

## КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УБОРКИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

*Сергей Комарницкий*

*Подольский государственный аграрно-технический университет  
Ул. Шевченко, 13, г. Каменец-Подольский, Украина. E-mail: trteh@mail.ru*

*Sergei Komarnitskiy*

*Podolsky State Agricultural and Technical University  
St. Shevchenko, 13, Kamenets-Podolskiy, Ukraine. E-mail: trteh@mail.ru*

**Аннотация.** В статье приведены результаты моделирования системы централизованной уборки ранних зерновых культур. Обосновано, что рекомендации по повышению эффективности производства зерна касаются в основном определения нужного комплекса машин для производства зерна, а из-за отсутствия в сельскохозяйственных предприятиях средств не могут быть быстро реализованы. Обоснованы составляющие комплекса первичной обработки и складирования зерна. Раскрыты причинно-следственные связи, характерные для функционирования уборочной системы, и которые нужно учесть при ее проектировании и в процессе управления уборкой. Обосновано, что снижение потерь зерна достигается благодаря технологической подготовке как комбайнов, так и транспортных средств к уборке урожая. Доказана необходимость использования статистического имитационного моделирования уборочного процесса для определения оптимального количества зерноуборочных комбайнов. Обосновано, что параметры уборочной системы зависят от характеристик потока заказов полей с созревшим урожаем на уборку, которые, в свою очередь, обуславливают характеристики потока собранного зерна. Показана зависимость уборочной системы от характеристики потока заказов полей с созревшим урожаем на уборку, которые, в свою очередь, обуславливают характеристики потока собранного зерна.

**Ключевые слова:** уборка, концептуальная модель, зерновые культуры, сезонная программа.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Развитие материального производства происходит на основе инженерной деятельности, которая является многогранной – от конструирования машин к управлению инжиниринговыми проектами. Еще недавно в Украине научно-инженерные проблемы аграрного производства сводились лишь к его механизации и электрификации. Сегодня, учитывая интенсивный научно-технический прогресс, что характерно для развитых в этой области стран, актуальность инженерной деятельности определяется уровнем решения проблем технологической эффективности производства – основы конкурентоспособности продукции. Они решаются благодаря инженерии – научно-инженерной деятельности, что обеспечивает системную эффективность научно-

технических достижений и применения в производстве [17].

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Известны методы определения сезонной нагрузки на зерноуборочный комбайн [7], а также идентификации конфигурации комбайнового парка в проектах уборки ранних зерновых культур [5-20] являются важными научными трудами для согласования указанных работ.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАНИЯ

Целью данной статьи является освещение результатов моделирования системы уборки ранних зерновых культур.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Сегодня достаточно много научно-инженерных предложений по повышению эффективности производства зерна, начиная с подготовки почвы под посев и заканчивая сбором урожая [20]. Большинство из них являются достаточно аргументированными и, безусловно, заслуживают внимания. Однако, эти рекомендации и проекты касаются в основном определения нужного комплекса машин для производства зерна, а из-за отсутствия в сельскохозяйственных предприятиях средств не могут быть быстро реализованы. Рассмотрим проблему несколько под другим углом зрения, в частности, повышения эффективности использования имеющегося технического потенциала для сбора и хранения зерновых культур. К сожалению, в большинстве сельскохозяйственных предприятий не уделяется должное внимание планированию уборки зерновых культур, а без него невозможно добиться эффективного использования имеющегося технического потенциала. Сегодня в учебниках по механизации сельского хозяйства и эксплуатации машин отсутствуют сведения о том, как разработать организационно-технологический проект уборки ранних зерновых культур в условиях ограниченных технических ресурсов того или иного сельскохозяйственного предприятия, не говоря уже о сборе зерновых культур комбайновыми комплексами предприятий МТС (машинно-технологических станций, обслуживающих кооперативов и т.д.). Рассмотрим общие научно-методические основания разработки таких проектов.

Первым этапом создания организационно-технологического проекта является концептуальное описание системы сбора зерновых культур. Оно нужно для того, чтобы учесть все важные для реализации проекта моменты уборки. Концептуальная модель уборочной системы разрабатывается за несколько последовательных этапов. На первом этапе определяются цели и задачи системы сбора зерновых. В частности, их можно обозначить как повышение эффективности сбора – обеспечение своевременности сбора при заданном техническом потенциале сельскохозяйственного предприятия, обоснование целесообразности привлечения к сбору зерноуборочных комбайновых комплексов МТС, а также определения площади будет собираться централизованно МТС. Для этого, в первую очередь, рассматривают такие составляющие системы как: 1) зерноуборочный комбайновый комплекс (ЗК); 2) транспортный комплекс (ТК); 3) комплекс первичной обработки и складирования зерна (СК); 4) звено технического обслуживания (ТО); 5) звено бытового обслуживания (БО); 6) контрольно-информационное звено (КИ).

Следующим этапом создания концептуальной модели системы сбора является детализация составляющих системы ( $N_r$ ). Комбайновый комплекс состоит из определенного числа комбайнов  $r$ -й марки ( $N_a$ ). Транспортный комплекс состоит из определенного числа  $a$ -й марки автомобилей и тракторных транспортных средств  $m$ -й марки ( $N_m$ ).

В комплекс первичной обработки и складирования зерна входят открытые и закрытые площадки для хранения зерна, специальные складские помещения (кладовые), сушилки, веялки и сепараторы зерна, весы для взвешивания транспортных средств.

Звено ТО состоит из передвижных агрегатов технического обслуживания, комплекса запасных частей, необходимых инструментов, а также оборудования для выполнения ТО комбайнов, автомобилей, тракторов и оборудования, токов и тому подобное. Звено БО состоит из кухни, где должны готовиться обеды для комбайнеров и водителей (трактористов), набора посуды (в т.ч. термосов), транспортного средства. Ланка КИ должна иметь инструменты и приборы для определения урожайности зерновых, влажности зерна, объема собранной площади и тому подобное. Каждая из указанных составляющих должна иметь определенное количество исполнителей. Кроме того, важной составляющей уборочной системы является также звено управления уборкой, назначение которой – обосновывать и реализовать организационно-технологические операции по обеспечению эффективной уборки.

На третьем этапе создания концептуальной модели уборочной системы осуществляется выделение в ней сезонной программы сбора, а также предсказания возможного влияния агрометеорологических условий на ход уборочного процесса. Сезонная программа уборки характеризуется конечным множеством полей с теми или другими зерновыми культу-

рами, которые нужно собрать. Каждое из полей сезонной программы характеризуется площадью, средней длиной гона, наличием определенных препятствий (например, электрических столбов), рельефом. На каждом поле зерновая культура характеризуется: 1) временем созревания; 2) урожайностью; 3) соломистостью. 4) полеглостью. 5) засоренностью. Агрометеорологические условия характеризуются: 1) последовательностью погожих и ненастных промежутков времени (суток), в течение которых есть либо нет возможности осуществлять уборку; 2) агрометеорологически-допустимой продолжительностью выполнения уборочного процесса в течение того или иного дня, обусловленной повышением влажности воздуха, а также наличием росы. Поля с дозревшим урожаем и агрометеорологические условия уборки являются исходными данными, обуславливающие параметры уборочной системы.

Важным этапом создания концептуальной модели уборочной системы является выделение связей и управления функционированием ее составляющих. Главные связи делятся на предметные (материальные) и информационные и предоставляют возможность управлять системой. В частности, управление осуществляется каждой из составляющих системы во время ее проектирования, создания, а также в течение уборочного сезона и после его завершения.

Концептуальной моделью системы также предполагается рассмотрение технологических, транспортных, обслуживающих и контролирующих процессов. Каждый из этих процессов обусловлен определенными факторами и в конечном итоге совокупно формирует показатели эффективности ( $Y_n$ ) функционирования уборочной системы – объем собранного и потеряннного урожая. Эти показатели зависят от сезонной программы и агрометеорологических условий ( $X_g$ ), а также от параметров ( $Z_i$ ) системы и в неявном виде отображаются формулой:

$$Y_n = f(X_g, Z_i). \quad (1)$$

Раскроем причинно-следственные связи, характерные для функционирования данной системы, и которые нужно учесть при ее проектировании и в процессе управления уборкой. Прежде всего, следует помнить, что потери урожая ( $B_y$ ) зависят как от технологического состояния ( $T_{cr}$ ) каждой ( $r$ -й) машины, которая задействована в уборочном процессе, так и своевременности  $\delta t_{ky}$  уборки  $k$ -й культуры на  $\gamma$ -м поле:

$$B_y = f(T_{cr}, \delta t_{ky}). \quad (2)$$

Не останавливая внимания на особенностях влияния технологического состояния машин на потери ( $B_y$ ), отметим, что снижение этих потерь достигается благодаря технологической подготовке как комбайнов, так и транспортных средств к уборке.

Значительные потери зерна несут предприятия от несвоевременного сбора зерновых культур, что приводит к их осыпанию. Собственно, параметры

системы ( $Z_i$ ) определяются по критерию своевременности уборки.

Они делятся на параметры подсистем: 1) главной ( $Z_{zi}$ ); 2) обслуживающей ( $Z_{oi}$ ); 3) управленческо-контрольной ( $Z_{yi}$ ). Параметры главной подсистемы состоят:

$$Z_{zi} : \{N_r, N_a, N_m, N_\theta, S_T, Q_k, N_c\}, \quad (3)$$

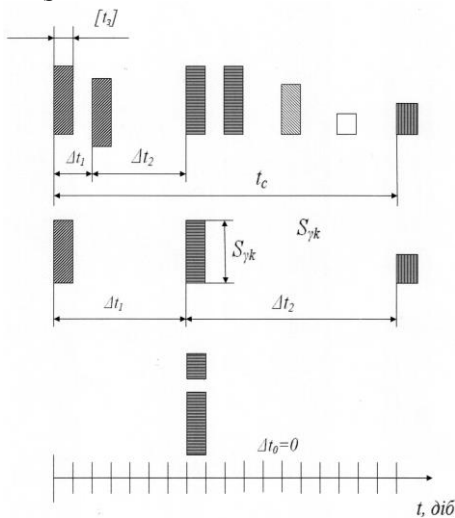
где:  $N_\theta, N_c$  – соответственно количество весов для взвешивания транспортных средств и сушилок, ед.;  $S_T, Q_k$  – площадь тока для складирования зерна, поступающего от комбайнов, и объем закромов кладовых для его хранения,  $m^2, т$ .

Параметры обслуживающей подсистемы отображаются:

$$Z_{oi} : \{N_{aTo}, N_o, N_3\}, \quad (4)$$

где:  $N_{aTo}, N_o, N_3$  – соответственно количество передвижных агрегатов ТО, оборудования и устройств для выполнения ТО и устранения отказов, запасных частей, ед.

Исходными данными для определения параметров указанных подсистем является сезонная программа уборки зерновых, которую характеризуют: 1) общая площадь посева ранних зерновых ( $S_c$ ); 2) количество культур, которые нужно собрать ( $N_k$ ); 3) объем посева каждой из них ( $S_k$ ); 4) количество полей под каждой культурой ( $N_{jk}$ ). Эти данные определяют характеристики потока заказов отдельных полей под зерновыми к выполнению уборочного процесса (рис. 1).



**Рис. 1.** Графическая интерпретация потока заказов полей на уборку для сезонных программ, состоящих:  $[t_c]$  – агротехнически допустимая продолжительность уборки зерновых культур;  $\Delta t_1, \Delta t_2$  – отклонение в сроках созревания зерновых культур на отдельных полях;  $S_{jk}$  – площадь  $\gamma$ -го поля с  $k$ -й культурой.

**Fig. 1.** Graphic interpretation of the flow of orders in the fields for seasonal harvesting program consisting:  $[t_c]$  – acceptable duration of harvesting crops;  $\Delta t_1, \Delta t_2$  – the deviation in the timing of maturation of crops on individual fields;  $S_{jk}$  – square field.

Очевидно, что при неизменной сезонной площади ( $S_c = const$ ) лучшим для выполнения уборочного процесса будет поток (а), а худшим – поток (в). Именно характеристики потока следует учесть при обосновании параметров системы сбора зерновых, в частности, определение количества зерноуборочных комбайнов ( $\sum N_r$ ):

$$\sum N_r = f'(\sum S_{jk}, \Delta n, t_c, \bar{W}_{ar}), \quad (5)$$

где:  $\sum S_{jk}$  – сезонная суммарная площадь уборки зерновых, га;  $\Delta n$  – коэффициент, учитывающий неравномерность потока заказов;  $t_c$  – продолжительность сезона созревания зерновых, суток;  $\bar{W}_{ar}$  – средняя суточная производительность уборки зерновых одним  $r$ -м комбайном с учетом простоев из-за непогоды, га/сутки.

Для определения оптимального количества комбайнов используют статистическое имитационное моделирование уборочного процесса [5]. Технологически необходимое количество транспортных средств для транспортировки от комбайнов зерна на тока можно определить на основе грузооборота:

$$\sum N_a = f''(\sum \theta_{jk}, \Delta \epsilon, \bar{q}_o, \bar{L}_o), \quad (6)$$

где:  $\sum \theta_{jk}$  – суммарный грузооборот зерна, ткм;  $\bar{q}_o$  – средняя грузоподъемность транспортного средства, т;  $\bar{L}_o$  – среднее расстояние перевозки зерна, км;  $\Delta \epsilon$  – неравномерность грузопотока.

Важным параметром системы сбора зерновых является площадь токов ( $S_n$ ). Она должна быть такой, чтобы в течение уборочного сезона выполнить первичную обработку зерна в объеме  $\sum Q_{jk}$ :

$$S_n = f'''(\sum Q_{jk}, \Delta \epsilon, t_c, \bar{Q}_o), \quad (7)$$

где:  $\sum Q_{jk}$  – количество зерна  $k$ -й культуры на  $\gamma$ -м поле, т;  $\bar{Q}_o$  – средний суточный объем зерна, который перерабатывается 1  $m^2$  площади тока, т/ $m^2$  сутки.

Нередко площадки токов выполняют функцию складов для временного хранения зерна, имеющего соответствующую влажность. В этом случае нужно иметь дополнительные площади.

Неотъемлемой составляющей уборочной системы являются сушилки. Они позволяют собирать влажное зерно в сезоны, характеризующиеся погодой с избыточной влажностью воздуха.

## ВЫВОДЫ

1. Анализ формул (5-8) утверждает, что параметры уборочной системы зависят от характеристик потока заказов полей с созревшим урожаем на уборку, которые, в свою очередь, обуславливают характеристики потока убранного зерна.

2. Нестабильность потока заказов полей на уборку является главной причиной нестабильности потока зерна, что учитывается концептуальной моделью.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Абаев В.В. 2009.** Обоснование структуры комбайнового парка // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – № 4. – 7–8.
2. **Батенко Л.П. 2003.** Управление проектами. – М.: КНЭУ. – 231. (Украина).
3. **Брайловский М. 1978.** Моделирование транспортных систем. – М.: Транспорт. – 124.
4. **Быков Н.Н. 1981.** Расчет транспортных средств для перевозки продукции от уборочных агрегатов // Механизация и электрификация сельс. хоз-ва. – №11 – 33 – 35.
5. **Гайдуцкий П.И. 1997.** Возрождение МТС (Организация машино-технологичних станций в рыночных условиях) // Лобас-К.: НПАО «Агроинком». – 508. (Украина).
6. **Грибинюк А.Н. 1991.** Обоснование парка зерноуборочных комбайнов хозяйства // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – № 4. – 15 – 16.
7. **Дименко К. 2010.** Анализ основных факторов недостаточной надежности отечественной зерноуборочной техники // Motrol, – Motorization and energetics in agriculture. – Lublin. A12. – 108-117.
8. **Колосова Е.В. 2000.** Методика освоения объема в оперативном управлении проектами // Под ред. Е. В. Колосова. – М.: НИЦ «Апостроф», – 156.
9. **Комарницкий С. 2010.** Классификация работ в проектах уборки зерновых культур // Вестник Львовского национального аграрного университета. – №14. – 72 – 77. (Украина).
10. **Логин А.Д. 1981.** Исследование технологических основ интенсификации комбайновой уборки зерновых культур в условиях лесостепной зоны Сибири: автореф. дис. д-ра техн. наук. – Новосибирск. – 35.
11. **Панюра Я.И. 2010.** Методы и модели управления реализации сезонной программы централизованной уборки ранних зерновых культур. Автореферат диссерт. кандидат. техн. наук. – Львов – 18. (Украина).
12. **Пасечная Л.Д. 1988.** Методические основы определения технического оснащения уборочных работ: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства». – Краснодар, – 16.
13. **Погорельый Л. 2002.** Концепция ускоренного решения проблемы обеспечения сельскохозяйственного производства Украины зерноуборочной техникой // Техника АПК. – №7-9. – 6 – 15. (Украина).
14. **Сидорчук А., Спичак В., Сенчук С. 2003.** Особенности исследования систем уборки урожая сельскохозяйственных культур // Вестник Львовского государственного аграрного университета: Агроинженерные исследования. – № 7. – 35 – 42. (Украина).
15. **Сидоренко О. 2005.** Метод определения потерь урожая сельскохозяйственных культур вследствие несвоевременного выполнения механизированных процессов растениеводства // Motrol, – Motorization and energetics in agriculture. – Odesa. Tom 7, No 2. – 86-91.
16. **Сидорчук А.В., Сенчук С.Г., Бурилко А.В., Панюра Я.И. 2005.** Анализ и обоснование содержания моделей синтеза факторов зерноуборочного процесса // Технично-технологические аспекты развития и испытания новой техники и технологий для сельского хозяйства Украины: сб. научн. работ УкрНДИПВТ. – Исследовательское. – Вып. 8 (22), кн. 1. – 42 – 50. (Украина).
17. **Сидорчук А. 2007.** Инженерия машинных систем: монография // К.: ННЦ «ИМЕСГ» УААН, – 263. (Украина).
18. **Сидорчук Л.Л. 2008.** Идентификация конфигурации парка комбайнов в проектах систем централизованной уборки ранних зерновых культур: Автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.13.22 «Управление проектами и программами». – Львов. – 18. (Украина).
19. **Табашников А.Т. 1983.** Повышение производительности зерноуборочного комбайна // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – № 9. – 5 – 6.
20. **Цип Е.И. 2002.** Сезонная программа комбайна и риск в процессе централизованной уборки ранних зерновых: Автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.13.22 «Управление проектами и развитие производства» – Львов, – 18. (Украина).

## CONCEPTUAL MODEL OF GRAIN CROPS HARVESTING

**Summary.** The paper presents results of the simulation system of centralized collection of early crops. It is proved that the recommendation to improve the efficiency of grain production mainly concern the definition of the desired set of machines for the production of grain, due to lack of funds for agricultural enterprises cannot be quickly implemented. It is proved that the seasonal cleaning program is characterized by a finite set of fields or those other crops that need to be collected. It is proved that the reduction in grain loss is achieved through the preparation process as the harvesters and vehicles to harvest. The necessity of using a statistical simulation of harvesting process to determine the optimal number of combine harvesters. It is proved that the parameters of the harvesting system depends on the characteristics of the flow of orders from the fields to harvest ripe crops, which, in turn, determine the flow characteristics of the harvested grain. Dependence on the harvesting system characteristics of the flow of orders ripened harvest fields of the collection, which, in turn, determine the flow characteristics of grain harvested.

**Key words:** collection, conceptual model, cereals, seasonal program.