

УДК 631.354

UDC 631.354

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**ФУНКЦИЯ ЗАТРАТ И ПОТЕРЬ В  
ИССЛЕДОВАНИЯХ  
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ****THE COST AND LOSS FUNCTION IN THE  
RESEARCH OF MULTIPURPOSE  
ASSEMBLIES**

Маслов Геннадий Георгиевич  
д-р. техн. наук, профессор  
SPIN-код автора: 7115-7421

Maslov Gennady Georgievich  
Doctor of Technical Sciences, Professor  
SPIN-code author: 7115-7421

Хейфец Абрам Борисович  
магистрант  
*Кубанский государственный аграрный  
университет, Краснодар, Россия*

Heifetz Abram Borisovich  
Master's degree student  
*Kuban State Agrarian University, Krasnodar,  
Russia*

На примере трех многофункциональных агрегатов (МФА) представлена возможность применения функции затрат и потерь для обоснования конструктивных и режимных параметров в качестве критерия оптимизации. Указанная целевая функция математической модели представляет собой сумму затрат на выполнение заданного объема механизированных работ и стоимости потерь урожая, связанных с нарушением оптимальных сроков выполнения заданной работы. Известно, что чем больше затягивается выполнение работ (например, уборка зерна), тем больше потери и их стоимость. Экстремум функции затрат и потерь – минимум суммы затрат и стоимости потерь, который и определяет оптимальные параметры, режим работы МФА и продолжительность работ. Стоимость затрат на выполнение работ в целевой функции включает эксплуатационные затраты на МФА для намеченных объемов работ. При увеличении продолжительности этих работ затраты снижаются, а стоимость потерь, наоборот, возрастает. Сумма же стоимости затрат и потерь имеет экстремум, который и определяет оптимальность решения. Стоимость потерь урожая зависит от закупочной цены на убираемую сельхозпродукцию и интенсивность потерь урожая за каждый день уборки, для которой нами уже разработаны достоверные зависимости. Предложены блок-схемы алгоритмов оптимизации параметров МФА и режимов их работы, раскрыты понятия целевой функции и метод ее расчета для разных составов агрегатов. На примере многоцелевого комбинированного агрегата для стерневой обработки почвы и одновременного посева сидератов сделан анализ результатов решения задачи с использованием функции затрат и потерь, которая является эффективным методом оптимизации параметров и режимов работы различных машинных агрегатов и облегчает решение при выборе альтернативных вариантов.

Using the example of three multipurpose assemblies (MPA) we have presented the possibility of the cost and loss function appliance for the substantiation of the design and operating parameters as the criterion of optimization. The mentioned objective function of mathematical model is the sum of expenses on the performance of the scheduled amount of automated tasks and the cost of the crop loss related to the failure of meeting deadlines. It is common knowledge that the longer the execution of work lasts (e.g. crop harvesting), the more value it loses. The extremum of the cost and loss function is the minimum of the sum of expenses and the cost of losses which sets the optimal parameters, the mode of the MPA functioning and the work duration. The cost of inputs for the work performance within the objective function includes operating costs of the MPA for the scheduled amounts of work. With the increase of the duration of these works the expenses decrease, however, the cost of losses grows. The sum of the costs of inputs and losses has the extremum that sets the solution optimality. The cost of crop losses depends on the purchase price for the harvested crops and the crop losses intensity for each day of harvesting which we have already developed significant dependencies for. We have suggested the control flow charts for optimizing the MPA parameters and their functioning modes, we have evolved the notion of the objective function and the method of its calculation for different sets of assemblies. Through the example of the multipurpose complex assembly for stubble soil cultivation and simultaneous green manure dropping, we have analyzed the results of the task solution using the cost and loss function which is an effective method of the parameter optimization and the functioning modes of various machine assemblies and facilitates the choice of alternative options

Ключевые слова: ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ,

Keywords: OBJECTIVE FUNCTION,

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АГРЕГАТ,  
ЗАТРАТЫ, ПОТЕРИ, УБОРКА УРОЖАЯ,  
КОМБАЙН, ТРАКТОР, ЭФФЕКТИВНОСТЬ

MULTIPURPOSE ASSEMBLY, COSTS, LOSSES,  
CROP HARVESTING, COMBINE HARVESTER,  
TRACTOR, EFFICIENCY

Важнейшим направлением повышения эффективности производства сельскохозяйственной продукции, ее конкурентоспособности является разработка и внедрение новейших технологий, основанных на ресурсосбережении. Это можно достигнуть за счет применения в технологиях техники нового поколения, отличительная особенность которой – многофункциональные агрегаты (МФА). В работе А.А. Михалева, А.А. Ежевского и Н.В. Краснощекова [1] отмечается, что технологическая модернизация АПК позволяет достигнуть экономии топливно-смазочных материалов в 2-2,5 раза, трудовых затрат – до трех раз, обеспечить рост урожайности сельхозкультур на 30 %. Предлагаемая указанными авторами [1] концепция ориентирует на формирование машинного-тракторного парка (МТП) нового типа, где однооперационные агрегаты должны быть заменены многофункциональными, универсально-комбинированными, способными адаптироваться к изменяющимся условиям эксплуатации путем быстрой смены рабочих органов и модульного агрегатирования. Это позволит резко сократить номенклатурный перечень машин, например, для производства зерна с 20-30 до 5-6 наименований. Так, для полного цикла выращивания и уборки зерна по интенсивной технологии будут нужны лишь базовый универсальный трактор, зерноуборочный комбайн (самоходный, навесной или прицепной), универсально-адаптированное почвообрабатывающее орудие, универсальный посевной агрегат и опрыскиватель. При этом в 1,5-2 раза снижаются капиталовложения в механизацию, а значит и эксплуатационные и приведенные затраты.

С переходом в ВТО технологическая модернизация – главное условие выжить в жесткой конкуренции производства продукции

растениеводства, в том числе приоритетной его составляющей – производства зерна.

В настоящей статье нами сделана попытка на примере трех многофункциональных агрегатов, применяемых в производстве зерна, показать эффективность методического приема по обоснованию оптимальных конструктивных и режимных параметров этих агрегатов с использованием целевой функции затрат и потерь. Понятие функции «затрат и потерь» не ново само по себе. Это сумма затрат на производство продукции, чаще всего эксплуатационных, и стоимости потерь этой продукции, связанных с несоблюдением оптимальных сроков выполнения работ и других факторов. Ее применение известно на примере уборочных агрегатов [2,3]. Общим подходом в решении задач с помощью этой функции является ее критерий – минимальное значение суммы затрат и потерь, но методы их расчета различны в каждой отдельной задаче.

Для выполнения задачи производства конкурентоспособного зерна высокого качества и с низкой себестоимостью необходимо соблюдать сроки уборки урожая, совершенствовать конструкцию машин, способы и организацию уборки. Наряду с уборкой урожая в соответствии с агротребованиями в едином потоке и ритме должен соблюдаться весь комплекс послеуборочных работ по закладке фундамента будущего урожая. Пока, к сожалению, эта задача решается с разрывом по времени между уборкой зерна и обработкой почвы, из-за чего теряется влага 80-100 т/га за каждые сутки [4] и будущий урожай. Системой земледелия [4] предусматривается вслед за уборкой немедленная обработка почвы. Однако, на наш взгляд, это требование уже устарело, так как необходима только комплексная уборка в едином потоке с выполнением операций послеуборочного комплекса [2]. На эту задачу ориентировал еще в прошлом веке профессор Жалнин Э.В. [5]. Очень важным требованием к уборке является также неукоснительное соблюдение экологических

нормативов охраны окружающей среды [2], так как применение самоходных зерноуборочных комбайнов ведет к переуплотнению почвы: на 1 кг\с пропускной способности молотилки приходится 1,45 тонны массы и 16,2 кВт мощности двигателя комбайна, а общая масса достигает 18-20 т. Послеуборочная обработка почвы, сев промежуточных культур, прессование соломы в настоящее время выполняется отдельно и требует дополнительных затрат ресурсов, энергии, перемещений тяжелых машин по полю, распылению почвы, ее эрозии и др. Кроме того, научными исследованиями доказана высокая эффективность пожнивных сидератов [6,7]. Так, урожайность сои при использовании овса в качестве пожнивного сидерата увеличилась на 30 % в среднем за три года, снизился общий уровень загрязнения окружающей среды, создаются благоприятные предпосылки биологизации существующей системы земледелия. Кроме того, сидеральные культуры создают эффективный фон для весеннего посева пропашных культур по нулевой обработке [8].

Рассмотрим применение функции «затрат и потерь» на примере МФА для стерневой обработки почвы с одновременным посевом пожнивных сидератов. Этот агрегат разработан нами совместно с магистрантом КубГАУ Хейфец А.Б. Его технологическая схема (рис. 1) включает: раму 1, опорные колеса 2, дисковые рабочие органы 3, стрельчатые лапы 4, высеивающее устройство 5, кронштейн 6, пружинную борону 7 и прикатывающие катки 8. Такой МФА в полной комплектации позволит сельхозпотребителю отказаться от приобретения по отдельности дискаторов, плугов, культиваторов, что обеспечит ему снижение затрат на приобретение новой почвообрабатывающей техники более чем в 2-3 раза [9].

Для оптимизации конструктивных и режимных параметров указанного агрегата МКПА нами разработана математическая модель

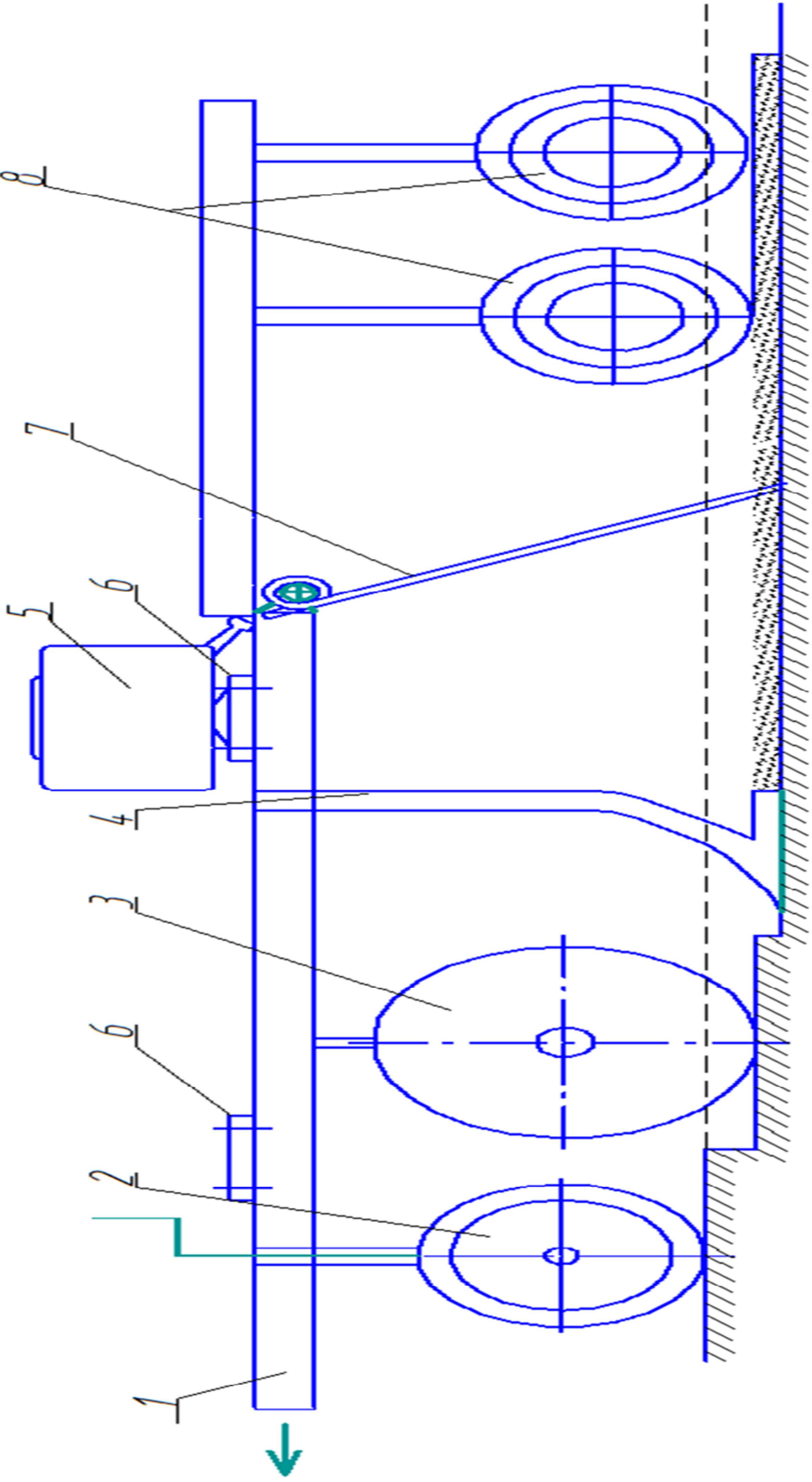


Рисунок 1 - Многоцелевой комбинированный почвообрабатывающий агрегат

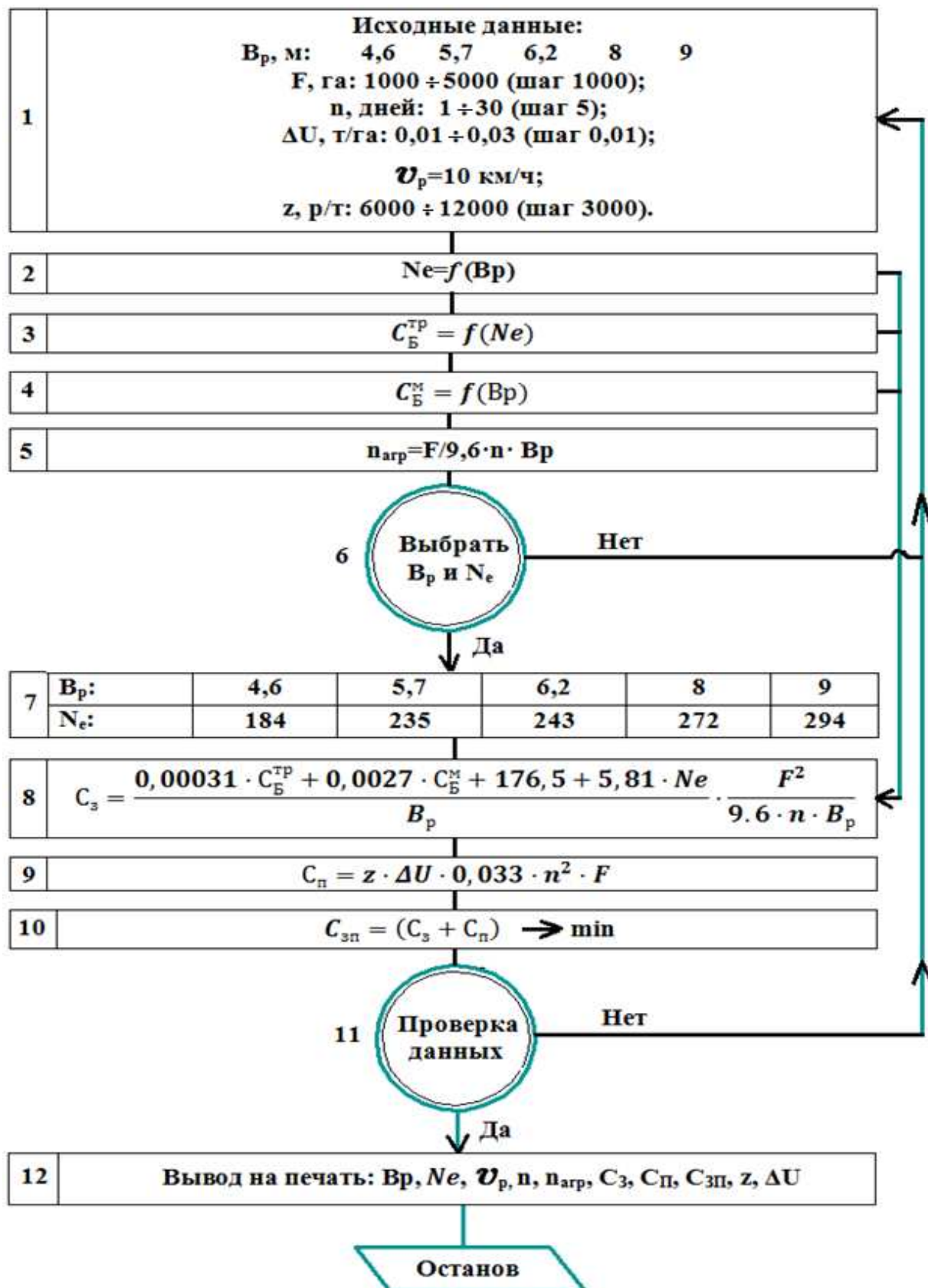


Рисунок 2 - Блок-схема алгоритма оптимизации параметров и режимов работы МФА

(рис. 2), в которой целевая функция (оператор 10 рис. 2) представлена функцией затрат и потерь  $C_{зп}$ , стремящейся к минимуму.

Оптimum целевой функции рассматриваемого агрегата МПКА представляет собой минимум суммы затрат на выполнение стерневой обработки почвы и потерь будущего урожая зерна кукурузы, посеянной весной на обработанном участке, связанных с нарушением оптимальной продолжительности лущения стерни. Как известно [5], запаздывание со сроками обработки стерни зерновых колосовых после их уборки на 2-3 дня снижает урожайность культур следующего года на 1,5-2 ц. с 1 га. В этой связи функция затрат и потерь  $C_{зп}$  после преобразований сводится к виду (1):

$$C_{зп} = \left( \frac{0,00031 \cdot C_B^T + 0,0027C_B^M + 176,5 + 5,81 \cdot N_e}{V_p} \cdot \frac{F^2}{9,6 \cdot n \cdot V_p} + z \cdot \Delta U \cdot 0,033 \cdot n^2 \cdot F \right) \rightarrow \min \quad (1)$$

где  $C_{зп}$  – сумма «затрат и потерь» на каждый день лущения стерни агрегатом МКПА, тыс. рублей;

$n$  – продолжительность работы агрегата МКПА, дней;

$F$  – обрабатываемая агрегатом МКПА площадь, га;

$C_B^T$  – балансовая стоимость трактора к агрегату МКПА, тыс. рублей;

$C_B^M$  – балансовая стоимость агрегата, тыс. рублей;

$\Delta U$  – потери урожая зерна на каждый день нарушения оптимальных сроков, т\га · день;

$V_p$  – ширина захвата агрегата МКПА, м;

$v_p$  – рабочая скорость движения агрегата, км\ч;

$\tau$  – коэффициент использования времени смены;

$z$  – закупочная цена зерна кукурузы, руб\т;

$n_{агр}$  – количество агрегатов МПКА, шт.;

$N_e$  – мощность двигателя трактора к агрегату, кВт.

При моделировании задачи по минимальному значению целевой функции находят оптимальную продолжительность  $n$  работы агрегата на лущении стерни с одновременным посевом сидератов, количество этих агрегатов  $n_{agr}$ , оптимальную стоимость затрат  $C_3$  на выполнение работ и оптимальную стоимость потерь  $C_{п}$ , связанных с недобором будущего урожая. Находятся также и оптимальные параметры агрегата МКПА: ширина захвата  $B_p$ , рабочая скорость  $v_p$  движения и мощность двигателя  $N_e$  трактора к агрегату МКПА.

Зависимость функции  $C_{зп}$  затрат и потерь представлена на рисунке 3, а в таблице 1 – расчетные значения всех видов затрат, полученные по результатам моделирования агрегата МКПА.

Таблица 1 – Значения целевой функции  $C_{зп}$  по результатам моделирования для разных составов агрегатов МКПА

Состав агрегата		Минимум функции $C_{зп}$ , тыс. руб.	Оптимальная продолжительность работ $n$ , дней
мощность двигателя трактора, кВт	марка машины		
184	VECTOR-460	4304	27
235	VECTOR-570	3694	25
243	VECTOR-620	3469	24
272	VECTOR-800	2874	22
294	VECTOR-900	2664	21

Как следует из таблицы 1, минимум функций затрат и потерь  $C_{зп}=2664$  тыс. рублей имеет место для МКПА VECTOR-900, которой соответствуют следующие оптимальные параметры: оптимальная ширина захвата агрегата  $B_p=9$  м, рабочая скорость  $U_p=10$  км\ч, мощность



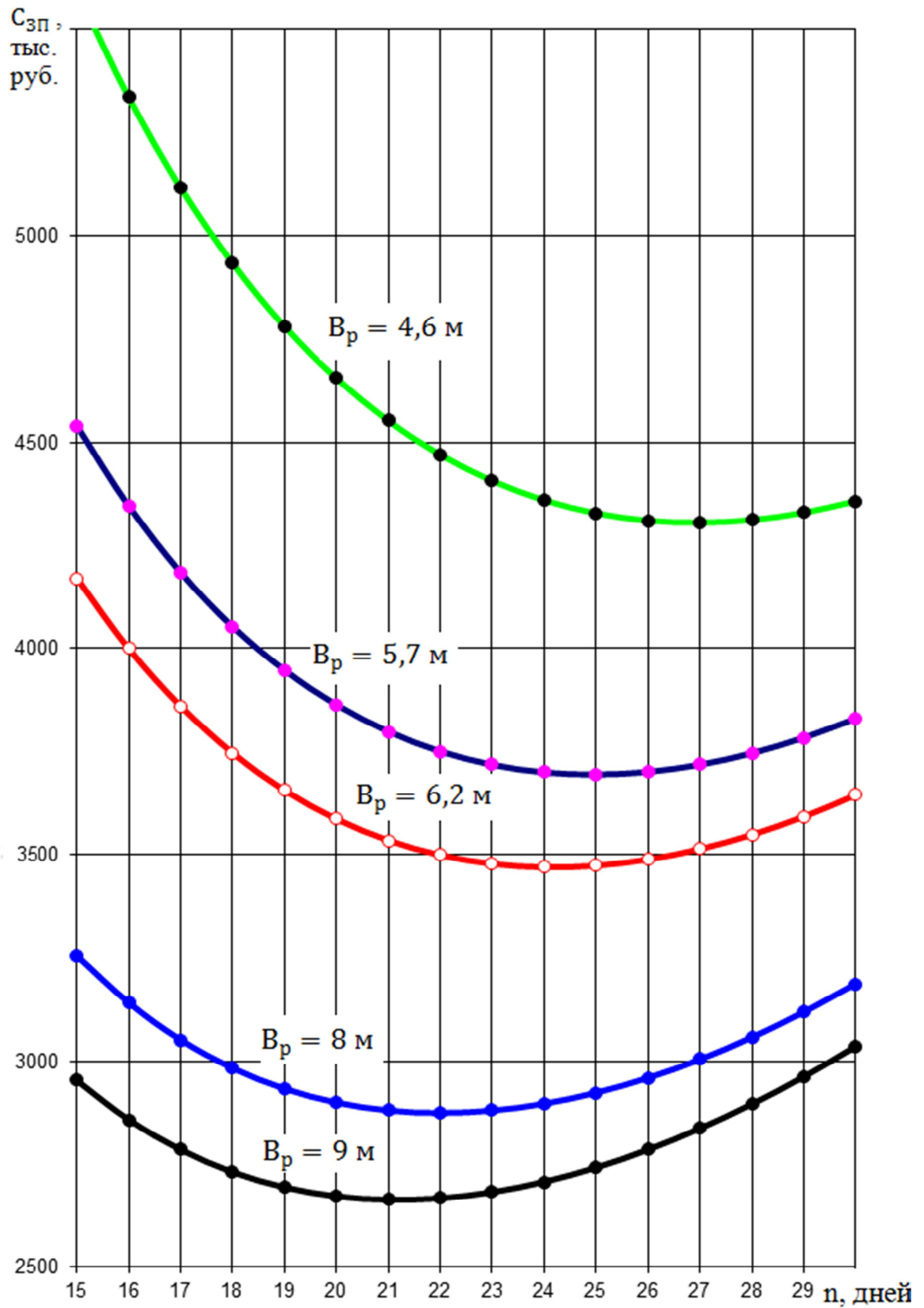


Рисунок 3 – Зависимость функции затрат и потерь  $C_{3П}$  от продолжительности  $n$  выполнения работ

двигателя трактора  $N_e=294$  кВт, стоимость затрат на выполнение работ  $C_3=1791$  тыс. рублей, стоимость потерь  $C_{П}=873$  тыс. рублей.

Для второго многофункционального агрегата, выполняющего уборку зерновых колосовых комбайном TORUM-750 с одновременным прессованием соломы присоединенным к этому комбайну пресс-подборщиком ПРП-150, целевая функция  $C_{зп}$  затрат и потерь будет иметь следующий вид после соответствующих преобразований (2):

$$C_{зп} = \left( \frac{248,04 + 0,0016 \cdot C_B^K + 6,6 \cdot N_e + 0,00198 \cdot C_B^{Пр}}{W} \cdot F^2 + z \cdot U \cdot F \cdot \frac{1,6 \cdot n - 2,5}{100} \right) \rightarrow \min \quad (2)$$

где  $C_B^K$  – балансовая стоимость зерноуборочного комбайна, тыс. рублей;

$N_e$  – мощность двигателя комбайна, кВт;

$F$  – площадь убираемой сельхозкультуры, га;

$z$  – закупочная цена зерна, руб\т;

$U$  – урожайность зерна, т\га;

$n$  – продолжительность уборки, дней;

1,6 и 2,5 – эмпирические коэффициенты.

Блок-схема алгоритма оптимизации конструктивных и режимных параметров этого многофункционального агрегата представлена на рисунке 4, а целевая функция  $C_{зп}$ , представляющая собой сумму затрат  $C_3$  на выполнение уборки урожая с одновременным прессованием соломы и потерь  $C_{П}$  урожая в связи с увеличением продолжительности уборки  $n$ , реализуется арифметическим оператором 8 (рис. 4). Минимум целевой функции  $C_{зп}$  определяет как и в первом агрегате, оптимальную продолжительность  $n$  уборки урожая и оптимальные параметры агрегата:

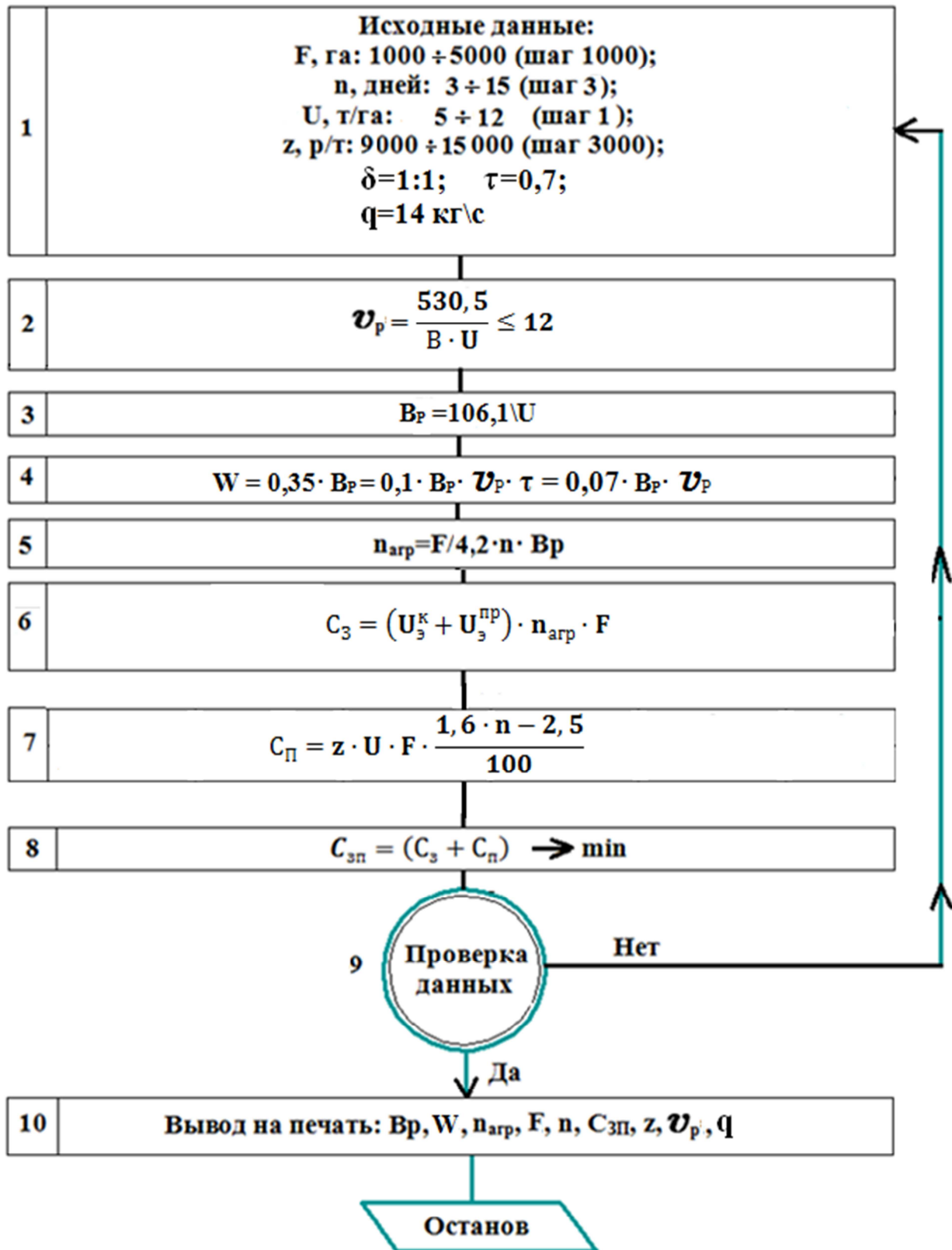


Рисунок 4 - Блок-схема алгоритма оптимизации параметров и режимов работы полноприводного роторного ЗУК с одновременным прессованием соломы

ширину захвата  $V_p$  жатки для заданной урожайности зерна  $U$ , рабочую скорость  $v_p$  комбайна, мощность двигателя  $N_e$  комбайна, его пропускную способность (кг\с) и другие. Таким образом, и при обосновании второго МФА целевая функция затрат и потерь дает надежное основание для объективного принятия решения.

Аналогичная задача по обоснованию параметров и режимов работы уборочного агрегата с одновременным прессованием соломы нами решена для другого состава МФА, в котором в качестве энергосредства использован УЭС-450 [2], в качестве комбайна – навесной КЗР-12, а пресс-подборщик – тот же самый ПРП-150, что и в последней задаче. Как известно [2], в качестве целевой функции принята также функция затрат и потерь, полученная с учетом стоимости принятых машин в составе МФА. Решение задачи позволило определить параметры жатки ( $V_p=5,4$  м), рабочую скорость комбайна  $v_p=5$  км\ч при урожайности  $U=6,8$  т\га и оптимальную продолжительность уборки  $n=5$  дней [2].

Общий вид функции затрат и потерь представлен на рисунке 5.

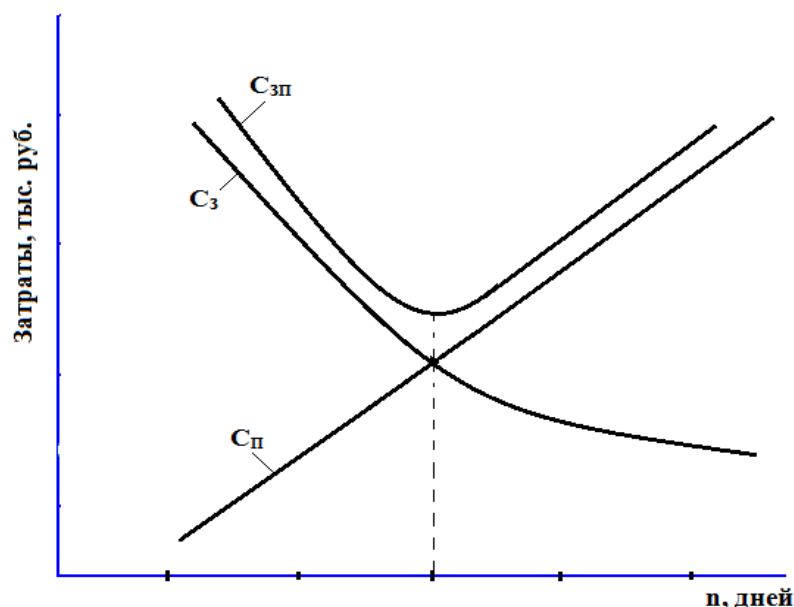


Рисунок 5 – Зависимость функции стоимости затрат  $C_3$  на уборке урожая, стоимости потерь  $C_{п}$  урожая и стоимости затрат и потерь  $C_{3п}$  от продолжительности уборки  $n$

Таким образом, функция затрат и потерь является эффективным методом оптимизации конструктивных и режимных параметров различных машинных агрегатов и облегчает принятие решения при выборе альтернативных вариантов.

### Литература

1. Михалев А.А., Ежевский А.А., Краснощеков Н.В. О технологической модернизации сельскохозяйственного производства России/ Техника и оборудование для села, № 4, 2005.
2. Маслов Г.Г. Перспективы комплексной уборки зерновых культур: монография / Г.Г. Маслов, А.В. Палапин, Н.А. Ринас; КубГАУ – Краснодар, 2014. – 87 с.
3. Ринас Н.А. Сбережение ресурсов на уборке зерна // Известие Великолукской ГСХА. - № 2. – С. 30-34.
4. Системы земледелия в Краснодарском крае на 1990-1995 годы и на период до 2000 года. – Рекомендации. – Краснодар, 1990.
5. Жалнин Э.В., Савченко А.Н. Технологии уборки зерновых комбайновыми агрегатами. – М: Россельхозиздат., 1985 –207 с.
6. Кашбулгаянов Р. Пожнивной сидерат умножает урожай / Сельский механизатор, № 3, 2006. – С. 18-19.
7. Шелайкин С.В. и др. Промежуточные сидеральные культуры и фитосанитарное состояние бессменных посевов ячменя / Земледелие, 5, 2005. – С. 28-29.
8. Нулевая обработка – экономия затрат  
Маслов Г., Небавский В.  
Сельский механизатор. 2004 № 3. С.34.
9. Многофункциональный комбинированный почвообрабатывающий агрегат / Продовольственный рынок и технологии АПК 03(93) 2015 год. – С. 72.
10. Оптимизация параметров и режимов работы машин методами планирования эксперимента  
Маслов Г.Г., Дидманидзе О.Н., Цыбулевский В.В.  
Учебное пособие для сельскохозяйственных вузов / Москва, 2007.
11. Комплексное проектирование механизированных производственных процессов в растениеводстве  
Маслов Г.Г.  
Учебное пособие для студентов сельскохозяйственных высших учебных заведений / Москва, 2006. Сер. Учебник.

### References

1. Mihalev A.A., Ezhevskij A.A., Krasnoshhekov N.V. O tehnologicheskoy modernizacii sel'skohozjajstvennogo proizvodstva Rossii/ Tehnika i oborudovanie dlja sela, № 4, 2005.
2. Maslov G.G. Perspektivy kompleksnoj uborki zernovyh kul'tur: monografija / G.G. Maslov, A.V. Palapin, N.A. Rinas; KubGAU – Krasnodar, 2014. – 87 s.

3. Rinas N.A. Sberezenie resursov na uborke zerna // Izvestie Velikolukskoj GSHA. - № 2. – S. 30-34.
4. Sistemy zemledelija v Krasnodarskom krae na 1990-1995 gody i na period do 2000 goda. – Rekomendacii. – Krasnodar, 1990.
5. Zhalnin Je.V., Savchenko A.N. Tehnologii uborki zernovyh kombajnovymi agregatami. – M: Rossel'hozizdat., 1985 –207 s.
6. Kashbulgajanov R. Pozhnavnoj siderat umnozhaet urozhaj / Sel'skij mehanizator, № 3, 2006. – S. 18-19.
7. Shelajkin S.V. i dr. Promezhutochnye sideral'nye kul'tury i fitosanitarnoe sostojanie bessmennyh posevov jachmenja / Zemledelie, 5, 2005. – S. 28-29.
8. Nulevaja obrabotka – jekonomija zatrat  
Maslov G., Nebavskij V.  
Sel'skij mehanizator. 2004 № 3. S.34.
9. Mnogofunkcional'nyj kombinirovannyj pochvoobrabatyvajushhij agregat / Prodovol'stvennyj rynek i tehnologii APK 03(93) 2015 god. – S. 72.
10. Optimizacija parametrov i rezhimov raboty mashin metodami planirovanija jeksperimenta  
Maslov G.G., Didmanidze O.N., Cybulevskij V.V.  
Uchebnoe posobie dlja sel'skohozjajstvennyh vuzov / Moskva, 2007.
11. Kompleksnoe proektirovanie mehanizirovannyh proizvodstvennyh processov v rastenievodstve  
Maslov G.G.  
Uchebnoe posobie dlja studentov sel'skohozjajstvennyh vysshih uchebnyh zavedenij / Moskva, 2006. Ser. Uchebnik.