УДК 631.3-192

ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ОБОСНОВАНИЕМ РЕЗЕРВА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ НА ПЕРИОД ПОЛЕВЫХ РАБОТ

© 2019 г. Н.В. Валуев, С.Л. Никитченко, А.Д. Волошин

Для эффективного использования машинно-тракторного парка (МТП) важно иметь обслуживающую систему, которая способна обеспечить минимальный простой машин по техническим причинам. Наличие необходимых запасных частей в период полевых работ является важным фактором для поддержания работоспособности машин. В настоящее время довольно широко исследованы методы и средства планирования резервов запасных частей в условиях дилерских сервисных центров. Однако они чаще охватывают технику клиентских предприятий, которая находится в гарантийном периоде эксплуатации. Парк машин многих хозяйств наполовину и более находится за пределами гарантийного периода эксплуатации. Эксплуатационная надёжность таких машин формируется силами инженерно-технических работников (ИТР) предприятия-владельца техники. Развитие дилерских сетей и массовое появление предприятий, занимающихся материально-техническим обеспечением сельскохозяйственного производства, привели к существенному сокращению номенклатуры деталей, хранящихся на собственных складах хозяйств, а замена отказавших деталей осуществляется за счёт их подвоза из снабжающих организаций. Однако такой подход не способствует оперативному устранению отказов сельскохозяйственной техники и зачастую приводит к её необоснованным простоям в пиковые периоды полевых работ. Наличие склада запасных частей на сельскохозяйственном предприятии не потеряло актуальности, поскольку внутренний складской запас предприятия максимально приближен к местам работы машин. Важно правильно обосновать внутренний резерв, чтобы максимально удовлетворить сезонную потребность в запасных частях и исключить их невостребованные остатки. В статье рассмотрен вариант сезонного резервирования запасных частей на складе сельскохозяйственного предприятия, основанный на применении специализированного программного обеспечения и базы данных с информацией о потреблении запасных частей машинами в прошлые годы.

Ключевые слова: сельскохозяйственная техника, надёжность машин, время восстановления, запасные части, резервирование, среднесуточное потребление, коэффициент оперативной готовности, производительность, программное обеспечение, база данных.

To effectively use the machine and tractor fleet, it is important to have a maintenance system that can provide minimal downtime for technical reasons. The availability of the necessary spare parts during the period of field work is an important factor for maintaining the operability of machines. At present, methods and tools for planning spare parts reserves in the conditions of dealer service centers have been widely studied. However, they often include the equipment of client enterprises, which is in the warranty period of operation. The fleet of many farms by half and more is outside the warranty period of operation. The operational reliability of such machines is formed by the engineering and technical workers of the enterprise-owner of the equipment. The development of dealer networks and the mass emergence of enterprises, engaged in the logistics of agricultural production, led to a significant reduction in the range of parts stored in the own warehouses of farms, and the replacement of the failed parts is carried out by bringing them from supplying organizations. However, this approach does not contribute to the rapid elimination of failures of agricultural equipment and often leads to its unreasonable downtime during peak periods of field work. The presence of a warehouse of spare parts in an agricultural enterprise has not lost its relevance, since the internal warehouse stock of the enterprise is as close as possible to the places where the machines operate. It is important to properly justify the internal reserve in order to best meet the seasonal need for spare parts and eliminate their unclaimed residues. In the article, the author considers the option of seasonal backup of spare parts in a warehouse of an agricultural enterprise, based on the use of specialized software and a database with information on the consumption of spare parts by machines in past years.

Keywords: agricultural machinery, machine reliability, recovery time, spare parts, redundancy, average daily consumption, operational readiness ratio, productivity, software, database.

Введение. Резервирование в трудах многих учёных рассматривается как способ управления надёжностью технических систем. Применительно к сельскохозяйственной технике методы резервирования запасных частей получили развитие и широко используются в дилерских сервисных центрах и в организациях, являющихся операторами рынка запасных частей. В прошлом веке отсутствие автоматизации процессов сбора и обработки первичной информации о потреблении запасных частей машинами существенно сдерживало внедрение в сельскохозяйственное производство передовых методов управления их эксплуатационной надёжностью. Появление персональных компьютеров и пакетов специализированных программ сегодня позволяет расширить круг лиц, которые на практике используют научные достижения теории складской логистики и других смежных наук. Актуальным является вопрос обоснования резерва запасных частей для сельскохозяйственной техники, что позволит снизить непроизводительные простои машин, связанные с подвозом деталей и восстановлением работоспособности машин.

Методика исследования. Наука и практика управления складами запасных частей требует разделения номенклатуры запаса по группам [1, 2, 3]. Чаще всего здесь рассматриваются два метода управления запасами: метод ABC-классификации и метод XYZ-классификации. При этом основную модель управления запасами в логистике представляют в виде минимизации издержек предприятия, связанных с приобретением, доставкой, хранением резервов, а также возможными убытками (штрафами) от их отсутствия [1].

Методы управления по группам АВС-классификации основываются на законе Парето (законе 80/20). Эти методы являются хорошо разработанным инструментом, однако они больше подходят для предприятий с равномерным круглогодичным темпом производства и спросом на складские запасы. На сельскохозяйственных предприятиях наблюдается неравномерная загрузка машин на полевых и других работах, т.е. имеют место сезонные пики оперативной потребности в запасных частях. Авторы [4, 5, 6] обосновывают величину резерва запасных частей для машин на период полевых работ с использованием методов теории вероятностей и теории массового обслуживания. Отказы машин авторы рассматривают как случайный спрос λ_i в единицу времени на запасные части *i*-го типа, резерв запасных частей пополняется перед сезоном полевых работ. При этом рассматривается надёжность *P(n)* системы для случая ненагруженного (холодного) резервирования в виде

$$P(n) = \prod_{i=1}^{k} P_i(n), \quad (1)$$

где n_i – резерв элементов *i*-го типа;

k – количество типов деталей;

$P_i(n)$ – вероятность безотказной работы подсистемы из элементов *i*-го типа.

В работах [7, 11] авторы представляют каждый трактор или комбайн в период полевых работ как систему, в которой имеется группа из *Q* ненадёжных элементов q_i, требующих замещения в течение времени *t* (рисунок 1).

Данные элементы могут как иметь общие связи, так и быть независимыми, но отказ каждого из них приводит к остановке машины. Работоспособность машины восстанавливается путём замещения отказавшего элемента резервным, т.е. имеем ненагруженное резервирование, при котором функции основного элемента передаются резервному только после отказа основного элемента.

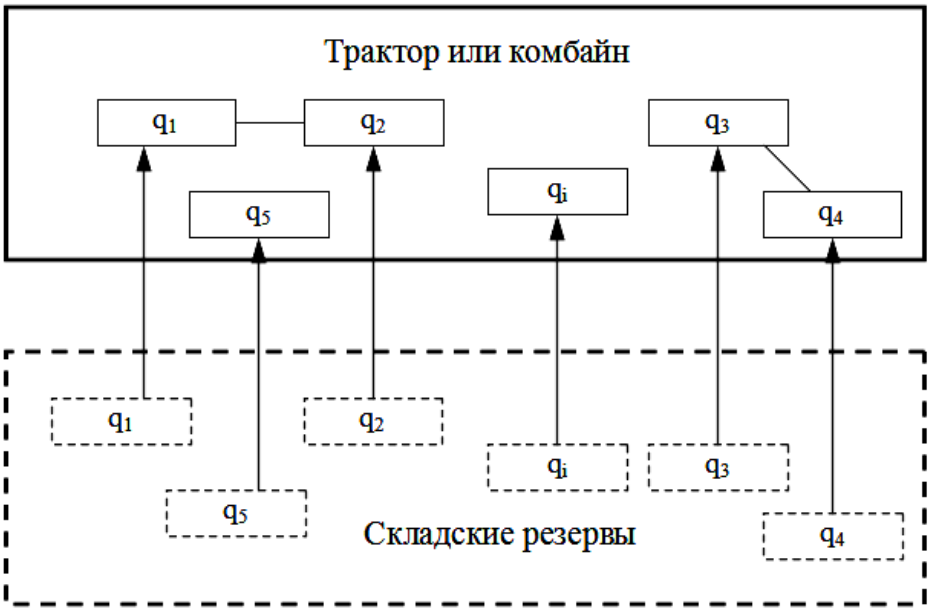


Рисунок 1 – Схема ненагруженного резервирования замещением

При обосновании складского запаса предприятию важно обеспечить минимум риска нехватки деталей и узлов в период полевых работ. Стоимость S_r резерва складывается из стоимостей S_i каждой запасной части q_i, размещённой в заявке на приобретение ($q \in Q$), включая издержки доставки на предприятие и хранение. Если резерв склада предприятия по *i*-му типу деталей меньше ожидаемого спроса в период полевых работ, то предприятие несет убытки U_1 от простоя техники. Если резерв превышает спрос, то часть деталей остается вне оборота и предприятие также имеет убыток U_2, который связан с увеличением затрат на запасные части и стоимости их хранения. Необходимо найти компромиссный вариант между убытками и затратами предприятия. Минимальный риск нехватки деталей в период работ представим через вероятность возникновения отказа элементов *i*-го типа с простоем системы

$$\left.\begin{array}{c} \min\left\{1 - P_i(q)\right\} = \min\left\{1 - \prod_{i=1}^{k} P_{ik}(q_i)\right\} \\ или \\ \max P_i(q) = = \max\left\{\prod_{i=1}^{k} P_{ik}(q_i)\right\} \\ q_i = 0, 1, 2, 3, \ldots\ldots, \\ k = 1, 2, 3, \ldots\ldots, \end{array}\right\}, \quad (2)$$

при наличии ограничения

$$S_r - \sum_{i=1}^{k} S_i \cdot q_i \geq 0, \quad (3)$$

где S_i – стоимость запчасти *i*-го типа.

Критерий (3) не лимитирует верхний предел запаса, поэтому здесь появляется вероятность того,

что не все детали из резерва будут востребованы и предприятие имеет риск получить ущерб U_2. Данное противоречие описывается известной из теории операций математической моделью [6]

$$F = S_i \sum_{i=1}^{k} (Q - q) \cdot p(q) + U \sum_{q=Q+1}^{\infty} (q - Q) \cdot p(q), \quad (4)$$

где $p(q)$ – вероятность отказа q запасных частей.

Решение этой модели в условиях производства возможно при наличии на складе автоматизированной системы с базой данных, в которой имеется массив внутренней информации предприятия об интенсивности потребления запасных частей i-го типа машинами в прошлые годы, а также данные о текущей стоимости этих запчастей. Нами разработано программное обеспечение «Агрокомплекс-«Ресурсы», которое позволяет вести базу данных склада запасных частей сельскохозяйственного предприятия с контролем прихода и расхода складских материалов [8, 9, 10]. Для разработки использовались среда Delphi-2007 и свободно распространяемый сервер баз данных Firebird. Программа «Ресурсы» имеет дополнительный модуль планирования резервов запасных частей, окно которого показано на рисунке 2. Данный модуль позволяет делать выборку наиболее востребованных запасных частей в конкретном периоде полевых работ и рассчитывать их рекомендуемый сезонный резерв. Далее после редактирования оператором программы данный перечень отправляется в окно формирования бланка заявки на запчасти (рисунок 3). Заявку можно выводить на печать или конвертировать в файл формата MS Ecxel, который можно отправить по электронной почте поставщику.

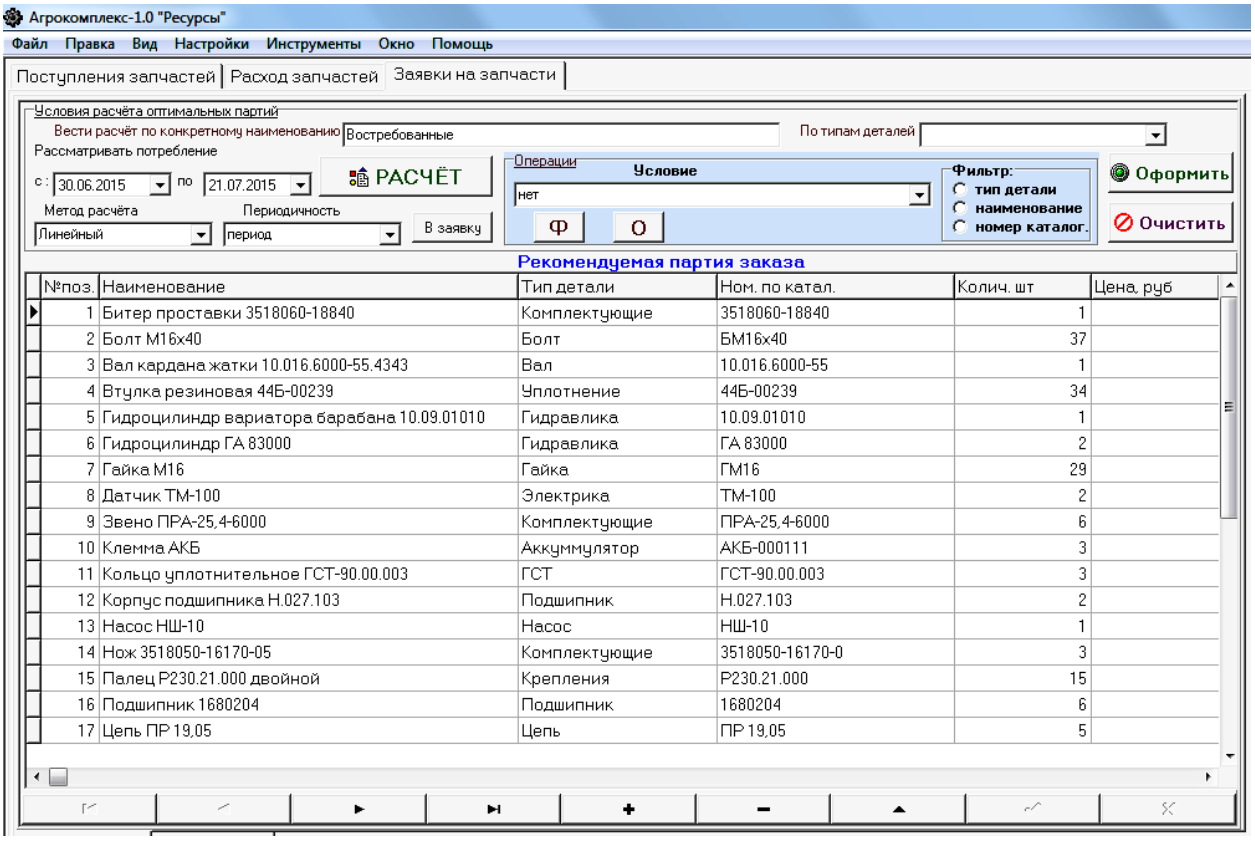


Рисунок 2 – Окно модуля планирования резервов запасных частей

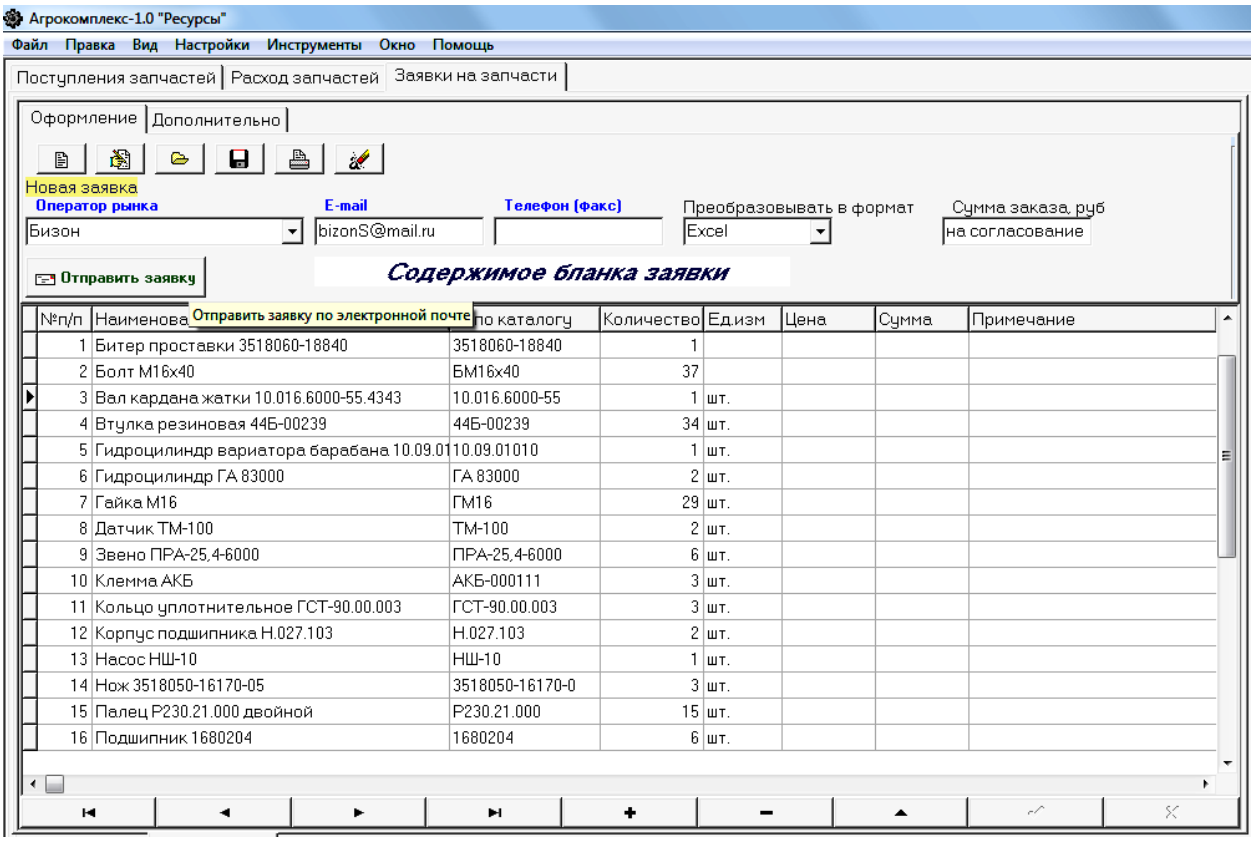


Рисунок 3 – Окно формирования заявки

Функциональные возможности программы пока не позволяют вести прогноз складского резерва в соответствии с описанной выше моделью. Но программа позволяет определять среднее значение $\overline{q}$ сезонного запаса деталей *i*-го типа на основании анализа их потребления в указанный период работ за предыдущие годы. Необходимый текущий запас *q* для *i*-го складского материала на пиковый сезон полевых работ определяется программой по формуле

$$q_i = C_{1i} \cdot D \cdot N_i , \quad (5)$$

где C_{1i} – среднесуточное потребление *i*-й запасной части, ед/(сут · маш);

D – продолжительность сезона полевых работ (агроскрок), сут;

N_i – количество машин на предприятии, потребляющих данную запасную часть, шт.

Параметр C_{1i} для *i*-й запасной части определяется программой путём анализа данных о её потреблении в указанные сезоны в прошлые годы. Например, если пользователь задаёт глубину анализа три года, формула для расчёта среднесуточного потребления будет иметь вид

$$C_{1i} = \frac{\sum_{g=1}^{g=3} \frac{m_{ig}}{D \cdot N_{ig}}}{3}, \quad (6)$$

где m_{ig} – количество потреблённых *i*-тых деталей со склада за период *D* в *g*-том году, шт.;

N_{ig} – количество машин, потребляющих *i*-тую деталь в *g*-том году, шт.

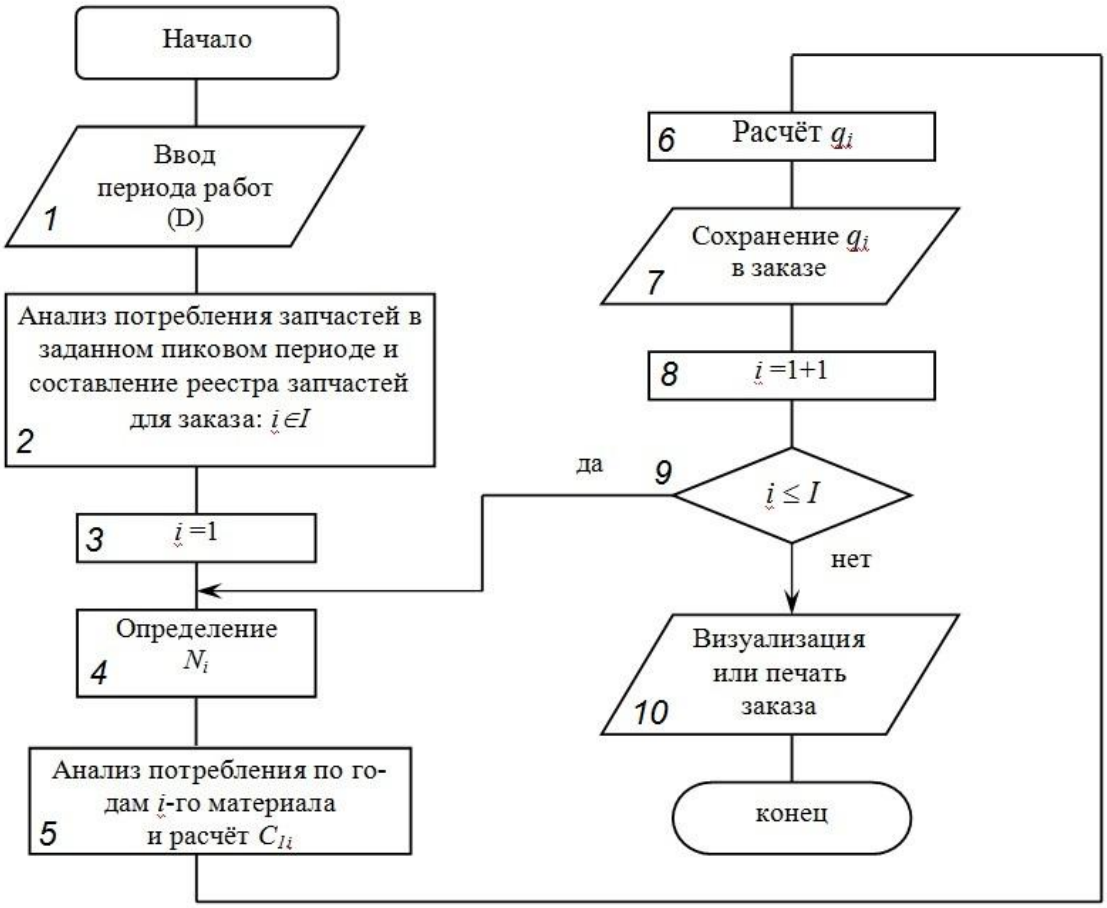


Рисунок 4 – Алгоритм программы расчёта резерва запасных частей на сезон

Алгоритм модуля планирования резервов запасных частей показан на рисунке 4. Он был предложен в магистерской работе С.В. Лаптева [11]. С помощью алгоритма формируется реестр наиболее востребованных в рассматриваемом сезоне деталей и узлов и рассчитывается их рекомендуемый текущий запас q_i. Затем результаты расчёта заносятся в бланк заявки, который может быть сохранен или распечатан.

Производственная проверка программного обеспечения осуществлялась на предприятиях Зерноградского и Весёловского районов в период посева и уборки сельскохозяйственных культур.

Результаты исследований и их обсуждение. Формирование сезонных складских резервов осуществлялось для посевных агрегатов ДТ-75М+3СЗ-3,6А и Беларус-1221+2СЗП-3,6Б-01, а также в период уборки зерновых для комбайнов Дон-1500Б. В таблице 1 показаны статистические характеристики параметра, время восстановления $T_в$ комбайнов до и после внедрения программного обеспечения. Видно, что использование программного обеспечения снижает время простоя и восстановления комбайнов $T_в$ на 37%. На рисунке 5 показаны графики плотностей распределения случайной величины $T_в$, подчиняющейся закону Вейбулла. График плотности распределения параметра $T_в$ после внедрения смещен влево, а разброс данных меньше, чем до внедрения.

Талица 1 – Основные статистические характеристики параметра $T_в$ до и после внедрения программного модуля

Показатель	Значения $T_в$, мин	
	до внедрения	после внедрения
Среднее значение $\bar{h}$	102,84	64,72
Стандартное отклонение σ	59,78	46,96
Дисперсия D	3573,933	2205,72
Коэффициент вариации V	0,58	0,72
Параметры ЗРВ	a = 120,94; b = 1,86	a = 75,30; b =1,88
Критерий Пирсона χ^2 для ЗРВ	14,82	13,57

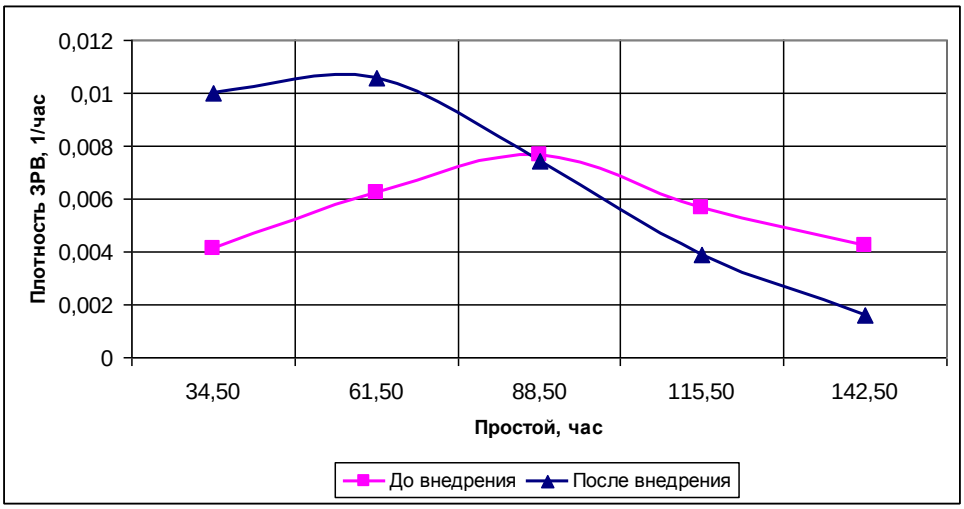


Рисунок 5 – Плотности распределения параметра $T_в$ зерноуборочных комбайнов до и после внедрения программного обеспечения

Снижение времени простоев сказывается на увеличении дневной производительности машин. Данный показатель является также случайной величиной и для комбайнов описывается нормальным законом распределения (таблица 2). Графики плотностей распределения производительности до и после внедрения автоматизированного метода обоснования резервов склада показаны на рисунке 6. График плотности распределения дневной производительности комбайнов после внедрения смещается вправо, что говорит об увеличении производительности комбайнов при внедрении *IT*-инноваций.

В таблице 3 представлены результаты расчёта комплексного показателя надёжности – коэффициент оперативной готовности $K_{ог}$ для зерноуборочных комбайнов и посевных агрегатов до и после внедрения автоматизированного метода резервирования запасных частей.

Таблица 2 – Статистические характеристики параметра дневная производительность зерноуборочных комбайнов Дон-1500Б, га

Параметр	До внедрения	После внедрения
Среднее	18,44	20,55
Медиана	17,8	20,8
Стандартное отклонение	4,61	5,3
Дисперсия выборки	21,26	28,16
Коэффициент вариации	0,25	0,26

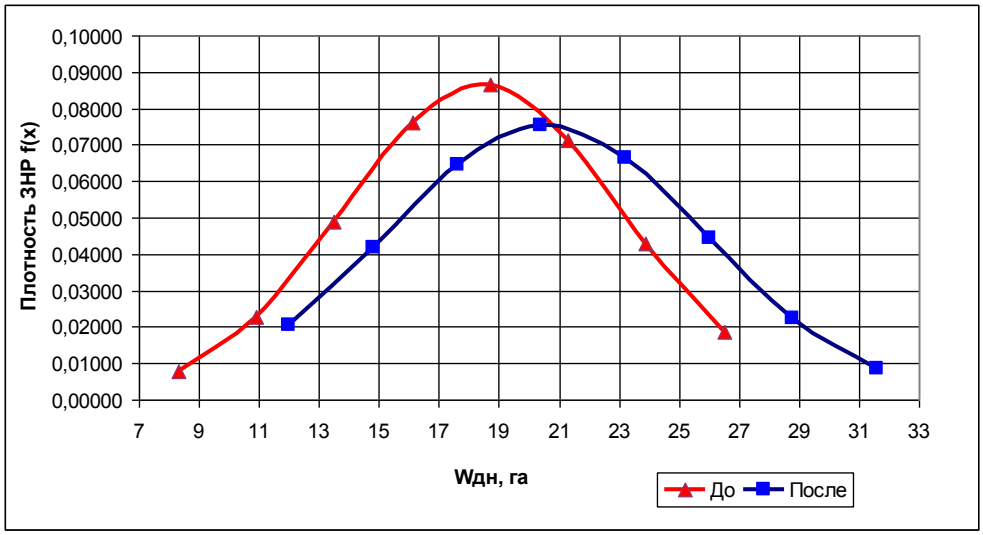


Рисунок 6 – Изменение дневной производительности зерноуборочных комбайнов при внедрении АРМ управления резервами запасных частей

Таблица 3 – Значения коэффициента оперативной готовности машин

Составы агрегатов и марка комбайна	Значения $K_{ог}$	
	до внедрения	после внедрения
Беларус-1221+2СЗП-3,6Б-01	0,891	0,943
ДТ-75М+3СЗ-3,6А	0,834	0,861
Дон-1500Б	0,893	0,932

Заключение. Разработанное для прогнозирования потребности в запасных частях программное обеспечение позволяет вести электронную картотеку склада ремонтной мастерской на сельскохозяйственном предприятии, осуществлять автоматизированную поддержку формирования бланка заявки на запчасти. Расчёт рекомендуемого сезонного запаса в текущей версии программы осуществляется путём анализа потребления конкретной детали в заданном периоде в прошлые годы. За многолетний период производственного использования программного продукта номенклатура базы данных программы насчитывает около 15000 позиций запасных частей отечественной сельскохозяйственной техники и грузовых автомобилей. Дальнейшее развитие программного продукта предполагает совершенствование методов прогноза в соответствии с предлагаемой в статье моделью, обеспечивающей минимальный риск нехватки запасных деталей в период работ.

Сезонное резервирование запасных частей в условиях складов сельскохозяйственных предприятий с помощью специализированного программного обеспечения способствует повышению эксплуатационной надёжности техники, поскольку наблюдается увеличение комплексного показателя – коэффициент оперативной готовности на 3,5–5,8%.

Литература

1. Зеваков, А.М. Логистика материальных запасов и финансовых активов / А.М. Зеваков. – Санкт-Петербург: Питер, 2005. – 352 с.: ил.

2. Царев, Ю.А. Синтез модели управления эксплуатационной надежностью зерноуборочных комбайнов / Ю.А. Царев, Д.В. Симон // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2015. – № 11. – С. 38–40.

3. Царев, Ю.А. Алгоритм управления запасами как метод управления эксплуатационной надежностью зерноуборочных комбайнов / Ю.А. Царев, Д.В. Симон // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – № 01(115). – IDA [article ID]: 1151601015. – Режим доступа: http://ej.kubagro.ru/2016/01/pdf/15.pdf.

4. Валуев, Н.В. Повышение надёжности использования машин и совершенствование их элементов: монография / Н.В. Валуев, В.И. Щербина. – Зерноград: АЧГАА, 2012. – 114 с.

5. Валуев, Н.В. Обеспечение надежности процессов производства сорго: монография / Н.В. Валуев. – Зерноград: АЧГАА, 2011. – 143 с.

6. Курочкин, В.Н. Научно-методические основы эффективности и надёжности функционирования технологических систем в АПК: монография / В.Н. Курочкин. – Зерноград: АЧГАА, 2010. – 468 с.

7. Mathematical modeling of agricultural machinery technical maintenance / V.N. Kurochkin, A.A. Seryogin, N.V. Valuev, V.P. Zabrodin, V.S. Gazalov, S.L. Nikitchenko // Journal of Fundamental and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 9. – No 7S. – P. 742–751.

8. Ресурсосберегающее управление процессами эксплуатации и технического сервиса сельскохозяйственной техники / С.Л. Никитченко, Н.П. Алексенко, А.В. Котович, И.А. Олейникова // Вестник аграрной науки Дона. – 2018. – № 4 (44). – С. 57–65.

9. Никитченко, С.Л. Автоматизация контроля и планирования в системе машиноиспользования сельскохозяйственного предприятия / С.Л. Никитченко. – АПК: экономика, управление. – 2014. – № 12. – С. 30–34.

10. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ, Россия. Программа «Агрокомплекс-1.0 «Ресурсы» / Никитченко С.Л. Зарегистрировано в РОСПАТЕНТ 29.03.2006 г. Заявка № 2006610499.

11. Лаптев, С.В. Автоматизация планирования объёмов запасных частей на сельскохозяйственном предприятии / С.В. Лаптев, С.Л. Никитченко // Активная Честолюбивая Интеллектуальная Молодёжь – Сельскому Хозяйству (АЧИМСХ): научный журнал . – 2016. – № 1. – С. 32–36.

References

1. Zevakov A.M. Logistika material`nykh zapasov i finansovykh aktivov [Logistics inventories and financial assets]. Sankt-Peterburg: Piter, 2005, 352 p. (In Russian)

2. Tsarev Yu.A., Simon D.V. Sintez modeli upravleniya ekspluatacionnoj nadezhnost`yu zernouborochnykh kombajnov [Synthesis of a model for managing the reliability of combine harvesters], *Traktory i sel`skokhozyajstvennye mashiny*, 2015, No 11, pp. 38–40. (In Russian)

3. Tszarev Yu.A., Simon D.V. Algoritm upravleniya zapasami kak metod upravleniya ekspluatacionnoj nadezhnost`yu zernouborochnykh kombajnov [Inventory management algorithm as a method for managing the operational reliability of combine harvesters], *Politematicheskij setevoj elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Elektronnyj resurs]. Krasnodar, KubGAU, 2016, No 01(115). IDA [article ID]: 1151601015. Rezhim dostupa: http://ej.kubagro.ru/2016/01/pdf/15.pdf. (In Russian)

4. Valuev N.V., Scherbina V.I. Povyshenie nadyozhnosti ispol`zovaniya mashin i sovershenstvovanie ikh elementov: monografiya [Improving the reliability of using machines and their elements: monograph], Zernograd, AChGAA, 2012, 114 p. (In Russian)

5. Valuev, N.V. Obespechenie nadezhnosti proczessov proizvodstva sorgo: monografiya [Ensuring the reliability of sorghum production processes: monograph], Zernograd, AChGAA, 2011, 143 p. (In Russian)

6. Kurochkin, V.N. Nauchno-metodicheskie osnovy effektivnosti i nadyozhnosti funkczionirovaniya

tekhnologicheskikh sistem v APK: monografiya [Scientific and methodological foundations of the effectiveness and reliability of the operation of technological systems in the agricultural sector: monograph], Zernograd, AChGAA, 2010, 468 p. (In Russian)

7. Kurochkin V.N., Seryogin A.A., Valuev N.V., Zabrodin V.P., Gazalov V.S., Nikitchenko S.L. Mathematical modeling of agricultural machinery technical maintenance. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 2017, vol. 9, No 7S, pp. 742–751.

8. Nikitchenko S.L., Aleksenko N.P., Kotovich A.V., Olejnikova I.A. Resursosberegayushhee upravlenie proczessami ekspluataczii i tekhnicheskogo servisa sel`skokhozyajstvennoj tekhniki [Resource-saving process management of the operation and technical service of agricultural machinery], *Vestnik agrarnoj nauki Dona*, 2018, No 4 (44), pp. 57–65. (In Russian)

9. Nikitchenko S.L. Avtomatizacziya kontrolya i planirovaniya v sisteme mashinoispol`zovaniya sel`skokhozyajstven-nogo predpriyatiya [Automation of control and planning in the system of machine use of an agricultural enterprise], *APK: ekonomika, upravlenie*, 2014, No 12, pp. 30–34. (In Russian)

10. Nikitchenko S.L. Svidetel`stvo ob oficzial`noj registraczii programm dlya EVM, Rossiya. Programma «Agrokompleks-1.0 «Resursy» [The program Agrocomplex-1.0 «Resources»], zaregistrirovano v ROSPATENT 29.03.2006 g., zayavka No 2006610499. (In Russian)

11. Laptev, S.V., Nikitchenko S.L. Avtomatizacziya planirovaniya ob"yomov zapasnykh chastej na sel`skokhozyajstvennom predpriyatii [Automation of planning the volume of spare parts for agricultural enterprises], *Aktivnaya Chestolyubivaya Intellektual`naya Molodyozh` – Sel`skomu Khozyajstvu (AChIMSKh)*: *nauchnyj zhurnal,* 2016, No 1, pp. 32–36. (In Russian)

Сведения об авторах

Валуев Николай Васильевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Технический сервис в агропромышленном комплексе», Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде (Ростовская область, Российская Федерация). Тел.: +7-960-448-24-03.
E-mail: valuevNV1942@mail.ru.

Никитченко Сергей Леонидович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технический сервис в агропромышленном комплексе», Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде (Ростовская область, Российская Федерация). Тел.: +7-919-892-55-62.
E-mail: binom_a@rambler.ru.

Волошин Андрей Дмитриевич – аспирант кафедры «Технический сервис в агропромышленном комплексе», Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде (Ростовская область, Российская Федерация). Тел. +7-928-293-88-92. E-mail: oyshen77794@gmail.com.

Information about the authors

Valuyev Nikolay Vasilievich – Doctor of Technical Sciences, professor of the Technical service in the agroindustrial complex department, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of FSBEI HE «Don State Agrarian University» (Rostov region, Russian Federation). Phone: + 7-960-448-24-03. E-mail: valuevNV1942@mail.ru.

Nikitchenko Sergey Leonidovich – Candidate of Technical Sciences, associate professor, head of the Technical service in the agroindustrial complex department, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of FSBEI HE «Don State Agrarian University» (Rostov region, Russian Federation). Phone: + 7-9198925562. E-mail: binom_a@rambler.ru.

Voloshin Andrei Dmitrievich – postgraduate student of the Technical service in the agroindustrial complex department, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of FSBEI HE «Don State Agrarian University» (Rostov region, Russian Federation).
Phone: + 7-928-293-88-92. Email: oyshen77794@gmail.com.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.