

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА УБОРКИ КУКУРУЗЫ НА СИЛОС

Сергей Дмитриевич Шепелёв¹
Владимир Дмитриевич Шепелёв²
Никита Юрьевич Высоцкий¹

¹Южно-Уральский государственный аграрный университет

²Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)

Проведенный анализ эффективности процесса уборки кукурузы на силос показывает, что в производстве не учитывается в полной мере влияние различных по скороспелости гибридов кукурузы на потребность в техническом оснащении, что является одним из перспективных направлений повышения эффективности машиноиспользования. В условиях дефицита трудовых и материальных ресурсов необходимо выявить закономерности изменения параметров механизированных процессов уборки при использовании гибридов кукурузы с различными сроками созревания. С позиции системного анализа разработана структурная схема управления механизированным процессом уборки. На основе экономико-математического моделирования определены закономерности между процессами роста, накопления обменной энергии силосных культур и затратами на привлечение трудовых и технических ресурсов. Получены целевые функции по определению удельного веса площадей, занимаемых ультраранними (ФАО 110), раннеспелыми (ФАО 180) и среднеспелыми (ФАО 140) гибридами кукурузы (оптимальное соотношение соответственно 15, 40, 45% в структуре посевных площадей), определено потребное количество уборочных агрегатов с учетом уровня эксплуатации технических средств. Правильное определение срока уборки кукурузы на силос является решающим условием для снижения себестоимости производства силоса и расчета потребности в техническом обеспечении. Определение оптимального периода уборки особенно важно для хозяйств, которые возделывают кукурузу на силос на больших площадях. Возделывание гибридов кукурузы с различными сроками созревания позволяет продлить период уборки, уменьшать потребное количество уборочных и транспортных агрегатов до 30% и, как следствие, повышать эффективность использования техники и получать максимальную прибыль.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: уборка урожая, гибриды кукурузы, продуктивность, затраты, соотношение площадей.

SIMULATION OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF MAIZE HARVESTING FOR SILAGE

Sergey D. Shepelev¹
Vladimir D. Shepelev²
Nikita Yu. Vysotsky¹

¹South Ural State Agrarian University

²South Ural State University (national research university)

The performed analysis of efficiency of the process of harvesting maize for silage shows that the production process does not fully take into account the influence of different early-maturity maize hybrids on the need for technical equipment, which is one of the promising areas for increasing the efficiency of machine use. In the conditions of shortage of labor and material resources it is necessary to identify the patterns of changes in the parameters of mechanized harvesting processes when using maize hybrids with different terms of maturation. From the point of view of system analysis a block diagram of controlling the process of mechanized harvesting was developed. On the basis of economic and mathematical modeling the authors determined the regularities between the processes of growth, accumulation of exchange energy of silage crops and the costs of attracting labor and technical resources. Target functions were obtained to determine the ratio between the areas under ultra-early (FAO 110), early (FAO 180), and medium-early (FAO 140) maize hybrids (the optimal ratio being 15%, 40%, and 45%, respectively, in the structure of cultivated areas). The required number of harvesting units was determined taking into account the level of operational activity of technical means. The correct determination of terms to harvest maize for silage is a crucial condition for reducing the cost of silage production and calculating the need for technical support. Determining the optimal harvesting

period is especially important for farms that cultivate maize for silage on large areas. Cultivation of maize hybrids with different ripening terms allows prolonging the harvesting period, reducing the required number of harvesting and transport units by 30% and, as a result, increasing the efficiency of machine use and maximizing the profit.

KEYWORDS: harvesting, maize hybrids, productivity, costs, area ratio.

В современных условиях эффективность животноводства в значительной мере зависит от стоимости производства кормов. Многочисленные научные исследования и опыт производства показывают, что в рацион крупного рогатого скота должен входить кукурузный силос [1, 3, 5, 7, 8]. Кроме того, необходимо учитывать, что функционирование сельскохозяйственного производства протекает в условиях хозяйственного риска, который связан с природными факторами [5, 6].

Проведенный анализ эффективности процесса уборки кукурузы на силос показывает, что в производстве не учитывается в полной мере влияние различных по скороспелости гибридов кукурузы на потребность в техническом оснащении, что является одним из перспективных направлений повышения эффективности машиноиспользования. В условиях дефицита трудовых и материальных ресурсов необходимо выявить закономерности изменения параметров механизированных процессов уборки при использовании гибридов кукурузы с различными сроками созревания. Маневрирование различными по скороспелости гибридами кукурузы, их рациональное сочетание позволяют растянуть период уборки, сократить количество уборочных и транспортных агрегатов и, как следствие, снизить потребность в трудовых ресурсах [4, 10].

Рациональное построение силосоуборочного процесса может быть осуществлено на основе экономико-математического моделирования с учетом стоимости продукции и затрат на ее уборку [2, 9]. На основе экономико-математического моделирования определены закономерности между процессами роста, накопления обменной энергии силосных культур и затратами на привлечение трудовых и технических ресурсов.

С позиции системного анализа разработана структурная схема управления механизированным процессом уборки (рис. 1).

Входные параметры системы:

- количество уборочных агрегатов (n);
- количество механизаторов (n_m);
- площадь уборки при возделывании различных по скороспелости гибридов кукурузы на силос (F);

- коэффициент использования времени смены (τ);

- стоимость продукции (C_{np});

- урожайность (U).

Параметры на выходе системы:

- прибыль (P_p);

- себестоимость продукции ($C_{себ}$);

- оптимальная длительность уборочных работ (D).

Управляемые параметры системы:

- фактическая длительность уборочных работ (D_p);

- сезонная нагрузка на силосоуборочный комбайн (Q).

С увеличением длительности выполнения уборочных работ (D) ухудшается качество продукции и снижается цена. Поэтому и необходимо введение рационального соотношения гибридов кукурузы на силос для уборки урожая в рекомендуемые агротехнические сроки. В качестве неуправляемых параметров выступают погодные условия.

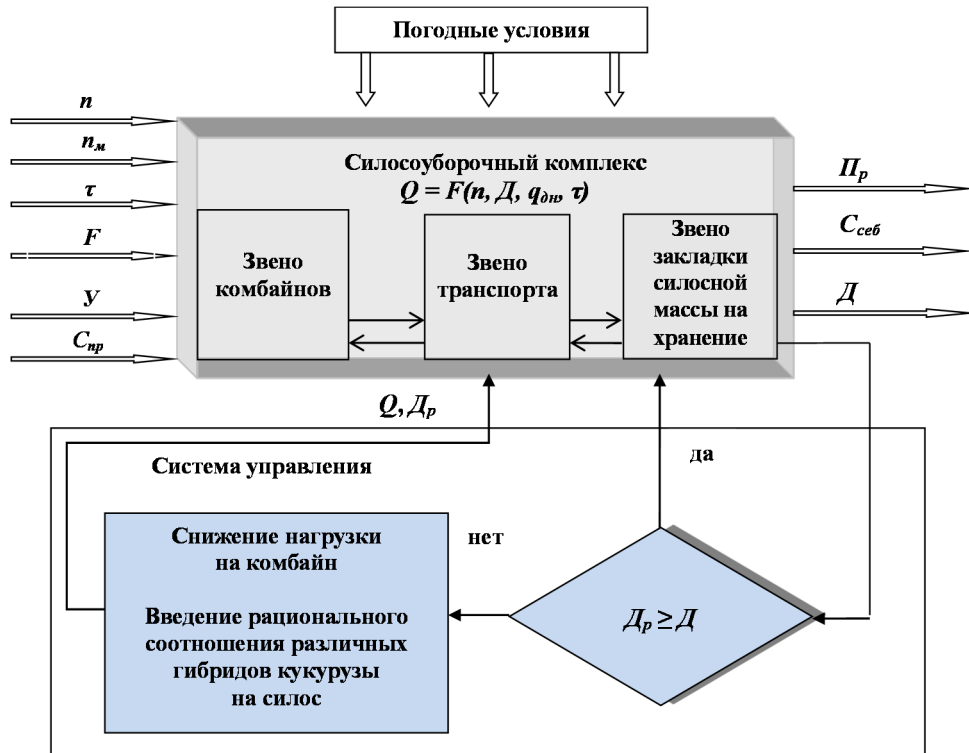


Рис. 1. Структурная схема управления силосоуборочным процессом:

- Q – сезонная нагрузка на силосоуборочный комбайн;
- F – площадь уборки при возделывании различных по скороспелости гибридов кукурузы на силос; n – количество силосоуборочных агрегатов; n_m – количество механизаторов;
- D_p – фактическая длительность работ; D – оптимальная длительность уборочных работ;
- $q_{дн}$ – дневная производительность силосоуборочного комбайна;
- τ – коэффициент использования времени смены; $C_{пр}$ – стоимость продукции;
- $C_{себ}$ – себестоимость продукции; P_p – прибыль; Y – урожайность

Критерием целевой функции по экономическому обоснованию площади посева гибридов кукурузы и определения рациональной технической оснащённости является прибыль предприятия $S(F)$.

Как известно, прибыль предприятия $S(F)$ представляет собой разность между стоимостью урожая [1] и затратами на привлечение технологических и транспортных машин [10]. С учетом рационального соотношения различных по скороспелости гибридов кукурузы прибыль определяется как

$$S(F) = \frac{\int_{t_0}^{t_k} (C_{k.e} K_y) dt}{t_k - t_0} - Q Y G k_{в.к} - \sum_{i=1}^n B_i \alpha \gamma_i + \sum_{\zeta=m}^m B_{\zeta} \alpha \gamma_{\zeta}, \quad (1)$$

где $C_{k.e}$ – энергетическая питательность кукурузы на силос, зависящая от длительности выполнения силосоуборочных работ, мДж/ц;

K_y – зависимость урожайности кукурузы на силос от сроков выполнения силосоуборочных работ;

t_k, t_0 – фактическое время начала и окончания силосоуборочных работ, дни;

G – себестоимость силоса, руб./мДж;

$k_{в.к}$ – коэффициент выхода корма с учетом потерь при силосовании;

F – площадь уборки при возделывании различных по скороспелости гибридов кукурузы на силос, га;

$B_{i,\zeta}$ – балансовая стоимость i -го уборочного и ζ -го транспортного агрегата, руб.;

α – отчисления на погашение банковского кредита;
 γ – доля занятости i -го уборочного и ζ -го транспортного агрегата;
 m – количество транспортных машин.

Для определения площадей под посев ультраранними (ФАО 110), раннеспелыми (ФАО 180) и среднеспелыми (ФАО 140) гибридами кукурузы представлена целевая функция в общем виде

$$S(F2, F3) = C_{T1}(F1) + C_{T2}(F2) + C_{T3}(F3) - M(F) \rightarrow \max, \quad (2)$$

где $C_{T1}(F1)$ – функциональная зависимость стоимости урожая от площади возделывания при использовании раннеспелых гибридов (ФАО 180), руб.;

$C_{T2}(F2)$ – функциональная зависимость стоимости урожая от площади возделывания при использовании ультраранних гибридов (ФАО 110), руб.;

$C_{T3}(F3)$ – функциональная зависимость стоимости урожая от площади возделывания при использовании среднеспелых гибридов (ФАО 140), руб.;

$M(F)$ – затраты на привлечение уборочных и транспортных агрегатов, руб.

Целевая функция по определению оптимальной площади, предназначенной для возделывания ультраранних гибридов ФАО 110, имеет следующий вид:

$$S(F2) = \left(a(T_2 - \frac{F2(F1)}{0.1BVT_{cm}\tau n} + b(T_2 - \frac{F2(F1)}{0.1BVT_{cm}\tau n} + Y_0) \times \right. \\ \times \frac{C_{k0}(1 + K_p(T_2 - \frac{F2(F1)}{0.1BVT_{cm}\tau n}))}{100} Y_y Q_y \zeta (4.7 + 36.25 \frac{C_{k0}(1 + K_p(T_2 - \frac{F2(F1)}{0.1BVT_{cm}\tau n}))}{100} - \\ - 1.87d) k_y + \left. (a(T - \frac{F1}{0.1BVT_{cm}\tau n} + b \times (T - \frac{F1}{0.1BVT_{cm}\tau n} + Y_0) \times \right. \\ \times \frac{C_{k0}(1 + K_p(T - \frac{F1}{0.1BVT_{cm}\tau n}))}{100} Y_p Q_p \zeta (4.7 + 36.25 \frac{C_{k0}(1 + K_p(T - \frac{F1}{0.1BVT_{cm}\tau n}))}{100} - \\ \left. - 1.87d) k_y - (mB_i \alpha \gamma_i + nB_\zeta \alpha \gamma_\zeta) \right) \rightarrow \max, \quad (3)$$

где $F1$ – площадь посева раннеспелыми гибридами кукурузы, га;

$F2$ – площадь посева ультраранними гибридами кукурузы, га;

a, b – коэффициенты пропорциональности, $a = -1,43 \times 10^{-4}$; $b = -96,93 \times 10^{-4}$;

T – разница во времени между наступлением восковой спелости гибридов кукурузы ФАО 110 и ФАО 180, дни;

T_2 – время между наступлением восковой спелости гибрида кукурузы ФАО180 и осенними заморозками, дни;

B – ширина захвата силосоуборочного комбайна, м;

V – рабочая скорость силосоуборочного комбайна, км/ч;

T_{cm} – длительность работы, ч;

τ – коэффициент использования времени смены комбайна;

Y_0 – урожайность кукурузы, соответствующая максимальному выходу кормовых единиц с единицы посевной площади, $Y_0 = 0.8415$ доль;

Y_y, Y_p – урожайность силосной кукурузы при сочетании ультраранних и раннеспелых гибридов, ц/га;

Q_y, Q_p – площадь под ультраранними и раннеспелыми гибридами кукурузы, га;

C_{k0} – энергетическая питательность кукурузного силоса, соответствующая максимальному выходу обменной энергии с единицы посевной площади, руб./мДж;

C – цена одного мДж, руб., $C = 0,32$ руб./мДж;
 K_p – коэффициент пропорциональности, $K_p = 0,0137$;
 k_e – коэффициент выхода силоса с учетом потерь при силосовании в траншеи, $k_e = 0,95$;
 k_y – коэффициент снижения урожайности кукурузы с учетом сценария погодных условий, $k_y = 1$;
 d – классность кукурузного силоса, $d = 2$.

Для определения оптимальной площади, предназначенной для возделывания среднеспелых гибридов кукурузы ФАО 140, использована следующая зависимость:

$$S(F3) = \left(a(T_3 - \frac{F3(F1)}{0.1BVT_{cm}\tau n} + b(T_3 - \frac{F3(F1)}{0.1BVT_{cm}\tau n} + Y_0) \times \right. \\
\times \frac{C_{k0}(1 + K_p(T_3 - \frac{F3(F1)}{0.1BVT_{cm}\tau n}))}{100} Y_c Q_c C(4.7 + 36.25 - \frac{C_{k0}(1 + K_p(T_3 - \frac{F3(F1)}{0.1BVT_{cm}\tau n}))}{100} - \\
- 1.87d)k_e k_y + \left. (a(T_1 - \frac{F1}{0.1BVT_{cm}\tau n} + b(T_1 - \frac{F1}{0.1BVT_{cm}\tau n} + Y_0) \times \right. \\
\times \frac{C_{k0}(1 + K_p(T_1 - \frac{F1}{0.1BVT_{cm}\tau n}))}{100} Y_p Q_p C(4.7 + 36.25 - \frac{C_{k0}(1 + K_p(T_1 - \frac{F1}{0.1BVT_{cm}\tau n}))}{100} - \\
\left. - 1.87d)k_e k_y - (mB_i \alpha \gamma_i + nB_\zeta \alpha \gamma_\zeta) \rightarrow \max, \right. \quad (4)$$

где $F3$ – площадь посева среднеспелыми гибридами кукурузы, га;

$F1$ – площадь посева раннеспелыми гибридами кукурузы после оптимизации площади посева ФАО 180 и ФАО 110, га;

T_1 – время между наступлением восковой спелости гибрида кукурузы ФАО 110 и осенними заморозками, дни;

T_3 – время между наступлением восковой спелости гибрида кукурузы ФАО 140 и осенними заморозками, дни;

Q_c – площадь под среднеспелыми гибридами кукурузы, га;

Y_c – урожайность среднеспелых гибридов кукурузы, ц/га.

При моделировании технологических процессов уборки кукурузы на силос необходимо учитывать количество технологических машин и их ресурсное состояние, оцениваемое коэффициентом использования полезного времени смены. Для определения рационального количества уборочных агрегатов была использована функциональная зависимость получения прибыли $[S(n)]$ в зависимости от количества возделываемых гибридов кукурузы в общем виде

$$S(n) = C_{T1}(n) + C_{T2}(n) + C_{T3}(n) - M(n) \rightarrow \max, \quad (5)$$

где $C_{T1}(n)$ – функциональная зависимость стоимости урожая при использовании раннеспелых гибридов, руб.;

$C_{T2}(n)$ – функциональная зависимость стоимости урожая при использовании ультраранних гибридов, руб.;

$C_{T3}(n)$ – функциональная зависимость стоимости урожая при использовании среднеспелых гибридов от площади возделывания, руб.;

$M(n)$ – затраты на привлечение силосоуборочных и транспортных агрегатов в зависимости от количества привлекаемых машин, руб.

В развернутом виде целевая функция по определению рационального количества уборочных агрегатов при возделывании среднеспелых (ФАО 140) гибридов кукурузы примет вид

$$S^{F3}(n) = (a(T - \frac{F3}{0.1BVT_{cm}\tau n} + b(T - \frac{F3}{0.1BVT_{cm}\tau n} + Y_0) \times \frac{C_{k0}(1 + K_p(T - \frac{F3}{0.1BVT_{cm}\tau n}))}{100} Y_c Q_c \Pi (4.7 + 36.25 \frac{C_{k0}(1 + K_p(T - \frac{F3}{0.1BVT_{cm}\tau n}))}{100} - 1.87d)k_6 k_y - (mB_i \alpha \gamma_i + nB_\zeta \alpha \gamma_\zeta) \rightarrow \max. \quad (6)$$

Рациональное количество уборочных агрегатов при возделывании среднеспелых (ФАО 140) и раннеспелых (ФАО 180) гибридов кукурузы было определено с помощью целевой функции

$$S^{F3F1}(n) = (a(T_2 - \frac{F3}{0.1BVT_{cm}\tau n} + b(T_2 - \frac{F3}{0.1BVT_{cm}\tau n} + Y_0) \times \frac{C_{k0}(1 + K_p(T_2 - \frac{F3}{0.1BVT_{cm}\tau n}))}{100} Y_c Q_c \Pi (4.7 + 36.25 \times \frac{C_{k0}(1 + K_p(T_2 - \frac{F3}{0.1BVT_{cm}\tau n}))}{100} - 1.87d)k_6 k_y + (a(T - \frac{F1}{0.1BVT_{cm}\tau n} + b(T - \frac{F1}{0.1BVT_{cm}\tau n} + Y_0) \times \frac{C_{k0}(1 + K_p(T - \frac{F1}{0.1BVT_{cm}\tau n}))}{100} Y_p Q_p \Pi (4.7 + 36.25 \frac{C_{k0}(1 + K_p(T - \frac{F1}{0.1BVT_{cm}\tau n}))}{100} - 1.87d)k_6 k_y - (mB_i \alpha \gamma_i + nB_\zeta \alpha \gamma_\zeta) \rightarrow \max, \quad (7)$$

где F1 – площадь посева раннеспелыми гибридами кукурузы после оптимизации площади посева под три гибрида силосной кукурузы, га.

Для определения рационального количества уборочных агрегатов при возделывании среднеспелых (ФАО 140), раннеспелых (ФАО 180) и ультраранних (ФАО 110) гибридов кукурузы была использована целевая функция

$$S^{F1F2F3}(n) = (a(T_2 - \frac{F3}{0.1BVT_{cm}\tau n} + b(T_2 - \frac{F3}{0.1BVT_{cm}\tau n} + Y_0) \times \frac{C_{k0}(1 + K_p(T_2 - \frac{F3}{0.1BVT_{cm}\tau n}))}{100} Y_c Q_c \Pi (4.7 + 36.25 \cdot \frac{C_{k0}(1 + K_p(T_2 - \frac{F3}{0.1BVT_{cm}\tau n}))}{100} - 1.87d)k_6 k_y + (a(T_3 - \frac{F1}{0.1BVT_{cm}\tau n} + b(T_3 - \frac{F1}{0.1BVT_{cm}\tau n} + Y_0) \times \frac{C_{k0}(1 + K_p(T_3 - \frac{F1}{0.1BVT_{cm}\tau n}))}{100} Y_p Q_p \Pi (4.7 + 36.25 \cdot \frac{C_{k0}(1 + K_p(T_3 - \frac{F1}{0.1BVT_{cm}\tau n}))}{100} - 1.87d)k_6 k_y + (a(T - \frac{F2}{0.1BVT_{cm}\tau n} + b(T - \frac{F2}{0.1BVT_{cm}\tau n} + Y_0) \times \frac{C_{k0}(1 + K_p(T - \frac{F2}{0.1BVT_{cm}\tau n}))}{100} \cdot Y_y Q_y \Pi (4.7 + 36.25 \cdot \frac{C_{k0}(1 + K_p(T - \frac{F2}{0.1BVT_{cm}\tau n}))}{100} - 1.87d)k_6 k_y - (mB_i \alpha \gamma_i + nB_\zeta \alpha \gamma_\zeta) \rightarrow \max. \quad (8)$$

Экономико-математическое моделирование позволило определить экономически целесообразное соотношение между площадями посева под ультраранними (15%), раннеспелыми (40%) и среднеспелыми (45%) гибридами силосной кукурузы.

На основе полученного оптимального соотношения площади посева между различными по скороспелости гибридами кукурузы определено рациональное количество уборочных агрегатов (КСК-100) с учетом уровня эксплуатации технических средств (рис. 2).

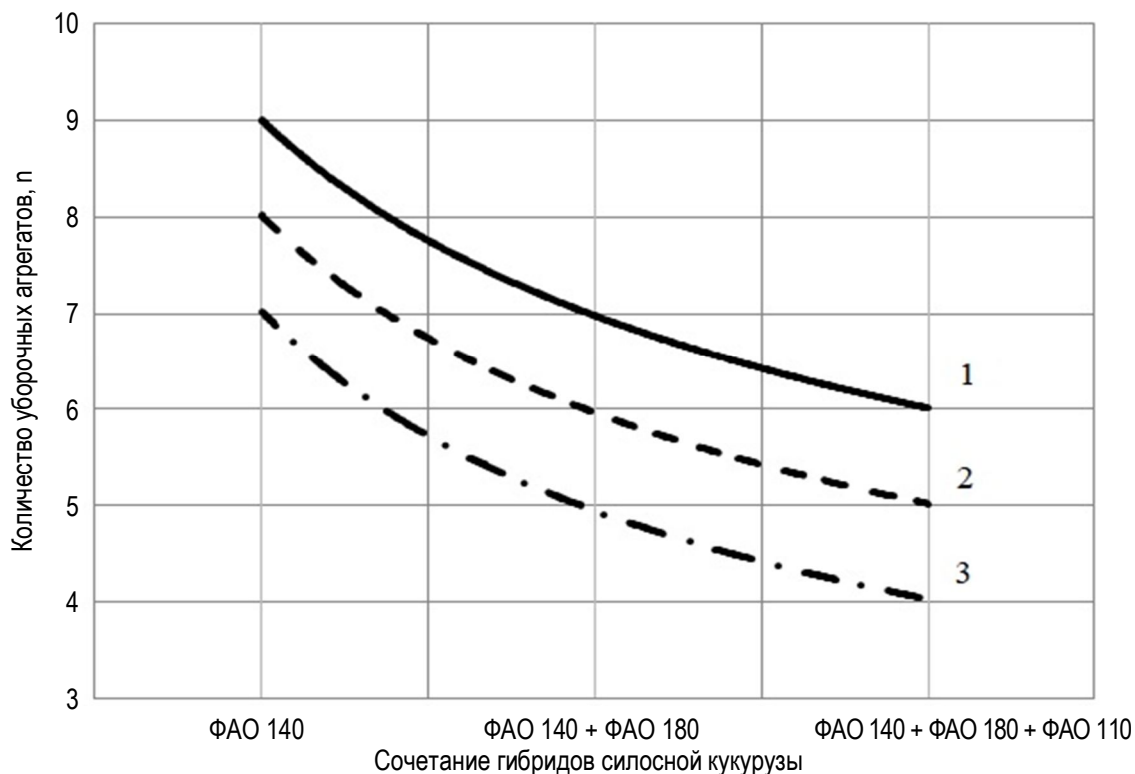


Рис. 2. Зависимость изменения количества уборочных агрегатов при использовании различных по скороспелости гибридов кукурузы с учетом уровня эксплуатации технических средств: 1 – $\tau = 0,35$; 2 – $\tau = 0,55$; 3 – $\tau = 0,75$; $F = 1000$ га; $B = 3,4$ м; $V = 5$ км/ч; $T_{см} = 14$ ч)

Из рисунка 2 видно, что рациональное количество уборочных агрегатов значительно зависит от использования различных гибридов силосной кукурузы. При посеве гибридов ФАО 140 + ФАО 180 + ФАО 110 в сравнении с ФАО 140 при $\tau = 0,55$ количество уборочных агрегатов типа КСК-100 уменьшается с 8 до 5 единиц.

Моделированием определено, что при снижении коэффициента использования полезного времени смены с 0,75 до 0,35 рациональное количество агрегатов увеличивается на 30%.

Выводы

1. Использование различных по скороспелости гибридов кукурузы позволит снизить потребность в уборочных агрегатах с 7 до 4 единиц на 1000 га.

2. При снижении уровня эксплуатации технических средств потребное количество агрегатов увеличивается на 30%, поэтому особое внимание в производстве необходимо уделить техническому сервису и обновлению машинно-тракторного парка.

Библиографический список

1. Астафьев В.Л. Повышение эффективности механизированного процесса производства кукурузы на силос широкозахватными агрегатами : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / В.Л. Астафьев. – Челябинск, 2003. – 376 с.
2. Бледных В.В. Определение оптимальной продолжительности уборки силосных культур / В.В. Бледных, Ю.Е. Михайлов. – Челябинск : ЧИМЭСХ, 1973. – Вып. 72. – С. 86–93.
3. Буклагина Г.В. Энергосберегающие технологии приготовления кормов из кукурузы [заготовка кукурузы в различные стадии спелости] / Г.В. Буклагина // Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. – 2006. – № 1. – С. 41–42.
4. Гибридность семян кукурузы и урожай / А.Н. Воронин, Н.С. Соколов, П.М. Авраменко, Н.Д. Самущенко, Г.М. Журба // Кукуруза и сорго. – 2004. – № 6. – С. 12–14.
5. Заготовка кормов из кукурузы, возделываемой по зерновой технологии / И.Н. Цымбаленко и др. – Курган : ИПП Зауралье, 1991. – 87 с.
6. Панфилов А.Э. Культура кукурузы в Зауралье : монография / А.Э. Панфилов. – Челябинск : ЧГАУ, 2004. – 356 с.
7. Практическое руководство по освоению интенсивной технологии возделывания кукурузы / И.А. Сикорский и др. – Новосибирск : Редакционно-полиграфическое объединение СО РАСХН, 1990. – 67 с.
8. Шайтанов О.Л. Перспектива – за кукурузой / О.Л. Шайтанов, А.С. Садеков // Кормопроизводство. – 2007. – № 12. – С. 8–10.
9. Шепелёв С.Д. Обоснование рационального уровня надежности технологических машин в зерноуборочном процессе / С.Д. Шепелёв, Ю.Б. Черкасов // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2015. – № 5 (104). – С. 58–63.
10. Шепелёв С.Д. Рекомендации по совершенствованию технологических процессов уборки сельскохозяйственных культур (на примере уборки зерновых и силосных культур) : монография / С.Д. Шепелёв, Г.А. Окунев, С.П. Маринин. – Челябинск : ЧГАА, 2010. – 43 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Сергей Дмитриевич Шепелёв – доктор технических наук, проректор по учебной работе, и.о. директора Института агроинженерии, доцент кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», Россия, г. Челябинск, e-mail: Shepelev2@ya.ru.

Владимир Дмитриевич Шепелёв – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», Россия, г. Челябинск, e-mail: shepelev1978@mail.ru.

Никита Юрьевич Высоцкий – аспирант кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», Россия, г. Челябинск, e-mail: yarin.vitalya@mail.ru.

Дата поступления в редакцию 15.11.2018

Дата принятия к печати 22.12.2018

AUTHOR CREDENTIALS Affiliation

Sergey D. Shepelev – Doctor of Engineering Sciences, Vice-Rector for Academic Affairs, Acting Director of the Agrarian Engineering Institute, Docent of the Dept. of Machine and Tractor Fleet Operations, South Ural State Agrarian University, Russia, Chelyabinsk, e-mail: Shepelev2@ya.ru.

Vladimir D. Shepelev – Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Motor Transport, South Ural State University (national research university), Russia, Chelyabinsk, e-mail: shepelev1978@mail.ru.

Nikita Yu. Vysotsky – Postgraduate Student, the Dept. of Machine and Tractor Fleet Operations, South Ural State Agrarian University, Russia, Chelyabinsk, e-mail: yarin.vitalya@mail.ru.

Received November 15, 2018

Accepted December 22, 2018