

## Обоснование прямого комбайнирования зерновых культур с образованием высокостерневой кулисы в колее комбайна

*А.П. Ловчиков, д.т.н., В.П. Ловчиков, к.т.н., Е.А. Поздеев, аспирант, ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ*

Современная практика и наука в последнее время обращают внимание на ресурсосберегающие технологии: уборка зерновых культур, которая включает в себя биологизацию земледелия и направлена на восстановление плодородия почв, сохранение водных ресурсов за счёт снегозадержания и уменьшения испарения влаги из почвы, повышение урожайности и сохранение материально-технических ресурсов [1–6].

**Материал и методы исследования.** Исследование проводили с целью обоснования технологических параметров процесса прямого комбайнирования зерновых культур с образованием высокостерневой кулисы в колее комбайна. В процессе исследования решались следующие задачи: обоснование дифференциации высоты стерни зерновых культур при уборке урожая прямым комбайнированием с образованием высокостерневой кулисы в колее комбайна; выявление закономерностей, характеризующих снегозадерживающую способность высокостерневой кулисы на поле; установление взаимосвязи между параметрами, характеризующими технологические свойства высокостерневой кулисы.

Исследование базируется на общепринятых методологических положениях общелогического подхода, формализованного метода и математического анализа.

**Результаты исследования.** В ходе уборки зерновых культур прямым комбайнированием с образованием высокостерневой кулисы в колее комбайна образуется дифференциация высоты стерни за счёт различной высоты среза стеблей, которая представлена на рисунке 1.

По рисунку видно, что ширина захвата жатки при прямом комбайнировании зерновых культур с образованием высокостерневой кулисы в колее комбайна определяется как сумма:

$$B_{жс} = 2B_{нс} + 2B_{шк} + B_{вск}, \quad (1)$$

где  $B_{жс}$  – ширина захвата жатки комбайна, м;

$B_{нс}$  – ширина полосы стерни нормального среза стеблей зерновых, м;

$B_{шк}$  – ширина колеса комбайна, м;

$B_{вск}$  – ширина высокостерневой кулисы в колее комбайна.

Дифференциацию стерни зерновых по высоте можно охарактеризовать двумя параметрами:  $h_{см}$  – высота стерни при нормальном срезе стеблей зерновых, м;  $H_{дсм}$  – максимально допустимая высота среза стеблей зерновых культур при прямом комбайнировании, м. Величину параметра стерни  $H_{дсм}$  можно представить как сумму двух составляющих ( $h_{см}$  и  $h$ ), где  $h$  – длина стебля, которая должна быть удалена дополнительными режущими устройствами комбайновой жатки, м. Исходя из этого на полосах  $B_{нс}$  стерня высотой  $H_{дсм}$  должна быть уменьшена на величину  $h$ , что можно выразить зависимостью:

$$h_{см} = H_{дсм} - h. \quad (2)$$

Для последующего определения соотношения между параметрами ( $B_{нс}$ ,  $B_{жс}$ ,  $B_{вск}$ ) и анализа взаимосвязи между параметрами  $H_{дсм}$  и  $B_{вск}$  высокостерневой кулисы в колее комбайна найдём площадь образованной стерни при проходе комбайна с жаткой, которая равна:

$$S_{см} = B_{жс} \cdot H_{дсм}$$

где  $S_{см}$  – площадь стерни, образованной при проходе комбайна с жаткой, м<sup>2</sup>.

На основе выражения (1) с учётом  $h_{см}$  и  $h$  найдём общую площадь  $S_{см}$  стерни, которая равна:

$$S_{см} = 2B_{нс} \cdot H_{дсм} + B_{вск} \cdot H_{дсм} + 2B_{шк} \cdot H_{дсм}$$

Площадь (м<sup>2</sup>) стерни участка  $B_{нс}$  состоит из двух составляющих:

$$B_{нс} \cdot H_{дсм} = B_{нс} \cdot h_{см} + B_{нс} \cdot h$$

Поскольку в колее комбайна образуется высокостерневая кулиса, тогда площадь участка  $B_{нс}$  должна быть записана как:

$$S_{см} = 2B_{нс} \cdot (H_{дсм} - h). \quad (3)$$

Площадь (м<sup>2</sup>) стерни участка  $B_{шк}$  равна:

$$S_{шк} = 2B_{шк} \cdot H_{дсм}. \quad (4)$$

Площадь (м<sup>2</sup>) высокостерневой кулисы в колее комбайна равна:

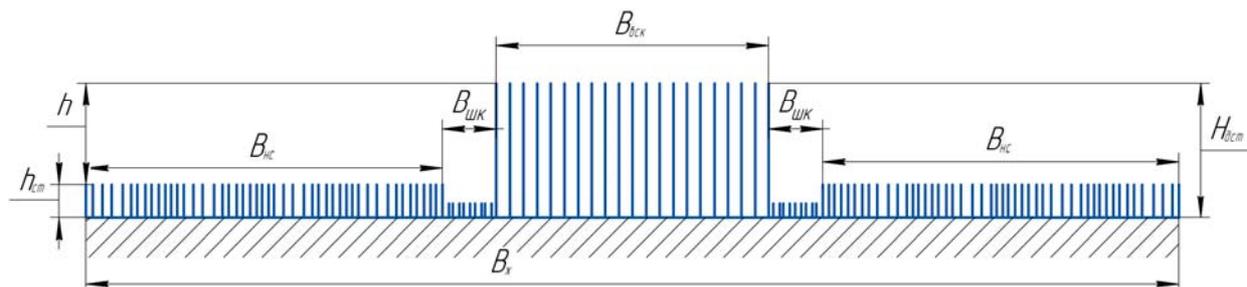


Рис. 1 – Дифференциация высоты стерни при уборке зерновых прямым комбайнированием с образованием высокостерневой кулисы в колее

$$S_{вск} = B_{вск} \cdot H_{дсм}. \quad (5)$$

На основе выражений (3–5) найдём соотношение полос стерни зерновых по ширине захвата жатки  $B_{жс}$ , которое равно:

$$\begin{aligned} & \frac{2B_{нс} \cdot (H_{дсм} - h)}{H_{дсм} \cdot (2 \cdot B_{нс} + B_{вск} + 2 \cdot B_{шк})} = \\ & = \frac{2 \cdot B_{шк} \cdot H_{дсм}}{H_{дсм} \cdot (2 \cdot B_{нс} + B_{вск} + 2 \cdot B_{шк})} = \\ & = \frac{B_{вск} \cdot H_{дсм}}{H_{дсм} \cdot (2 \cdot B_{нс} + B_{вск} + 2 \cdot B_{шк})} = 1,0. \quad (6) \end{aligned}$$

Из выражения (6) можно найти соотношение между площадью удаляемой стерни зерновых и высотой кулисы:

$$\begin{aligned} & \frac{2B_{нс} \cdot (H_{дсм} - h)}{H_{дсм} \cdot (2 \cdot B_{нс} + B_{вск} + 2 \cdot B_{шк})} = \\ & = \frac{2 \cdot B_{шк} \cdot H_{дсм}}{H_{дсм} \cdot (2 \cdot B_{нс} + B_{вск} + 2 \cdot B_{шк})}. \end{aligned}$$

После преобразования можно записать:

$$\frac{2B_{нс}}{B_{вск}} = \frac{H_{дсм}}{H_{дсм} - h}.$$

Соотношение длины полос стерни зерновых между  $B_{вск}$  и  $B_{шк}$  можно найти из равенства:

$$B_{вск} \cdot H_{дсм} = 2 \cdot B_{шк} \cdot H_{дсм} \quad \text{или} \quad \frac{B_{шк}}{B_{вск}} = \frac{1}{2}.$$

В случае, когда высота  $H_{дсм}$  на участке  $B_{шк}$  равна  $h_{см}$ , то после преобразований получим:

$$\frac{2B_{шк}}{B_{вск}} = \frac{H_{дсм}}{H_{дсм} - h}.$$

Из вышеизложенного следует, что соотношение технологических параметров стерни в случае прямого комбайнирования зерновых культур с образованием высокостерневой кулисы в колее комбайна определяется прежде всего высотой стерни ( $H_{дсм}$  и  $h_{см}$ ) и шириной колее  $B_{вск}$ . Параметры высокостерневой кулисы на поле  $H_{дсм}$  и  $B_{вск}$  в последующем будут определять её снегозадерживающую способность, которая характеризует как задержание, так и накопление снега на поле зерновых культур.

Снегозадерживающая эффективность высокостерневой кулисы на поле во многом определяется и шириной снегоспособной площади между полосами кулис (межкулисным расстоянием), которая учитывается посредством коэффициента редукиции  $K_p$ . Данный коэффициент  $K_p$ , характеризует объём снеготранспорта при различной ширине захвата прилегающих снегоспособных площадей. Поскольку расстояние между высокостерневыми кулисами равно ширине захвата жатки комбайна, которая изменяется от 6,0 до 8,0 м, что намного меньше 100 м, то величину коэффициента редукиции  $K_p$  можно принять равной нулю [7]. Тогда снегозадерживающая способность высокостерневой кулисы на поле может быть определена по зависимости [8]:

$$V_{ск} = 0,5 \cdot B_{вск} \cdot H_{дсм}, \quad (7)$$

где  $V_{ск}$  – объём задерживаемого снега, м<sup>3</sup>;  
 $B_{вск}$  – ширина высокостерневой кулисы на поле, м;  
 $H_{дсм}$  – высота стеблей стерневой кулисы, м.

По выражению (7) видно, что снегозадерживающая способность высокостерневой кулисы зависит от параметров  $B_{вск}$  и  $H_{дсм}$ . Так, высота снежного покрова на поле прямо пропорциональна высоте стерни зерновых и определяется зависимостью [8–10]:

$$H_{сн} = a \cdot H_{дсм} - c, \quad (8)$$

где  $H_{сн}$  – высота снежного покрова на поле, м;  
 $H_{дсм}$  – высота стерни зерновых культур,  $H_{дсм} \in (0,15-0,7)$  м;  
 $a$  и  $c$  – коэффициенты пропорциональности, определяемые на основе экспериментальных данных,  $a = 0,995$ ;  $c = 0,01$ .

Запас влаги (мм) в почве зависит от высоты стерни зерновых культур и изменяется согласно выражению:

$$Z_{вл} = a_1 \cdot H_{дсм} - c_1, \quad (9)$$

где  $a_1$  и  $c_1$  – коэффициенты, пропорционально определяемые на основе экспериментальных. Установлено, что  $a_1 = 315,629$ ;  $c_1 = 4,472$ .

Из выражений (8) и (9) следует, что с увеличением высоты стерни кулисы  $H_{дсм}$  наблюдается повышение снежного покрова и запаса почвенной влаги, что в последующем положительно скажется на урожайности зерновых культур.

При этом необходимо иметь в виду, что наличие рельефа стерни и ветра приводит к неравномерности снежного покрова на поле из-за образования горизонтального переноса снега, который может быть описан зависимостью [7]:

$$i_{нс} = c \cdot V_{в}^3,$$

где  $i_{нс}$  – интенсивность горизонтального переноса снега, м<sup>3</sup>/пог. · м · с;

$c$  – коэффициент пропорциональности, величина которого зависит от плотности снега в сугробах.  $c = 0,00026$  для условий Урала и Сибири [7];

$V_{в}$  – скорость ветра на высоте флюгера, м/с.

В работе Ю.А. Шекихачева [11] отмечается, что перенос снега происходит всю зиму при скорости ветра больше 2–4 м в сек., что актуально для степных зон Южного Урала.

Количество переносимого снега  $V_{ск}^n$  за время  $t$  действия естественного ветра определённого направления равно (м<sup>3</sup>):

$$V_{ск}^n = i_{нс} \cdot t.$$

Тогда объём снега, накапливаемого высокостерневой кулисой на поле зерновых культур, равен:

$$Q_{сн} = V_{ск}^n \cdot K_{зс} \cdot L_{вск}, \quad (10)$$

где  $K_{зс}$  – коэффициент задержки снега высокостерневой кулисой на поле;

$L_{вск}$  – длина высокостерневой кулисы на поле зерновых культур, м.

Из выражения (10) видно, что объём снега, накапливаемого на поле, в основном зависит от коэффициента задержки снега  $K_{зс}$ , который характеризует процесс снегозадержания и накопления снега на поверхности поля.

Снегозадерживающая и накапливающая способность высокостерневой кулисы на поле определяется не только высотой стерни  $H_{дсм}$  и шириной  $B_{вск}$ , но и густотой стеблестоя  $N_{см}$  в кулисе. Параметры  $H_{дсм}$  и  $N_{см}$  кулисы образуют площадь ( $m^2$ ) сопротивления, которая может быть определена по зависимости:

$$S_{вск}^{сн} = N_{см}^1 \cdot d_{см} \cdot H_{дсм}, \quad (11)$$

где  $N_{см}^1$  – количество стеблей на одном метре длины высокостерневой кулисы шт.;

$d_{см}$  – диаметр стебля зерновых культур (пшеница),  $d_{см} = 0,002$  м [2, 5].

Тогда  $N_{см}^1 = \frac{1}{d_{см}} = 500$  шт. – высокостерневую кулису можно рассматривать как сплошную непроницаемую заградительную (защитную) полосу.

В действительности высокостерневая кулиса не может быть сплошной заградительной полосой, поскольку ширина кулисы  $B_{вск}$  характеризуется наличием определённого количества рядов стерни, количество (шт.) которых можно найти по формуле:

$$N_{psc} = \frac{B_{вск}}{R_m}, \quad (12)$$

где  $R_m$  – межрядковое расстояние между срезаемых зерновых культур, определяемое способом посева, м.

Помимо этого стебли растений в ряду расположены хаотично (случайно) по длине между собой. Поэтому высокостерневая кулиса, расположенная на поле, будет характеризоваться проницаемостью. Для этого введём коэффициент проницаемости кулисы, который характеризует способность стерни зерновых культур пропускать сквозь себя воздушный поток, а следовательно, и снег. Рассчитать коэффициент проницаемости  $k_{np}$  высокостерневой кулисы на поле можно по формуле:

$$k_{np} = 1 - \frac{N_{см}}{N_{см}^{max}}, \quad (13)$$

где  $N_{см}$  – текущее значение густоты стеблестоя зерновых культур, шт/ $m^2$ ;

$N_{см}^{max}$  – максимально возможная густота стеблестоя зерновых культур, при которой высокостерневая кулиса непроницаема,  $N_{см}^{max} = 2500$  шт/ $m^2$ .

Величина коэффициента  $k_{np}$  изменяется от 0 до 1,0. При  $k_{np} = 0$  высокостерневая кулиса на поле характеризуется как сплошная заградительная полоса.

Соотношение  $N_{см} / N_{см}^{max}$  характеризует, по сути дела, такое свойство высокостерневой кулисы, как непроницаемость, которую можно оценить посредством коэффициента непроницаемости:

$$k_n = 1,0 - k_{np}.$$

Графическая интерпретация коэффициентов  $k_{np}$  и  $k_n$ , представленная на рисунке 2, свидетельствует о том, что с увеличением густоты стеблестоя зерновых культур проницаемость воздушным потоком, а следовательно, и снегом, высокостерневой кулисы уменьшается. Это свидетельствует о том, что кулиса начинает приобретать свойство сплошной заградительной полосы, что подтверждается увеличением коэффициента непроницаемости  $k_{np}$  (рис. 2), а это отражается и на снегозадерживающей способности кулисы.

**Выводы.** Выявленные закономерности свидетельствуют о том, что снегозадерживающая способность высокостерневой кулисы на поле определяется прежде всего такими параметрами, как  $B_{вск}$  – ширина кулисы и  $H_{дсм}$  – высота стерни.

В ходе установления закономерностей, характеризующих снегозадерживающую способность высокостерневой кулисы на поле, были выведены коэффициенты  $k_{np}$  и  $k_n$ , которые отражают проницаемость и непроницаемость воздушным и снежным потоком высокостерневой кулисы. Выявлено, что величины данных коэффициентов зависят от густоты стеблестоя зерновых культур.

Технологические свойства высокостерневой кулисы во многом определяются параметром  $H_{дсм}$ , который образуется при комбайнировании

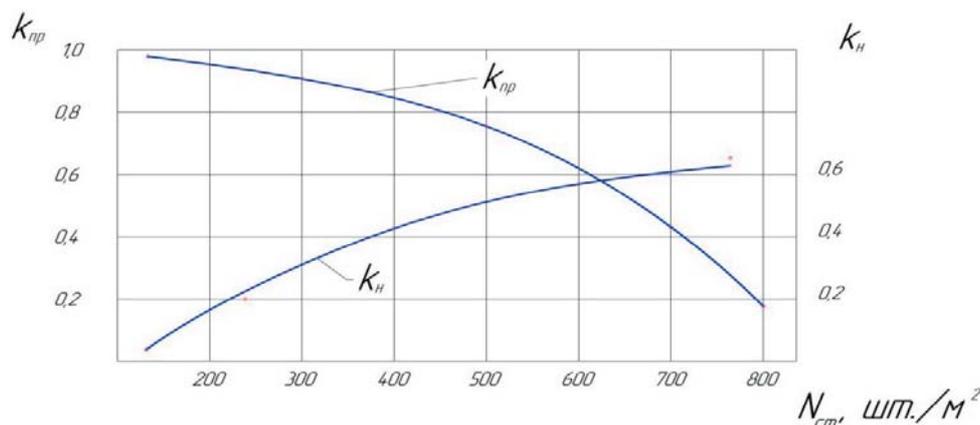


Рис. 2 – Изменение коэффициентов  $k_{np}$  и  $k_n$  в зависимости от густоты стеблестоя зерновых культур

зерновых культур. Поэтому далее необходимо рассмотреть процесс прямого комбайнирования зерновых культур с раскрытием закономерностей, обеспечивающих образование технологического параметра высокостерневой кулисы  $H_{\text{ост}}$ .

### Литература

1. Ловчиков А.П., Ловчиков В.П., Поздеев Е.А. Биологизация земледелия в ресурсосберегающих технологиях возделывания зерновых культур // Международный научно-исследовательский журнал (International Research Journal). № 1143. 4.2, Екатеринбург, 2016. С. 44–46.
2. Ловчиков А.П. Техничко-технологические основы совершенствования зерноуборочных комбайнов с большим молотильным аппаратом. Ульяновск: Зебра, 2016. 111 с.
3. Проектирование и организация эффективности процесса уборки зерновых культур / М.М. Константинов, А.П. Ловчиков, В.П. Ловчиков, П.И. Огородников. Екатеринбург: Институт экономики УрОРАН, 2011. 144 с.
4. Ловчиков А.П. К обоснованию сроков уборки зерновых культур и технической оснащённости уборочного процесса в технологии производства плющеного кормового зерна / А.П. Ловчиков, В.П. Ловчиков, С.Ш. Иксанов, А.В. Корытко, П.А. Косов // Вестник КрасГАУ. 2012. № 9. С. 177–182.
5. Ловчиков А.П., Ловчиков В.П., Поздеев Е.А. Агротехническая оценка работы измельчителей-разбрасывателей соломы комбайнов при уборке зерновых культур прямым комбайнированием // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 2 (58). С. 55–57.
6. Константинов М.М. Оценка качественных показателей формирования хлебных валков, их подбора и обмолота при использовании порционной жатки на раздельной уборке зерновых культур / М.М. Константинов, И.Н. Глушков, И.В. Герасименко, А.А. Панин, В.И. Квашенников, А.П. Ловчиков // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 6 (62). С. 68–77.
7. Рекомендации по изысканию и проектированию снегозадерживающих лесных полос вдоль автомобильных дорог. М., 1982. 113 с.
8. Способы задержания снега. [Электронный ресурс]. URL: // <http://agroibfo.kz/sposoby-zaderzhania-snega/>. С. 1–3.
9. Зачем задерживать снег и как сохранить влагу весной? [Электронный ресурс]. URL: // <http://agroibfo.kz/zachem-zaderzhivat-sneg-kak-soxranit-vlagu-vesnoj/>. С. 1–3.
10. Стерню – очесать, снег – накопить. [Электронный ресурс]. URL: // <http://agroibfo.kz/sternyu-ochesat-sneg-nakorpit/>. С. 1–3.
11. Шекихачев Ю.А. Снегозадержание как эффективный способ повышения урожайности сельскохозяйственных культур в Кабардино-Балкарской Республике // Novainfo. Ru. 2016. № 48. С. 1–6.