
УДК 631.3

Оптимизация продолжительности уборки озимой пшеницы многофункциональным агрегатом

Optimization of duration of winter wheat harvesting by means of a multifunctional unit

Г. Г. МАСЛОВ, д-р техн. наук

**Кубанский государственный аграрный
университет, Краснодар, Россия,
maslov-38@mail.ru**

G. G. MASLOV, DSc in Engineering

**Kuban State Agrarian University,
Krasnodar, Russia,
maslov-38@mail.ru**

Исследование направлено на обоснование оптимальной продолжительности уборки озимой пшеницы с целью повышения качества зерна, снижения затрат и потерь урожая. С использованием моделирования и оптимизации работы многофункционального агрегата на базе комбайна TORUM-750 с функцией одновременного прессования соломы обоснованы продолжительность уборки озимой пшеницы и ширина захвата жатки комбайна. Новизна подхода к решению проблемы заключается в применении нового многофункционального уборочного агрегата, совмещающего за один проход по полю уборку зерна и прессование соломы. Исследование производственного процесса выполнено с помощью математического моделирования, в качестве целевой функции (критерия оптимизации) использован минимум функции затрат и потерь. Получены зависимость функции затрат и потерь от продолжительности

уборки пшеницы, а также зависимость ширины захвата жатки комбайна TORUM-750 от пропускной способности его молотилки, урожайности зерна, солоmistости хлебной массы, рабочей скорости движения и коэффициента зональности для Южного региона России. Разработана блок-схема алгоритма оптимизации процесса работы многофункционального уборочного агрегата. Анализ результатов позволил сделать вывод о том, что оптимальная продолжительность уборки озимой пшеницы многофункциональным агрегатом на базе комбайна TORUM-750 для условий Южного региона России должна составлять пять календарных дней, а ширина захвата жатки должна быть равна 4,5 м при урожайности зерна 10 т/га и рабочей скорости агрегата 5 км/ч. Полученные результаты позволяют судить о возможности применения функции затрат и потерь для обоснования оптимальной продолжительности уборки различных зерновых культур.

Ключевые слова: многофункциональный агрегат; уборка; комбайн; оптимизация; модель; целевая функция.

The article deals with the optimal duration of winter wheat harvesting with the view of decreasing the expenses, reducing the harvest losses and improving the crop quality. By means of modeling and optimization of the TORUM-750-based multifunctional unit with a function of simultaneous straw pressing, the duration of winter wheat harvesting and the operating width of combine header are substantiated. The novelty of this approach to the problem solution is based on the use of new multifunctional unit, combining the harvesting and straw pressing during only one pass across the field. The research of new production process was carried out with the use of mathematical modeling; the minimum of function of expenses and losses was used as the objective function (criterion of optimization). The dependences were obtained, namely the dependence of function of expenses and losses on the duration of wheat harvesting, the dependence of operating width of header of the TORUM-750 combine on the throughput capacity of its threshing machine, on the crop capacity, the straw content in grain mass, the operating speed and the zonation index for the Southern region of Russia. The control-flow chart for optimization of operating process of the multifunctional unit is developed. The analysis of optimization results allows to draw a conclusion that the optimal duration of winter wheat harvesting by means of the TORUM-750-based multifunctional unit with a function of simultaneous straw pressing in the conditions of the Southern region of Russia should be five calendar days; the operating width should be 4.5 m with the crop capacity of 10 t/ha and the operating speed of the unit of 5 km/h. The obtained results allow to estimate a possible use of the function of expenses and losses for substantiation of optimal duration of different crops harvesting.

Keywords: multifunctional unit; harvesting; combine; optimization; model; objective function.

Введение

Сегодня для сельского хозяйства остро стоит вопрос экономии энергии и снижения затрат. Производство конкурентоспособной с.-х. продукции немислимо без современных ресурсосберегающих технологий, учитывающих новейшие мировые достижения в области науки и техники. Особенно актуальна задача ресурсосбережения и снижения затрат при уборке зерновых колосовых и зернобобовых культур, на которую приходится примерно половина от всех материальных и трудовых затрат на производство зерна. Проводить уборку требуется в сжатые календарные сроки, при этом не менее важно завершение послеуборочного комплекса работ для заложения основы будущего урожая. К сожалению, эта сложная и масштабная задача пока не решена, и даже не намечены успешные подходы к ее решению.

В связи с этим предлагается новый подход к комплексному решению проблемы уборки урожая применительно к различным почвенно-климатическим и производственно-экономическим условиям. Он базируется на использовании многофункциональных агрегатов (МФА), совмещающих уборку зерна с выполнением основных работ послеуборочного комплекса за один проход [1].

Основные требования к уборке зерновых колосовых культур, в т.ч. и озимой пшеницы, включают снижение потерь зерна, затрат на уборку и комплексность выполнения работ. Одновременно с уборкой зерна должны выполняться сопутствующие работы: первичная обработка почвы, сев промежуточных культур, очистка зерна, заготовка соломы и др. Выполнение этих требований возможно только с применением МФА [1, 2].

В статье в качестве МФА рассматривается полноприводный зерноуборочный комбайн TORUM-750 с пресс-подборщиком для прессования соломы, который присоединяется к заднему ведущему управляемому мосту комбайна. Задача такого агрегата — за один проход по полю качественно убрать зерно прямым комбайнированием и одновременно запрессовать солому.

Актуальность решения этой задачи очевидна, так как высокопроизводительный энергонасыщенный зерноубо-

рочный комбайн TORUM-750 с мощностью двигателя 372,17 кВт (506 л.с.) трудно загрузить до оптимального коэффициента использования мощности двигателя. Рациональный режим его работы определяется пропускной способностью молотилки комбайна, урожайностью зерна, рабочей скоростью движения агрегата и шириной захвата жатки. Все названные параметры связаны известной зависимостью, в состав которой входит также коэффициент солоmistости хлебной массы.

Цель исследования

Такие недостатки технологий уборки, как низкая производительность, потери зерна, его дробление (в 2—4 раза выше допустимого), нарушения сроков уборки, точности и ритмичности процессов, комплексности выполнения уборочных и послеуборочных работ, экологических аспектов, требуют перехода на принципиально новые конструкторские и технологические решения. Нужна новая методология комплексной высокопроизводительной уборки зерновых культур с одновременным выполнением основных послеуборочных работ на базе системы гибких энергонасыщенных МФА.

Эта сложная научно-техническая проблема должна решаться на основе многоуровневого системного подхода по критерию ресурсосбережения. Объект исследований — процессы и гибкие средства механизации комплексной уборки зерновых с совмещением технологических операций. Предмет исследований — закономерности процессов функционирования гибких многофункциональных уборочно-посевных и других агрегатов.

Научная новизна заключается в концепции оптимальной системы гибких МФА, а также в математической модели оптимизации параметров и режимов работы машин уборочно-транспортного и заготовительного процессов с использованием функционала удельных совокупных затрат энергии и их зависимости от условий эксплуатации.

Цель работы — обосновать оптимальную продолжительность уборки озимой пшеницы в условиях Южного

региона России с применением МФА на базе энергонасыщенного полноприводного комбайна TORUM-750 с пресс-подборщиком соломы, а также параметры агрегата.

Материалы и методы

Один из важных факторов, определяющих величину потерь урожая, — продолжительность уборки, которая для большинства зерновых колосовых культур не должна превышать пять календарных дней [3]. Превышение этого срока ведет к резкому увеличению потерь зерна. Сделана попытка оптимизировать продолжительность уборки озимой пшеницы при использовании указанного МФА.

Для моделирования взяты площадь зерновых 1000 га, интервал продолжительности уборки $n = 2...20$ дней (шаг 1), урожайность зерна $U = 5...15$ т/га (шаг 5), закупочная цена зерна $Z = 10...20$ тыс. руб/т (шаг 5). С учетом высокого уровня урожайности в расчетах принята рабочая скорость движения агрегата 5 км/ч. При более низкой скорости уменьшается производительность МФА, при более высокой ухудшаются условия работы оператора [4]. С целью сохранения оптимальной загрузки молотилки и мощности двигателя получена зависимость ширины захвата жатки от взаимосвязанных параметров, упомянутых выше. После преобразования с учетом параметров комбайна TORUM-750 имеем:

$$B = 70,2/U[1 + (1,5 - 0,0917U)], \quad (1)$$

где B — ширина захвата жатки, м; U — урожайность зерна, т/га (принято $U = 10$ т/га); 70,2 — эмпирический коэффициент для принятых условий.

Выражение в круглых скобках в формуле (1) учитывает зависимость солоμистости хлебной массы от урожайности для сортов пшеницы на Кубани.

При урожайности 10 т/га и рабочей скорости 5 км/ч производительность МФА, га/ч:

$$W_{\text{ч}} = 0,35B.$$

Количество агрегатов МФА в зависимости от продолжительности уборки n на расчетную уборочную площадь 1000 га определим по формуле:

$$n_{\text{агр}} = 83,33/W_{\text{ч}}n,$$

где $n_{\text{агр}}$ — требуемое количество МФА, шт.; 83,33 — эмпирический коэффициент.

В качестве критерия оптимизации при обосновании продолжительности уборки пшеницы принята функция затрат и потерь. Имеются в виду затраты C_3 , связанные с уборкой пшеницы и прессованием соломы, и стоимость потерь зерна $C_{\text{п}}$ в зависимости от продолжительности уборки n . Окончательно после преобразований этой зависимости C_3 и $C_{\text{п}}$ имеют вид:

$$\begin{aligned} C_3 &= 1000n_{\text{агр}} \cdot 1993,3/W_{\text{ч}}; \\ C_{\text{п}} &= 10ZU[(1,6n - 4) + 1,03n]. \end{aligned} \quad (2)$$

Выражение в квадратных скобках уравнения (2) показывает долю общих потерь зерна за каждый день уборки n .

Сам критерий оптимизации $C_{\text{зп}}$ функции затрат C_3 и потерь $C_{\text{п}}$ определим по выражению:

$$C_{\text{зп}} = (C_3 + C_{\text{п}}) \rightarrow \min.$$

Минимальное значение этой суммы определяет оптимальную продолжительность уборки и все другие парамет-

ры (оптимальную ширину захвата B жатки, величину оптимальных затрат на уборку C_3 и потерь урожая $C_{\text{п}}$).

Результаты и их обсуждение

График зависимости функции затрат и потерь от продолжительности уборки n , представленный на рис. 1, позволяет установить оптимальное значение продолжительности, равное пяти календарным дням. Экстремальный характер зависимости функции затрат и потерь по точке перегиба позволяет определить ее минимальное значение, а также установить оптимум составляющих затрат C_3 и $C_{\text{п}}$.

Уже на пятый день после достижения полной спелости зерна начинается усиленный отток питательных веществ из колоса [3], поэтому уборка каждого сорта пшеницы должна выполняться не более чем за пять календарных дней.

На графике показана рациональная загрузка МФА на уборку зерна с одновременным прессованием соломы с оптимальной продолжительностью пять дней. За этот срок предлагаемый МФА должен убрать урожай одного сорта пшеницы с заданным сроком созревания. Поэтому чтобы обеспечить эффективное использование уборочной техники и оптимальную продолжительность уборки каждого сорта, в хозяйстве должны планировать высев четырех-пяти сортов.

На рис. 2 представлена структурная схема различных технологий уборки зерновых культур на базе оптимальной системы различных по составу МФА. Из схемы следует, что в качестве энергетических средств в состав МФА могут входить как тракторы, зерноуборочные комбайны (ЗУК), так и универсальное средство "Полесье" УЭС-450 производства Республики Беларусь (уже применяется на практике) [4]. Система МФА отличается гибкими комбинированными агрегатами для различных условий уборки и послеуборочных работ.

С использованием той же целевой функции обоснованы продолжительность уборки и параметры МФА на

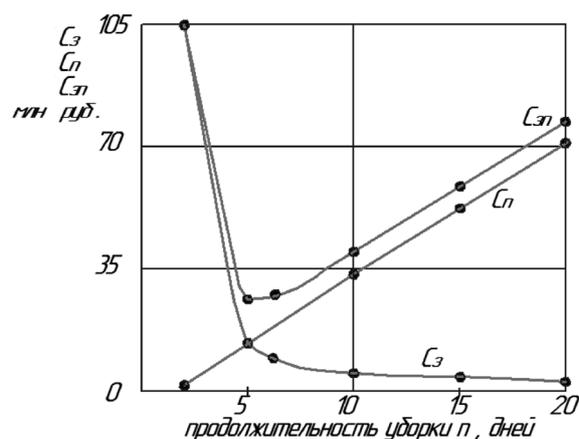


Рис. 1. Зависимость функции затрат и потерь от продолжительности уборки озимой пшеницы:

C_3 — функция стоимости затрат на уборку зерна с одновременным прессованием соломы МФА на базе комбайна TORUM-750; $C_{\text{п}}$ — функция стоимости потерь урожая при работе МФА; $C_{\text{зп}}$ — функция стоимости затрат C_3 и потерь $C_{\text{п}}$ для МФА

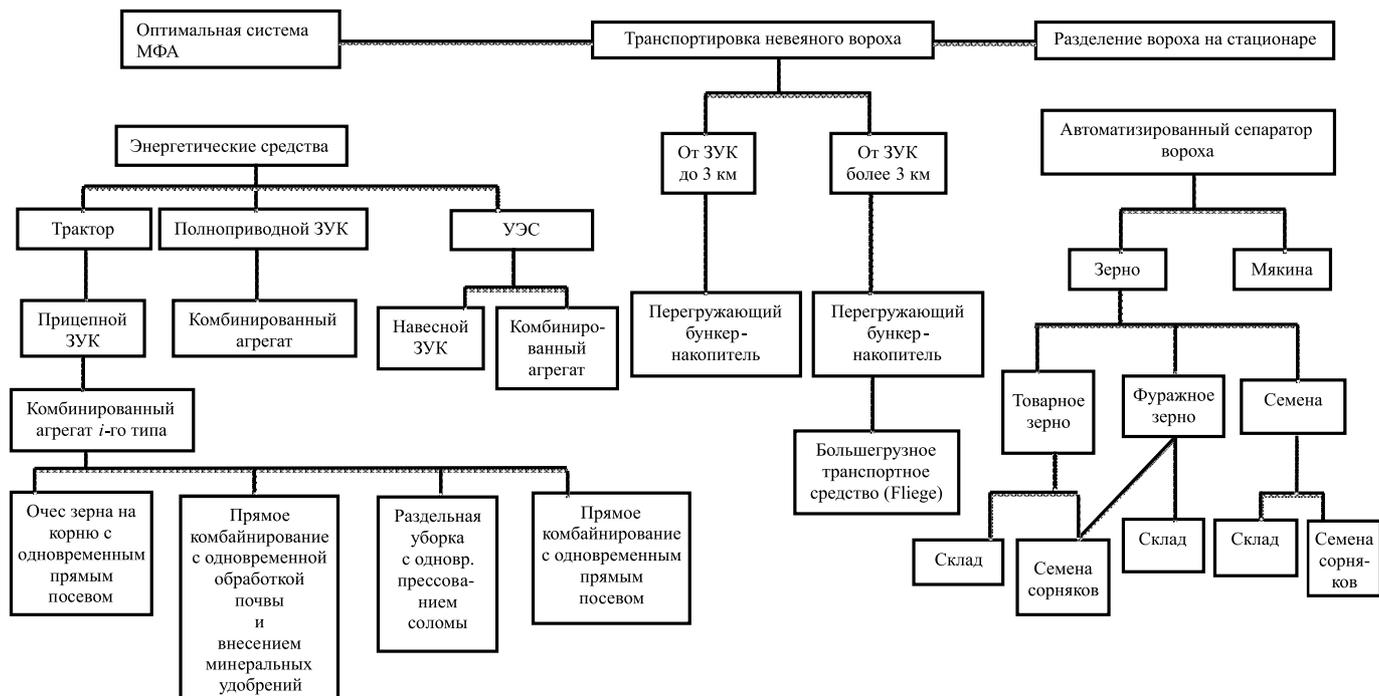


Рис. 2. Структурная схема предлагаемого способа уборки с применением МФА

базе УЭС-450 с навесным комбайном КЗР-12 и прицепным пресс-подборщиком для одновременного выполнения уборки зерна и прессования соломы. Ожидаемая эффективность предлагаемого агрегата будет получена за счет совмещения технологических операций и модернизации его технологической схемы. Предложено отделить процесс очистки зерна от комплекса КЗР-12 и перенести его на стационар, а вместо серийного очистителя зерна подсоединить пресс-подборщик также с приводом от вала отбора мощности энергосредства. Планируется выгрузка невеяного вороха на ходу в движущееся рядом транспортное средство. Отделение от комбайна очистки вороха позволяет повысить рабочую скорость почти вдвое, снижаются потери зерна, на каждой тонне намолоченного зерна экономится 1 кг дизельного топлива, все семена сорняков увозятся с поля, собирается половина на корм для животных. Эти преимущества показала производственная проверка технологии, проведенная в Канаде фирмой McLeod Harvest Inc. [5].

Выводы

По результатам моделирования и оптимизации работы МФА на базе комбайна TORUM-750 с функцией одновременного прессования соломы для условий Южного региона России обоснованы оптимальная продолжительность уборки озимой пшеницы не более пяти календарных дней для каждого сорта и ширина захвата жатки 4,5 м при урожайности 10 т/га, скорости МФА 5 км/ч, минимальной сумме затрат на уборку и потери зерна 62,7 млн руб. на уборочной площади 1000 га. Преимущество предлагаемого МФА заключается в комплексном выполнении основных уборочных работ, что снижает затраты, потери влаги и потребность в технике за счет совмещения технологических операций.

Литература и источники

1. Маслов Г. Г., Трубилин Е. И., Абаев В. В. и др. Способ уборки урожая зерновых культур и утилизации незерновой части урожая и устройство для его осуществления. Патент РФ № 2307498, 2006.
2. Маслов Г. Г., Трубилин Е. И., Абаев В. В. Совершенствование комбайновой уборки зерновых колосовых культур // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2007, № 8. С. 4–5.
3. Жалнин Э. В., Савченко А. Н. Технология уборки зерновых комбайновыми агрегатами. М.: Россельхозиздат, 1985. 207 с.
4. Маслов Г. Г., Палапин А. В., Ринас Н. А. Перспективы комплексной уборки зерновых культур: Монография. Краснодар: КубГАУ, 2014. 87 с.
5. Гейдебрехт И. П. Канадская технология уборки сельскохозяйственных культур // Техника и оборудование для села. 2006, № 4. С. 38–40.

References

1. Maslov G. G., Trubilin E. I., Abaev V. V., Sidorenko S. M. *Sposob uborki urozhaya zernovykh kul'tur i utilizatsii nezernovoy chasti urozhaya i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [Method of grain crops harvesting and tailings utilization and equipment for its accomplishment]. Patent RF no. 2307498, 2006.
2. Maslov G. G., Trubilin E. I., Abaev V. V. Enhancement of combine harvesting of cereal crops. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*, 2007, no. 8, pp. 4–5 (in Russ.).
3. Zhalnin E. V., Savchenko A. N. *Tekhnologiya uborki zernovykh kombaynovymi agregatami* [Technology of grain crops harvesting by means of combine units]. Moscow, Rossel'khozizdat Publ., 1985, 207 p.
4. Maslov G. G., Palapin A. V., Rinas N. A. *Perspektivy kompleksnoy uborki zernovykh kul'tur* [Prospects of complex harvesting of grain crops]. Krasnodar, Kuban State Agrarian University Publ., 2014, 87 p.
5. Geydebekht I. P. Canadian technology of crop harvesting. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*, 2006, no. 4, pp. 38–40 (in Russ.).