\delta_c\$) хлебной массы, который определяется (\$m_c / m_c + m_3\$), т.е. соотношением зерна (\$m_3\$) и соломы (\$m_c\$) по массе, а это есть не что иное, как технологическое свойство хлебной массы или зерновых культур.

Соотношение зерна и соломы по массе определяет коэффициент солоmistости хлебной массы, который определяется по формуле:

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

где \$m_c\$ — масса соломины стебля, г (кг);

\$m_3\$ — масса зерна колоса, г (кг).

Соотношение зерна и соломы по массе как технологическое свойство хлебной массы в свою очередь определяется длиной растения или высотой стеблестоя.

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

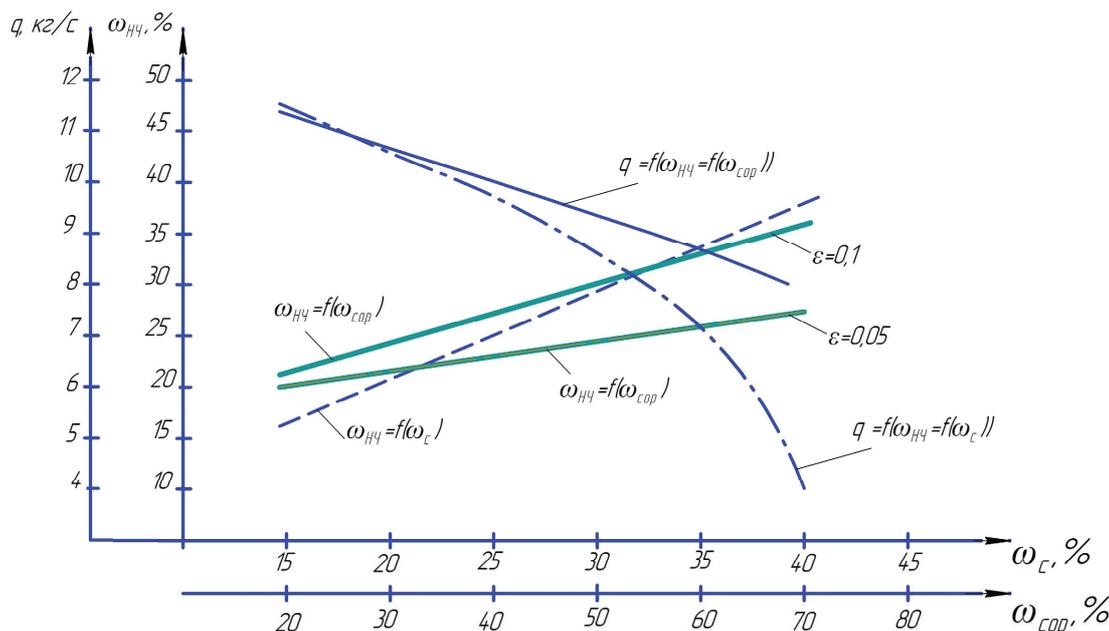


Рис. 2 – Изменение влажности незерновой части урожая ($\omega_{HЧ}$) и пропускной способности молотилки (q) комбайна в зависимости от влажности соломины стебля (ω_C) и сорных растений (ω_{COP})

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

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 солоmistости хлебной массы $\delta_C = 0,724$ при средней длине соломины стебля $l_C = 0,49$ м.

Тогда рабочую скорость движения (м/с) комбайна с учётом изменения коэффициента солоmistости (δ_C) в зависимости от высоты срезаемой части стеблей можно записать как:

$$V_M = \frac{216 \cdot q_{II} \cdot \left(1 + \frac{1 - \varepsilon}{\delta_C - \varepsilon}\right) \cdot \chi}{B_{ж} \cdot V_3 \cdot (1 + \delta_C)}$$

или

$$V_M = \frac{216 \cdot q_{II} \cdot \left(1 + \frac{1 - \varepsilon}{(4,645 \cdot \Delta l_i^2 - 1,692 \cdot \Delta l_i + 0,724) + \varepsilon}\right) \cdot \chi}{B_{ж} \cdot V_3 \cdot (4,645 \cdot \Delta l_i^2 - 1,692 \cdot \Delta l_i + 1,724)}, \quad (12)$$

где Δl_i – уменьшение длины соломины стебля при их срезе, м.

Совместное решение выражений (12) и (1) позволяет получить изменение часовой производительности зерноуборочного комбайна при прямом комбайнировании зерновых культур в зависимости от технологического параметра – длины промежуточного продукта соломины стебля.

Результаты расчёта рабочей скорости движения (V_M) комбайна по выражению (13) показывают, что уменьшение длины соломины стебля при их срезе во время скашивания прямым комбайнированием положительно сказывается на рабочей скорости

движения зерноуборочного комбайна (рис. 3). Особенно при образовании промежуточного продукта стебля от 0 до 0,10 м от основания на линии среза стерни, где наиболее высокая влажность соломины стебля.

Результатами расчётов по выражению (12) установлено, что при уменьшении длины соломины стебля от основания до 0,10 м при прямом комбайнировании зерновых культур рабочая скорость движения машины (V_M) повышается до 23,0% по сравнению с традиционным прямым комбайнированием.

Кроме того, общеизвестно, что влажность верхней зерносодержащей части зерновых колосовых культур составляет 15,0–25,0%, а нижней (солоmistой) – 21,0–48,0% [3, 6, 7]. Наличие более влажной нижней части стебля, чем верхней, будет отрицательно сказываться на пропускной способности молотилки, а следовательно, и на поступа-

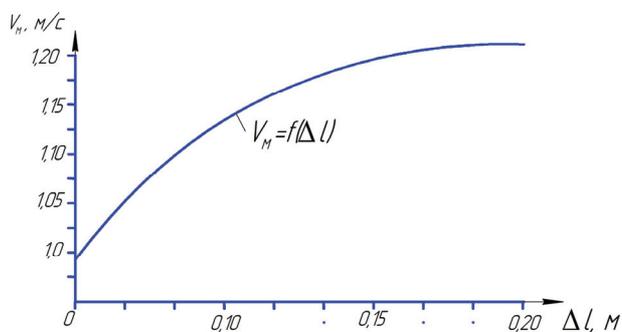


Рис. 3 – Изменение рабочей скорости движения (V_M) комбайна в зависимости от уменьшения длины соломины стебля (Δl) от основания на линии среза стерни при прямом комбайнировании зерновых культур

тельной рабочей скорости движения комбайна, и на его часовой производительности.

В связи с этим технологически целесообразно данную часть соломины стебля отделить до поступления его в молотильный аппарат зерноуборочного комбайна. Изменение длины стебля в меньшую сторону посредством среза жаткой до обмолота уменьшает коэффициент соломистости, который определяется соотношением зерна и соломы по массе. Влажное нижнее основание стебля остаётся на поверхности поля вместе со стернёй, а это означает, что можно начинать работу раньше и заканчивать позже. За счёт этого в тяжёлых условиях работы можно увеличить производительность комбайна на 20,0–50,0%, поскольку каждый сантиметр длины нижней части стебля, не поступившего в молотильный аппарат комбайна, позволит повысить производительность машины на 1,5–2,0% [6, 7].

Выводы. Таким образом, уменьшение соломистости хлебной массы за счёт изменения соотношения зерна и соломы по массе посредством длины стебля зерновых колосовых культур в момент их скашивания при прямом комбайнировании позволяет повысить пропускную способность молотилки, а следовательно, и рабочую скорость движения комбайна и его часовую производительность, что отразится на сроках уборки и потерях урожая.

Установлено, что наиболее интенсивно уменьшается рабочая скорость комбайна при прямом комбайнировании зерновых культур с двойным

срезом стеблей, когда образуется промежуточный продукт в виде соломины длиной до 0,10 м. В этом случае влажное нижнее основание стебля остаётся на поверхности поля вместе со стернёй и не поступает в молотильный аппарат.

Получены аналитические зависимости, раскрывающие взаимосвязь между коэффициентом соломистости, рабочей скоростью движения, часовой производительностью комбайна и длиной промежуточного продукта соломины стебля, образованного при прямом комбайнировании зерновых культур, что позволяет в последующем оценить энергозатраты процесса обмолота хлебной массы.

Литература

1. Константинов М.М., Ловчиков А.П., Ловчиков В.П. и др. Проектирование и организация эффективного процесса уборки зерновых культур. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2011. 144 с.
2. Жалнин Э.В. Презентация курса лекций по теоретическим и прикладным проблемам механизации сельскохозяйственного производства. М-Алматы: Изд. «Агроуниверситет», 2011. 216 с.
3. Орманджи К.С. Уборка колосовых культур в сложных условиях. М.: Россельхозиздат, 1985. 145 с.
4. Трубилин Е.И., Аблинов В.А. Машины для уборки сельскохозяйственных культур (конструкция, теория и расчет): учеб. пособие. Краснодар: КубГАУ, 2010. 325 с.
5. Алферов С.А., Коломин А.И., Угаров А.Д. Как работает зерноуборочный комбайн. М.: Машиностроение, 1981. 190 с.
6. Пугачев А.Н. Контроль качества уборки зерновых культур. М: Колос, 1980. 255 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.-практич. конф. Краснодар: КубГАУ, 2013. С. 38–39.