

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
“БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ”

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

КАФЕДРА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В АГРОБИЗНЕСЕ  
ПРИРОДООБУСТРОЙСТВЕ И ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Самусенко В.И.

**АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ  
НАДЕЖНОСТИ АГРЕГАТОВ,  
ЗВЕНЬЕВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

Учебно-методические указания для выполнения  
практической работы № 22

по дисциплине: «Эксплуатация машинно-тракторного парка»  
студентам инженерно-технологического института  
по направлению подготовки  
35.03.06 «Агроинженерия»

Брянская область, 2024

УДК 631.3.044:631.3-192 (076)

ББК 30.82:40.72

С 17

Самусенко, В. И. Анализ эксплуатационной надежности агрегатов, звеньев и технологических комплексов: учебно-методические указания для выполнения практической работы № 22 по дисциплине: «Эксплуатация машинно-тракторного парка» студентам инженерно-технологического института по направлению подготовки 35.03.06 «Агроинженерия» / В. И. Самусенко. - Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2024. - 35 с.

Учебно-методические указания предназначены для освоения студентами современных методов в определении эксплуатационной надежности машин, агрегатов, технологических звеньев и комплексов в период выполнения производственного процесса. Для студентов инженерно-технологического института.

**Рецензенты:** к.т.н., доцент Лабух В.М., к.т.н., доцент Будко С.И.

*Рекомендовано к изданию методической комиссией Инженерно-технологического института Брянского ГАУ от 26 марта 2024 г., протокол №8.*

© Брянский ГАУ, 2024

© Самусенко В.И., 2024

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ	4
ЦЕЛЬ РАБОТЫ	5
СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЯ	5
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ	9
ОБОСНОВАНИЕ УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА И ЕГО ЗВЕНЬЕВ	16
ПРИМЕР РАСЧЕТА	20
ОТЧЕТ	31
ЛИТЕРАТУРА	33

## Введение

Важный резерв увеличения производства растениеводческой продукции — повышение эффективности использования технических средств, обеспечивающих выполнение технологических процессов в растениеводстве.

Это возможно при взаимосвязанном решении следующих задач: снижение потерь урожая и обеспечение его качества; полное использование возможностей технических средств, оптимальных для условий их применения; оптимизация методов технического, технологического и организационного обеспечения выполнения процессов.

В эксплуатационном обеспечении технологических процессов большое значение имеют технологические комплексы, которые могут быть созданы на базе тракторов одного или нескольких типов для возделывания сельскохозяйственных культур, выполнения взаимосвязанных операций технологического цикла и др. Эффективность эксплуатации технологических комплексов во многом зависит от способа организации работ, соответствия параметров и режима работ агрегатов, звеньев и обслуживающих подсистем условиям их функционирования.

В данную работу включены задания по анализу надежности машин, агрегатов, звеньев, комплексов.

Технологические процессы представлены в виде производственных ситуаций.

**Цель задания** — освоение методов и приобретение навыков в определении эксплуатационной надежности машин, агрегатов, технологических звеньев и комплексов и обоснование требований к надежности технических средств в период выполнения производственного процесса.

### Содержание задания

**1.** Выбрать производственную ситуацию, соответствующую вашему рабочему месту из таблицы 22.1 и техническую характеристику машин из таблиц 22.2 и 22.3.

**2.** Определить вероятность безотказной работы (ВБР) каждой машины и машинно-тракторных агрегатов всех технологических звеньев комплекса.

**3.** Проанализировать эксплуатационную надежность каждого агрегата, предварительно определив продолжительность его работоспособного состояния; среднее время, в течение которого агрегат находится в состоянии отказа из-за каждого из элементов; среднее время безотказной работы агрегата; среднее время простоя агрегата.

**4.** Составить структурную схему и определить ВБР каждого звена технологического комплекса.

**5.** Составить структурную схему всего технологического комплекса и определить вероятность его безотказной работы.

**6.** Определить требования к ВБР каждого технологического звена и агрегата для обеспечения выполнения производственного процесса в установленные сроки с доверительной вероятностью **0,95**.

**7.** Сделать заключение о техническом состоянии технологического комплекса и наметить мероприятия по техническому обеспечению производственного процесса.

**Таблица 22.1 - Варианты заданий**

Структура посевного комплекса	Варианты задания		
	1;2;3;4;5	6; 7; 8; 9; 10	11; 12; 13;14; 15
	Объем работы га, число агрегатов, шт		
	1500	2000	2500
Звено подготовки и транспортировки семян, число машин	6	7	8
Звено подготовки и транспортировки удобрений, число машин	6	7	7
Звено подготовки полей число машин	2	3	3
Посевное звено № 1	Количество агрегатов 3; ДТ75М +СП-11 + 2СЗТ-3,6 + 8БЗС -1	Количество агрегатов 3; ДТ 75М +СП-11 + 2СЗТ-3,6 + 8БЗС-1	Количество агрегатов 3; ДТ 75М +СП-11 + 2СЗТ-3,6 + 8БЗС -1
Посевное звено № 2	Количество агрегатов 3; Т-150К + СП-16 + 3СЗ-3,6 + 6 ЗБП-0,6А	Количество агрегатов 4; Т-150К +СП-16+ 3СЗ-3.6 + 6 ЗБП-0,6А	Количество агрегатов 4; Т-150К +СП-16+ 3СЗ-3.6 + 6 ЗБП-0,6А
Посевное звено № 3	Количество агрегатов 3; МТЗ - 80 + СЗ-3,6Б + 4БЗС -1	Количество агрегатов 5; МТЗ - 80 + СЗ-3,6Б + 4БЗС -1	Количество агрегатов 5; МТЗ - 80 + СЗ-3,6Б + 4БЗС -1

Продолжение таблицы 22.1

Структура посевного комплекса	Варианты задания		
	16;17;18;19;20	21; 22; 23; 24; 25	26; 27; 28;29; 30
	Объем работы,га число агрегатов, шт		
	3000	4000	5000
Звено подготовки и транспортировки семян, число машин	5	5	8
Звено подготовки и транспортировки удобрений, число машин	6	5	8
Звено подготовки полей число машин	2	1	2
Посевное звено № 1	Количество агрегатов 4; ДТ75М +СП-11 + 2СЗУЗ,6 + 7БЗС 7-1	Количество агрегатов 6; ДТ 75М +СП-11 + 2СЗУЗ,6 + 7БЗС7-1	Количество агрегатов 5; ДТ 75М +СП-11 + 2СЗУЗ,6 + 7БЗС 7-1
Посевное звено № 2	Количество агрегатов 5; МТЗ 82 + СП-11 + 2СЗУЗ,6 + 7БЗС 7-1	Количество агрегатов 3; МТЗ 82 + СЗУЗ.6 + 4 БЗС 7-1	Количество агрегатов 6; МТЗ 1221 + СП-11 + 2СЗУЗ,6 + 7БЗС 7-1
Посевное звено № 3	Количество агрегатов 6; МТЗ 1221 + СП-11 + 3СЗУЗ,6 + 10БЗС7-1	Количество агрегатов 3; МТЗ 1553 +СП-11 + 3СЗУЗ,6 +10БЗС 7-1	Количество агрегатов 6; МТЗ 1553 +СП-16 + 3СЗУЗ,6 + 10БЗС7-1

**Таблица 22.2 - Состав и показатели надежности посевного комплекса, рассчитанного на 4000 га**

Элементы посевного комплекса	Количество машин в агрегате	Наработка на отказ, ч	Среднее время устранения отказа, ч
1	2	3	4
1. Звено подготовки и транспортировки семян:			
погрузчик зерна ЭСП-100	1	100	4,2
протравливатель ЗАВ-20	1	94	2,8
погрузчик зерна в транспортное средство ПФ-0,75	1	95	2,5
транспортное средство ЗАУ-3	2	84	4,5
2. Звено подготовки и транспортировки удобрений:			
погрузчик ПФ-0,75	1	95	2,5
измельчитель ИСУ-4А	2	60	2,8
транспортное средство ЗАУ-3	2	84	4,5
3. Звено подготовки полей:			
трактор МТЗ-80	1	86	4,8
сеялка СЗУ-3,6	1	38	2,2
бороны БЗС-1	4	70	0,4
4. Посевное звено № 1. Количество агрегатов б. Состав агрегата:			
трактор ДТ-75М	1	76	5,5
сцепка СП-11А	1	60	0,8
сеялка СЗУ-3,6	2	38	2,2
бороны БЗС-1	7	70	0,4
5. Посевное звено № 2. Количество агрегатов 3. Состав агрегата:			
трактор Т-150К	1	82	5,5
сцепка СП-16	1	60	0,8
сеялка СЗ-3,6	3	38	2,2
бороны БЗС-1	10	70	0,4
6. Посевное звено № 3. Количество агрегатов 4. Состав агрегата:			
трактор МТЗ-80	1	86	4,8
сеялки СЗ-3,6Б	1	38	2,2
бороны БЗС-1	4	70	0,4

**Таблица 22.3 - Статистические показатели надежности сельскохозяйственных машин**

Марка машины	Показатели				Коэффициент готовности, К <sub>г</sub>
	безотказности		восстановления работоспособности		
	T <sub>p</sub> среднее, ч	σ, ч	T <sub>в</sub> среднее, ч	σ <sub>в</sub> , ч	
1	2	3	4	5	6
Плуги:					
ПЛН-3,35	7,93	7,20	0,28	0,26	0,973
ПЛН-5-35	10,39	7,81	0,49	0,44	0,955
ПТК-9-35	11,12	8,13	0,66	0,49	0,944
Культиваторы:					
КПС-4	10,83	6,71	0,57	0,29	0,950
КРН-4,2	11,00	7,12	0,69	0,17	0,940
КРН-5,6	14,41	4,20	0,92	0,21	0,940
КРН-8,4	5,46	5,50	0,38	0,37	0,935
Луцильники:					
ЛДГ-10	33,95	17,10	1,05	0,50	0,970
ЛДГ-15	26,60	13,93	1,40	0,75	0,950
Сеялки:					
СЗТ-3,6	18,04	16,13	1,05	1,20	0,945
СУПН-8	11,12	10,70	0,71	0,24	0,940
Комбинированные агрегаты:					
АКП-2,5	4,65	4,15	0,46	0,49	0,910
РВК-3,6	11,43	7,18	1,27	0,71	0,900
Косилки:					
КПВ-3	12,88	10,16	3,74	3,29	0,720
КПРН-3	10,96	9,49	0,70	0,64	0,940
КПС-5Г	6,16	5,93	0,84	0,56	0,880
Е-301	14,71	12,49	2,16	2,10	0,870
Грабли:					
ГПП-6	28,77	25,78	5,84	5,64	0,830
ГВР-6	11,02	10,13	2,10	1,93	0,840
Подборщики:					
ПК-1,6А	15,54	12,03	1,17	1,05	0,930
ПРП-1,6	12,71	9,32	2,07	1,73	0,860
К-453	17,04	33,40	4,13	3,79	0,890
Комбайны:					
КУФ-1	15,33	15,03	2,92	2,56	0,860
КПИ-2,4	13,02	12,40	2,48	2,46	0,840
КСС-2,6	24,67	16,35	4,70	3,12	0,840
КСК-100А	27,20	22,80	6,31	3,62	0,810
Е-81 (подбор)	32,19	15,70	4,81	3,90	0,870
Е-281 (кошен.)	41,12	33,49	11,60	10,06	0,780
КПКУ-75	18,69	15,30	3,56	2,70	0,840
Прицепы тракторные					
2ПТС-6	83,30	52,60	1,70	1,86	0,980



## Теоретические основы надежности

Сельскохозяйственный агрегат рассмотрим, как систему, в которой отказ одного элемента вызывает отказ всей системы.

**Суммарное значение** эксплуатации агрегата

$$t = t_p(t) + t_b(t), \quad (22.1)$$

где  $t_p(t)$ ,  $t_b(t)$  — суммарное время соответственно работы и восстановления агрегата.

**Вероятность безотказной работы (ВБР)** агрегата на интервале времени  $[0; t]$  определяется как вероятность совпадения безотказной работы всех элементов

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (22.2)$$

где  $n$  — число элементов;

$P_i(t)$  — ВБР  $i$ -го элемента, если считать, что элементы независимы.

Выразив  $P_i(t)$  через интенсивность отказов  $\lambda_i(t)$ , получим

$$P_c(t) = \left[ - \sum_{i=1}^n \int_0^t \lambda_i[t] dt \right] = \exp[-\lambda_c(t)].$$

где  $\exp$  - в математике обозначает экспоненту, то есть число  $e$  (2,71828...), возведенное в степень.

При экспоненциальном законе распределения времени безотказной работы элементов надежность системы также подчиняется экспоненциальному закону.

**При определении надежности агрегата с восстановлением** рассмотрим его как сложную систему, состоящую из множества элементов.

Пусть агрегат находится в двух состояниях:  $\mathbf{x}(t) = \mathbf{i}$ , если в момент времени  $t$  именно  $i$ -й элемент находится в состоянии отказа, и **равно нулю**, если все элементы агрегата работоспособны.

Когда элемент  $i$  отказывает в момент времени  $t_{i1}$ , агрегат находится в состоянии отказа  $\tau_{i1}$ . Затем агрегат будет работать, пока не откажет элемент  $j$  и т.д.

**Общее число отказов агрегата на интервале времени  $[0, t]$ :**

$$N(t) = \sum N_i(t),$$

где  $N_i(t)$  — число отказов  $i$ -го элемента в течение времени  $t$ .

Предположим, что среднее время безотказной работы  $i$ -го элемента  $t_i$  ( $0 \leq t_i < \infty$ ), а среднее время восстановления  $t_{oi}$  ( $0 \leq t_{oi} < \infty$ ) и не зависит от вида соответствующих распределений.

Тогда предельное значение коэффициента готовности определим по формуле

$$K_r = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{T_p(t)}{t} = \left[ 1 + \sum_{i=1}^n \frac{t_{ni}}{t_{pi}} \right]^{-1}. \quad (22.3)$$

**Среднее число отказов в единицу времени** для элементов каждого типа будет

$$\lambda_i = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{N(t)}{t} = \frac{K_r}{t_{pi}}. \quad (22.4)$$

**Среднее время безотказной работы агрегата равно**

$$\bar{t}_p = \left( \sum_{i=1}^N \frac{1}{t_{pi}} \right)^{-1}. \quad (22.5)$$

Среднее время простоя агрегата будет

$$\bar{t}_в = \bar{t}_р \sum \frac{t_{вi}}{t_{pi}}. \quad (22.6)$$

Если в хозяйстве организована служба профилактики (технического обслуживания) и устранения отказов (восстановления), то агрегат в любой момент времени может находиться в одном из трех состояний:  $S_1$  — работоспособное,  $S_0$  — аварийный ремонт,  $S_2$  — плановый простой при проведении ТО. Обозначим  $\lambda$  и  $\lambda_{пл}$  — интенсивности аварийных и плановых отказов;  $\mu$  и  $\mu_{пл}$  — интенсивности соответствующих восстановлений.

**Вероятности состояний агрегата при  $t \rightarrow \infty$ :**

$$P_1 = K_r = \left[ 1 + \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda_{пл}}{\mu_{пл}} \right]^{-1};$$

$$P_0 = q_{ав} = P_1 \cdot \frac{\lambda}{\mu}; \quad P_2 = q_{пл} = P_1 \cdot \frac{\lambda_{пл}}{\mu_{пл}}, \quad (22.7)$$

где  $q_{ав}$ ,  $q_{пл}$  — коэффициенты соответственно аварийного и планового простоев агрегатов.

Для многомашинного агрегата отказ любого элемента является отказом всего агрегата. В общем случае число состояний агрегата  $k < n$ , так как возможно совмещение ремонтов определенных элементов агрегата во времени.

**Вероятности состояний для стационарного режима:**

$$P_1 = K_r = \left[ 1 + \sum_1^n \frac{\lambda_i}{\mu_i} + \sum_1^k \frac{\lambda_{пл.j}}{\mu_{пл.j}} \right]^{-1};$$

$$P_0 = q_{ав} = P_1 \cdot \sum_1^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}; P_2 = q_{пл} = P_1 \cdot \sum_1^k \frac{\lambda_{пл.j}}{\mu_{пл.j}}.$$

**Вероятность восстановления агрегата за время  $t$  при условии, что начало восстановления совпадает с моментом отказа:**

$$P_B(t) = \sum_1^n \frac{\lambda_i}{\lambda_{ав}} \cdot [1 - \exp(-\mu_i)]. \quad (22.8)$$

Частоту плановых обслуживаний многомашинного агрегата определяют из выражения  $\lambda_{пл} = m_{ц} / T_{ц}$  ( $m_{ц}$  — число плановых технических обслуживаний и ремонтов (ТОР) в течение ремонтного цикла  $T_{ц}$ , длительность которого определяется как наименьшее общее кратное значений периодичности плановых обслуживаний элементов  $T_{пл.i}$ . В то же время  $T_{пл.i} = 1/\lambda_{пл.i}$ ).

**Среднее время одного ремонтно-технического воздействия будет**

$$\overline{t_{в.пл}} = \frac{1}{m_{ц}} \sum_1^k \max t_{в.пл.j}, \quad (22.9)$$

где  $\max t_{в.пл.j}$  — наибольшее время планового ТОР элемента агрегата.

**В технологических звеньях** агрегаты, как правило, работают параллельно.

Технологическое звено будет работать, если исправны  $r$  агрегатов из  $n$ , хотя производительность его будет ниже. Отказ звена может быть представлен как вероятность невыполнения плана в срок, т. е. отказ наступил при условии отказа  $m$  агрегатов, которых достаточно для обеспечения своевременного выполнения работы.

Вероятность безотказной работы  $r$  агрегатов из  $n$  рассчитывают по формуле

$$P_c(t) = \sum_{x=r}^n \frac{n! P_i^x \cdot (1 - P_i)^{n-x}}{x! \cdot (n-x)!}, \quad (22.10)$$

где  $P_i$  — вероятность безотказной работы  $i$ -го агрегата.

При вычислении надежности сложных систем ее элементы объединяют в подсистемы, а затем их рассматривают как отдельные элементы.

Рассмотрим технологическое звено, работоспособное состояние которого поддерживается в процессе эксплуатации. Пусть звено состоит из  $m$  агрегатов. В случае отказа одного из них звено работает, отказавший агрегат восстанавливается. Звено становится неработоспособным в случае отказа всех агрегатов одновременно до восстановления одного из них.

Таким образом, звено может находиться в  $k = m + 1$  состояниях:

$S_m$  — работоспособны все агрегаты;

$S_{m-1}$  — неработоспособен один агрегат и т. д.;

$S_1$  — работоспособен один агрегат;

$S_0$  — неработоспособно все звено.

Для марковского процесса при  $t \rightarrow \infty$  и при  $n$  постах ремонтно-технического воздействия вероятности состояний определяются по формулам:

$$P_k = \frac{m! \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k}{k! \cdot (m-k)!} P_m, \quad 1 < k \leq n; \quad (22.11)$$

$$P_k = \frac{m! \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k}{n^{k-n} n! \cdot (m-k)!} P_m, \quad n < k \leq m.$$

Вероятность отказа звена  $P_0 = m! \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k$ .

Для определения надежности агрегатов, звеньев и комплексов могут быть использованы статистические модели с последовательным и параллельным соединением элементов, а также при их сочетаниях.

### 1. Последовательное соединение элементов.

Вероятность безотказной работы системы

$$P_c = P_1 \cdot P_2 \dots P_n = \prod_{1}^n P_i. \quad (22.12)$$

### 2. Параллельное соединение элементов.

Вероятность безотказной работы системы

$$P_c = 1 - \prod_{1}^n (1 - P_i). \quad (22.13)$$

### 3. Комбинации параллельного и последовательного соединения элементов.

Для вычисления надежности систем элементы  $A - D$  объединяют в подсистемы и затем определяют надежность всей системы.

*При параллельно - последовательном соединении:*

$$P_{AB} = 1 - q_A \cdot q_B; P_{CD} = 1 - q_C \cdot q_D; P_C = P_{AB} \cdot P_{CD}. \quad (22.14)$$

*При последовательно-параллельном соединении:*

$$P_{AC} = P_A \cdot P_C; P_{BD} = P_B \cdot P_D; P_C = 1 - (1 - P_{AC}) \cdot (1 - P_{BD}), \quad (22.15)$$

где  $q_{ABCD}$  — вероятности отказов элементов, которые равны  $q_i = 1 - P_i$ .

#### 4. Сложное соединение элементов.

В практике организации технологических комплексов возможны такие взаимодействия звеньев, когда отказ одного из них может нарушить работу сразу нескольких звеньев или всего комплекса. В этом случае для определения вероятности безотказной работы технологического комплекса необходимо учитывать все взаимоисключающие способы появления отказов.

Рассмотрим комплекс, состоящий из трех (для упрощения) звеньев **ABC** (рис. 22.1). Применим метод оценки всех возможных состояний звеньев комплекса.

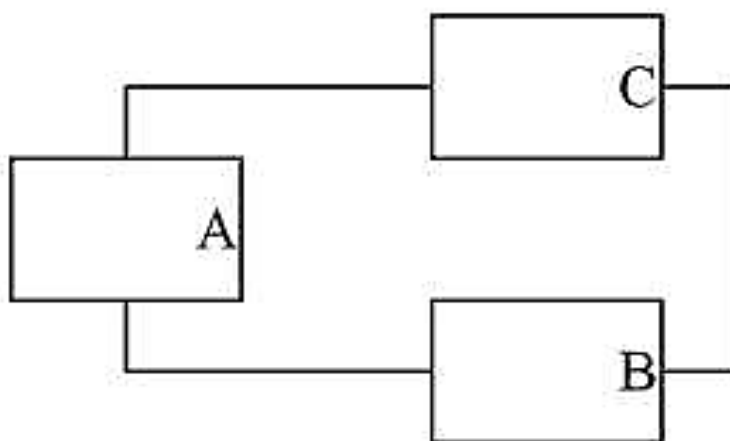


Рисунок 22.1 – Схема взаимодействия звеньев комплекса

Определим **A** как событие, состоящее в том, что звено **A** работает безотказно, звено  $\bar{A}$  отказало. Аналогичные определения введем для звеньев **B** и **C**.

При допущении о независимости отказов вычислим вероятности для каждого из способов их появления.

Так,  $P(ABC) = P(A) \cdot P(B) \cdot P(C)$ . Для наглядности примем числовые значения  $P(A) = 0,95$ ;  $P(B) = 0,90$ ;  $P(C) = 0,85$ .

Результат вычисления запишем в таблицу 22.4.

**Таблица 22.4 - Вероятности для каждого из способов появления отказов**

Число отказов	События, характеризующие состояние комплекса	Вероятность	
0	$ABC$	$0,95 \cdot 0,90 \cdot 0,85$	0,7268
1	$AB\bar{C}$	$0,95 \cdot 0,90 \cdot 0,15$	0,1283
	$A\bar{B}C$	$0,95 \cdot 0,10 \cdot 0,85$	0,0808
	$\bar{A}BC$	$0,05 \cdot 0,90 \cdot 0,85$	0,0383
2	$A\bar{B}\bar{C}$	$0,95 \cdot 0,10 \cdot 0,15$	0,0142
	$\bar{A}B\bar{C}$	$0,05 \cdot 0,90 \cdot 0,15$	0,0068
	$\bar{A}\bar{B}C$	$0,05 \cdot 0,10 \cdot 0,85$	0,0042
3	$\bar{A}\bar{B}\bar{C}$	$0,05 \cdot 0,10 \cdot 0,15$	0,0008

Например, если отказ вызывают только события  $AB\bar{C}$ ,  $A\bar{B}\bar{C}$ ,  $\bar{A}\bar{B}\bar{C}$ , то вероятность появления отказа комплекса будет равна  $0,0383 + 0,0042 + 0,0008 = 0,0413$ .

Этот метод позволяет учитывать влияние на комплекс каждого способа появления отказов.

Расчеты, выполненные по изложенной методике, позволяют определить необходимость ремонтно-технических воздействий и обосновать требования к резервированию машин комплекса.

### **Обоснование уровня надежности технологического комплекса и его звеньев**

Уровень надежности комплекса в значительной степени определяет эффективность его применения. При оптимизации уровня надежности необходимо учитывать изменение эксплуатационных и технических характеристик в различных условиях.

#### **Поддержание машин в работоспособном состоянии осуществляется:**

- 1) введением некоторой избыточности отдельных машин;
- 2) организацией ремонтно-технических воздействий;
- 3) комплектованием комплексов высоконадежной техникой;
- 4) сочетанием перечисленных приемов эксплуатации.



В комплексе определяющим является звено, выполняющее основную технологическую операцию.

Для этого звена вероятность выполнения задания можно определить по формуле

$$p = 1 - (1 - P_i \cdot p_i)^N,$$

где  $p_i$  — вероятность выполнения задания  $i$ -м агрегатом;

$P_i$  — показатель надежности  $i$ -го агрегата.

**Число агрегатов в основном звене** рассчитывают по формуле

$$N = \frac{\ln(1 - p)}{\ln(1 - P_i \cdot p_i)}.$$

Определив требования к надежности основного звена комплекса, устанавливают требования к надежности других звеньев.

Предположим независимость появления отказов звеньев комплекса. Взаимодействие машин в отдельных звеньях представим в виде модулей, имеющих соответствующее схемное соединение.

**Тогда интенсивность отказов каждого звена комплекса**

$$\lambda_i = N_i \cdot \frac{-\ln P_0(t)}{N \cdot w_i \cdot t_i}, \quad (22.16)$$

где  $N$ ,  $N_i$  — общее число агрегатов соответственно в комплексе и в  $i$ -м звене;

$t$ ,  $t_i$  — требуемая продолжительность работы (наработка) соответственно технологического комплекса и  $i$ -го звена;

$P_0(t)$  — требуемая ВБР технологического комплекса при заданной

наработке  $t$ ;

$w_i$  — коэффициент важности звена, который можно представить как вероятность отказа технологического звена при отказе  $i$ -го звена.

Интенсивность отказов каждого звена комплекса определим по формуле (22.16), полагая при малых значениях  $x$  величину  $e^{-x} = 1 - x$ .

**Надежность (ВБР)  $i$ -го звена** технологического комплекса при требуемой наработке  $t_i$  определим по формуле

$$P_i(t) = 1 - \frac{1 - [P(t)]^{\frac{N_i}{N}}}{w_i}. \quad (22.17)$$

Эта зависимость может быть использована для определения требований к надежности каждой машины во всех звеньях комплекса, если принять соответствующие значения входных величин для рассматриваемого звена.

Зная требования к вероятности безотказной работы звена или машины  $P_i$ , интенсивность отказов  $\lambda_i$  и число агрегатов  $N_i$  в  $i$ -м звене, определяют **допустимое время восстановления**

$$T_{vi} = (1 - P_i) \cdot \lambda_i \cdot N_i. \quad (22.18)$$

Если отказ комплекса по вине механизаторов ( $K_{г.м}$ ), службы технологического ( $K_{г.т}$ ) и ремонтно-технического воздействия ( $K_{г.р}$ ) приводит к одним и тем же последствиям (невыполнение задачи) и при этом потери, вызванные появлением отказа, одинаковы, то **требования к показателям надежности по выше-названным причинам определяют по формуле**

$$K_{г.м} = K_{г.р} = K_{г.т} = \sqrt[3]{P_0}, \quad (22.19)$$

где  $P_0$  — оптимальное значение обобщенного показателя надежности комплекса.

Если стоимость отказов по разным причинам разная, то для решения задачи показатели экономичности определяют непосредственно через показатели надежности, затем ищут оптимальное решение по каждому показателю надежности.

Полагаем, что отказ первой группы сложности приводит к потерям, измеряемым величиной  $C_1$ , отказ второй группы сложности — к потерям, измеряемым величиной  $C_2$ , а третьей группы сложности — к потерям  $C_3$ .

**Если требования по надежности** в обобщенном виде выражены зависимостью  $P_0 = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3$ , то потери  $C$  отказов всего комплекса по правилам вычисления математических ожиданий:

$$C = C_1(1 - P_1)P_2P_3 + C_2(1 - P_2)P_1P_3 + C_3(1 - P_3)P_1P_2. \quad (22.20)$$

Задача сводится к нахождению условного минимума величины  $C$  и решается методами Лагранжа. **Для этого составим функцию Лагранжа:**

$$L = C_1(1 - P_1)P_2P_3 + C_2(1 - P_2)P_1P_3 + C_3(1 - P_3)P_1P_2 + QP_1P_2P_3.$$

**Значение основных показателей надежности**, минимизирующих потери, определим в результате решения системы уравнений:

$$\frac{dL}{dP_1} = 0; \quad \frac{dL}{dP_2} = 0; \quad \frac{dL}{dP_3} = 0; \quad P_0 = P_1P_2P_3,$$

откуда:

$$P_1 = \sqrt[3]{\frac{C_1^2 \cdot P_0}{C_2 \cdot C_3}}; \quad P_2 = \sqrt[3]{\frac{C_2^2 \cdot P_0}{C_1 \cdot C_3}}; \quad P_3 = \sqrt[3]{\frac{C_3^2 \cdot P_0}{C_1 \cdot C_2}}. \quad (22.21)$$

Анализ полученных зависимостей показывает, что с ростом затрат на устранение отказов каждой группы сложности неизбежно должны возрастать требования к надежности ремонтно-технического обслуживания каждого элемента.

### Пример расчета

**Производственная ситуация.** В хозяйстве в период весенней посевной кампании за **6 дней** необходимо выполнить работы на площади **4000 га**. Для выполнения работ организован посевной комплекс. Состав и технико-эксплуатационная характеристика машин комплекса даны в таблице 22.2. Необходимо проанализировать и определить эксплуатационную надежность (вероятность безотказной работы) агрегатов, звеньев и всего комплекса. Работу комплекса организовать **поточно-цикловым методом в две смены**.

**Вероятность безотказной работы машин** определим по формуле (22.3) при  $t \rightarrow \infty$ :

- погрузчика зерна —  $P = K_r = 100/(100 + 4,2) = 0,96$ ;
- протравливателя —  $94/(94 + 2,8) = 0,97$ ;
- загрузчика сеялок —  $84/(84 + 4,5) = 0,95$ ;
- погрузчика семян и удобрений —  $95/(95 + 2,5) = 0,97$ ;
- измельчителя —  $60/(60 + 2,8) = 0,95$ ;
- трактора МТЗ-80 —  $86/(86 + 4,8) = 0,94$ ;
- сеялки СЗ-3,6, СЗУ-3,6 —  $38/(38 + 2,2) = 0,94$ ;
- сцепки —  $60/(60 + 0,8) = 0,98$ ;
- бороны —  $70/(70 + 0,4) = 0,99$ ;
- трактора ДТ-75М —  $76/(76 + 5,5) = 0,93$ ;
- трактора Т-150К —  $82/(82 + 5,5) = 0,93$ .

**Вероятность безотказной работы агрегатов** рассчитываем по формуле (22.12):

**МТЗ-80 + СЗ-3,6 + 4 БЗС-1**

$$P = K_{\Gamma} = 0,94 \cdot 0,94 \cdot 0,99^4 = 0,85;$$

**ДТ-75М + СП-11А + 2 СЗУ-3,6 + 7 БЗС-1**

$$P = 0,93 \cdot 0,98 \cdot 0,94^2 \cdot 0,99^7 = 0,75;$$

**Т-150К + СП-16 + 3 СЗ-3,6 + 10 БЗС-1**

$$P = 0,93 \cdot 0,98 \cdot 0,94^3 \cdot 0,99^{10} = 0,68.$$

**Проанализируем эксплуатационную надежность** посевного агрегата на базе трактора **ДТ-75М**.

**Долю времени**, в течение которого агрегат находится в работоспособном состоянии, оцениваем коэффициентом готовности (см. формулу (22.3)):

$$K_{\Gamma} = \left[ 1 + \sum_{i=1}^n \frac{t_{Bi}}{t_{pi}} \right]^{-1} = \left[ 1 + \frac{5,5}{76} + \frac{0,8}{60} + 2 \cdot \frac{2,2}{38} + 7 \cdot \frac{0,4}{70} \right]^{-1} = 0,805.$$

**Среднюю долю времени**, в течение которого агрегат будет в состоянии отказа из-за каждого элемента, определим по формуле

$$t_{Bi} = K_{\Gamma} \frac{t_{Bi}}{t_{pi}}.$$

Тогда доля времени простоя агрегата из-за

трактора  $t_{Bi}=0,805 \cdot 5,5/76 = 0,058$ ;

из-за сцепки  $t_{B.сц}=0,805 \cdot 0,8/60 = 0,0107$ ;

из-за сеялок  $t_{B.с} = 0,805 \cdot 2 \cdot 2,2/38 = 0,0932$ ;

из-за борон  $t_{B.б} = 0,805 \cdot 7 \cdot 0,4/70 = 0,0322$ .

**Среднее время безотказной работы агрегата** (см. формулу (22.5)):

$$\bar{t}_p = \left[ \sum_{i=1}^N \frac{1}{t_{pi}} \right]^{-1} = \left[ \frac{1}{76} + \frac{1}{60} + \frac{2}{38} + \frac{7}{70} \right]^{-1} = 5,48 \text{ ч.}$$

**Среднее время простоя агрегата будет** (см. формулу (22.5)):

$$\bar{t}_{Bi} = \bar{t}_p \sum \frac{t_{Bi}}{t_{pi}} = 5,48 \cdot \left( \frac{5,5}{76} + \frac{0,8}{60} + 2 \cdot \frac{2,2}{38} + 7 \cdot \frac{0,4}{70} \right) = 1,33 \text{ ч.}$$

**Проанализируем эксплуатационную надежность** посевного агрегата на базе трактора **Т-150К**.

**Долю времени**, в течение которого агрегат находится в работоспособном состоянии, оцениваем коэффициентом готовности (см. формулу (22.3)):

$$K_r = \left[ 1 + \sum_{i=1}^n \frac{t_{Bi}}{t_{pi}} \right]^{-1} = \left[ 1 + \frac{5,5}{82} + \frac{0,8}{60} + 3 \cdot \frac{2,2}{38} + 10 \cdot \frac{0,4}{70} \right]^{-1} = 0,763.$$

**Среднюю долю времени**, в течение которого агрегат будет в состоянии отказа из-за каждого элемента, определим по формуле

$$t_{Bi} = K_r \frac{t_{Bi}}{t_{pi}}.$$

Тогда доля времени простоя агрегата из-за

**трактора**  $t_{Bi}=0,763 \cdot 5,5/82 = 0,051$ ;

**из-за сцепки**  $t_{B.сц}=0,763 \cdot 0,8/60 = 0,0099$ ;

**из-за сеялок**  $t_{B.с} = 0,763 \cdot 3 \cdot 2,2/38 = 0,133$ ;

**из-за борон**  $t_{B.б} = 0,763 \cdot 10 \cdot 0,4/70 = 0,043$ .

**Среднее время безотказной работы агрегата** (см. формулу (22.5)):

$$\bar{t}_p = \left[ \sum_{i=1}^N \frac{1}{t_{pi}} \right]^{-1} = \left[ \frac{1}{82} + \frac{1}{60} + \frac{3}{38} + \frac{10}{70} \right]^{-1} = 4,0 \text{ ч.}$$

**Среднее время простоя агрегата будет** (см. формулу (22.5)):

$$\bar{t}_{Bi} = \bar{t}_p \sum \frac{t_{Bi}}{t_{pi}} = 4,0 \cdot \left( \frac{5,5}{82} + \frac{0,8}{60} + 3 \cdot \frac{2,2}{38} + 10 \cdot \frac{0,4}{70} \right) = 1,24 \text{ ч.}$$

**Проанализируем эксплуатационную надежность** посевного агрегата на базе трактора **МТЗ - 80**.

**Долю времени**, в течение которого агрегат находится в работоспособном состоянии, оцениваем коэффициентом готовности (см. формулу (22.3)):

$$K_r = \left[ 1 + \sum_{i=1}^n \frac{t_{Bi}}{t_{pi}} \right]^{-1} = \left[ 1 + \frac{4,8}{86} + \frac{2,2}{38} + 4 \cdot \frac{0,4}{70} \right]^{-1} = 0,879.$$

**Среднюю долю времени**, в течение которого агрегат будет в состоянии отказа из-за каждого элемента, определим по формуле

$$t_{Bi} = K_r \frac{t_{Bi}}{t_{pi}}.$$

Тогда доля времени простоя агрегата из-за

**трактора**  $t_{Bi} = 0,879 \cdot 4,8/86 = 0,049$ ;

**из-за сеялок**  $t_{B.c} = 0,879 \cdot 2,2/38 = 0,05$ ;

**из-за борон**  $t_{B.б} = 0,879 \cdot 4 \cdot 0,4/70 = 0,02$ .

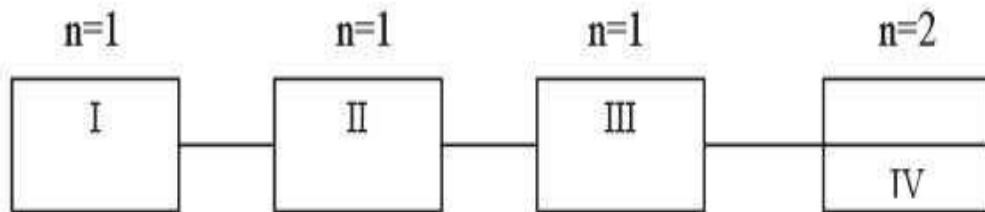
**Среднее время безотказной работы агрегата** (см. формулу (22.5)):

$$\bar{t}_p = \left[ \sum_{i=1}^N \frac{1}{t_{pi}} \right]^{-1} = \left[ \frac{1}{86} + \frac{1}{38} + \frac{4}{70} \right]^{-1} = 10,52 \text{ ч.}$$

**Среднее время простоя агрегата будет** (см. формулу (22.5)):

$$\bar{t}_{bi} = \bar{t}_p \sum \frac{t_{bi}}{t_{pi}} = 10,52 \cdot \left( \frac{4,8}{86} + \frac{2,2}{38} + 4 \cdot \frac{0,4}{70} \right) = 1,44 \text{ ч.}$$

Для определения ВБР звеньев подготовки и транспортировки семян составим технологическую схему взаимодействия в нем машин (рис. 22.2).



**Рисунок 22.2 - Схема взаимодействия машин в звене подготовки и транспортировки семян: I-IV — машины в звене;  $n$  — число машин**

**Для звена подготовки и транспортировки семян**

$$P_{зв} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot [1 - (1 - P_4)^2] = 0,96 \cdot 0,97 \cdot 0,97 \cdot [1 - (1 - 0,95)^2] = 0,894.$$

**Для звена подготовки и транспортировки удобрений**

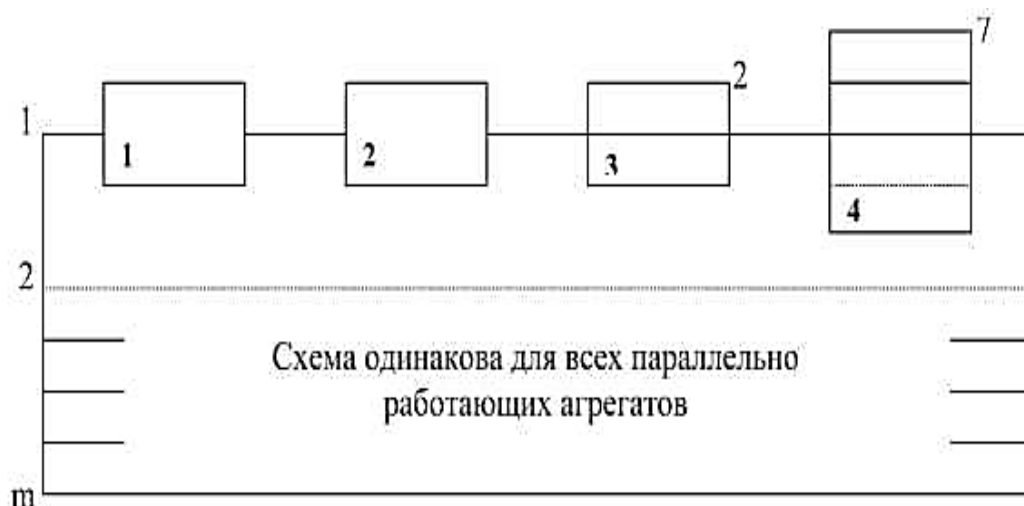
$$\begin{aligned} P_{зв} &= P_1 \cdot [1 - (1 - P_2)^2] \cdot [1 - (1 - P_3)^2] = \\ &= 0,97 \cdot [1 - (1 - 0,95)^2] [1 - (1 - 0,95)^2] = 0,945. \end{aligned}$$



Для звена подготовки полей

$$P_{зв} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3^4 = 0,94 \cdot 0,94 \cdot 0,99^4 = 0,84.$$

**ВБР первого посевного звена №1** определим в соответствии с его технологической схемой взаимодействия машин (рис. 22.3).



**Рисунок 22.3 - Схема взаимодействия машин и агрегатов в посевном звене № 1:**

**I-IV** — машины в звене; **n** — число машин; **m** — число агрегатов в звене.

Вероятность одновременной работы в звене от одного до шести агрегатов рассчитываем по формуле (22.10):

$$P_1 = P_c(t) = \sum_{x=r}^n \frac{n! P_i^x \cdot (1 - P_i)^{n-x}}{x! \cdot (n - x)!} = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6}{1 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5} \cdot 0,75^1 \cdot (1 - 0,75)^5 = 0,0044;$$

$$P_2 = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6}{1 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4} \cdot 0,75^2 \cdot (1 - 0,75)^4 = 0,0329;$$

$$P_3 = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3} \cdot 0,75^3 \cdot (1 - 0,75)^3 = 0,131;$$

$$P_4 = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 1 \cdot 2} \cdot 0,75^4 \cdot (1 - 0,75)^2 = 0,296;$$

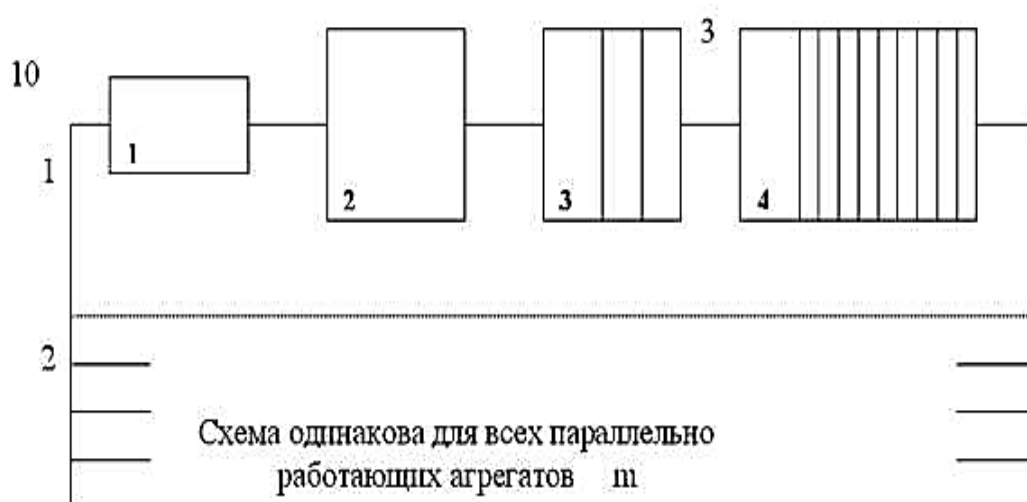
$$P_5 = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 1} \cdot 0,75^5 \cdot (1 - 0,75)^1 = 0,356;$$

$$P_6 = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 1} \cdot 0,75^6 \cdot (1 - 0,75)^1 = 0,178.$$

Из расчетов видно, что наиболее вероятно состояние посевного звена № 1, когда одновременно работоспособны **четыре или пять** агрегатов из шести. В этом случае

$$P_{\text{№1}} = 1 - (1 - P_B)^{4,5} = [1 - (1 - 0,75)^4] \cdot [1 - (1 - 0,75)^5] = 0,994.$$

**Вероятность безотказной работы посевного звена № 2** определим в соответствии с его технологической схемой (рис. 22.4) по формуле (22.10):



**Рисунок 22.4 - Схема взаимодействия машин и агрегатов в посевном звене № 2:**

**I-IV** — машины в звене; **n** — число машин; **m** — число агрегатов в звене

$$P_1 = P_c(t) = \sum_{x=r}^n \frac{n! P_i^x \cdot (1 - P_i)^{n-x}}{x! \cdot (n-x)!} = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3}{1 \cdot 1 \cdot 2} \cdot 0,68^1 \cdot (1 - 0,68)^2 = 0,208;$$

$$P_2 = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3}{1 \cdot 2 \cdot 1} \cdot 0,68^2 \cdot (1 - 0,68)^1 = 0,443;$$

$$P_3 = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 1} \cdot 0,68^2 \cdot (1 - 0,68)^0 = 0,314.$$

Очевидно, что ВБР посевного звена № 2 равна сумме вероятностей состояний:

$$P_{\text{№2}} = P_1 + P_2 + P_3 = 0,208 + 0,443 + 0,314 = 0,965.$$

**Вероятность безотказной работы посевного звена № 3** определим в соответствии с его технологической схемой по формуле (22.10):

$$P_1 = P_c(t) = \sum_{x=r}^n \frac{n! P_i^x \cdot (1 - P_i)^{n-x}}{x! \cdot (n-x)!} = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4}{1 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3} \cdot 0,85^1 \cdot (1 - 0,85)^3 = 0,011;$$

$$P_2 = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4}{1 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 2} \cdot 0,85^2 \cdot (1 - 0,85)^2 = 0,098;$$

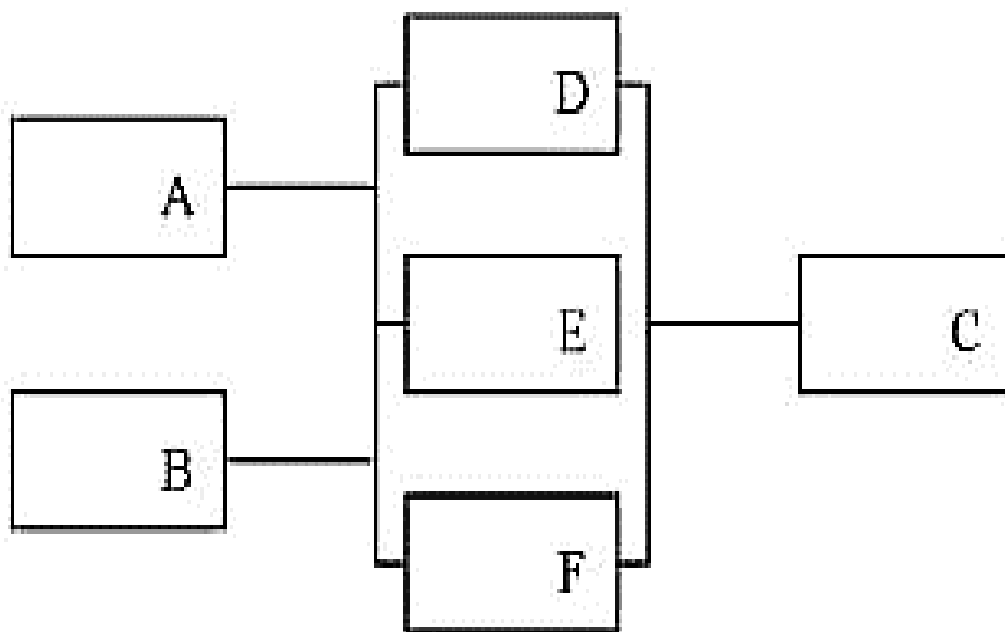
$$P_3 = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 1} \cdot 0,85^3 \cdot (1 - 0,85)^1 = 0,368;$$

$$P_4 = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 1} \cdot 0,85^4 \cdot (1 - 0,85)^0 = 0,522.$$

**Вероятность безотказной работы посевного звена №3** определяем, получая:

$$P_{\text{№3}} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 0,011 + 0,098 + 0,368 + 0,522 = 0,999.$$

Для определения ВБР всего технологического комплекса составим структурную схему взаимодействия звеньев (рис. 22.5), учитывая все взаимоисключающие способы появления отказов.



**Рисунок 22.5 - Схема взаимодействия звеньев посевного комплекса:**

- A* — звено подготовки и транспортировки семян;
- B* — звено подготовки и транспортировки удобрений;
- C* — звено подготовки полей;
- D, E, F* — посевные звенья, соответственно № 1, 2, 3.

Рассмотрим шестиэлементную систему *A-F*. Определим *A* как событие, состоящее в том, что звено *A* работает безотказно, а  $\bar{A}$  — противоположное событие, т. е. состояние отказа.

Введем аналогичные определения для звеньев *B-F*. Вероятности их безотказной работы примем из ранее выполненных расчетов.

Допуская независимость отказов в звеньях, вычислим вероятности для каждого способа появления отказов (табл. 22.5).

**Таблица 22.5 - Вероятности состояний безотказной работы посевного комплекса**

Число отказавших звеньев	Состояние звеньев комплекса	Вероятности состояний	Произведение вероятностей
0	$A, B, C, D, E, F$	$0,894 \cdot 0,945 \cdot 0,85 \cdot 0,994 \cdot 0,965 \cdot 0,999$	0,6881
1	$A, B, C, D, E, \bar{F}$	$0,894 \cdot 0,945 \cdot 0,85 \cdot 0,994 \cdot 0,965 \cdot 0,001$	0,0006
	$A, B, C, D, \bar{E}, F$	$0,894 \cdot 0,945 \cdot 0,85 \cdot 0,994 \cdot 0,035 \cdot 0,999$	0,0237
	$A, B, C, \bar{D}, E, F$	$0,894 \cdot 0,945 \cdot 0,85 \cdot 0,006 \cdot 0,965 \cdot 0,999$	0,0042

**Примечание.** Сумма произведений вероятностей  $\sum P_i = 0,716 \approx 0,72$ .

Полагая, что безотказность работы комплекса в основном определяется параллельно работающими посевными звеньями и учитывая, что появление отказов в них — взаимно несовместные события, для получения ВБР всего комплекса суммируем вероятности состояний его звеньев.

**Дальнейшие расчеты** в таблице прекращены ввиду малости получаемых величин. Из таблицы 22.5 видно, что ВБР комплекса с учетом возможных отказов посевных звеньев следует ожидать на уровне **0,72**.

Таким образом, рассматриваемый технологический комплекс выполнить задание с вероятностью **0,95** не может по техническим причинам. Для реализации этого условия необходимо определить требуемую ВБР каждого звена и агрегата комплекса.

Чтобы обеспечить безотказную работу всего комплекса с вероятностью **0,95**, рассчитаем ВБР  $i$ -го звена при требуемой наработке  $t_i$  по формуле (22.17).

Например, для звена  $A$  подготовки и транспортировки семян

$$P_A = 1 - \frac{1 - [P(t)]^{\frac{N_i}{N}}}{w_i} = 1 - [1 - (0,95)^{5/24}] = 0,989.$$

где  $N_i$  – число агрегатов в  $i$ -ом звене, для звена  $A$   $N_i = 5$ ;

$N = 24$  - общее число агрегатов в комплексе;

$w_i = 1$  - коэффициент важности звена.

$$P_B = 1 - [1 - (0,95)^{5/24}] = 0,989;$$

$$P_C = 1 - [1 - (0,95)^{1/24}] = 0,998;$$

$$P_D = 1 - [1 - (0,95)^{6/24}] = 0,987;$$

$$P_E = 1 - [1 - (0,95)^{3/24}] = 0,993;$$

$$P_F = 1 - [1 - (0,95)^{4/24}] = 0,991.$$

Результаты расчетов для остальных звеньев сведены в таблицу 22.6.

**Таблица 22.6 - Обоснование требований ВБР к звеньям комплекса**

№ звена	Число агрегатов в звене, $N_i$	Коэффициент важности звена	Вероятность безотказной работы	
			существует	требуется
<i>A</i>	5	1	0,894	0,989
<i>B</i>	5	1	0,945	0,989
<i>C</i>	1	1	0,850	0,998
<i>D</i>	6	1	0,994	0,987
<i>E</i>	3	1	0,965	0,993
<i>F</i>	4	1	0,999	0,991

Примечание. Число агрегатов в комплексе  $N = \sum N_i = 24$ .

Из этой таблицы видно, что безотказность звеньев *A*, *B*, *C*, *E* ниже требуемой. Надежность этих звеньев необходимо повысить за счет звеньев более надежных машин.

## Отчет

Результаты расчетов систематизировать и представить в виде таблицы 22.7. Сделать выводы по каждому пункту расчетов.

При выполнении задания на компьютере (исследовательская работа студента) следует получить закономерности заданных параметров в зависимости от действующих факторов, проанализировать результаты исследований под руководством преподавателя

**Таблица 22.7 Результаты расчетов**

№ пункта	Наименование и обозначение показателя или параметра	Результат расчета с указанием размерности
	<b>Вероятность безотказной работы машин, <math>P = K_r</math></b>	
1	- погрузчика зерна	0,96
2	- протравливателя	0,97
3	- загрузчика сеялок	0,95
4	- погрузчика семян и удобрений	0,97
5	- измельчителя	0,95
5	- трактора МТЗ-80	0,94
	- сеялки СЗ-3,6, СЗУ-3,6	0,94
6	- сцепки	0,98
	- бороны	0,99
7	- трактора ДТ-75М	0,93
8	- трактора Т-150К	0,93
9	<b>Вероятность безотказной работы агрегатов, <math>P = K_r</math></b>	
10	МТЗ-80 + СЗ-3,6 + 4 БЗС-1	0,85
11	ДТ-75М + СП-11А + 2 СЗУ-3,6 + 7 БЗС-1	0,75
12	Т-150К + СП-16 + 3 СЗ-3,6 + 10 БЗС-1	0,68
13	<b>Эксплуатационная надежность посевного агрегата на базе трактора ДТ-75М.</b>	
14	Коэффициентом готовности, $K_r$	0,805
15	Доля времени простоя агрегата из-за трактора, $t_{вi}$	0,058
16	Доля времени простоя агрегата из-за сцепки $t_{в.сц}$	0,0107
17	Доля времени простоя агрегата из-за сеялок, $t_{в.с}$	0,0932
18	Доля времени простоя агрегата из-за борон, $t_{в.б}$	0,0322
19	Среднее время безотказной работы агрегата, $\bar{t}_p$	5,48 ч
20	Среднее время простоя агрегата, $\bar{t}_{вi}$	1,33 ч
	<b>Эксплуатационная надежность посевного агрегата на базе трактора Т- 150К.</b>	
	Коэффициентом готовности, $K_r$	0,763
	Доля времени простоя агрегата из-за трактора, $t_{вi}$	0,051

№ пун кта	Наименование и обозначение показателя или параметра	Результат расчета с указанием размерности
	Доля времени простоя агрегата из-за сцепки $t_{в.сц}$	0,0099
	Доля времени простоя агрегата из-за сеялок, $t_{в.с}$	0,133
	Доля времени простоя агрегата из-за борон, $t_{в.б}$	0,043
	Среднее время безотказной работы агрегата, $\overline{t_p}$	4,0 ч
	Среднее время простоя агрегата, $\overline{t_{вi}}$	1,24 ч
	<b>Эксплуатационная надежность посевного агрегата на базе трактора МТЗ - 80.</b>	
	Кэффициентом готовности, Кг	0,879
	Доля времени простоя агрегата из-за трактора, $t_{вi}$	0,049
	Доля времени простоя агрегата из-за сцепки $t_{в.сц}$	-
	Доля времени простоя агрегата из-за сеялок, $t_{в.с}$	0,05
	Доля времени простоя агрегата из-за борон, $t_{в.б}$	0,02
	Среднее время безотказной работы агрегата, $\overline{t_p}$	10,52 ч
	Среднее время простоя агрегата, $\overline{t_{вi}}$	1,44 ч
	Вероятность безотказной работы для звена подготовки и транспортировки семян, $P_{зв}$	0,894
	Вероятность безотказной работы для звена подготовки и транспортировки удобрений, $P_{зв}$	0,945
	Вероятность безотказной работы для звена подготовки полей, $P_{зв}$	0,84
	<b>Вероятность безотказной работы посевного звена №1</b>	
	$P_1$	0,0044
	$P_2$	0,0329
	$P_3$	0,131
	$P_4$	0,296
	$P_5$	0,356
	$P_6$	0,178
	$P_{№1}$	0,994
	<b>Вероятность безотказной работы посевного звена №2</b>	
	$P_1$	0,208
	$P_2$	0,443
	$P_3$	0,314
	$P_{№2}$	0,965
	<b>Вероятность безотказной работы посевного звена №3</b>	
	$P_1$	0,011
	$P_2$	0,098
	$P_3$	0,368
	$P_4$	0,522
	$P_{№3}$	0,999
	<b>Вероятность безотказной работы i-го звена всего комплекса с вероятностью 0,95</b>	
	$P_A$	0,989
	$P_B$	0,989
	$P_C$	0,998
	$P_D$	0,987
	$P_E$	0,993
	$P_F$	0,991



## Литература

1. Агеев Л.Е. Основы расчета оптимальных и допускаемых режимов работы машинно-тракторных агрегатов. Л.: Колос, 1978. 296 с.
2. Прогнозирование надежности тракторов / В.Я. Анилович, А.С. Гринченко, В.А. Литвиненко и др. М.: Машиностроение, 1986. 221 с.
3. Барлоу Р., Прошан Ф. Статистическая теория надежности и испытания на надежность. М.: Наука, 1984. 317 с.
4. Вентцель Е.С. Исследование операций. М.: Сов. радио, 1972. 552 с.
5. Гнеденко Б.С., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. М.: Наука, 1965. 524 с.
6. Диагностика и техническое обслуживание машин / А.Д. Ананьин, В.М. Михлин, И.И. Габитов и др. М.: Издат. центр «Академия», 2008. 428 с.
7. Зангиев А.А., Лышко Г.П., Скороходов А.Н. Производственная эксплуатация машинно-тракторного парка. М.: Колос, 1996. 320 с.
8. Зангиев А.А., Шпилько А.В., Левшин А.Г. Эксплуатация машинно-тракторного парка. М.: КолосС, 2003. 320 с.
9. Иофинов С.А., Бабенко Э.Л., Зуев Ю.А. Справочник по эксплуатации машинно-тракторного парка. М.: Агропромиздат, 1985. 272 с.
10. Капланович М.С. Справочник по сельскохозяйственным транспортным работам. М.: Росагропромиздат, 1988. 366 с.
11. Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. М.: Мир, 1980. 412 с.
12. Кленин Н.И., Киселев С.Н., Левшин А.Г. Сельскохозяйственные машины. М.: КолосС, 2008. 816 с.
13. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. М.: КолосС, 2004. 503 с.
14. Лукинский В.С., Зайцев Э.И. Прогнозирование надежности автомобилей. Л.: Политехника, 1991. 220 с.
15. Организация и технология механизированных работ в растениеводстве

/ Н.И. Верещагин, А.Г. Левшин, А.Н. Скороходов и др. М.: ИРПО: Издат. центр «Академия», 2004. 414 с.

16. Надежность и эффективность в технике: справочник. В 10 т. М.: Машиностроение, 1990.

17. Орманджи К.С. Контроль качества полевых работ: справочник. М.: Росагропромиздат, 1991. 191 с.

18. Правила производства механизированных работ под пропашные культуры: пособие для бригадиров и звеньевых / сост. К.С. Орманджи. М.: Росагропромиздат, 1986. 303 с.

19. Сельскохозяйственные тракторы. Технические и эксплуатационные характеристики: справ. М.: ГИЛЬДИЯ АПК ПРЕСС, 2007. 143 с.

20. Скороходов А.Н., Левшин А.Г. Выбор оптимальных параметров и режимов работы МТА: практикум. М.: Триада, 2012. Ч. 1. 75 с.

21. Моделирование и оптимизация технологических процессов в растениеводстве: практикум / А.Н. Скороходов, А.Г. Левшин, В.П. Уваров и др. М.: ФГБОУ ВПО МГАУ, 2013. Ч. 2. 145 с.

22. Скороходов А.Н. Эксплуатационное обеспечение безотказной работы агрегатов и комплексов. М.: Изд-во МИИСП, 1990. 122 с.

23. Скороходов, А.Н. Методы повышения надежности и эффективности агрегатов и технологических комплексов. М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2003. Ч. 3. 75 с.

24. Типовые нормы выработки и расхода топлива на механизированные полевые работы в сельском хозяйстве. М.: Агропромиздат, 1990. Т. 1. 352 с.

25. Фортуна В.И., Миронюк С.К. Технология механизированных сельскохозяйственных работ. М.: Агропромиздат, 1986. 304 с.

Учебное издание

Самусенко Владимир Иванович

**АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ  
НАДЕЖНОСТИ АГРЕГАТОВ,  
ЗВЕНЬЕВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

Учебно-методические указания для выполнения  
практической работы № 22

по дисциплине: «Эксплуатация машинно-тракторного парка»  
студентам инженерно-технологического института  
по направлению подготовки  
35.03.06 «Агроинженерия»

Редактор Лебедева Е.М.

---

Подписано к печати 13.06.2024 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага офсетная. Усл. п. л. 2,03. Тираж 25 экз. Изд. №7684

---

Издательство Брянского государственного аграрного университета  
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ