

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МЕХАНИЗМОВ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Александр Быстрый, Иван Роговский

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15

Alexander Bystryj, Iwan Rohovsky

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Разработана математическая модель и проведён анализ системы определение рационального количества технического контроля механизмов зерноуборочного комбайна.

Ключевые слова: надёжность, модель, машина, отказ.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Созданная в НУБиП Украины «Методика разработки средств и технологии технического контроля зерноуборочных комбайнов» является руководящим материалом для научно-исследовательских и производственных предприятий в области ремонтно-технологического обеспечения технической сельскохозяйственных машин. В этих методических указаниях по прогнозированию технического ресурса машин рассматриваются вопросы разработки средств; обоснования структурных, ресурсных и диагностических средств составления технологии для машин, работающих продолжительное время или круглый год. Для сельскохозяйственных машин, которые большую часть времени года находятся на хранении (время хранения в 15 раз больше занятости в работе), необходим несколько иной методический подход.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Известно, что продолжительное время хранения техники вносит свои коррективы в показатели ее надежности [1-5]. В принципе возможен случай, когда неиспользуемая сельхозмашина (находясь на хранении, отдельные ее элементы могут оказаться неисправными) имеет отказы [6-11]. Таким образом, исправность сельхозмашины не определяется ее наработкой в той мере, в какой

это наблюдается у машин, используемых круглый год [12-14]. Если у последних основной характеристикой являются износные отказы, а случайные отказы незначительны (в предлагаемой методике они не учитываются), то для первой они играют существенную роль и не учитывать их нельзя [15-17]. Еще необходимо учитывать, что часто сельхозмашины не набирают до отказа в течение даже нескольких сезонов, поэтому при обосновании ресурсных параметров требуется очень продолжительное время наблюдений [18-20]. В связи с этим при оценке надежности элементов сельхозмашин следует принимать во внимание не только износные отказы, но и случайные, вызванные старением машины, коррозионным поражением и другими факторами [21].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целесообразно рассчитывать вероятности отказов с учетом отказов во время эксплуатации и во время ремонта. Для расчета значений вероятностей отказов предлагается следующий порядок.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В первую очередь определяется вероятность замены деталей механизма во время эксплуатации на основании статистических материалов по формуле:

$$P_{zi} = \frac{v_i}{B}, \quad (1)$$

где: v_i - количество замененных i -х деталей; B - количество обоснованных механизмов.

Затем выявляются структурные параметры, т.е. элементы, определяющие ресурс каждой детали, с помощью вероятностей появления неисправностей по функции распре-

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА
ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МЕХАНИЗМОВ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

деления износа на основании данных микрометража деталей при ремонте по формуле:

$$P_{ui} = 1 - \int_0^{xDi} \varphi(x_i) dx, \quad (2)$$

где: $\varphi(x_i)$ - функция плотности распределения износа; xDi - допустимое значение i -го износа i -х детали.

На следующем этапе рассчитываются вероятности отказов выявленных структурных параметров коробок передач во время эксплуатации. Для этого определяется вероятность появления неисправности детали по формуле:

$$P_{uq} = \sum_{i=1}^n P_{ui}, \quad (3)$$

где: P_{uq} - вероятность появления неисправности в детали, определяемая i -ми структурными параметрами.

В последующем рассчитывается вероятность отказа элемента во время эксплуатации от неисправности одного из структурных параметров:

$$P = \frac{P_{zi} P_{ui}}{P_{uq}}. \quad (4)$$

После определения вероятностей появления неисправности и вероятности отказа элемента во время эксплуатации рассчитывается фактическая вероятность отказа структурного параметра по формуле Бейеса:

$$P_{\varphi i} = \frac{P_{zi} P_{ui}}{\sum P_{zi} P_{ui}}. \quad (5)$$

Значимость элемента, т.е. необходимость измерения диагностического параметра, определяется по научно обоснованным критериям, для расчета которых целесообразно использовать работы [1, 4]. В этих работах рекомендуется определять верхний и нижний пределы вероятностей отказов на основании экономической целесообразности диагностирования по формулам:

$$P = \frac{\eta_n d - \delta_q \eta_o}{\eta_q d + \delta_q \eta_o}, \quad (6)$$

$$P_n = \frac{\delta_q \eta + \eta_n}{\delta_q \eta_o d + \eta_n}; \quad (7)$$

$$\delta_q = \frac{D_q E_q}{N_q} + (C_{z,q} + C_{o,q}); \quad (8)$$

$$\delta_q = \frac{C_{c,z} - C_{c,p} + C_n}{C_{c,c}}. \quad (9)$$

где: C_z , $C_{c,p}$, C_n , $C_{c,c}$, $C_{z,q}$, $C_{o,q}$ - удельные затраты соответственно на ремонт объекта в сезон эксплуатации, на разборку-сборку объекта, не подлежащего ремонту, потери от простоев машины в период ее использования, на разборную дефектовку исправных объектов, на зарплату диагностам, техническое обслуживание диагностических средств; D_q - стоимость безразборных средств контроля; N_q - количество отказов, подлежащих проверке; E_q - установленные согласно срокам службы нормы амортизационных отчислений; α - коэффициент, учитывающий увеличение срока службы за счет соответствующих мероприятий диагностики; η , η_o , η_n - коэффициенты: первый определяет долю комбайнов из всего парка, подлежащих диагностированию; второй и третий - долю комбайнов соответственно с явно выраженными неисправностями и явно исправных. Коэффициенты связаны между собой соотношением:

$$\eta = (\eta_o + \eta_n) - 1. \quad (10)$$

В свою очередь:

$$\eta_o = 1 - (\eta_{o1} + \eta_{o2}); \quad (11)$$

$$\eta_n = 1 - (\eta_{n1} + \eta_{n2}), \quad (12)$$

где: η_{o1} и η_{o2} - коэффициенты, определяющие соответственно количество комбайнов, подлежащих списанию и поступающих с поля с явно отказывающимися агрегатами; η_{n1} и η_{n2} - коэффициенты, определяющие количество комбайнов соответственно проработавших первый год службы и замененных новыми или во время последнего ремонта.

Методика выполнения контролируемых параметров была определена из следующих соображений.

Механизм состоит из определенного количества сопряжений и деталей (элементов), с каждой из которых в момент диагностирования вероятность появления неисправностей равна P_i ; неисправность обычно не появляется в одном элементе, а охватывает несколько элементов. Используем это обстоятельство для определения рационального количества диагностических параметров. Допустим, что в результате проверки механизма по параметрам M_1 его определенная часть

с вероятностью P_1 требует отправки на ремонт; вместе с ним будут отправлены на ремонт механизмы с неисправностями других элементов, и эти механизмы будут диагностированы по остальным неисправностям уже меньше на величину совместного проявления неисправностей ($P_1 P_i$). Если продолжить рассуждение, можно прийти к выводу, математически описываемому следующей формулой:

$$P_{oi} = P_i - P_1 P_i. \quad (13)$$

Для общего случая проверяемый параметр обозначим P_k . Когда осуществляется не одна, а несколько проверок, остаточная вероятность элемента P_{oi} будет снижена на сумму всех совместных вероятностей отказов проверяемых и непроверяемых элементов или в общем виде формулу (1) необходимо записать так:

$$P_{oi} = P_i - \sum_{k=1}^n P_k P_i, \quad (14)$$

где P_{oi} - значение остаточной вероятности отказа i -го структурного параметра после

отправки на ремонт механизмов по K -му элементу, вероятность которого P_k .

Сравнивая полученные остаточные вероятности отказов с нижней предельной вероятностью, находим, что после определенного количества проверок значение их будут меньше последней, т.е. назначать проверку по экономическим критериям нецелесообразно. В этом случае больше контролируемых параметров не назначается.

Схема поиска наименований, последовательности и количества диагностических параметров изображена на рисунке. Она отражает порядок выполнения расчетных операций исходя из условия, что для определения количества проверок необходимо знать остаточные и предельные вероятности. В свою очередь, для определения остаточных вероятностей нужно знать вероятности отказов и состояние их на ремонте; значимость их определяется по предельным вероятностям.

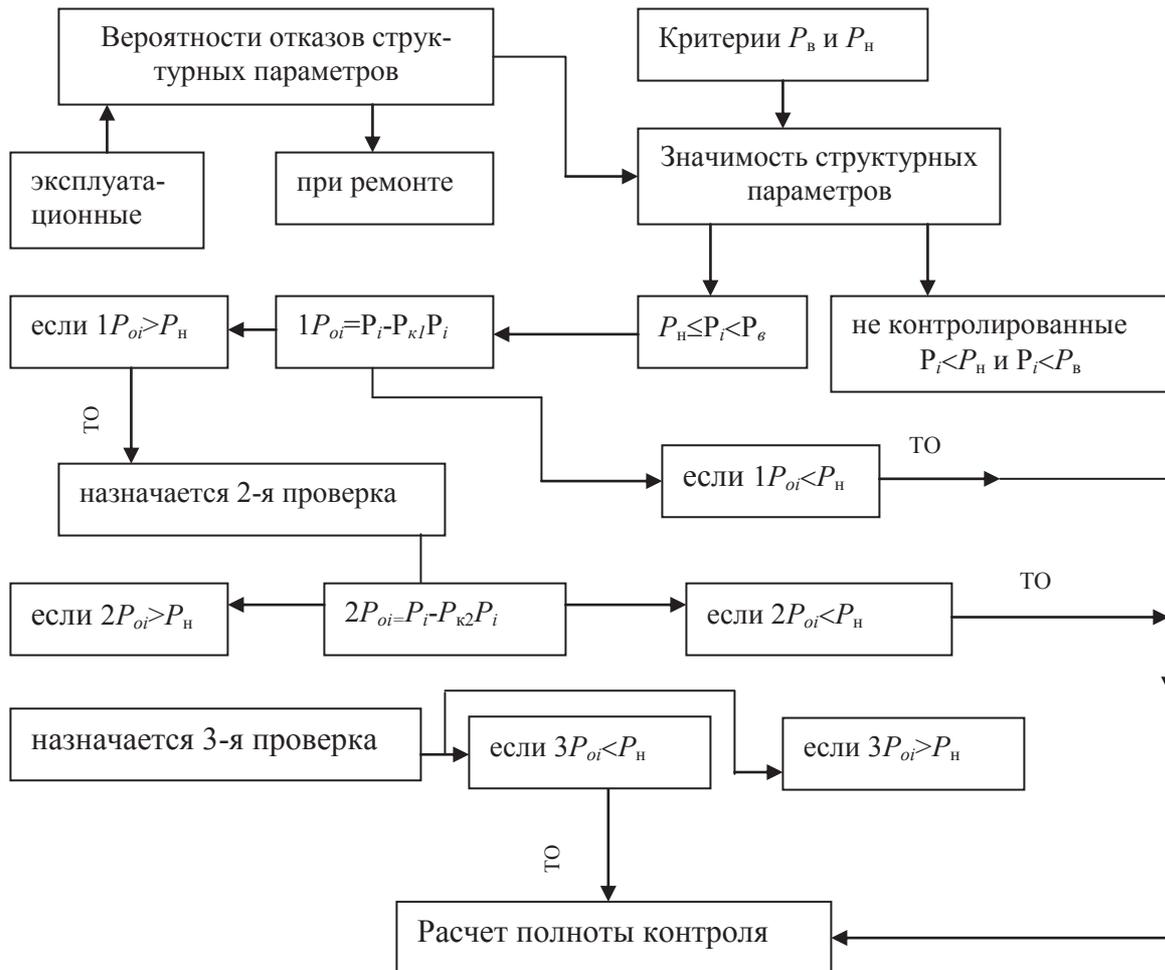


Рис. Обоснование рационального количества диагностируемых параметров
 Fig. Substantiation of rational quantity of diagnosed parameters

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА
ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МЕХАНИЗМОВ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Таблица 1. Расчет вероятностей отказов
Table 1. Calculation of probabilities of refusals

Наименование деталей	И з н о с		В е р о я т н о с т ь					
	место	вид	замены	появление неисправности	замены	появление неисправности	произведение	отказа (фактическая)
Блок-шестерня подвижная 2-й и 3-й передач	Зубья	Торцовый	0,177	0,310	0,177	0,310	0,055	0,174
		По толщине		0	0	0	0	0
Шестерня постоянная 2-й передачи	Зубья	По толщине		0	0	0	0	0
		Торцовый	0,176	0,260	0,176	0,260	0,046	0,144
Шестерня постоянная 3-й передачи	Зубья	Торцовый			0	0	0	0
		По толщине	0,100	0,691	0,100	0,121	0,012	0,108
Шестерня заднего хода	Зубья	По толщине			0	0	0	0
		Торцовый			0	0	0	0
		По толщине	0,013	0	0	0	0	0
Шестерня постоянная 1-й передачи	Зубья	Торцовый			0,036	0,037	0,001	0,003
		По толщине	0,036	0,037	0	0	0	0
Вал приводной	Шлицы	По толщине			0	0	0	0
		По толщине			0,019	0,179	0,003	0,009
	Посадочное место под подшипник 309	По толщине			0,09	0,849	0,106	0,224
		Диаметральный	0,09	0,849	0,089	0,844	0,071	0,225
	Подшипник 309	По толщине	0,09	0,849	0	0	0	0
Радиальный зазор		-	0,01	-	0,01	0,0001	0	

Продолжение. табл. 1
Continuation. Tab. 1

Наименование деталей	И з н о с		В е р о я т н о с т ь					
	место	вид	замены	появление неисправности	замены	появление неисправности	произведение	отказа (фактическая)
Вал передаточный	Шлицы под шестерни	По толщине	0,001	0,232	0,014	0,161	0,002	0,006
	Посадочное место под подшипник 308	Диаметральный	0,001	0,232	0	0	0	0
		По толщине	0,001	0,232	0,028	0,084	0,002	0,006
	Посадочное место под подшипник 50308	Диаметральный	0,001	0,232	0	0	0	0
Подшипник 308	Беговые дорожки обойм и шариков	Радиальный зазор	0,016	0		0	0	0
		Радиальный зазор	0,031	0		0	0	0
Подшипник 50308	Беговые дорожки обойм и шариков	Радиальный зазор	0,030	0	0	0	0	0
		Диаметральный			0,087	0,998	0,087	0,275
Корпус коробки	Гнездо под подшипник 309	Диаметральный			0,0085	0,962	0,085	0,259
		Диаметральный			0	0	0	0
	Гнездо под подшипник 50308	Диаметральный	0,082	0,932				
		Диаметральный			0,0004	0,005	0	0
				0,0005	0,006	0	0	

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА
ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МЕХАНИЗМОВ ЗЕРНУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Таблица 2. Остаточные вероятности отказов
Table 2. Residual probabilities of refusals

Структурные параметры	Наименование проверки	Износ гнезда под подшипник 60309	Проверка полноты зацепления 2-й передачи	Остаточные вероятности после двух проверок	Проверка полноты зацепления 3-й передачи	Остаточные вероятности после 3-й проверки
<u>Вероятность отказов</u>		0,275	0,320	-	0,282	-
Гнездо подшипника 60309	0,275	-	-	-	-	-
Гнездо подшипника 50208	0,029	0,188	0,177	0,105	209	0,032
Посадочное место подшипника 50208 на валу	0,224	0,162	0,152	0,082	0,161	0,029
Посадочное место подшипника 50208 на валу	0,225	0,163	0,153	0,06	0,162	0,003
<u>Износ зубьев шестерни по длине</u>						
Подвижной 2-й и 3-й передач	0,174	0,127	-	-	-	-
Постоянной 2-й передачи	0,144	0,105	-	-	-	-
Постоянной 3-й передачи	0,108	0,078	0,073	0,03	-	-

Элементы, вероятность которых находится в границах предельных вероятностей, являются ресурсными параметрами механизма. Очередность проверки назначается с того ресурсного структурного параметра, у которого фактическая вероятность отказов имеет наибольшее значение. Количество диагностических параметров выбирается таким, чтобы остаточные вероятности их недиагностируемой номенклатуры параметров были ниже предельной вероятности.

После обоснования диагностических параметров производится проверка их достаточности полнотой контроля по формуле:

$$V = \frac{H_o(M) - \prod_{i=1}^k P_i H_o(M_n)}{H_o(M)}, \quad (15)$$

где: $H_o(M)$ и $H_o(M_n)$ - соответственно априорная и апостериорная неопределенности, которые определяются по формулам

$$H_o(M) = \prod_{j=1}^m P_j \log_2 \prod_{j=1}^m P_j - \left(1 - \prod_{j=1}^m P_j\right) \log_2 \left(1 - \prod_{j=1}^m P_j\right); \quad (16)$$

$$H_o(M_n) = \prod_{l=1}^{m-k} P_l \log_2 \prod_{l=1}^{m-k} P_l - \left(1 - \prod_{l=1}^{m-k} P_l\right) \log_2 \left(1 - \prod_{l=1}^{m-k} P_l\right); \quad (17)$$

где: $P_j = I - P_i$ - вероятность безотказной работы i -го структурного параметра; m , k и $(m-k)$ - количество структурных параметров: общее, подверженных проверке и непроверяемых; P_l - вероятность безотказной работы l -го структурного параметра.

Если значение полноты контроля близко или равно единице, то информация о состоянии механизма будет полной.

Изложенная методика использовалась при обосновании диагностических параметров коробок передач зерноуборочных комбайнов. Рассчитанные вероятности всех структурных параметров приведены в таблице 1.

В графе 4 даны вероятности отказов деталей во время эксплуатации, в графе 5 – вероятности отказов деталей во время ремонта, в графе 6 – вероятности отказов элементов деталей во время эксплуатации, в графе 7 – вероятности отказов элементов деталей во время ремонта, в графе 8 – произведения ве-

роятностей 6-й и 7-й граф, в графе 9- фактические вероятности отказов структурных параметров.

На основании рассчитанных вероятностей отказов определялись ресурсные параметры путем сравнения с рассчитанными по формулам (6) и (7) предельными вероятностями, которые равны $P_{\sigma} = 0,76$ и $P_n = 0,07$. Параметры со значениями фактической вероятности отказов не более 0,76 и не менее 0,07 приняты за основные и занесены в таблицу 2. Из них у гнезда под подшипник 60309 вероятность отказов наибольшая, поэтому износ гнезда принят за лидирующий ресурсный параметр.

Приведен также расчет остальных вероятностей отказов по формуле (14). Приведен также расчет остальных вероятностей отказов по формуле (14).

Оказалось, что у некоторых параметров остаточная вероятность отказов больше P_n . Назначается 2-я проверка – износ зубьев по длине пары шестерен 2-й передачи по полноте зацепления. Этой проверки и даже обеих оказалось недостаточно по той же причине.

Поэтому назначается 3-я проверка – износ зубьев по длине пары шестерен 3-й передачи.

После этого все остаточные вероятности меньше P_n и следующая проверка не назначается.

Для контроля достаточности диагностических параметров проводилась проверка на полноту контроля по формуле (15), в результате чего выяснилось, что ее значение равно 1. Следовательно, три диагностических параметра дают полную информацию о состоянии коробок передач зерноуборочных комбайнов.

ВЫВОД

Таким образом, при обследовании диагностических параметров учитывается экономическая целесообразность (стоимость оборудования, время проверки, оплата) проверки с помощью рассчитанных предельных вероятностей диагностирования, а с помощью остаточной вероятности определяется рациональное количество проверок и последовательность их проведения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Anatoliy Boyko. 2011: Teoreticheskiye issledovaniya nadezhnosti kukuruzoubo-rochnoy tekhniki pri ispolzovanii rezervirovaniya / Anatoliy Boyko, Oleksandr Bondarenko, Kostyantyn Dumenko // Motoryzacia i energetyka rolnictwa. – Lublin. – Vol. 13A. – 131–138.
2. Boyko A.I. 2011: Issledovaniye nadezhnosti kukuruzoubo-rochnykh mashin pri ikh starenii, neizmennoy baze tekhnicheskogo obsluzhivaniya i ispolzovaniya passivnogo rezervirovaniya / A.I. Boyko, A.V. Bondarenko // Obshchegosudarstvennyy mezhvedoms-tvennyy nauchno-tekhnicheskyy sbornik KNTU, - Kirovograd. - Vypusk 41, chast 1. - 154-161.
3. Boyko A.I. 2013: Matematichne modelyvannya sistemi «lyudina-mashina» pri nakopichenni vidmov/ A.I. Boyko, A.V. Novitskiy // Visnik KhNTUSG im. Petra Vasilenka. – Kharkiv, KhNTUSG. – Vip. 134. – 75-79.
4. Boyko A.I. 2011: Stokhasticheskoye modelirovaniye raboty pnevmomekhanicheskaya vysewayushchego apparata / A.I. Boyko, A.A. Bannyi // Nauchnyy vestnik NAU, seriya «Tekhnika i energetika APK» - K. - Vypusk 166, chast 1. - 112 - 118.
5. Boyko A.I. 2010: Ustanovleniye funk-tsii vosstanovleniya podsistem zernoubo-rochnykh kombaynov v usloviyakh razvitiya sfery tekhnicheskogo obsluzhivaniya / A.I. Boyko, K.N. Dumenko // Vestnik LNAU. Agroinzhenernogo issledovaniya - Lvov. - T.1, № 14. - 12-20.
6. Boyko A.I. 2011: Vpliv operatora na nadiynist sistem «lyudina-mashinaseredovishche» (na prikladi zasobiv dlya prigotovannya i rozdavannya kormiv) / A.I. Boyko, A.V. Novitskiy, Z.V. Ruzhilo, A.Z. Ruzhilo // KhNTUSG im. Petra Vasilenka. – Kharkiv, KhNTUSG. – Vip. 114. – 103 – 108.
7. Boyko A.I. 2012: Problemi zabezpechennya nadiynosti suchasnoï skladnoï silskogospodarskoï tekhniki / A.I. Boyko, O.V. Bondarenko // Visnik Vinnitskogo natsionalnogo agrarnogo universitetu. Seriya: Tekhnichni nauki. - Vinnitsya. - Vypusk 11 (66). - 307 - 311.
8. Rogovskiy I. 2012: Metodika prognozirovaniya ostatochnogo resursa mekhanizmov selskokhozyaystvennykh mashin \ I. Rogovskiy, O. Dubrovina // Motoryzacia i energetyka rolnictwa. – Lublin – Rzeszow, Vol. 14 – No 3, 200-205.
9. Rogovskiy I.L. 2011: Vpliv pokaznikov nadiynosti na periodichnist tekhnichnogo obslugovuvannya silskogospodarskikh ma-shin / I.L. Rogovskiy // Motrol, motoryzacia i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture. – Lublin. – Vol. 13B. – 92 – 97.
10. Gukov Ya., Sidorchuk O., Burilko A. 2004: Naukoviy suprovid mashinno-tekhnologichnogo zabezpechennya reformovanikh silskogospodarskikh pidpriemstv // Tekhniko-tekhnologichni aspekti rozvitku ta viprobuvannya novoï tekhniki i tekhnologiy dlya silskogo gospodarstva Ukraïni: Zb. nauk. pr. – Doslidnitske: UkrNDIPVT im. L. Pogorilogo. – Vip. 7 (21). – 20-25.
11. Sidorchuk A.V., Tymochko V.O., Senchuk S.R. 2002: Organizatsionno-tekhnologicheskyye printsipy sozdaniya resursoberegayushchey systemy remonta dizelnykh dvigateley // Sovremennyye problemy agrotekhnicheskoy prokhdimosti i ekologii selskokhozyaystvennykh landshaftov : Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. – Minsk. – 185-187.
12. Sidorchuk O.V., Semerak M.M., Triguba A.M., Bashinskiy O.I. 2005: Modeli upravlinnya konfiguratsieyu projektu tekhnichnogo obslugovuvannya ta remontu pozhezhnikh avtomobiliv // Pozhezhna bezpeka ta avariynoryatuvalna sprava: stan, problemi i perspektivi (Pozhezhna bezpeka – 2005): Materiali VII Vseukraïnskoï nauk.-prak. konf. – Kiïv: UkrNDIPB MNS Ukraïni. – №4. – 261-263.
13. Bashinskiy O.I., Sidorchuk O.V. 2002: Organizatsiyni osoblivosti tekhnichnogo obslugovuvannya ta remontu pozhezhnikh avtomobiliv za stanom //Pozhezhna bezpeka. Zb. nauk. prats LIPB, Ukr NDIPB. – Lviv: LIPB. – №2 – 104-106.
14. Arkin V.I., Yevstigneyev I.V. 2009: Veroyatnostnyye modeli upravleniya i ekonomicheskoy dinamiki. – M.: Nauka. – 121.
15. Trojanowska M., Maopolski J. 2011: Forecast models of electric energy consumption by village recipients over a long-term horizon based on fuzzy logic // Teka kom. mot. i energ. roln. – Ol Pan, 11, – 327-334.
16. Project management. 2000: Upravleniye proyektami: Tolkovyy anglo-russkiy slovar-

- spravochnik /Pod. red. prof. V.D. Sha-piro, -M.: Izdatelstvo «Vysshaya shkola». – 379.
17. Lapygin D., Novichkov A. 2012: Upravleniye konfiguratsiyey i izmeneniyami : RUP ili ITIL. – Rezhim dostupu: <http://www.osp.ru>.
18. Shmat K.I., Dinevich G.Yu. 2009: Tekhnich-ne obslugovuvannya i remont silskogospo-darskoï tekhniki. – K.: Kondor. – 204.
19. Sydoruk O., Lub P., Sharybura A. 2011: Stochastic character of the naturally predicted optimal time of soil-tillage and plant-sowing works in the spring period // Motoryzacja i energetyka rolnictwa // Motrol. – Lublin. – T. 13. – 302-308.
20. Plizga K. 2008: Model symulacyjny sygnału diagnostycznego simulating patternel of diagnostic signal // Motoryzacja i energetyka rolnictwa // Motrol. – Lublin. – T. 10. – 207-219.

**DEFINITION OF RATIONAL
QUANTITY OF TECHNICAL CONTROL
OF MECHANISMS OF COMBINE
HARVESTER**

Summary. Mathematical model is developed and analysis of system definition of rational quantity of technical control of mechanisms of combine harvester is carried out.

Keywords: reliability, model, mashine, refusal.