

ОБОСНОВАНИЕ СХЕМ И СПОСОБОВ РЕМОНТНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ УБОРОЧНО-ТРАНСПОРТНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Домуши Д.А., Енакиев Ю.И., Осадчук П.И.

Одесский государственный аграрный университет, Украина

Институт почвоведения, агротехнологий и защиты растений «Н.Пушкарлов», Болгария

Резюме: Обоснованы технологии ремонтно-технического обслуживания уборочно-транспортных комплексов, которые обеспечивает уменьшение непроизводительных простоев комбайнов по техническим причинам и повышают производительность за смену уборочной техники, а так же снижают затраты на эксплуатацию технических средств. Цель теоретических и экспериментальных исследований – обеспечение безотказной работы уборочно-транспортных комплексов на протяжении всей длительности оптимального периода уборки.

Рассмотрена модель проведения ремонтно-технических воздействий в технологическом комплексе, который состоит из основных и резервных агрегатов. Рассмотрены схемы профилактических и восстановительных работ уборочной техники на резервных агрегатах в подготовительном цикле и в процессе их работы, по мере возникновения в этом необходимости. Обосновано число постов ремонтно-технического обслуживания, обеспечивающих максимальное значение эффективности использования уборочно-транспортных комплексов с учетом параметров системы эксплуатации комплекса.

Ключевые слова: ремонтно-техническое обслуживание, зерноуборочный комбайн, уборочно-транспортный комплекс, безотказная работа, запасные части, холодное резервирование, горячее резервирование, восстановления работоспособности.

Введение

Продолжительность уборки зерновых культур зависит от наличия, технического состояния и надежности уборочной техники, транспортных средств, организации работы уборочно-транспортных комплексов, погодных условий и других факторов. Около 20% комбайнов Дон-1500Б в период уборки простаивает по техническим причинам, что увеличивает срок выполнения работ и приводит к потерям зерна до 25-36% [1,2,3]. Анализ показывает, что для устранения 70% отказов требуется замена вышедших из строя деталей, узлов и агрегатов, а продолжительность времени устранения отказа в основном обусловлена временем доставки к комбайнам запасных частей [4].

Предпосылки и средства для решения проблемы

При работе комбайнов основную долю составляют отказы, для устранения которых не требуется длительного простоя, так как поврежденные детали легко снять с машины, а исправные - легко установить. К ним относятся сегменты, пальцы, лучи, планки, шланги, ремни и т.п.

Очевидно, что затраты времени на устранение последствий отказов зависят от того, насколько оперативно действует служба по устранению отказов и доставке к

простаивающим комбайнам деталей, узлов, агрегатов. Практика показывает, что наличие запасных частей на самом комбайне или в непосредственной близости от него значительно сокращает потери времени на устранение отказов. В связи с этим весьма актуально определить номенклатуру запасных частей и мест их хранения (передвижной склад уборочно-транспортного комплекса, склады бригады, хозяйства или предприятия районного уровня) при работе комбайнов в составе комплекса, звена или при индивидуальной работе. Оптимальное распределение запасных частей по различным уровням хранения зависит от многих факторов: характера и количества возникающих отказов, числа работающих комбайнов, расстояний до мест хранения, затрат средств на хранение, доставку и устранение отказов и др.

Цель исследования - обоснование схем и способов ремонтно-технического обслуживания уборочно-транспортных комплексов для уменьшения непроизводительных простоев комбайнов по техническим причинам, повышения их производительности и снижения затрат на эксплуатацию.

Анализ последних исследований и публикаций

По вопросам, касающимся конструктивных особенностей зерноуборочных комбайнов разных марок, приемов работы, регулирования и обслуживания, оценки экономической эффективности работы и некоторым другим за последние годы появилось много публикаций [5,6,7,8,9,10], но по важнейшей проблеме - методам обеспечения надежной работы комбайнов на сборе информации еще недостаточно. Особенно это заметно, по отказам, связанных с заменой детали, или узла, которые отказали, так как многочисленные простои, отказавших комбайнов часто связаны с длительной доставкой к ним запасных частей. В связи с этим возникает необходимость определить детали и узлы, которые часто выходят из строя, и в каком количестве необходимо их резервировать на разных уровнях хранения, что нужно делать при эксплуатации машины механизаторам, опираясь на результаты научных исследований и передовой опыт. Решение этих вопросов позволит уменьшить потери времени на простои комбайнов при устранении последствий отказов, достигать высокой производительности при наименьших потерях зерна в различных условиях проведения уборочных работ [12].

В условиях интенсивной и напряженной работы УТК на уборке зерновых культур, когда производственные условия не допускают возможности останавливать ЗК (в дальнейшем – агрегаты) для профилактических работ, техническая эксплуатация может быть организована по двум схемам. Профилактические и восстановительные работы проводят на резервных агрегатах в подготовительном цикле – первая схема, и в процессе их работы, по мере возникновения в этом необходимости, – вторая схема. Обе схемы организации РТО для выполнения уборочных работ в срок должны иметь резервные агрегаты, в первом случае – это холодное резервирование, а во втором – горячее резервирование. При циклической организации обслуживания профилактические и восстановительные работы проводят в течение подготовительного цикла $-t_{пц}$ на резервных агрегатах. В это время остальные агрегаты работают в течение времени $-t_{рц}$. При такой организации технической эксплуатации время восстановления отказов в рабочем цикле сокращается до времени, необходимого на замену отказавшего агрегата резервным агрегатом. Длительный отказ в этом случае возможен только при отсутствии исправных резервных агрегатов [11].

Результаты исследований

Рассмотрим отдельно техническую эксплуатацию основного технологического звена (ТЗ), состоящего из зерноуборочных комбайнов основных (ОК) и резервных (РК). При РТО холодного резервирования возможны два варианта замещения основных и резервных комбайнов.

В первом случае РК всегда сохраняют за собой «право РК», т.е. при восстановлении работоспособности отказавшего ОК, который включается снова в работу (во время ремонта он временно является РК), РК возвращается в сферу ожидания и вступает в работу только при отказе другого ОК.

Во втором случае РК, вступивший в работу вместо отказавшего ОК, становится «временным ОК», до тех пор пока не откажет, находящийся в сфере восстановления, становится «временным РК», до тех пор пока не заменит собой отказавший ОК (рисунок 1).

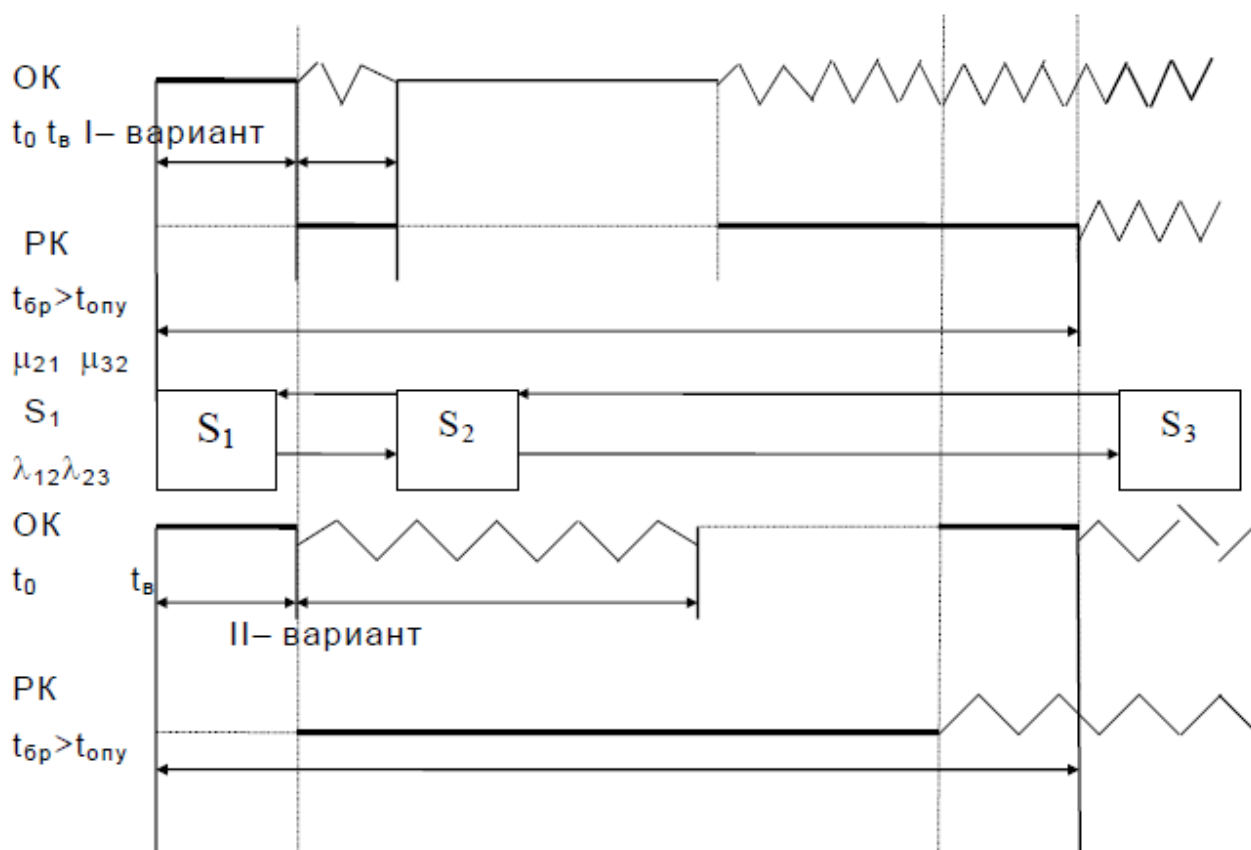


Рис.1. Схема работы и граф состояний зерноуборочных комбайнов УТК с РТО холодного резервирования:

– работа ————— ; – в резерве ———— ; – в ремонте (восстановления работоспособного состояния);

$\lambda = 1/t_0$ – интенсивность отказов; $\mu = 1/t_b$ – интенсивность восстановления (ремонта); $t_{бр}$ – время безотказной работы уборочных агрегатов; $t_{опт}$ – время оптимального периода уборки (напряженного); ОК – основной комбайн; РК – резервный комбайн.

Сокращая время пребывания отказавших элементов (агрегатов) резервированной системы в ремонтной сфере, можно существенно повысить не только готовность, но и безотказность системы [12]. Так для УТК, в котором имеются как основные, так и резервные ЗК, можно добиться требуемой надежности, сокращая время их

пребывания в сфере ремонта (восстановления)– t_b . Если соблюдать условие, когда $t_b \leq t_0$ (здесь t_0 –наработка на отказ), то УТК будет безотказным, т.е. не будет вынужденных простоев УТК по техническим причинам, кроме времени замены отказавшего ЗК, находящимся в резерве – РК, и УТК будет работать без потери производительности. В общем случае УТК(с холодным резервированием и одним РК) может находиться в одном из трех состояний (рис.1): S_1 –комплекс работоспособен (все ЗК работоспособны); S_2 – комплекс работоспособен, но один из ЗК отказал и находится в ремонте (комплекс предрасположен к отказу); S_3 – комплекс неработоспособен (отказал и ОК и РК).

Среднее время безотказной работы УТК ($t_{бp}$), если все ЗК равно надёжны и имеют показательное распределение времени восстановления, равно [13]:

$$t_{бp} = \frac{\mu + 2\lambda}{\lambda^2}, \quad (1)$$

где $\mu = \frac{1}{t_b}$ – интенсивность восстановления (ремонта);

$\lambda = \frac{1}{t_0}$ – интенсивность отказов.

Для обеспечения безотказности работы УТК на протяжении всей длительности оптимального периода уборки (напряженного)– $t_{оп}$ необходимо соблюдать условие $t_{бp} \geq t_{оп}$.

Одним из путей обеспечения этого условия является сокращение времени простоя отказавших ЗК, находящихся в ремонте, по причине выхода из строя какого-нибудь узла или детали (запасной части – ЗЧ). Используя РК и ЗЧ к ним, которые в рассматриваемом случае будут играть роль скользящего с дробной кратностью чаще всего восстанавливаемого (ремонтируемого) резерва, время безотказной работы УТК будет равно:

$$t_{бp} = \frac{\mu + 2m\lambda}{(m\lambda)^2}, \quad (2)$$

где m – количество рабочих элементов (ОК, деталей и узлов) на один резервный (РК, запасные детали и узлы).

Качество функционирования УТК при циклической схеме обслуживания оценим по эффективности использования агрегатов [14]:

$$P_{эп} = K_{ц} K_{r} P(t_{pц}), \quad (3)$$

откуда
$$K_{ц} = \frac{t_{pц}}{t_{pц} + t_{пц}}; \quad K_{r} = \frac{t_{оп}}{t_{оп} + t_{вп}}; \quad (4)$$

$$P(t_{pц}) = \exp\left(-\frac{t_{pц}}{t_{оп}}\right), \quad (5)$$

где $K_{ц}$ –коэффициент использования агрегатов;

K_r –коэффициент готовности агрегатов в рабочем цикле;

$P(t_{pц})$ – вероятность безотказной работы агрегата в течение рабочего цикла;

$t_{он}$ –среднее время основного процесса безотказной работы обслуживаемого комплекса, час.;

$t_{вн}$ –среднее время вспомогательного процесса устранения отказов – восстановления работоспособного состояния в подготовительном цикле, час.

Число постов, обеспечивающих максимальное значение эффективности использования УТК, определяется с учетом параметров системы эксплуатации комплекса [14].

$$r = \frac{t_{1n}}{t_0 \left[\frac{t_{по}}{R} - \frac{(t_{в} + t_{т})n}{m} \right]}, \quad (6)$$

где $t_0 = \frac{1}{\lambda K}$ –среднее время безотказной работы технологического комплекса без обслуживания, час.;

t_t – требуемое время безотказной работы, час.;

m – частота обслуживания;

n – число отказов за время t_p , ед.;

$R=A(1-\beta)$ – коэффициент, характеризующий числопредотвращаемых отказов и качество их устранения;

$t_{по}$ –продолжительность профилактических и восстановительных работ звена, час.;

t_{1n} –продолжительность профилактических и восстановительных работ одного специалиста, час.

Рассмотрим модель проведения ремонтно-технических воздействий в технологическом комплексе, который состоит из m основных и «х» резервных агрегатов. Комплекс обслуживается ремонтными постами «г» ($1 \leq g \leq g + 1$). Каждый из постов может обслуживать одновременно только один агрегат, затрачивая при этом случайное время с экспоненциальным распределением. $G(t)=1-e^{-\mu t}$.

Вероятность выхода из строя любого из «m» рабочих агрегатов в интервале времени $t, t+\Delta t$ равна $\lambda \Delta t$, а любого из «х» резервных агрегатов– $\alpha \lambda \Delta t$, $\alpha=0$ при холодном и $\alpha=1$ при горячем резервировании.

При выходе из строя любого агрегата его отправляют на ремонт. При наличии готового резервного агрегата x_p , отказавший заменяют, и комплекс продолжает работать без потерипроизводительности.

Пусть $x(t)$ – общее число неисправных агрегатов в момент времени $t(x(t)=0,1,2,\dots,x+1)$. Найдём вероятности $P_i(t)$ ($i= 0,1,2,\dots, x+1$) поступления «i» агрегатов на ремонт. При моделировании выделим два случая, когда $0 \leq i \leq g$ и $g < i \leq x + 1$. Для этих состояний согласно [15] получим систему дифференциальных уравнений, которая в установившемся режиме при $t \rightarrow \infty$ может быть заменена системой алгебраических уравнений:

$$(m+\alpha x)\lambda P_0 = \mu P_1;$$

K_r –коэффициент готовности агрегатов в рабочем цикле;

$P(t_{pц})$ – вероятность безотказной работы агрегата в течение рабочего цикла;

$t_{он}$ –среднее время основного процесса безотказной работы обслуживаемого комплекса, час.;

$t_{вп}$ –среднее время вспомогательного процесса устранения отказов – восстановления работоспособного состояния в подготовительном цикле, час.

Число постов, обеспечивающих максимальное значение эффективности использования УТК, определяется с учетом параметров системы эксплуатации комплекса [14].

$$r = \frac{t_{1n}}{t_0 \left[\frac{t_{по}}{R} - \frac{(t_{в} + t_{т})n}{m} \right]}, \quad (6)$$

где $t_0 = \frac{1}{\lambda K}$ –среднее время безотказной работы технологического комплекса без обслуживания, час.;

t_r – требуемое время безотказной работы, час.;

m – частота обслуживания;

n – число отказов за время t_p , ед.;

$R=A(1-\beta)$ – коэффициент, характеризующий числопредотвращаемых отказов и качество их устранения;

$t_{по}$ –продолжительность профилактических и восстановительных работ звена, час.;

t_{1n} –продолжительность профилактических и восстановительных работ одного специалиста, час.

Рассмотрим модель проведения ремонтно-технических воздействий в технологическом комплексе, который состоит из m основных и «х» резервных агрегатов. Комплекс обслуживается ремонтными постами «г» ($1 \leq g \leq r + 1$). Каждый из постов может обслуживать одновременно только один агрегат, затрачивая при этом случайное время с экспоненциальным распределением. $G(t)=1-e^{-\mu t}$.

Вероятность выхода из строя любого из «m» рабочих агрегатов в интервале времени $t, t+\Delta t$ равна $\lambda \Delta t$, а любого из «х» резервных агрегатов– $\alpha \lambda \Delta t$, $\alpha=0$ при холодном и $\alpha=1$ при горячем резервировании.

При выходе из строя любого агрегата его отправляют на ремонт. При наличии готового резервного агрегата x_p , отказавший заменяют, и комплекс продолжает работать без потерипроизводительности.

Пусть $x(t)$ – общее число неисправных агрегатов в момент времени $t(x(t)=0,1,2,\dots,x+1)$. Найдем вероятности $P_i(t)$ ($i= 0,1,2,\dots, x+1$) поступления «i» агрегатов на ремонт. При моделировании выделим два случая, когда $0 \leq i \leq r$ и $r < i \leq x + 1$. Для этих состояний согласно [15] получим систему дифференциальных уравнений, которая в установившемся режиме при $t \rightarrow \infty$ может быть заменена системой алгебраических уравнений:

$$(m+\alpha x)\lambda P_0=\mu P_1;$$

$$[(m + \alpha(x-i))\lambda + i\mu]P_i = i+1)\mu P_{i+1} + (m + \lambda(x-i+1))\lambda P_{i-1}; (i=1, 2, \dots, r)$$

$$[(m + \alpha(x-i))\lambda + r\mu]P_i = r\mu P_{i+1} + (m + \alpha(x-i+1))\lambda P_{i-1}; (x+1 > i > r) \quad (7)$$

$$r\mu P_{x+1} = m\lambda P_x.$$

Решая совместно систему уравнений, находим вероятность пребывания системы P_i в каждом из состояний ($i=m+1$) с учетом надежности резервного агрегата (α):

$$P_i = \frac{\rho^i}{i!} \prod_{j=0}^{i-1} (m + \alpha(x-j)) P_0; \quad 0 < i \leq r; \quad (8)$$

где $j=i+1$; $\rho = \lambda/\mu$.

Знания P_i позволяет оценить загрузку постов РТО и их рациональное число (r) с тем, чтобы агрегаты в ожидании ремонта не простаивали более допустимой величины.

С учетом условия нормирования $\sum_{i=1}^r P(t) = 1$ найдем

$$P_0 = \left[1 + \sum_{i=1}^{r+1} \frac{\rho^i}{i!} \prod_{j=0}^{i-1} (m + \alpha(x-j)) + \sum_{i=r}^{x+1} \frac{\rho^i}{r! r^{i-1}} \prod_{j=0}^{i-1} (m + \alpha(x-j)) \right]^{-1} \quad (9)$$

Состояние K_{x+1} является состоянием вынужденного простоя резервированного комплекса, и поэтому вероятность простоя будет:

$$P_{x+1} = \frac{\rho^i}{r! r^{x+1-r}} \prod_{j=0}^{i-1} (m + \alpha(x-j)) P_0. \quad (10)$$

При холодном резервировании восстановленные агрегаты в период ожидания замены не отказывают, поэтому имеем:

$$P_{x+1} = \frac{\rho^i}{r! r^{x+1-r}} \left[1 + \sum_{i=1}^{r-1} \frac{\rho^i}{i!} + \sum_{i=r}^{x+1} \frac{\rho^i}{r! r^{i-r}} \right]^{-1}, \quad (11)$$

где $\rho_1 = m\lambda/\mu$.

При горячем резервировании ($\alpha=1$).

$$P_{x+1} = \frac{\rho^{x+1} \prod_{j=0}^x (m + (x-j))}{r! r^{x+1-r}} \left[1 + \sum_{i=1}^{r-1} \frac{\rho^i}{i!} \prod_{j=0}^{i-1} (m + x-j) + \sum_{i=r}^{x+1} \frac{\rho^i \prod_{j=0}^{i-1} (m + x-j)}{r! r^{i-r}} \right]^{-1} \quad (12)$$

Если при горячем резервировании ($\alpha=1$) работает один пост ремонта $r=1$, то:

$$P_{x+1} = \rho^{x+1} \prod_{j=0}^x (m + x-j) \left[1 + \sum_{i=1}^{x+1} \rho^i \prod_{j=0}^{i-1} (m + x-j) \right]^{-1}. \quad (13)$$

Среднее число неисправных агрегатов будет равно:

$$m_H = \sum_{i=0}^{x+1} i P_i. \quad (14)$$

Среднее число ремонтируемых агрегатов будет равно:

$$m_P = \sum_{i=0}^{r-1} i P_i - r \sum_{i=r}^{x+1} P_i. \quad (15)$$

При отсутствии резервных комбайнов в комплексе ($x=0$) вероятность пребывания системы в каждом из состояний ($i=m+1$) определим из выражения [11]:

$$P_i = \sum_{i=1}^r \frac{m! \rho^i}{i! (m-1)!} P_0 \quad \text{для } 1 < k < r$$

$$P_i = \sum_{k=r+1}^m \frac{m!}{r^{i-r} r! (m-1)!} P_0; \quad \text{для } r < k < m \quad (16)$$

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^m \frac{P_k}{P_0}}.$$

Для оценки способа организации обслуживания вероятность эффективного использования технологического комплекса выразим через параметры, характеризующие надежность агрегатов и составляющие времени работы и ремонтно-технических воздействий

$$P_{\text{эи}} = \exp\left(-\frac{t_{\text{рц}}}{t_{\text{он}}}\right) \left[\left(1 + \frac{t_{\text{мц}}}{t_{\text{рц}}}\right) \left(1 + \frac{t_{\text{в}}}{t_{\text{он}}}\right) \right]^{-1}. \quad (17)$$

Вероятность безотказной работы определим из выражения:

$$P(t) = 1 - P_{x+1}, \quad (18)$$

тогда

$$P_{\text{эи}} = \frac{1 - P_{x+1}}{\left(1 + \frac{t_{\text{мц}}}{t_{\text{рц}}}\right) \left(1 + \frac{t_{\text{в}}}{t_{\text{он}}}\right)}. \quad (19)$$

При холодном резервировании эффективность организации обслуживания улучшается за счет повышения безотказности в рабочем цикле вследствие более надежного обслуживания резервных агрегатов в подготовительном цикле и ускорения восстанавливаемости отказавших агрегатов путем замены их отремонтированными агрегатами во время подготовительного цикла. Выигрыш в повышении безотказности будет равен:

$$\Delta t_{\text{он}} = \left[1 - A(t) (1 - \beta) \frac{t_n}{t_{\text{но}}} \right]^{-1}. \quad (20)$$

Заменяя периодичность профилактики t_n на длительность подготовительного цикла t_{nc} и учитывая, что $t_n = t_{1n}$, получим:

$$t_{оп} = t_0 \left[1 - A(t)(1 - \beta) \frac{t_{1n}}{rt_{no}} \right]^{-1}. \quad (21)$$

Повышение восстанавливаемости в рабочем цикле определим из соотношения:

$$\Delta V = \frac{t_{зам}}{t_в}, \quad (22)$$

где $t_{зам}$ – время, требуемое на замену резервных агрегатов в рабочем цикле, час.

Среднее время восстановления обслуживаемых агрегатов в рабочем цикле в зависимости от длительности подготовительного цикла определяется из зависимости [11]:

$$t_{вп} = t_в \left[\Delta V + (1 - \Delta V) \exp\left(-\frac{t_{мц}}{t_0}\right) \right]. \quad (23)$$

С учетом изложенного эффективность функционирования комплекса при холодном резервировании определяется из выражения:

$$P_{зи} = \frac{\exp\left\{-\frac{t_{пц}}{t} \left[1 - A(1 - \beta) \frac{t_{1n}}{rt_{no}} \right]\right\}}{\left(1 + \frac{t_{мц}}{t_{пц}}\right) \left\{ 1 + \frac{t_в}{t_0} \left[1 - A(1 - \beta) \frac{t_{1n}}{rt_{no}} \right] \left[\Delta V + (1 - \Delta V) \exp\left(-\frac{t_{мц}}{t_0}\right) \right] \right\}} \cdot (24)$$

Эффективность функционирования агрегатов при холодном резервировании представлена параметрами их надежности (наработка на отказ – $t_о$, время восстановления отказа – $t_в$ и коэффициенты, характеризующие предотвращение отказа – $R = A(1 - \beta)$), параметрами системы эксплуатации (число постов – r , время проведения профилактических обслуживаний – t_{1n} , t_{no}) и соотношением между продолжительностью подготовительного и рабочего циклов – $t_{пц}/t_{но}$.

Эффективность системы обслуживания при горячем резервировании можно оценить отношением количества агрегатов, находящихся в ремонте, к их общему числу (коэффициент простоя):

$$K_n = \frac{m_p}{m} = \frac{1}{m} \left(\sum_{i=0}^{r-1} i P_i - r \sum_{i=r}^{x+1} P_i \right). \quad (25)$$

Эта зависимость позволяет оценить влияние числа постов РТО и количества резервных агрегатов на эффективность использования УТК.

Увеличение количества обслуживающих постов и количества резервных агрегатов влияет на эффективность использования комплекса неравнозначно. Лучшей следует считать ту схему организации ремонтно-технического обслуживания, которая обеспечивает высшую производительность агрегатов уборочно-транспортного комплекса.

Ремонтно-техническое обслуживание УТК может быть организовано следующими способами:

1. Передвижные ремонтные мастерские (ПРМ) находятся на месте работы УТК (с набором необходимой номенклатуры и количества ЗЧ). 2. ПРМ находятся на стационарном пункте и в случае необходимости выезжают по вызову (ЗЧ находится на складе бригады или хозяйства). 3. Обслуживание организовано на стационарном пункте, куда поступает уборочная техника на устранение неисправностей (ЗЧ доставляются по необходимости с районного уровня).

В каждом из рассмотренных способов время, необходимое для ремонтно-технических воздействий на ЗК будет складываться следующим образом:

– в первом способе – $t_{1обс} = t_{1осн} + t_{1в},$

– во втором – $t_{2обс} = t_{2выз} + t_{2дв} + t_{2осн} + t_{2в},$

– в третьем – $t_{3обс} = t_{3дв} + t_{3осн} + t_{3в},$

где $t_{осн}$ – время осмотра, час., $t_{в}$ – время ремонта (восстановления) в 1, 2 и 3 случаях, соответственно, час.; $t_{2выз}$ – время вызова ПРМ к месту устранения неисправностей, час.; S – расстояние от ПТО до поля, км; $V_{прм}$ – средняя скорость движения ПРМ, км/час.; $t_{3дв} = 2S/V_t$ – время движения уборочной техники к мастерской и обратно до поля, час.; V_t – скорость движения уборочной техники, км/час..

Полагаем, что поток поступающих требований на обслуживание ограничен числом агрегатов, работающих на полях, и принимается пуассоновским. Оценку способов организации РТО УТК проведем по критерию максимума часовой производительности агрегатов, которая определяется из выражения:

$$W_r = W_a (1 - K_n) \rightarrow \max, \quad (26)$$

где K_n – коэффициент простоя агрегатов, зависящий от количества постов РТО, способа организации РТО и средств, применяемых для технического обслуживания УТК.

Коэффициент простоя можно также определить и из выражения:

$$K_n = \frac{N_{ож} + N_B}{N} = \frac{\sum_{k=0}^N K P_k}{N}, \quad (27)$$

где $N_{ож}$ – среднее число комбайнов, находящихся в системе РТО (ожидающих обслуживания), ед.;

N_B – среднее число комбайнов восстановленных в системе РТО.

Среднее число комбайнов находящихся в системе РТО определяем из выражения:

$$N_{ож} = \frac{1}{N} \sum_{k=r+1}^N \frac{(k-r)! N! \rho^k P_0}{r^{k-2} r! (N-K)!}, \quad (28)$$

где K – номер состояния системы;

r – число обслуживающих постов, ед.;

$\rho = \lambda/\mu$ – параметр системы обслуживания;

$\lambda=1/t_0$ –интенсивность поступающих на обслуживание требований от каждого агрегата;

t_0 –средняя наработка на отказ агрегата, час.;

$\mu= 1/t_b$ –интенсивность обслуживания агрегатов системой РТО;

t_b –среднее время восстановления работоспособного состояния агрегата, час..

Среднее время нахождения комбайнов в системе РТО определим из выражения:

$$t = \frac{N_{ож} + N_{в}}{\mu} \quad (29)$$

Среднее число свободных постов РТО при установившемся процессе обслуживания будет равен:

$$r_{св} = \sum_{k=0}^{r-1} (r - k)P_k \quad (30)$$

При этом коэффициент простоя постов обслуживания будет равен:

$$K_{пр} = \frac{r_{св}}{r} , \quad (31)$$

Эффективность функционирования УТК тесно связана с параметрами системы ремонтно-технического обслуживания и оценка по ним позволит определить наилучшее организационное решение.

Затраты времени на устранение последствий отказов зависят от того, насколько оперативно действует служба по устранению отказов и доставки отказавших деталей, узлов и агрегатов. Наличие запасных частей на самом ЗК или в непосредственной близости от него значительно сокращает потери времени на устранение отказов.

По результатам экспериментальных исследований было установлено, что суммарное время ожидания запасных частей и ремонта на 58 ЗК равно 2520 час., на один отказ это время будет равняться 2 часам. За весь сезон работы на один ЗК приходится 22 отказа с заменой ЗЧ [4], тогда на доставку ЗЧ при существующей организации хранения и доставки их, тратится – $T_d=44$ часа.

Анализируя распределение отказов по группам сложности (таблица 1), полученные 22 отказа на один ЗК будут распределены следующим образом: 1 группа сложности – 18,70 отказа (85 %); 2 группа сложности – 2,86 отказа (13 %); 3 группа сложности – 0,44 отказа (2 %).

Для оперативной доставки ЗЧ для восстановления работоспособности комбайнов предлагаются следующие варианты хранения ЗЧ: ЗЧ отказов 1-ой группы сложности хранить на самом комбайне или в непосредственной близости от работающих комбайнов – передвижной склад УТК; ЗЧ отказов второй группы сложности – на складе бригады или хозяйства; ЗЧ отказов третьей группы сложности – на складе районного уровня.

Исследование отказов ЗК позволило определить количество наименований ЗЧ, которое востребуется при устранении, возникающих отказов за сезон работы (таблица 2), а также обосновать их количество, которое необходимо иметь для

устранения всех возможных отказов (таблица 3). Из таблиц видно, что количество таких наименований 155, а востребуется только 114, т.е. 41 наименование ЗЧ остаются невостребованными. Из которых 20 наименований ЗЧ относятся к отказам 2-ой группы сложности и 21 наименование – к отказам 3-й группы сложности.

Количество наименований ЗЧ, относящихся к отказам 1-й группы сложности, за сезон работы востребуется полностью.

По агрегатам, узлам и деталям невостребованное количество наименований распределилось следующим образом. По отказам 2-ой группы сложности: жатка-4, молотилка-6, электрооборудование-6, гидросистема-3, подшипники-1. По отказам 3-й группы сложности: жатка -2, молотилка -15, гидросистема-2, платформу подборщик-2. Отсюда видно, что невостребованное количество наименований ЗЧ больше всего приходится на: молотилку-21, электрооборудование-6, жатку-6 и гидросистему-5. Это такие наименования ЗЧ вероятность отказа, которых очень небольшая. Данные наименования необходимо хранить на складах районного или областного уровня [17].

Из общего количества необходимых наименований ЗЧ – 155, больше всего приходится на: молотилку-44, жатку-28 и электрооборудование-28. На платформу подборщик необходимо только 9 наименований ЗЧ, из которых 5 приходится на 1-ю группу сложности отказов, число которых-697, что и дало самое большое среднее число отказов на одно наименование-139,4, а по всем возможным отказам-77,7 и 99,9 –по востребованным наименованиям за сезон работы комбайнов. Это такие наименования ЗЧ как: фиксатор пальца, палец, вкладыш прижима пальца, палец щека. Имея их в наличии на складе УТК в необходимом количестве, в зависимости от числа работающих ЗУК, можно оперативно устранять возникающие отказы[16].

Из 28 наименований ЗЧ для жатки, необходимых и востребованных, на 1-ю группу сложности отказов приходится-13 и среднее число этих отказов на одно наименование равно 23,2 од., а по всем отказам жатки-11,3 (необходимых) и 14,3 (востребованных). Эти 13 наименований ЗЧ жатки необходимо хранить на складе УТК[18].

Для ремней и подшипников среднее число всех отказов на одно наименование равно-6,5 и 3,1од., соответственно. Все наименования ЗЧ для ремней за сезон работы ЗУК востребуется полностью, а для подшипников – одно наименование не востребуется. Эти наименования ЗЧ необходимо хранить на складах УТК, бригады или хозяйства [18].

Используя результаты экспериментальных исследований [14,16,17], определялось время по доставке ЗЧ с различных уровней хранения в такой последовательности, формулам и условиях (таблица 4):

I. Определение времени на доставку ЗЧ– T_d , час с различных уровней хранения: со склада УТК – $T_{д1}$, час., склада бригады или хозяйства– $T_{д2}$, час, со склада районного или областного уровня $T_{д3}$, час:

$$T_d = T_{дв} + T_v \quad (32)$$

где T_v – время выдачи ЗЧ, час. (с различных уровней хранения – $T_{в1}$, $T_{в2}$, $T_{в3}$);

$T_{дв}$ – времени движения транспортного средства (ТС), час. (с различных уровней хранения – $T_{дв1}$, $T_{дв2}$, $T_{дв3}$).

$$T_{дв} = L_d / V_d \quad (33)$$

Таблица1. Распределение наработки на отказ с востребованием запасной части (агрегатов, узлов и деталей) комбайнов «Дон-1500Б» по годам эксплуатации

Агрегаты, узлы, детали	Число отказов, ед.	Распределение отказов по группам сложности, проценты			Наработка на отказ по годам эксплуатации, га						Средняя наработка на отказ, га
		I	II	III	1	2	3	4	5	6	
Жатка	315	95,6	3,5	0,9	51,2	48,7	43,5	39,3	31,4	23,5	39,6
Молотилка	39	-	64,1	35,9	772,3	772,2	756,8	741,3	494,2	308,9	641,0
Электрооборудование	49	-	98,0	2,0	619,4	618,0	476,4	476	475,9	395,5	510,2
Гидросистема	15	40,0	40,0	20,0	1907,8	1851,8	1863,0	1851,7	1402,8	1122,2	1666,6
Ходовая часть	3	-	-	100,0	9324,8	9206,7	9324,7	8026,4	7082,2	7035,7	8333,3
Подшипники	40	-	100,0	-	750,0	748,0	737,5	718,7	481,2	314,6	625,0
Ремни приводные клиновые	98	65,3	34,7	-	306,1	305,0	301,0	293,3	196,4	128,8	255,1
Цепи	2	100,0	-	-	13979	13979	13814	12043	10627	10557	12500,0
Платформа-подборщик	699	99,7	0,15	0,15	19,5	19,6	18,6	17,6	16,1	15,4	17,8
Всего	1260	85,0	13,0	2,0	26,7	24,2	20,7	18,3	16,6	12,3	19,8

Таблица2. Распределение востребованных наименований запасных частей (агрегатов, узлов и деталей) комбайнов «Дон-1500Б» для устранения их отказов

Агрегаты, узлы и детали	Число отказов, ед.	Количество востребованных наименований запасных частей ед.	Проценты от общего количества	Распределение востребованных наименований запасных частей, относящихся к отказам по группам сложности						Среднее число отказов на одно наименование запасных частей	Распределение среднего числа отказов на одно наименование запасных частей по группам сложности		
				I		II		III			I	II	III
				Количество	Проценты	Количество	Проценты	Количество	Проценты				
Жатка	315	22	19,3	13	59,1	6	27,3	3	13,6	14,3	23,2	1,8	1,0
Молотилка	39	23	20,2	-	-	15	65,2	8	34,8	1,7	-	1,7	1,8
Электрооборудование	49	22	19,3	-	-	21	95,5	1	4,5	2,2	-	2,3	1,0
Гидросистема	15	8	7,0	2	25,0	3	37,5	3	37,5	1,9	3	2,0	1,0
Ходовая часть	3	3	2,6	-	-	-	-	3	100,0	1,0	-	-	1,0
Подшипники	40	12	10,5	-	-	12	100	-	-	3,3	-	3,3	-
Ремни приводные клиновые	98	15	13,2	11	73,3	4	26,7	-	-	6,5	5,8	8,5	-
Цепи	2	2	1,8	2	100	-	-	-	-	1,0	1,0	-	-
Платформа-подборщик	699	7	6,1	5	71,4	1	14,1	1	14,3	99,9	139,4	1,0	1,0
Всего	1260	114	100	33	29,0	62	54,4	19	16,6	11,1	32,5	2,7	1,3

Таблица 3. Распределение всех наименований запасных частей (агрегатов, узлов и деталей) комбайнов «Дон – 1500Б», для устранения их отказов

Агрегаты, узлы и детали	Число отказов, ед.	Количество всех наименований запасных частей, ед.	Проценты от общего количества	Распределение всех наименований запасных частей, относящихся к отказам по группам сложности						Среднее число отказов на одно наименование запасных частей.	Распределе ние среднего числа отказов на одно наименование		
				I		II		III			I	II	III
				Количество	Проценты	Количество	Проценты	Количество	Проценты				
Жатка	315	28	18,1	13	46,4	10	35,7	5	17,9	11,3	23,2	1,1	0,6
Молотилка	39	44	28,4	-	-	21	47,7	23	52,2	0,9	-	1,2	0,6
Электрообору- дование	49	28	18,1	-	-	27	96,4	1	3,6	1,8	-	1,8	1,0
Гидросистема	15	13	8,4	2	15,4	6	46,2	5	38,4	1,2	3	1,0	0,6
Ходовая часть	3	3	1,9	-	-	-	-	3	100	1,0	-	-	1,0
Подшипники	40	13	8,4	-	-	13	100	-	-	3,1	-	3,1	-
Ремни приводные клиновые	98	15	9,6	11	73,3	4	26,7	-	-	6,5	5,8	8,5	-
Цепи	2	2	1,3	2	100	-	-	-	-	1,0	1,0	-	-
Платформа- подборщик	699	9	5,8	5	55,6	1	11,1	3	33,3	77,7	139,4	1,0	0,3
Всего	1260	155	100	33	21,3	82	52,9	40	25,8	8,1	32,4	2,0	0,6

Таблица 4. Распределение времени доставки запасных частей з различных уровней хранения

Уровни хранения запасных частей (группа сложности отказов)	Количество отказов по группам сложности, ед.	Время выдачи запасных частей, час.	Времени движения транспортного средства /в одну сторону, час.	Среднее расстояние доставки запасных частей, км	Средняя скорость движения транспортного средства по доставке ЗЧ, км/ч	Времени доставки запасных частей, час.	
						для одного отказа	для всех отказов
1.Склад УТК (1-я группа сложности)	18,7	0,05	0,08	1,19	15	0,13	2,43
2.Склад бригады или хозяйства (2-я группа сложности)	2,86	0,1	0,26	5,77/ 3,91*; 7,62**	22	0,36	1,03
3.Склад районного или областного уровня (3-я группа сложности)	0,44	0,7	2,02/ 1,01	30,31/ 22,69**	30	2,72	1,19
Всего	–	–	–	–	–	–	4,65

* – до склада бригады; ** – до склада хозяйства.

Таблица 4. Распределение времени доставки запасных частей з различных уровней хранения

Уровни хранения запасных частей (группа сложности отказов)	Количество отказов по группам сложности, ед.	Время выдачи запасных частей, час.	Времени движения транспортного средства /в одну сторону, час.	Среднее расстояние доставки запасных частей, км	Средняя скорость движения транспортного средства по доставке ЗЧ, км/ч	Времени доставки запасных частей, час.	
						для одного отказа	для всех отказов
1.Склад УТК (1-я группа сложности)	18,7	0,05	0,08	1,19	15	0,13	2,43
2.Склад бригады или хозяйства (2-я группа сложности)	2,86	0,1	0,26	5,77/ 3,91*; 7,62**	22	0,36	1,03
3.Склад районного или областного уровня (3-я группа сложности)	0,44	0,7	2,02/ 1,01	30,31/ 22,69**	30	2,72	1,19
Всего	–	–	–	–	–	–	4,65

* – до склада бригады; ** – до склада хозяйства.

где L_d – среднее расстояние доставки ЗЧ, км (с различных уровней хранения – L_{d1} , L_{d2} , L_{d3});

V_d – средняя скорость движения ТС по доставке ЗЧ, км/ч (с различных уровней хранения – V_{d1} , V_{d2} , V_{d3}).

Определении времени на доставку ЗЧ – T , час для всех отказов ($n_{отк}$) разных групп сложности (с различных уровней хранения – T_1, T_2, T_3):

$$T = T_d n_{отк} \quad (34)$$

где $n_{отк}$ – все отказы соответствующей группы сложности, од. для одного комбайна ($n_{отк1} = 18,7$ од., $n_{отк2} = 2,86$ од., $n_{отк3} = 0,44$ од. (таблица 4).

При расчётах приняты такие условия:

- 1). При востребовании ЗЧ на складе всегда имеется ТС.
- 2). На складах хранятся ЗЧ таких групп сложности: склад УТК – 1-й группы сложности; склад бригады или хозяйства – 2-й группы сложности; склад районного уровня – 3-й группы сложности.
- 3). Расстояние со склада районного или областного уровня определялось как сумма расстояний до склада хозяйства и со склада хозяйства.
- 4). ЗЧ доставляются ТС хозяйства, т.е. они будут двигаться до склада в одну сторону и обратно – в другую.

II. Определение общего времени на доставку ЗЧ со всех уровней хранения $T_{добщ}$, час. (таблица 4):

$$T_{добщ} = T_1 + T_2 + T_3 \quad (35)$$

III. Определение разницы во времени ΔT , час. при существующей и предлагаемой организации резервирования и доставки запасных частей:

$$\Delta T = T_{дзч} - T_{добщ} \quad (36)$$

где $T_{дзч}$ – время доставки запасных частей при существующей организации их резервирования, час ($T_{дзч} = 44$ час.).

$$\Delta T = 44 - 4,65 = 39,35 \text{ час.}$$

IV. Определение времени $\Delta T_{дн}$, дни, на которое сократится продолжительность уборки:

$$\Delta T_{дн} = \Delta T / T_{дн}, \quad (37)$$

где $T_{дн}$ – дневная наработка на один комбайн, час. ($T_{дн} = 11,9$ час. [8]).

$$\Delta T_{дн} = 39,35 / 11,9 = 3,3 \text{ дня.}$$

Заключение

1. Уменьшение продолжительности уборки зерновых на 3,3 дня при внедрении предлагаемой организации резервирования и доставки ЗЧ, позволит получить дополнительную продукцию урожая зерновых за счет снижения потерь зерна, зависящие от продолжительности уборки.

2. Эффективность использования УТК зависит от соотношения длительности подготовительного и рабочего циклов. Его анализ показывает, что существует оптимальное соотношение между длительностью периодов работы и

восстановления $t_{пц}/t_{рц}$ изменяя его можно поднять эффективность функционирования УТК до 60–65 % и более.

3. Увеличение числа обслуживающих постов (специалистов-ремонтников) – r , а также количества резервных комбайнов (x_p) на эффективность использования УТК влияет неоднозначно. Например, при $r=1$, $N=6$ введение одного резервного комбайна приводит к увеличению коэффициента использования УТК от 35 % до 65%, а увеличение резервных комбайнов до 2-х увеличит коэффициент использования всего на 5 %. Такая же ситуация наблюдается при увеличении числа обслуживающих постов. Это указывает на то, что более одного поста РТО при работе УТК, состоящего из 6–8 комбайнов, создавать неэффективно, а увеличение количества резервных комбайнов более одного на эффективность использования того же комплекса существенно не влияет, при этом будут увеличиваться только затраты и себестоимость производимой продукции.

4. Варьируя количеством постов РТО, резервных ЗК, способов организации ремонтно-технических воздействий и имея необходимое количество и номенклатуру ЗЧ на различных уровнях хранения по изложенной методике, можно получить требуемое значение вероятности простоя ЗК или соответствующее значение коэффициента простоя.

Литература

1. Аналіз методі вдослідження 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. Домуці Д.П. Підвищення роботоздатності збиральних машин технологічних комплексів при експлуатації // *Аграрний вісник Причорномор'я: Зб. наук. пр. Одеського ДАУ/ Технічні науки. – Одеса: ОДАУ, 2015- № 78. – С.78-83.*
3. Множина основних подій та особливостей 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.375-374*
4. Домуци Д. А., Енакиев Ю.И., Михов М.М. Эксплуатационное обеспечение надежности комбайнов при уборке зерновых. // *IV Scientific Congress Agricultural Machinery, Varna, Bulgaria, 22–25.06.2016, ISSN: 1310-3946/ Научни известия: Scientific technical union of mechanical engineering, year XXIV, issue 17(203), June 2016. – P.87–91.*
5. Думенко К.М. Дослідження надійності зернозбиральних комбайнів/ К.М. Думенко// *Сільськогосподарські машини.- Луцьк: ЛНТУ, 2010. – Вип.20. – С. 68–78.*
6. Думенко К.Н. Анализ перспектив развития высоконадежной зерноуборочной техники в Украине / К.Н. Думенко // *Энергосберегающие технологии и технические средства для их обеспечения в сельскохозяйственном производстве: Междунар. науч.–практ. конф. молодых ученых, 25–26 авг. 2010 г.: материалы. – Минск:2010.- С.69–76.*
7. Сидорчук О.В., Скібчик В.І. Планування потреби у технічному забезпеченні проектів збирання зернових, олійних та бобових культур. *Східно-європейській журнал передових технологій. 2013. №1/10(61). С.76–79.*
8. Скібчик В.І., Днесь В.І. Визначення обсягів втрат врощеного врожаю зернових

культур за різних параметрів технічного оснащення їх збирання та післязбиральної обробки зерна. Технології АПК ХХІ століття: проблеми і перспективи розвитку: Зб. матер. междунар. науч.–практ. конф. (13-14 квітня м. Ніжин). – Ніжин, 2017. – С. 157–159.

9. Думенко К.М. Вплив ефективності сфери технічного обслуговування на встановлення функцій готовності та відновлення зернозбиральної техніки / К.М. Думенко, А.І. Бойко // *Техніка і технології АПК*. – Вип. 1(16). – 2011. – С. 11–14.

10. 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.

11. Скороходов А.Н. Эксплуатационное обеспечение безотказной работы агрегатов и комплексов. – М.: Издательство МИИСП, 1990. – 120с.

12. Домуці Д.П. Обґрунтування експлуатаційного забезпечення працездатності збиральних технологічних комплексів / Д.П. Домуці, Ю.І. Єнакієв // *Аграрний вісник Причорномор'я: Зб. наук. пр. Одеського ДАУ / Технічні науки*. – Одеса: ОДАУ, 2016. – №80. – С. 46–51.

13. Домуці Д.П. Дослідження роботоздатності техніки збирально-транспортних комплексів та обґрунтування їх складу / Д.П. Домуці, А.В. Остапенко, О.Я. Пожар // *Аграрний вісник Причорномор'я: Зб. наук. пр. Одеського ДАУ / Технічні науки*. – Одеса: ОДАУ, 2017. – 85. – С. 47–51.

14. Домуці Д.П. Дослідження працездатності зернозбиральних комбайнів та удосконалювання їх технічного сервісу / Домуці Д.П., Захаренко В.О., Ліпін А.П. // *Аграрний вісник Причорномор'я: Зб. наук. пр. Технічні науки*. – Одеса: ОДАУ, 2018. – №90. – С. 75–84.

15. Методика расчета потребности сельского хозяйства в тракторах, комбайнах, транспортных средствах, с.-х. и землеройных машинах и оборудовании животноводческих ферм. – М.: ВАСХНИЛ, 1982. – 66 с.

16. Домуци Д.А. Определение показателей безотказности и работоспособности зерноуборочных комбайнов / 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. 27-29.

17. Домуці Д.П. Теоретичні та експериментальні дослідження по визначенню виробничих умов збирання зернових культур технологічними комплексами / Домуці Д.П., Пожар О.Я., Ліпін А.П. // *Аграрний вісник Причорномор'я: Зб. наук. пр. Технічні науки*. – Одеса: ОДАУ, 2018. – №90. – С. 213–221.

18. 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.