

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВА ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ УБОРОЧНО-ТРАНСПОРТНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Д. А. Домуши¹, П. И. Осадчук¹, А. Д. Устюянов¹, Ю. И. Енакиев²

¹Agricultural University of Odessa (Ukraine)

²Nikola Poushkarov Institute of soil science, agrotechnologies and plant protection
(Sofia, Bulgaria)

METHODS FOR OPTIMIZATION OF THE COMPOSITION OF GRAIN COMBINE HARVESTING AND TRANSPORT COMPLEXES

D. A. Domushchi¹, P. I. Osadchuk¹, A. D. Ustuyanov¹, Y. I. Enakiev²

¹Agricultural University of Odessa (Ukraine)

²Nikola Poushkarov Institute of soil science, agrotechnologies and plant protection
(Sofia, Bulgaria)

Резюме

Обоснованы методы оптимизации состава зерноуборочных комбайнов основного звена уборочно-транспортных комплексов через основные факторы, регламентирующие работу уборочных машин. Предлагаются зависимости изменения урожайности зерна и относительных потерь от сроков выполнения уборочных работ. Решается задача по определению оптимальных сроков уборки зерновых колосовых культур и потребности техники уборочно-транспортных комплексов для выполнения уборочных работ по допустимым потерям урожая. Представлены теоретические исследования и зависимости определения суточной производительности зерноуборочных комбайнов, потерь урожая и состава основного технологического звена уборочно-транспортных комплексов для разных схем и способов уборки зерновых колосовых культур.

Ключевые слова: оптимизация, состав, зерноуборочные комбайны, уборочно транспортный комплекс, зерновые культуры, потери урожая, производительность, сроки уборки.

Resume

The methods for optimizing the composition of the grain harvesters of the harvesting and transport complexes are substantiated. The correlations are determined, which determine the grain yield and the relative losses, depending on the harvesting period. The optimal terms for the harvest and the necessary equipment of the harvesting and transport complexes for harvesting with permissible losses have been determined. Theoretical researches and dependences for determination of the daily productivity of the grain harvesters, the losses and the composition of the harvesting-transport complexes with different schemes and ways for harvesting the cereals are presented.

Key words: combine harvesters, harvesting and transport complex, grain crops, crop losses, productivity, harvest time, optimization.

ВВЕДЕНИЕ

Когда не представляется возможным избежать потерь урожая зерновых колосовых культур от несвоевременного выполнения технологического процесса уборки, то необходимо так выбрать сроки начала его выполнения, чтобы свести потери урожая к минимуму. В связи с этим и возникает задача по определению оптимальных сроков уборки урожая и определения количественного и качественного состава техники уборочно-транспортных комплексов для выполнения технологического процесса по допустимым потерям урожая.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для определения состава зерноуборочных комбайнов уборочно-транспортных комплексов, в каждом хозяйстве должны быть решены вопросы технологии уборки, а также установлены агротехнические сроки и продолжительность выполнения технологических операций (Домущи и Енакиев, 2019).

Эксплуатационные факторы, регламентирующие работу уборочной техники при выполнении технологических операций, характеризуются параметрами трех типов: количественными, качественными и временными (Сидорчук и др., 2011). Количественные параметры характеризуют расход технологических материалов и потери убираемой продукции. Качественные параметры характеризуют изменения в производственных условиях и технологическом материале уборочного процесса (высота среза, степень дробления, загрязнение продукции и т.д.). К временным параметрам относятся продолжительность работы техники уборочно-транспортных комплексов в течение суток и календарные агротехнологические сроки выполнения уборочных работ.

Установлено, что временные параметры оказывают наибольшее влияние на объем урожая зерновых колосовых культур и качество убираемой продукции (Домущи и др., 2019). Так как преждевременное или позднее выполнение технологического процесса уборки урожая снижает объем урожая из-за увеличения потерь убираемой продукции. Относительные потери от недобора урожая зерновых культур в процессе уборочных работ можно выразить кривой типа параболы (рис.1).

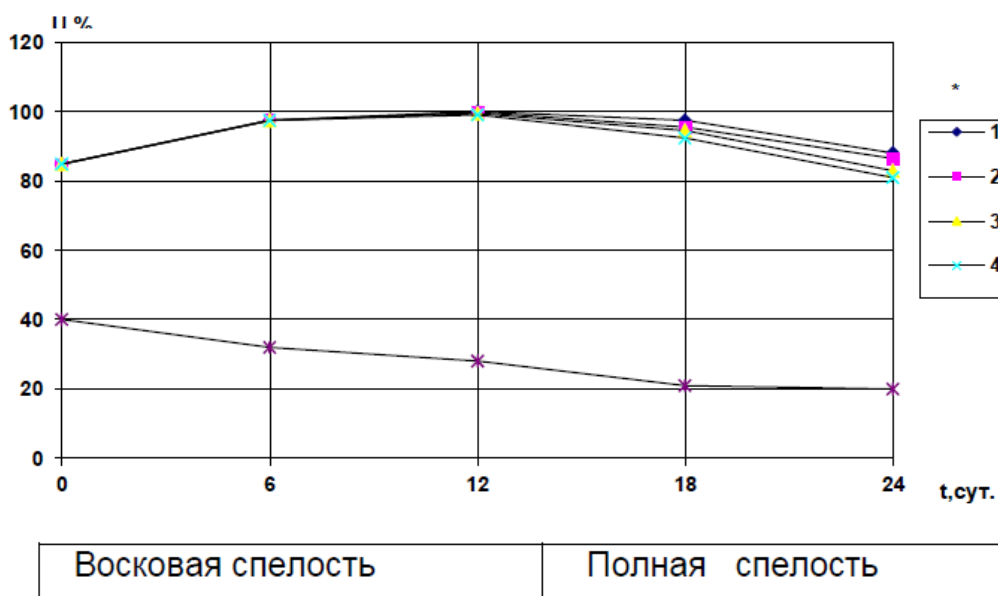


Рисунок 1. Зависимость урожайности зерновых культур (1-4) и влажности зерна (5) от фазы созревания:
1 – рожь; 2 – пшеница; 3 – ячмень; 4 – овес.

При слишком ранних сроках проведения уборки урожая, когда зерновые культуры еще не созрели, получается щуплое зерно с пониженным содержанием сухих веществ. Увеличение сроков уборки приводит к полеганию хлебной массы, осыпанию зерна и повышенным потерям при работе техники уборочно-транспортных комплексов.

Количественные изменения урожайности зерновых культур в зависимости от технологических сроков выполнения уборочных работ – $U = f(t)$ имеет определенную закономерность, имеющую максимум объема урожая при оптимальных сроках уборки зерновых культур.

Надо иметь в виду, что зависимость $U = f(t)$, т/га может быть выражена различными функциями, во многом зависящими от производственных, технологических и технических условий получения экспериментальных данных. Отмечаем, что график этой функции имеет вид дугообразной кривой при необходимом диапазоне времени его определения (рис. 2).

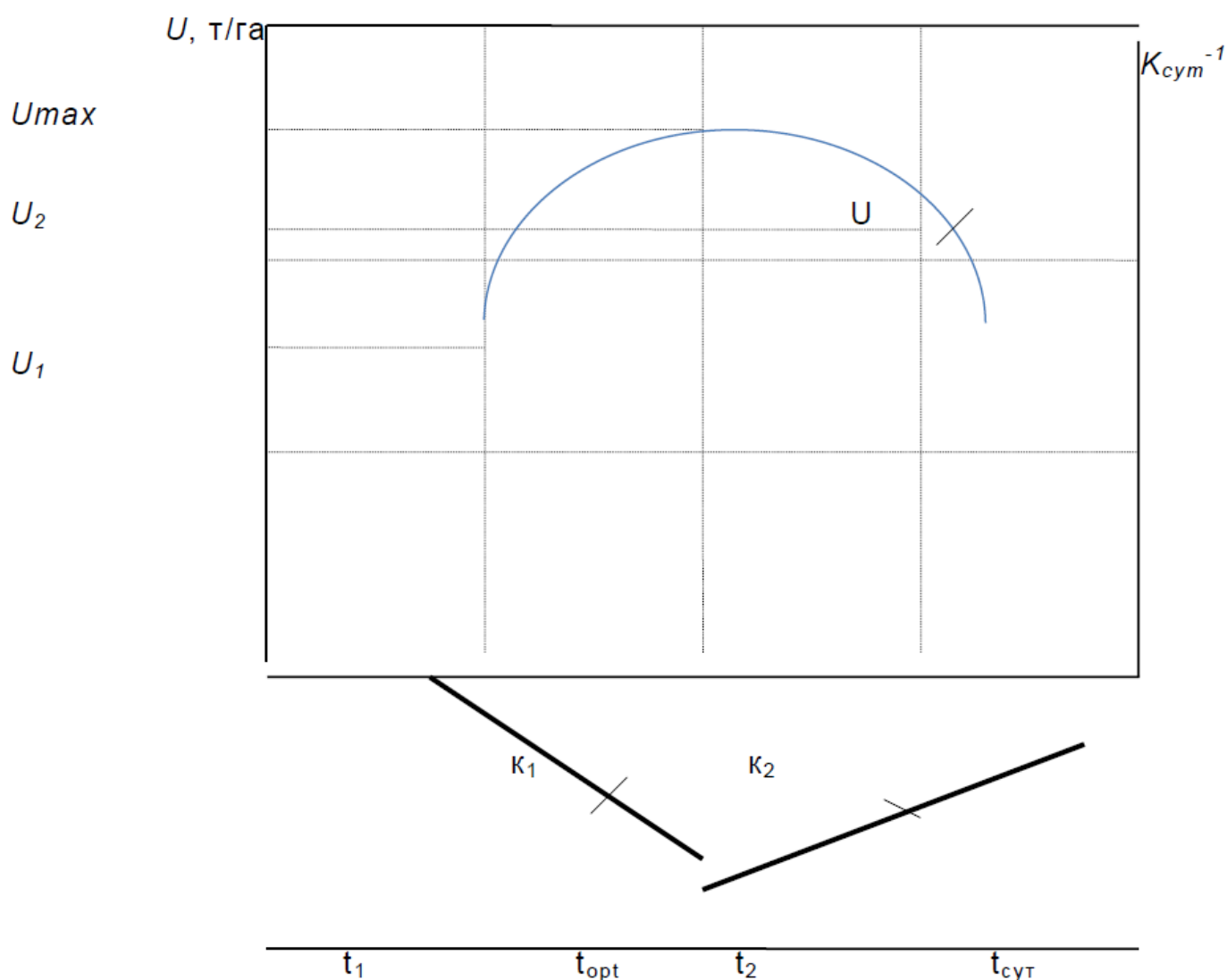


Рисунок 2. Изменение урожайности зерновых культур и интенсивность потерь зерна в зависимости от сроков выполнения уборочных работ

Правая и левая ветви этого графика, по аналогии с ходом естественного процесса, могут быть представлены такой зависимостью:

$$U(t, t_{opt}) = \begin{cases} U + a_1 t - b_1 t^2 & \text{при } t < t_{opt} \\ U + a_2 t - b_2 t^2 & \text{при } t > t_{opt} \end{cases} \quad (1)$$

Отсюда, интенсивность потерь зерна до наступления K_1 , т/сут и после наступления K_2 , т/сут готовности зерновых культур к уборке зерновых культур можно определить уравнениями:

$$K_1 = \frac{dU}{dt} = [a_1 - 2b_1 t]. \quad (2)$$

$$K_2 = \frac{dU}{dt} = [-a_2 - 2b_2 t]. \quad (3)$$

Следующие зависимости K_1 , т/сут и K_2 , т/сут получим после их преобразования в относительных единицах:

$$K_1 = K_{01} - A_1 t, \quad (4)$$

$$K_2 = K_{02} + A_2 t,$$

где K_{01} , K_{02} – интенсивность потерь урожая зерновых культур в момент начала выполнения технологического процесса уборки до наступления готовности зерновых культур к уборке и после него, соответственно;

A_1 , A_2 – коэффициенты пропорциональности.

Известно, что все естественные временные процессы, а также рассматриваемый процесс созревания зерновых культур, развиваются по описанным S-образным зависимостям (Горячкин, 1965). Но надо отметить, что их использование в практических и технологических расчетах сопряжено со некоторыми затруднениями. В связи с этим эту зависимость необходимо аппроксимировать с помощью другой более простой функции, например, прямолинейной. Это позволит следующую зависимость площади убираемых зерновых культур – функцию $F = f(t)$, га/сут представить в виде уравнения:

$$F = P(t_2 - t_1) \quad (5)$$

Тогда темп наступления готовности зерновых культур к уборке P , га/сут определяется зависимостью:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n F}{t_2 - t_1}, \quad (6)$$

где $\sum_{i=1}^n F$ – общая площадь уборки зерновых культур, га;

t_1 – ранний срок наступления готовности зерновых культур к уборке, ч.;

t_2 – поздний срок наступления готовности зерновых культур к уборке, ч.

Если суточная производительность используемых зерноуборочных комбайнов соответствует темпу наступления готовности зерновых культур к уборке, то потери урожая будут равны нулю (т.е. при $W_c = P$, то $K = 0$).

Количественный состав зерноуборочных комбайнов основного технологического звена во всех используемых способах уборки урожая зависит от убираемой площади F , га, объема урожая U , т/га, темпа наступления готовности зерновых к уборке P , га/сут, продолжительности рабочего времени суток T_c , ч, интенсивности потерь урожая до наступления готовности зерновых к уборке K_1 , т/сут и после него K_2 , т/сут и других факторов.

Необходимое количество зерноуборочных комбайнов m , ед. основного технологического звена, обеспечивающих допустимые потери, можно определить по формуле:

$$m = \frac{W_c}{W_m T_c}, \quad (7)$$

где W_c – суточный темп проведения уборки зерновых культур, га/сут.;

W_m – часовая производительность зерноуборочных комбайнов, га/ч;

T_c – продолжительность рабочего времени суток, ч.

Для унификации расчетов методы оптимизации уборки разделим на простые, сложные и комбинированные (Скибчик, 2017).

Рассмотрим методику расчета технологического процесса уборки зерновых культур при самом распространённом способе организации уборки – однопроходной прямой уборке зерноуборочным комбайном.

Рассмотрим такой вариант технологического процесса уборки, когда к моменту времени t_a , ч. будет убрано площади F_a , га. Потери урожая dQ , т/га с элементарной площади dF , га из-за преждевременной уборки зерновых культур составят:

$$dQ_1 = U \left[K_{01} - A_1(t_b - t_a) \right] (t_b - t_a) dF, \quad (8)$$

Временный отрезок $(t_b - t_a)$ можно выразить через зависимость:

$$t_{\%0} - t_a = A_{,1} - e_{,1} = \frac{F_c - F_{\epsilon}}{W_c} - \frac{F_c - F_a}{P} \quad (9)$$

где F_c – площадь, убранная до наступления готовности зерновых к уборке, га.

Подставив зависимость (9) в формулу (8), получим уравнение:

$$dQ_1 = U \left(\frac{1}{W_c} - \frac{1}{P} \right) \left[K_{01}(F_c - F_a) - A_1(F_c - F_a)^2 \right] dF \quad (10)$$

В первый период уборки зерновых культур общие потери урожая Q_1 , т с площади F_c , га можно выразить, проинтегрировав уравнение (10) в пределах от 0 до F_c :

$$Q_1 = \int_0^{F_c} U \left(\frac{1}{W_c} - \frac{1}{P} \right) \left[K_{01}(F_c - F_a) - A_1(F_c - F_a)^2 \right] dF$$

А после некоторых преобразований получим такую зависимость:

$$Q_1 = U \left(\frac{1}{W_c} - \frac{1}{P} \right) \left(K_{01} \frac{F^2}{2} - A_1 \frac{F_c^3}{3} \right) \quad (11)$$

Во втором периоде уборки зерновых культур, т.е. при $t > t_c$, ч, когда производственный процесс выполняется с запаздыванием по отношению к наступлению готовности зерновых культур к уборке, общие потери урожая Q_2 , т вычисляем, выразив величину потерь урожая с элементарной площади dF при уборке ее в момент времени t_k :

$$dQ_2 = U [K_{02} + A_2(t_k - t_e)](t_k - t_e)dF \quad (12)$$

Дальше находим величину временного отрезка $(t_k - t_e)$ и, подставив полученное выражение в зависимость (12), после интегрирования этого выражения в пределах от 0 до $F - F_c$ получим:

$$Q_2 = U \left(\frac{1}{W_c} - \frac{1}{P} \right) \left[K_{02} \frac{(F - F_c)^2}{2} + A_2 \frac{(F - F_c)^3}{3} \right] \quad (13)$$

Соответственно, общие потери урожая зерновых культур Q , т можно определить с зависимости:

$$Q = Q_1 + Q_2 = U \left(\frac{1}{W_c} - \frac{1}{P} \right) \left[K_{01} \frac{F^2}{2} - A_1 \frac{F_c^3}{3} + K_{02} \frac{(F - F_c)^2}{2} + A_2 \frac{(F - F_c)^3}{3} \right] \quad (14)$$

Представленные зависимости указывают на то, что при заданных производственных и технологических условиях величина потерь урожая зерновых культур – Q , т зависит от значения площади – F_c , га, которую необходимо выделить для уборки до наступления готовности зерновых к уборке. Необходимо найти такое значения F_c , га, при котором можно получить наибольший сбор урожая зерновых культур, т.е. минимально возможные потери из-за несвоевременности уборки урожая зерновых культур.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

После некоторых преобразований получим потери при оптимальной организации производственного процесса прямой уборки зерноуборочными комбайнами зерновых колосовых культур:

$$Q = Q_1 + Q_2 = \frac{UK_2F^2}{2} \left(\frac{1}{W_c} - \frac{1}{P} \right) C \quad (15)$$

где $C = 1 + \frac{K_1K_2}{(K_1 + K_2)^2} - \frac{2K_2}{K_1 + K_2} + \frac{K_2^2}{(K_1 + K_2)^2}$

Тогда суточную производительность зерноуборочных комбайнов W_c , га/сут обеспечивающую заданную величину потерь $[Q]$, т/га, можно рассчитать по формуле:

$$W_c = \frac{0,5K_2FPC}{P[Q] + 0,5K_2FC} \quad (16)$$

Таким образом, зная площадь, выделенную для прямого способа уборки урожая зерновых колосовых культур, можно определить суточную производительность зерноуборочных комбайнов, обеспечивающих допустимые потери урожая на этих площадях уборки.

Для других способов уборки зерновых культур суточная производительность комбайнов рассчитывается по таким же зависимостям.

ВЫВОДЫ

Приведенные зависимости позволяют получить изменение потерь урожая зерновых культур в зависимости от состава и структуры технологического звена, используемого на выполнении данного технологического процесса. При этом должно соблюдаться условие, что содержание дополнительной техники должно окупаться снижением потерь урожая. С этих позиций и следует подходить к обоснованию оптимальной продолжительности уборки и определению количественного и качественного состава зерноуборочных комбайнов основного технологического звена уборочно-транспортных комплексов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аналіз методів дослідження та моделей подій у проектах на різних етапах планування збирання ранніх зернових/Сидорчук О.В., Днесь В.І., Скібчик В.І. та ін. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво: наук. журнал. Луцьк: ЛНТУ, 2011. №7. - с. 141-144.
2. Горячкин В.П. Собрание сочинений в 3-х томах. - М.: Колос, 1965. - Т.1. - 720 с. - Т.2. - 459 с. - Т.3. - 384 с.
3. Домуци Д.А. Анализ технологий сбора урожая зерновых колосовых культур по эксплуатационным и энергетическим затратам/ Д.А. Домуци, Ю.И. Енакиев//Доклады ТСХА: Сборник статей. Вып. 291. Ч. II. М.: Изд-во РГАУ - МСХА, 2019. – с. 128 - 132.
4. Домуци Д.А. Определение основных параметров производственных условий сбора урожая зерновых Д.А. Домуци, Ю.И. Енакиев, С.Л. Белопухов //Аграрна наука – сільському господарству: збірник матеріалів: в 2 кн./ XIV Міжнародна науково-практична конференція (7-8 лютого 2019 г.). – Барнаул: РІО Алтайського ГАУ, 2019. – Кн. 2. – с. 30 - 32.
5. Множина основних подій та особливості їх планування у проектах збирання ранніх зернових культур/ Сидорчук О.В., Днесь В.І., Скібчик та ін. Механізація та електрифікація сільського господарства: міжвід. темат. наук зб. Глеваха, 2011. Вип.95. с.365 – 374.
6. Скібчик В.І., Днесь В.І. Визначення обсягів втрат вирощеного врожаю зернових культур за різних параметрів технічного оснащення їх збирання та післязбиральної обробки зерна. Технології АПК ХХІ століття: проблеми і перспективи розвитку: Зб. матер. міжнарод. науч. – практич. конф. (13 - 14 квітня м. Ніжин). – Ніжин, 2017. – с.157-159.