

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МАШИН ОСНОВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЗВЕНА УБОРОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

Д. А. Домуши¹, П. И. Осадчук², А. Д. Устуянов¹,
Е. В. Молчанюк¹, Ю. И. Енакиев³

¹Одесский Государственный Аграрный Университет (Одесса, Украина)

²Одесский национальный технологичный университет (Одесса, Украина)

³Институт почвоведения, агротехнологии и защиты растений
"Никола Пушкаров", Сельскохозяйственная академия (София, Болгария)
e-mail: d.domuschi@ukr.net, petrosadchuk@ukr.net, a.ustuyaynov61@ukr.net,
yenaakiev@yahoo.co.uk

Резюме

Представлена вероятностная оценка состояния машин основного технологического звена уборочно-транспортного комплекса на уборке зерновых культур. Обоснованы показатели работы зерноуборочных комбайнов использованием аналитических зависимостей теории массового обслуживания и цепей Маркова. Вычислены характеристики надежности всех элементов технической системы, такой как зерноуборочный комбайн, от узлов, агрегатов до простейших деталей.

Ключевые слова: уборочно-транспортный комплекс, зерноуборочный комбайн, работоспособное состояние, технические отказы.

PROBABLE ASSESSMENT OF THE CONDITION OF MACHINERY FROM THE MAIN TECHNOLOGICAL UNIT OF THE HARVESTING AND TRANSPORTATION COMPLEX

D. A. Domushchi¹, P. I. Osadchuk², A. D. Ustuyaynov¹,
E. V. Molchanyuk¹, Y. I. Enakiev³

¹Odesa State Agrarian University (Odesa, Ukraine)

²Odesa National Technological University (Odesa, Ukraine)

³Nikola Poushkarov Institute of Soil Science, Agrotechnologies and Plant Protection,
Agricultural Academy (Sofia, Bulgaria)

Resume

A probabilistic assessment of the condition of machines of the main technological unit of the harvester-transport complex for the harvesting of Cereal crops is presented. The main parameters of combine harvesters are justified using analytical dependencies with mass service theory and Markov chains. A methodology for determining probabilistic characteristics of the reliability of all elements of a grain harvester is presented.

Key words: harvesting and transport complex, combine harvester, working condition, technical failures.

Введение

Продолжительность уборки зерновых культур и величина эксплуатационных и энергетических затрат на уборку урожая зависит от наличия и состояния

зерноуборочных комбайнов (ЗК), транспортных средств (ТС), вспомогательной уборочной техники, организации работы уборочно-транспортных комплексов (УТК), погодных условий и других производственных факторов (Domuschi and Osadchuk, 2020).

Оценка эффективности использования техники УТК оценивается не только системой показателей эксплуатационных и энергетических затрат на уборку урожая (Domuschi et al., 2020), но и надежностью машин основного технологического звена УТК (Enakiev et al., 2016).

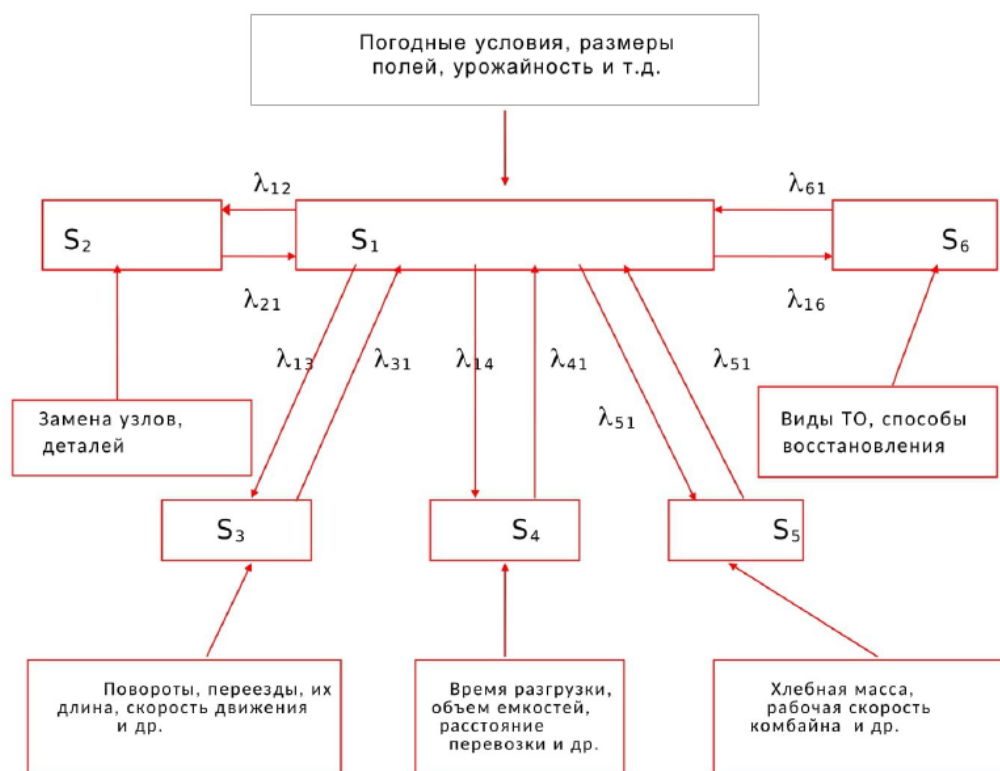
В системе основного технологического звена уборочно-транспортного комплекса работа зерноуборочных комбайнов является основополагающей, хотя не является независимой. Надежное функционирование зерноуборочных комбайнов обеспечивается системой взаимодействующих звеньев обслуживания процесса уборки.

Поэтому для обоснования показателей использования зерноуборочных комбайнов целесообразно использовать аналитические зависимости теории массового обслуживания и цепей Маркова (Wentzel, 1972).

Материалы и методы

Надежное функционирование машин технологических комплексов на уборке зерновых культур возможно при оптимальной структуре УТК. Обоснование структуры и состава технологических комплексов для уборки зерновых культур представлено в исследованиях (Mochulyak et al., 2020), но УТК также должен иметь высокую техническую надежность машин – ЗК основного технологического звена (Domuschi et al., 2021).

Рассмотрим ЗК как сложную систему, состояния которой представлены в таком виде (фиг. 1). Полагаем потоки событий, переводящие систему из состояния в состояние, простейшими.



Фиг. 1. Графы вероятностных состояний зерноуборочного комбайна и основные факторы, влияющие на них

В виду того, что потоки требований на обслуживание имеют случайный характер, а реализация требований на все виды обслуживания может осуществляться различными средствами, с различной интенсивностью, система эксплуатационного обеспечения надежности функционирования может быть отнесена к классу случайных (Sidorchuk et al., 2011).

В обслуживающую подсистему УТК поступает поток заявок, который характеризуется параметром интенсивности λ_{ij} , представляющим собой среднее число заявок в единицу времени. Период времени от начала обслуживания заявки до момента его завершения является временем обслуживания $t_{обс}$. Величину, обратную среднему времени обслуживания заявок, называют параметром обслуживания λ_{ij} .

В любой момент времени смены ЗК может находиться в одном из состояний: S_1 – комбайн исправен, работает в загоне; S_2 – неисправен, происходит устранение технических отказов; S_3 – совершает повороты, переезды; S_4 – проводится технологическое обслуживание; S_5 – производится устранение технологических отказов; S_6 – проводится техническое обслуживание (Domuschi et al., 2022).

Вероятность того, что в момент t система находится в состоянии S_i ($i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$) обозначим через $P_i(t)$. Эти состояния несовместны, образуют полную группу событий, их вероятностные характеристики не меняются за время пребывания в состоянии S_i . Очевидно, что для любого момента времени t сумма вероятностей состояний равна единице:

$$\sum_{i=1}^n P_i(t) = 1 \quad (1)$$

Задача состоит в том, чтобы определить вероятности состояний $P_i(t)$ как функции времени. Эти вероятности удовлетворяют определенного вида дифференциальным уравнениям, так называемым уравнениям Колмогорова.

Результаты и обсуждение

Для рассматриваемой системы уравнения Колмогорова имеют вид:

$$\frac{dP_1}{dt} = (\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14} + \lambda_{15} + \lambda_{16})P_1 + \lambda_{21}P_2 + \lambda_{31}P_3 + \lambda_{41}P_4 + \lambda_{51}P_5 + \lambda_{61}P_6$$

$$\frac{dP_i}{dt} = P_i\lambda_{i-} - P_i\lambda_{i+}$$

Для установившегося режима система уравнений Колмогорова может быть представлена в виде алгебраических уравнений:

$$-(\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14} + \lambda_{15} + \lambda_{16})P_1 + \lambda_{21}P_2 + \lambda_{31}P_3 + \lambda_{41}P_4 + \lambda_{51}P_5 + \lambda_{61}P_6 = 0$$

$$P_i\lambda_{i-} - P_i\lambda_{i+} = 0$$

Решая систему уравнений совместно с нормировочным условием формулы (1) можно получить предельные вероятности состояний:

$$P_i = \frac{\lambda_{1i}}{\lambda_{i1}} P_1; P_1 = \left[1 + \sum_{i=2}^6 \frac{\lambda_{1i}}{\lambda_{i1}} \right]^{-1} \quad (2)$$

Интенсивность перехода ЗК из работоспособного состояния в другие состояния (λ_{ij}) определяются по зависимостям, представленным в таблице 1. Интенсивность перехода в работоспособное состояние (λ_{ji}) зависит от состояния ЗК и находится из выражения:

$$(\lambda_{ji})=(T_j)^{-1}, \quad (3)$$

где T_j – среднее время проведения j-го воздействия, ч.

Из приведенных зависимостей видно, что плотности вероятностей перехода являются функциями различных факторов:

$$\lambda_{21(12)} = f(T_{уст}, L_{дзч}, T_{бр});$$

$$\lambda_{31(13)} = f(V_k, L_r, W,);$$

$$\lambda_{41(14)} = f(L_{пер}, T_{раз}, U_o, U, W);$$

$$\lambda_{51(15)} = f(T_{y\ to}, L_{TO,});$$

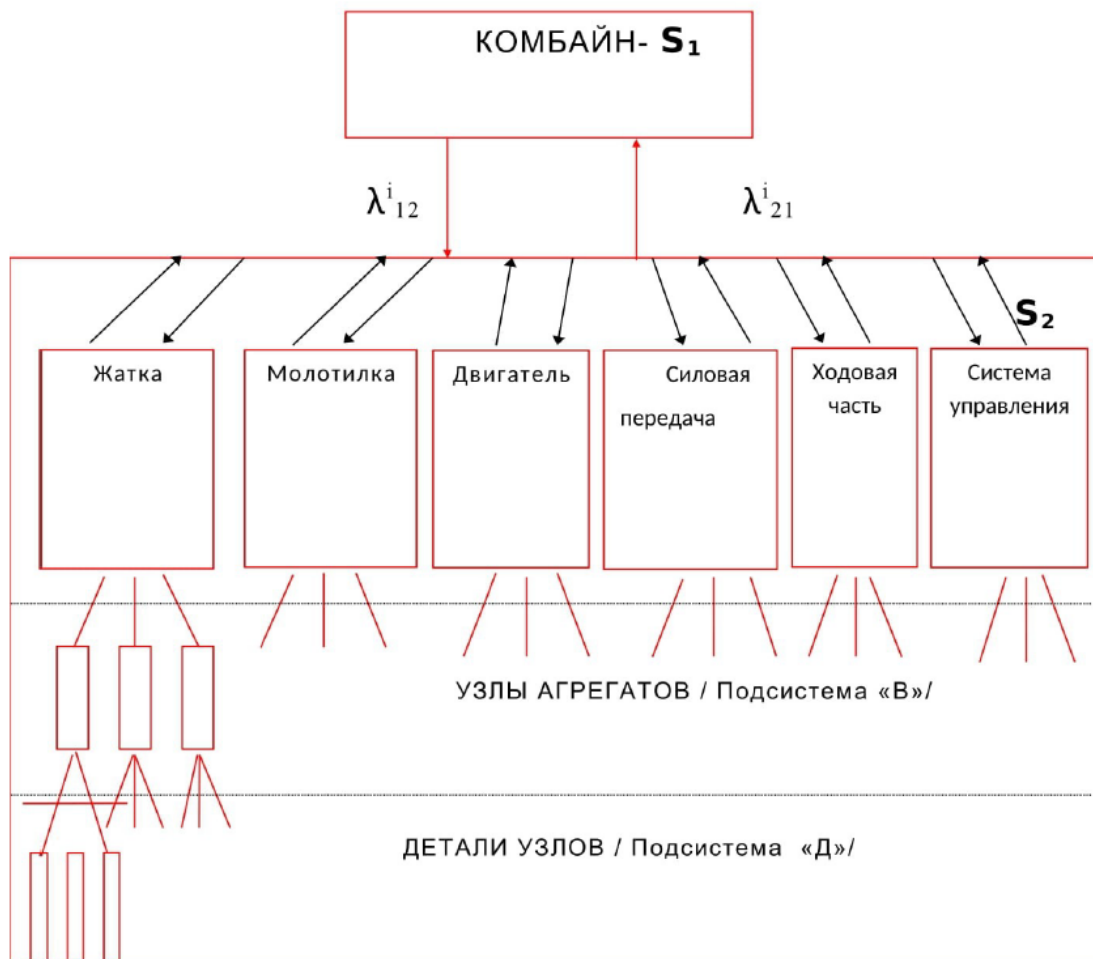
$\lambda_{61(16)} = f(\text{виды и стратегии РТО}, T_{TO})$ и могут быть определены статически и экспериментально (Domuschi and al, 2020).

Таблица 1. Интенсивности перехода из состояния S_i в состояние S_j (λ_{ij})

Интенсивность перехода	Расчетная формула	Примечания
Интенсивность возникновения технических отказов (λ_{12})	$\lambda_{12}=(T_{бр})^{-1}$	$T_{бр}$ – среднее время безотказной работы комбайна, с
Интенсивность переездов с поля на поле (λ_{13})	$\lambda_{13}=\frac{W}{F}$	W – производительность комбайна, м ² /с; F – площадь поля, м ²
Интенсивность технологических обслуживаний (λ_{14})	$\lambda_{14}=\frac{3,6BV_pU}{\gamma K_3U_o}$	U – урожайность, кг/м ² ; V_p – рабочая скорость ЗК, м/с; B – ширина захвата жатки, м; K_3 – коэффициент заполнения; γ – объемная масса, кг/м ³ ; U_o – технологическая емкость, м ³
Интенсивность возникновения технологических отказов (λ_{15})	$\lambda_{15}=\frac{V_p}{L_{TO}}$	L_{TO} – расстояние переезда технологических отказов, м
Интенсивность технических обслуживаний (λ_{16})	$\lambda_{16}=\sum_{n=1}^N (2\pi n\sigma)^{-1} \times \exp\left[-\frac{(T_{TO} - nT_{TO})^2}{(2n\sigma^2)}\right]$	n – порядковый номер ТО; σ – среднее квадратичное отклонение; T_{TO} – средняя периодичность ТО, (с, кг, м ²)

Применение системы уравнений Колмогорова для определения вероятностей состояний ЗК, характеризуется такими особенностями. Принимаются только интенсивности перехода, связывающие первое состояние с остальными, что позволит существенно упростить сбор и систематизацию необходимой информации; интенсивности переходов λ_{ij} могут быть определены для разного срока службы ЗК; а техническое обслуживание учитывается только такое, которое приводит к длительным простоям.

Для обоснования механизма образования потока технических отказов ЗК рассмотрим его структурную схему, представив ее в виде «дерева» (фиг. 2).



Фиг. 2. Структурная схема образования технического отказа

Такая схематизация ЗК позволит рассмотреть отдельные подсистемы в виде иерархической структуры и анализ возникновения отказов произвести по отдельным составляющим «система – элемент».

Вероятность безотказной работы для агрегатов комбайна можно рассчитать с помощью системы уравнений Колмогорова аналогично зависимости (2). При этом необходимо выделить соответствующие вероятности состояний нахождения комбайна в ремонте (восстановлении), связанные с отказом деталей конкретного агрегата. Интенсивности переходов для агрегатов рассчитываются на основании параметров потоков отказов деталей (Domuschi and Ustuyanov, 2020):

$$\lambda_{12}^i = \sum_{j=1}^Q \omega_{aj}(t) \quad (4)$$

где Q – число агрегатов, требующих разборки для замены отказавшей детали, шт;

$\omega_{aj(t)}$ – параметр потока отказов j-й детали агрегата, который определяется по интервалам наработки:

$$\omega_{aj}(t) = \frac{\sum_{j=1}^m n_{ij}(t)}{N\Delta t}, \quad (5)$$

где n_{ij} – число отказов j-й детали агрегата в i-ом интервале наработки, ед.;

m – число деталей агрегата, у которых зафиксированы отказы, шт.;

Δt – интервал времени (наработки), с.;

N – число агрегатов, находящихся под наблюдением, шт.

Технические отказы (отказавшие детали, узлы, агрегаты) в состоянии S_2 восстанавливаются с определенной интенсивностью λ_{21} , которая чаще всего определяется для ЗК по группам сложности отказов.

Из рисунка 2 видно, что схема образования технического отказа включает ряд уровней. Эти уровни соответственно связаны с ремонтом жатки, молотилки, двигателя, силовой передачи (ремни, цепи и т.д.), ходовой части, гидросистемы и системы управления.

Таким образом, начиная с первого уровня, рекуррентно вычисляются характеристики надежности всех элементов системы от агрегатов до простейших деталей. На каждом новом шаге нормирования системой будет являться один из элементов более высокого иерархического уровня, надежность которого определена на предыдущем шаге. Например, на втором шаге подсистема будет «системой» по отношению к элементам следующей подсистемы.

Вероятности состояния системы на «к»-ом уровне можно получить аналогично зависимости (2) при $t \rightarrow \infty$:

$$P_1^k = \left[\frac{1 + \sum_{a=1}^6 \lambda_{12}^k}{\lambda_{21}^k} \right]^{-1}, \quad (6)$$

вероятность нахождения в состоянии P_2^k будет равна:

$$P_2^k = \frac{\lambda_{12}^k}{\lambda_{21}^k} P_1^k. \quad (7)$$

Из формул (6) и (7) видно, что существует неопределенное множество λ , обеспечивающее установившийся поток отказов $\omega = \lambda T$ системы. Для устранения этой неопределенности можно воспользоваться методом весовых коэффициентов.

Метод весовых коэффициентов позволяет решить задачу нормирования безотказности элементов системы для установленной наработки T , с при условии, что поток отказов является простейшим с суммарной интенсивностью по формуле:

$$\lambda = \sum_{k=1}^n \lambda_k \quad (8)$$

При этом полагается, что все составляющие $\lambda_k = \lambda W_k$ малы по сравнению с λ , т.е. в системе нет элементов, потоки отказов которых были бы сравнимы по интенсивности с потоком отказов всей системы.

Весовые коэффициенты W_k , учитывающие важность или относительную значимость элементов в системе можно найти по формуле:

$$W_k = \frac{S_k}{\sum_{k=1}^n S_k} = \frac{\lambda_k}{\sum \lambda_k}, \quad (9)$$

где S_k – оценочный показатель для «к» - го элемента.

В качестве показателей S_k приняты интенсивности отказов, λ_k , параметры которых определяются экспериментально.

Заключение

1. Такой подход к оценке состояний зерноуборочных комбайнов указывает на то, что при организации системы эксплуатационного обеспечения безотказной работы УТК, необходимо учитывать наработку (ресурс) до отказа и возрастной состав зерноуборочных комбайнов.

2. Результаты расчетов могут использоваться для принятия управленческих решений, связанных с разработкой организационно-технических мероприятий, которые направлены на достижение заданных показателей надежности зерноуборочных комбайнов и оптимизации их состава.

Литература

- Wentzel E. S. (1972). Operations research. *Soviet radio*. Moscow, Russia. 552.
- Domuschi D. A., Y. I. Enakiev, P. I. Osadchuk. (2020). Substantiation of schemes and methods of repair and maintenance of harvesting and transport complexes. *Proceedings of the scientific forum with international participation "Ecology and agrotechnologies – fundamental science and practical realization*. Volume 1. ISSN 2683-0663. Sofia, Bulgaria. 60-77.
- Domuschi D. A., P. I. Osadchuk. (2020). Optimization of the structure and composition of technological complexes for harvesting grain crops by energy costs. *IV International Eurasian Agriculture and Natural Sciences Congress*. ISBN 978-605-69010-2-7. 396-401.
- Domuschi D. A., P. I., Osadchuk A. D. Ustuyanov (2021). Substantiation of requirements for the reservation of elements of complex technical systems for harvesting grain crops. *V International Eurasian Agriculture and Natural Sciences Congress*. ISBN 978-605-69010-3-4. 79-83.
- Domuschi, D. A., P. I. Osadchuk, A. D. Ustuyanov, Y. I. Enakiev. (2020). Methods for optimizing the composition of grain harvesters of harvesting and transport complexes. *Proceedings of the scientific forum with international participation "Ecology and agrotechnologies – fundamental science and practical realization*. Volume 2. ISSN 2683-0663. Sofia, Bulgaria. 62-68.
- Domuschi D. A., P. I. Osadchuk, A. D. Ustuyanov, A. S. Lisenko, Y. I. Enakiev. (2022). Model for optimizing the structure and composition of complex technological systems for harvesting grain crops. *Proceedings of the scientific forum with international participation "Ecology and agrotechnologies – fundamental science and practical realization*. Volume 3. ISSN 2683-0663. Sofia, Bulgaria. 184-192.

- Domuschi D. A., A. D. Ustuyanov. (2020). Increasing the reliability of combines for harvesting grain crops by methods of reserve substitution. *IV International Eurasian Agriculture and Natural Sciences Congress*, 30-31 October 2020. ISBN: 978-605-69010-2-7. 402-406.
- Enakiev Y. I., Domuschi D. A., M. Mikhov. (2016). Operational assurance of the reliability of combines when harvesting grain. *IV Scientific Congress Agricultural Machinery*, Varna, Bulgaria, 22-25.06.2016, ISSN: 1310-3946. 87-91.
- Mochulyak O. S., A. S. Lysenko, D. P. Domuschi. (2020). Justification of the structure and composition of the technological complex for harvesting winter wheat. *Collection of materials of the 11th interuniversity scientific and practical conference "Braslav readings. Economy of the 21st century: National and Global Dimensions"*. Odesa, Ukraine. 94-96.
- Sydorchuk O. V., V. I. Dnes, V. I. Skibchuk. (2011). Analysis of research methods and event patterns in projects at different stages of early grain harvesting planning. *Computer-integrated technologies: education, science, production: sciences. magazine*. №7. Lutsk, Ukraine. 141-144.