

УДК 621.316

UDC 621.316

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**ОСНОВЫ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ПИТАЮЩИХ ШИН И СЕКЦИЙ ШИН**

**THE BASICS OF CALCULATING THE PROBABILITY OF FAILURE-FREE OPERATION OF SUPPLY BUSES AND BUS SECTIONS**

Мирошников Алексей Владимирович  
студент

Miroshnikov Aleksey Vladimirovich  
student

Макаренко Алексей Сергеевич  
аспирант

Makarenko Aleksei Sergeevich  
postgraduate student

Оськин Сергей Владимирович  
д.т.н., профессор  
РИНЦ SPIN-код: 2746-7547  
kgauem@yandex.ru  
*Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Россия*

Oskin Sergey Vladimirovich  
Dr.Sci.Tech., professor  
RSCI SPIN-code: 2746-7547  
kgauem@yandex.ru  
*Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia*

В сельском хозяйстве высокая надежность электроснабжения необходима из-за главной его особенности - производство связано с биологическими объектами. Изменение параметров состояния может приводить к резкому снижению продуктивности биологической системы или вообще к гибели его. Особенно критичны к надежности электроснабжения следующие предприятия: молочно-товарные фермы, тепличные комплексы, инкубаторы, площадки хранения зерна, готовой продукции и многое другое. В статье представлены: модели отказов секций шин, модели отказов питающих шин; формулы по расчету показателей надежности, расчетные значения вероятностей безотказной работы отдельных элементов анализ полученных значений, сделаны выводы по представленным моделям и даны предложения по внедрению в производство, отмечена связь энергосбережения с надежностью электроустановок

In agriculture, the high reliability of electricity supply is necessary because of its main feature production is associated with biological objects. The change in the state parameters can lead to a sharp decrease in the productivity of the biological system or, in general, to the death of it. The following enterprises are particularly critical to the reliability of power supply: dairy farms, hothouse complexes, incubators, grain storage sites, finished products and much more. The article presents: models of failure of switchable busbar, models of failure of supply buses; formulas for the calculation of reliability indicators, the calculated values of the probabilities of failure-free operation of individual elements, analysis of the values obtained, conclusions were made on the models presented and suggestions were made for introduction into production, energy conservation was associated with reliability of electrical installations

Ключевые слова: НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПИТАЮЩИЕ ШИНЫ, СЕКЦИИ ШИН, ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ, ЭНЕРГЕТИКА

Keywords: RELIABILITY OF ELECTRIC NETWORK SUPPLY BUSES, BUS SECTIONS, POWER SUPPLY, POWER

**Doi: 10.21515/1990-4665-129-071**

Сегодня остается актуальным установление оптимального уровня надежности систем электроснабжения потребителей различных категорий. Устойчивое энергетическое обеспечение сельскохозяйственных потребителей включает ряд мер по совершенствованию организации технического сервиса электрооборудования. Эффективная работа электрооборудова-

ния в сельском хозяйстве зависит от всего комплекса организационных и технических мероприятий, проводимых как при разработке, производстве, монтаже так и при эксплуатации любого оборудования. Возрастающие требования сельскохозяйственного производства к надежности работы электроустановок, требуют совершенствования системы эксплуатации, при которой наблюдаются минимальные затраты на проведение техобслуживания и сокращенные сроки устранения аварийных отказов оборудования. Это связано с наличием возможных технологических ущербов, наносимых выходом из строя электроустановок и электроснабжающего оборудования.

Особенности сельскохозяйственного производства, в том числе и неоднородность форм организации сельских товаропроизводителей, в сочетании с недостатком материальных средств на приобретение нового оборудования и материалов, а также учитывая уровень тарифов на электроэнергию, требует разработки и внедрения новых методов и форм организации технического обслуживания и ремонта электрооборудования.

Научные исследования, связанные с совершенствованием технического сервиса электроустановок в современных условиях сельскохозяйственного производства, которые приведут к повышению эксплуатационной надежности работы сельских электроустановок, а это, в свою очередь, являются актуальными, так как это даст увеличение выпуска сельскохозяйственной продукции.

Ранее рассматривался процесс функционирования электроснабжающей трансформаторной подстанции (ТП) с точки зрения надежности [7, 8]. Однако не все элементы ТП были включены в структурную схему. На рисунке 1 показана структурная схема оборудования ТП с наличием электрических шин.

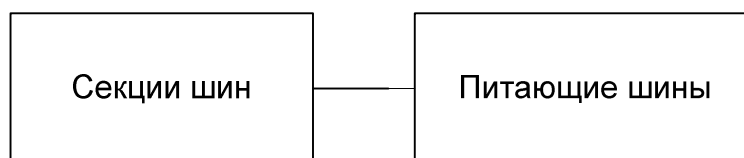


Рисунок 1 – Структурная схема расчета надежности оборудования ТП

Формула для расчета вероятностей безотказной работы шин принимает вид:

$$P_{\text{общ}}(t) = P_{\text{сш}}(t) \cdot P_{\text{пш}}(t) \quad (1)$$

где  $P_{\text{сш}}(t)$  - вероятность безотказной работы секции шин,  $P_{\text{пш}}(t)$  - вероятность безотказной работы питающих шин.

Необходимо учитывать, что также на надежность оказывают влияние и параметрические отказы. Сегодняшняя ситуация характерна тем, что нужны значительные средства на замену большей части изношенного электрооборудования, что произвести практически невозможно. Поэтому, в электроэнергетике предстоит длительный период работы на изношенном оборудовании, пока не появятся средства на замену. Сейчас нас спасает то, что пока производство находится в стагнации и электрические нагрузки не значительны.

Рассмотрим секцию шин как систему из двух последовательно соединенных элементов, надежность одного из них связана с появлением внезапных отказов, а другого - с постепенными (параметрическими). Внезапные отказы характеризуются резким, внезапным изменением параметров под воздействием одного или нескольких случайных факторов внешней среды или вследствие ошибок соответствующего обслуживающего персонала. Вероятность безотказной работы будет выглядеть соответственно:

$$P_{\text{сш}}(t) = P_{\text{в}}(t) \cdot P_{\text{п}}(t), \quad (2)$$

где  $P_{\text{в}}(t)$  и  $P_{\text{п}}(t)$  — вероятности безотказной работы соответственно элементов, при внезапном и постепенном отказах.

Для большинства технических систем в инженерных расчетах в качестве основного распределения времени безотказной работы при внезапных отказах принимается показательное распределение [1, 2]:

$$P(t>T) = e^{-\lambda t} \quad (3)$$

где  $\lambda$  – интенсивность отказов,  $\text{ч}^{-1}$ ;  $t$  – время безотказной работы, ч.

Параметрические отказы секций шин происходят по причине периодических превышение допустимых нагрузок и под воздействием окружающей среды (окисления), механические неисправности – ослабления затяжки болтовых соединений, а также связано с низкой квалификацией персонала (не могут вовремя провести технический уход и т.д.). Для таких случаев часто используют законом распределения Вейбулла-Гнеденко [1, 3, 5, 8]:

$$P(t>T) = e^{-c(t-t_0)} \quad (4)$$

где  $c$  – параметр масштаба;  $t_0$  – порог чувствительности.

Тогда окончательно аналогично другим элементам ТП [7, 8] можно записать:

$$P_{\text{сш}}(t) = e^{-\lambda t} \cdot e^{-ct} \quad (5)$$

Причинами внезапных отказов секций шин могут быть следующие: короткие замыкания из-за погодных условий, механических перекрытий фаз, попадание посторонних предметов, всплесков перенапряжений [6]. Причинами постепенных отказов в свою очередь будут следующие: периодические возникновения внешних и внутренних механических перенапряжений, сквозных токов коротких замыканий и дефектов изготовления (раковины, трещины и т.д.). На основании принятых критериев выделим два статистических ряда для внезапных и постепенных отказов, приведенных в таблице 1 [6].

Таблица 1 - Статистический ряд отказов секций шин.

Y,ч	Y,ч	Y,ч	Y,ч	X,ч	X,ч	X,ч	X,ч
769111	865832	777664	876761	760215	856936	768768	867865
878451	974728	834543	854593	869555	965832	825647	845697
803812	914846	973376	823274	794916	905950	964405	814378
769111			974728				
<b>Y<sub>ср</sub></b>		<b>Δt</b>		<b>T</b>		<b>λ</b>	
862249, 3		38224,59		1,23E+0 8		8,13789E-09	

Параметр показательного закона – интенсивность отказов  $\lambda$  обычно определяется по формуле [2, 3, 4, 5,6]:

$$\lambda = \frac{1}{x_{cp}} \quad \lambda = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_1^n x_i} \quad (6)$$

где  $x_{cp}$ — среднее значение наработок на отказ отдельных элементов, ч.

Известна формула для определения среднего времени безотказной работы:

$$\overline{T_{1cui}} = \frac{1}{\lambda_{cui}} \quad (7)$$

Произведем оценку параметры распределения Вейбулла-Гнеденко и вычислим среднее значение наработки на отказ:

$$y_{cp} = \frac{1}{m} \sum_1^m y_i \quad (8)$$

Необходимо разобьем выборку на соответствующие интервалы:

$$\Delta t = \frac{y_{max} - y_{min}}{1 + 3,31g m} = 38225 \quad (9)$$

Определим количество отказов попавших в каждый из полученных интервалов (Таблица 2) [6].

Таблица 2- Количество отказов секции шин

Интервалы	1	2	3	4	5	6
мин	769111	823274	876761	760215	814378	867865
макс	823274	876761	974728	814378	867865	966528
1	769111	834543	878451	760215	825647	869555
2	777664	854593	914846	768768	845697	905950
3	803812	865832	973376	794916	856936	964405
4	823274	876761	974728	814378	867865	965832
$\bar{y}_{cp}$	793465	857932	935350	784569	849036	926435
$p_i$	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
<b>D</b>			<b>1/a</b>	<b>C</b>	<b>T</b>	
3,16E+09	56178,51	0,007239	0,31	2,86E-20	7680123	1,30206E-07

Определим относительную частоту событий по формуле [8]:

$$p_i = m_i / m. \tag{10}$$

Вычислим по широко известным формулам в статистике:

значение дисперсии D,

$$D = \sum_{i=1}^R (\bar{y}_i - \bar{y}_{cp})^2 \cdot p_i, \tag{11}$$

среднеквадратичное отклонение,

$$\sigma = \sqrt{D} \tag{12}$$

коэффициент вариации,

$$\bar{v} = \frac{\sigma}{\bar{y}_{cp}} \tag{13}$$

По соответствующей номограмме находится значение параметра формы для распределения Вейбулла-Гнеденко  $1/\alpha=0,31$ . По полученным значениям определяется параметр масштаба:

$$c = \left( \frac{\bar{y}_{cp}}{\Gamma(1 + \frac{1}{\alpha})} \right)^{-\alpha} \tag{14}$$

$$\Gamma(1,0351)=0,9875$$

Для расчета среднего времени безотказной работы используем известную формулу:

$$\overline{T}_{2cu} = \frac{\Gamma(1+1/\alpha)}{c^{1/\alpha}}; \tag{15}$$

Расчеты вероятности безотказной работы для промежутка времени в 1000 и 10000 часов показали следующие значения:

$$P_{\text{сш}}(1000) = e^{1,30 \cdot 10^{-7} \cdot 1000} e^{2,86 \cdot 10^{-20} \cdot 1000} = 0,9998$$

$$P_{\text{сш}}(10000) = e^{1,30 \cdot 10^{-7} \cdot 10000} e^{2,86 \cdot 10^{-20} \cdot 10000} = 0,9985$$

Рассмотрим теперь питающие шины как устройство, состоящее из двух последовательно соединенных элементов, в одном из которых может появиться внезапный отказ, а в другом постепенный. Вероятность безотказной работы питающих шин можно также рассчитать по формуле (2).

Постепенные отказы питающих шин, как и секций шин, происходят в основном по причине превышение допустимых нагрузок и низкой квалификацией персонала [6]. В теории надежности и в инженерных расчетах, в качестве основного распределения времени безотказной работы при внезапных отказах принимается показательное распределение и расчеты можно проводить по формуле (5).

Причинами внезапных отказов питающих шин такие же как и для секций шин. Таким образом, можно сформировать два статистических ряда (Таблица 3) [6].

Таблица 3- Статистический ряд отказов питающих шин

Y,ч	Y,ч	Y,ч	Y,ч	X,ч	X,ч	X,ч	X,ч
769111	865832	777664	876761	760215	856936	768768	867865
794588	906460	864451	975424	785692	897564	855555	966528
803812	914846	973301	823274	794916	905950	964405	814378
769111			975424				
<b>Ycp</b>		<b>Δt</b>		<b>T</b>		<b>λ</b>	
86213		38354		1,2E+08		8,14E-09	

Интенсивность отказов  $\lambda$ , определим по формуле (6), а среднее время безотказной работы найдется по формуле (7).

Для оценки параметров распределения Вейбулла-Гнеденко вычислим среднее значение наработки на отказ по формуле (8).

Разобьем выборку на интервалы и подсчитаем сколько отказов попало в каждый из полученных интервалов, а все расчёты сведем в таблицу 4 [6].

Таблица 4- Количество отказов питающих шин

Интервалы	1	2	3	4	5	6
мин	769111	803812	876761	760215	794916	867865
макс	803812	876761	975424	794916	867865	966528
1	769111	823274	906460	760215	814378	897564
2	777664	864451	914846	768768	855555	905950
3	794588	865832	973301	785692	856936	964405
4	803812	876761	975424	794916	867865	966528
Yиср	786294	857580	942510	777398	848684	933612
рi	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
<b>D</b>	□	□	<b>1/a</b>	<b>C</b>	<b>T</b>	□
2,2E+09	46554	0,006	0,31	2,9E-20	7679080	1,3E-07

Необходимые параметры определяем по следующим формулам: относительную частоту событий по формуле (10), среднее значение для каждого интервала - (8), значение дисперсии **D** по формуле (11), средне-квадратичное отклонение - (12), коэффициент вариации - по формуле (13). Используя номограмму находим значение параметра формы -  $1/\alpha=0,34$ . Вычислим параметр масштаба распределения Вейбулла-Гнеденко:

$$\Gamma(1,0351)=0,91$$

Среднее время безотказной работы рассчитаем по формулам (15), (7).

Вероятность безотказной работы питающих шин для времени 1000 и 10000 часов составит:

$$P_{\text{пш}}(1000) = e^{1,30 \cdot 10^{-7} \cdot 1000} e^{2,86 \cdot 10^{-20} \cdot 1000} = 0,9991$$

$$P_{\text{пш}}(10000) = e^{1,30 \cdot 10^{-7} \cdot 10000} e^{2,86 \cdot 10^{-20} \cdot 10000} = 0,9982$$



Из полученных данных легко вычислить общее значение вероятности безотказной работы перечисленных элементов электрической сети (1):

$$P_{\text{общ (1000)}}=0,9998 \cdot 0,9991=0,998$$

$$P_{\text{общ (10000)}} = 0,9985 \cdot 0,9982= 0,996$$

Анализ полученных значений показывает, что с высокой степенью достоверности можно судить об относительно высокой надежности работы шин. Также, нужно учитывать, что в общей структуре электроснабжения еще находятся и другие элементы, которые находятся в последовательном структурном соединении с данным типом оборудования. В связи с этим расчет общей надежности электроснабжающей структуры необходимо проводить с учетом линий электропередач и остального оборудования.

В сельском хозяйстве высокая надежность электроснабжения необходима из-за главной его особенности - производство связано с биологическими объектами. Изменение параметров состояния может приводить к резкому снижению продуктивности биологической системы или вообще к гибели его. Особенно критичны к надежности электроснабжения следующие предприятия: молочно-товарные фермы, тепличные комплексы, инкубаторы, площадки хранения зерна, готовой продукции и многое другое. Сегодня мы наблюдаем тенденцию к повышению требований к качеству сельского электроснабжения: его надежности, качеству электроэнергии, уровню потерь в электрических сетях и в отдельных их элементах, а также к новым способам преобразования и электроэнергии.

Ввиду, как правило, значительной протяженности и преимущественно радиального построения сельских сетей, и незначительных нагрузок потребителей возникают определенные трудности в поддержании качественного их электроснабжения. В сельской местности значительно ниже показатели надежности электроснабжения и соответственно качества электроэнергии, чем в городских сетях. Также наблюдается значительный

технологический расход электроэнергии на передачу и распределение. В тоже время методика оценки основных показателей качества электро-снабжения сельскохозяйственных потребителей разработана недостаточно. С одной стороны известно, что внедрение мероприятий, повышающих надежность электроснабжения, влияет на качество электроэнергии и экономичность передачи электроэнергии. Сегодня необходимо обратить внимание на энергосберегающие мероприятия, а они сильно связаны с показателями надежности оборудования. Взаимное сотрудничество между учеными и эксплуатационниками может дать высокий результат по эффективности сельскохозяйственного производства и способствовать снижению себестоимости продукции, а также даст эффект и у производителей электроэнергии.

#### Литература

1. Оськин С.В. Повышение надежности электроприводов в сельском хозяйстве (Текст)/ С.В. Оськин, И.А. Переверзев, А.Ф. Кроневальд// Механизация и электрификация сельского хозяйства.-2008.- №1.-с. 20-21.
2. Оськин С.В. Определение надежности электроприводов по статистическим данным об отказах (Текст)/С.В. Оськин, А.Ф. Кроневальд, А.И.Вандке, А.С. Оськин// Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2008.-№7.-с.26-27.
3. Фокин Ю.А., Туфанов В.А. Оценка надежности систем электроснабжения. - М.: Энергоатомиздат, 1981.-224с.
4. Розанов М.Н. Надежность электроэнергетических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 200с.
5. Р. Хэвиленд., Инженерная надежность и расчет на долговечность. М.: Энергия, 1966. – 232с.
6. Арынов А.К, Кошельков Р.У. Оценка эксплуатационной надежности элементов энергосистем /Арынов А.К, Кошельков Р.У./ Режим доступа: [<http://www.twirpx.com/file/523118/>].
7. Макаренко А.С. Основы расчета показателей надежности элементов / А.С. Макаренко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №04(098). С. 516 – 527. – IDA [article ID]: 0981404037. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/04/pdf/37.pdf>, 0,75 у.п.л.
8. Оськин С.В, Макаренко А.С. Основы расчета вероятности безотказной работы силового трансформатора /С.В. Оськин, А.С. Макаренко/ Труды КубГАУ (Научный журнал КубГАУ) - Краснодар: КубГАУ, 2014. - №47.

**References**

1. Os'kin S.V. Povyszenie nadezhnosti jelektroprivodov v sel'skom hozjajstve (Tekst)/ S.V. Os'kin, I.A. Pereverzev, A.F. Kroneval'd// Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva.-2008.- №1.-s. 20-21.
2. Os'kin S.V. Opredelenie nadezhnosti jelektroprivodov po statisticheskim dannym ob otkazah (Tekst)/S.V. Os'kin, A.F. Kroneval'd, A.I.Vandke, A.S. Os'kin// Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva. 2008.-№7.-s.26-27.
3. Fokin Ju.A., Tufanov V.A. Ocenka nadezhnosti sistem jelektrosnabzhenija. - M.: Jenergoatomizdat, 1981.-224s.
4. Rozanov M.N. Nadezhnost' jelektrojenergeticheskikh sistem. – M.: Jenergoatomizdat, 1984. – 200s.
5. R. Hjevilend., Inzhenernaja nadezhnost' i raschet na dolgovechnost'. M.: Jenergija, 1966. – 232s.
6. Arynov A.K, Koshel'kov R.U. Ocenka jekspluatacionnoj nadezhnosti jelementov jenergosistem /Arynov A.K, Koshel'kov R.U./ Rezhim dostupa: [http://www.twirpx.com/file/523118/].
7. Makarenko A.S. Osnovy rascheta pokazatelej nadezhnosti jelementov / A.S. Makarenko // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2014. – №04(098). S. 516 – 527. – IDA [article ID]: 0981404037. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/04/pdf/37.pdf>, 0,75 u.p.l.
8. Os'kin S.V, Makarenko A.S. Osnovy rascheta verojatnosti bezotkaznoj raboty silovogo transformatora /S.V. Os'kin, A.S. Makarenko/ Trudy KubGAU (Nauchnyj zhurnal KubGAU) - Krasnodar: KubGAU, 2014. - №47.