

Раздел 4 АВТОМАТИЗАЦИЯ, АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ, УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 51-7

DOI: 10.34046/aumsuomt92/29

НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ МОРСКОГО ПОРТА В ТЕХНОСФЕРНОЙ СРЕДЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПЕРИОДА ЕГО ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

А.П. Лицкевич, кандидат технических наук

О.Н. Лицкевич, преподаватель

С.А. Лицкевич, кандидат технических наук

В данной статье рассматривается вопрос определения оптимальных сроков проведения технического обслуживания морского, портового электрооборудования. Эксплуатация морского, портового электрооборудования в длительной перспективе требует соблюдения установленных правил, а также периодического обслуживания по предупреждению развития повреждений как от постепенных, так и внезапных, дестабилизирующих факторов. Для решения этой задачи используются данные для поддержания в работоспособном состоянии морской портовой силовой линии оценивается период вывода на профилактическое обслуживание. Морской порт представляет собой совокупность не изолированных технических объектов, а комплекс взаимодействующих технических устройств, включая технологические процессы, подвижное оборудование и людей, приводящих всё это в целенаправленное взаимодействие. При этом предполагается введение в рассмотрение такой реальности, как техносфера, которая представляет взаимосвязь в единое целенаправленное целое окружающей среды, технических средств и человека. При рассмотрении проблемы надежности электрического морского оборудования портов необходимо учитывать, что элементы электрооборудования и обслуживающие их люди связываются в производственную сеть, образующих техносферную область. При анализе работоспособности такого объекта возникает не только задача поиска закономерностей функционирования такой организованной сети, но и требуется учитывать возможные нарушения производственного процесса. В общем анализе работоспособности оборудования требуется не только оценка степени организованности производственного процесса, но возможное поведение человека в этих условиях. В связи с этим можно сделать вывод, что для обеспечения требуемой надежности электрооборудования в морском порту, который представляет собой техносферную среду, требуется разработка теоретически обоснованного подхода к решению такой задачи. В данной работе предусмотрена увязка техники и людей в единое целое, а также возможные нарушения производственного процесса и снижение при этом надежности оборудования.

Ключевые слова: надежность электрооборудования; техническое обслуживание; работоспособное состояние силовой линии; профилактическое обслуживание.

In this article the question of determination of optimum terms of carrying out maintenance of sea, port electric equipment is considered. Operation of marine, port electrical equipment in the long term requires compliance with the established rules, as well as periodic maintenance to prevent the development of damage from both bedding and sudden, destabilizing factors. To solve this problem, data are used to maintain the sea port power line in working order, the period of withdrawal for preventive maintenance is estimated. A seaport is not a collection of isolated technical objects, but a complex of interacting technical devices, including technological processes, mobile equipment and people, bringing all this into purposeful interaction. This involves the introduction of such a reality as the technosphere, which represents the relationship in a single purposeful whole of the environment, technology and man. When addressing the reliability of electrical marine equipment ports it is necessary to consider that electrical components and serving them, people get involved in the production network, forming technosphere region. When analyzing the performance of such an object, there is not only the task of finding patterns of functioning of such an organized network, but also it is necessary to take into account possible violations of the production process. In the General analysis of equipment performance requires not only an assessment of the degree of organization of the production process, but the possible human behavior in these conditions. In this regard, it can be concluded that in order to ensure the required reliability of electrical equipment in the seaport, which is a technosphere environment, it is necessary to develop a theoretically sound approach to solving this problem. This work provides for linking equipment and people into a single whole, as well as possible violations of the production process and reducing the reliability of the equipment.

Keywords: reliability of electrical equipment; maintenance; working condition of the power line; preventive maintenance.

Эксплуатация морского, портового электрооборудования в длительной перспективе требует соблюдения установленных правил, а также периодического обслуживания по предупреждению развития повреждений как от постепенных, так и внезапных, дестабилизирующих факторов. Проблеме определения оптимальных сроков проведения технического обслуживания посвящены основательные труды [1, 2], в частности, математическим вопросам этого направления, актуальным в настоящее время в связи с широким использованием компьютерного моделирования посвящена монография Е.Ю. Барзиловича и В.А. Каштанова [1]. В соответствии с этой работой оптимальный период проведения предупредительных профилактик определяется путем максимизации вероятности безотказной работы $P(t)$ в течение времени функционирования оборудования t , т.е. $\max[P(t)]$. Для формулирования, рассматриваемой в дальнейшем проблемы, рассмотрим задачу определения периода профилактического обслуживания морской портовой силовой сети, вероятность безотказной работы которой $P(t)$, воспользуемся для этого уравнением из работы [1]:

$$\frac{T_{pp}}{T_{ap} - T_{pp}} = -F(t) + \lambda(t) \cdot \int_0^t (1 - F(u)) \cdot du \quad (1)$$

где T_{pp} – среднее время планово-предупредительной профилактики 8 час; T_{ap} – среднее длительность внепланово-аварийно-профилактического ремонта; $F(t)$ – функция распределения безотказной работы электрооборудования; $\lambda(t)$ – интенсивность отказов электрооборудования; $1 - F(t) = P(t)$ – вероятность безотказной работы электрооборудования.

Для конкретизации уравнения (1) при рассмотрении задачи технического обслуживания *Given*

$$-1 + \text{pnorm}(T_{\max} - 1.4 \cdot t, 1.4 \cdot t, 0.3 \cdot t) + \lambda(t) \cdot \int_0^t \text{pnorm}(T_{\max} - 1.4 \cdot u, 1.4 \cdot u, 0.3 \cdot u) \cdot du$$

$$\text{Find}(t) = 7.209 \cdot 10^4$$

Результатом решения уравнения (1) является период технического обслуживания, обеспечивающий максимальную вероятность безотказной работы $\max[P(t)]$, который составляет $t = 8.67$ лет. Однако практика эксплуатации силовых линий порта, имеющих наработку порядка 30-40 лет по постепенным отказам, показывает, что наблюдаются и внезапные отказы, причинами

морского портового электрооборудования вероятность безотказной работы по постепенным отказам $P(t)$, примем в виде [3]:

$$P(t) = 0.5 + \Phi\left(\frac{T_{\max} - \gamma_{cp} \cdot t}{\sigma \cdot t}\right) = \text{pnorm}(T_{\max} - \gamma_{cp} \cdot t, \gamma_{cp} \cdot t, \sigma \cdot t),$$

где $\Phi(x)$ – функция Лапласа; γ_{cp} – среднее значение скорости процесса повреждения (износа) оборудования; σ – среднее квадратичное отклонение; T_{\max} – максимальное время наработки электрооборудования; *pnorm* – оператор в *Mathcad* дающий нормальное распределение.

Интенсивность отказов определяется выражением:

$$\lambda(t) = \frac{-\frac{d}{dt} \text{pnorm}(T_{\max} - \gamma_{cp} \cdot t, \gamma_{cp} \cdot t, \sigma \cdot t)}{\text{pnorm}(T_{\max} - \gamma_{cp} \cdot t, \gamma_{cp} \cdot t, \sigma \cdot t)}. \quad (2)$$

При решении задачи воспользуемся данными, используемыми для поддержания в работоспособном состоянии морской портовой силовой линии, оценим период вывода на профилактическое обслуживание. По результатам эксплуатации имеем следующие данные: максимальная наработка изоляции силовой линии (без учета отказов, являющихся следствием непредусмотренных производством явлений) $T_{\max} = 2.7 \cdot 10^5$ час; износ и среднее квадратичное отклонение процесса износа $\gamma_{cp} = 1.4, \sigma = 0.3$ час; отношение времени профилактики ко времени аварийного восстановления $\frac{T_{pp}}{T_{ap} - T_{pp}} = 0.034$. Подставим эти данные в уравнение (1) и, воспользовавшись алгоритмом *Given* в математическом редакторе *Mathcad* и вычислим оптимальный период вывода оборудования на профилактику:

которых являются непредусмотренные в производстве явления, в частности, короткие замыкания, возникающие на электроконтактных колонках, установленных на пирсе, вследствие наездов на них погрузочно-разгрузочного автотранспорта, при разгрузке крупнотоннажных судов. Эти случайные отказы не имеют связи с физическими процессами, происходящими в окружающей среде или в электрической линии, а имеют происхождение производственного характера.

Отметим, что такие отказы связаны с неизбежными в сложных системах нарушениями и ошибками, не предусмотренными в этом производственном процессе. Такого рода явления наблюдаются на силовых линиях порта, по приближенным оценкам специалистов, в среднем один раз за $t_{cp} = 4.38 \cdot 10^4$ час, т.е. ≈ 5 лет.

С учетом сказанного выше, разрешение противоречия между вычисленным значением теоретического периода профилактики $t = 8.67$, для силовых линий и существующей практикой проведения технического обслуживания, надо искать в наличии, указанных выше внезапных отказов со средней наработкой, $t_{cp} = 4.38 \cdot 10^4$, а также в более точных представлениях о производственном процессе, в которой функционирует электрооборудование порта. При классических расчетах надежности электрооборудования предполагается возможность выделения исследуемого объекта из совокупности всех других объектов, образующих производственный комплекс и в задании таких факторов, которые ведут электрооборудование к отказам, в основном, от факторов физического происхождения. При этом исключаются отказы, связанные с производственными взаимодействиями оборудования, причины которых лежат в отклонениях и нарушениях установленных правил производственного процесса.

В тоже время, в производственном процессе объекты образуют единую, искусственно созданную с целевым назначением сеть, управляемую человеком, в которой составляющие оказывают взаимное влияние друг на друга. В частности, например, морской порт представляет собой совокупность не изолированных технических объектов, а комплекс взаимодействующих технических устройств, включая технологические процессы, подвижное оборудование и людей, приводящих всё это в целенаправленное взаимодействие. Такого рода среды получили название техногенных сред, которые в соответствие с определением являются способом существования такой взаимодействующей техники (искусственной среды), созданной человеком и активно воздействующей на него [4]. Эта реальность («вторая природа»), как было сказано в начале, формируется из отдельных элементов, но в производстве соединяется в единое целое, подчиняясь объективным закономерностям. Отметим, что техногенную среду, приобретающую системные характеристики называют техносферой [4]. При рассмотрении проблемы надежности электрического

морского оборудования портов необходимо учитывать, что элементы электрооборудования и обслуживающие их люди связываются в производственную сеть, образующих техносферную область. При анализе работоспособности такого объекта возникает не только задача поиска закономерностей функционирования такой организованной сети, но и требуется учитывать возможные нарушения производственного процесса. В общем анализе работоспособности оборудования требуется не только оценка степени организованности производственного процесса, но возможное поведение человека в этих условиях. В частности, воздействие техносферы на человека заключается уже в том, что систематическая работа в условиях такой реальности, формирует особое мышление – техническое мышление, основанное на стремлении к эффективности и умению действовать при недостатке знаний. Анализ различных производственных аварий и катастроф показывает, что уже в настоящее время техносферные объекты (технические объекты, объединённые общей целью в единое целое) достигли уровня сложности и быстродействия, который требует от человека реакций, превышающих его физиологические возможности [4]. К тому же отмечается, наличие увеличивающегося разрыва между растущей сложностью и быстродействием технологических средств и малым приростом знаний об их возможных воздействиях на человека. Результатом избыточной сложности техносферы являются техногенные аварии и катастрофы.

В связи с приведенным выше можно сделать вывод, что для обеспечения требуемой надежности электрооборудования в морском порту, который представляет собой техносферную среду, требуется разработка теоретически обоснованного подхода к решению такой задачи. В этом подходе должна быть предусмотрена увязка техники и людей в единое целое, а также возможные нарушения производственного процесса и снижение при этом надежности оборудования.

Во избежание резкого снижения надежности электрооборудования применяются специальные правила (стратегии) технической эксплуатации. Одной из таких стратегий является стратегия профилактического обслуживания. Согласно этой стратегии предотвращение отказов электрооборудования достигается путем проведения упреждающих профилактических мероприятий, направленных на устранение опасных повреждений (дефектов) и поддержания работоспособного состояния [2]. В качестве модификаций стратегии профилактического обслуживания можно привести

следующие варианты:

- по факту отказа;
- по фиксированной наработке;
- по фактическому состоянию;
- по надежности;
- по оценке прогнозируемых рисков.

Далее для обеспечения требуемой надежности электрооборудования, обеспечивающего бесперебойное электроснабжение причальных агрегатов, применяется стратегия, адаптирующая периодичность профилактик к максимальной вероятности безотказной работы. В построении количественной модели, реализующей заданную стратегию, для определения периодов времени технического обслуживания используются данные о параметрах потоков случайных событий и использования данных о временах наработки электрооборудования по данным реальной эксплуатации.

Выше уже была приведена функция распределения времени безотказной работы по постепенным отказам электрооборудования, типа силовой линии и изоляционного материала, как наименее надежного его элемента, т.е.

$$P(t) = pnorm(T_{max} - \gamma_{cp} \cdot t, \gamma_{cp} \cdot t, \sigma \cdot t):$$

$$P(t) = pnorm(T_{max} - 1.4 \cdot t, 1.4 \cdot t, 0.3 \cdot t), \quad (3)$$

$$P\Sigma(t) = P(t) \cdot P_{вн}(t) = pnorm(T_{max} - 1.4 \cdot t, 1.4 \cdot t, 0.3 \cdot t) \cdot \exp(-2.28 \cdot 10^{-5} \cdot t) \quad (6)$$

Результирующее распределение $P\Sigma(t)$ по форме близко к экспоненциальному, поэтому для упрощения дальнейших расчетов воспользуемся его аппроксимацией в виде экспоненты $Papr \exp(t)$. Аппроксимацию результирующего распределения вероятностей времени безотказной работы $P\Sigma(t)$ произведем методом наименьших квадратов.

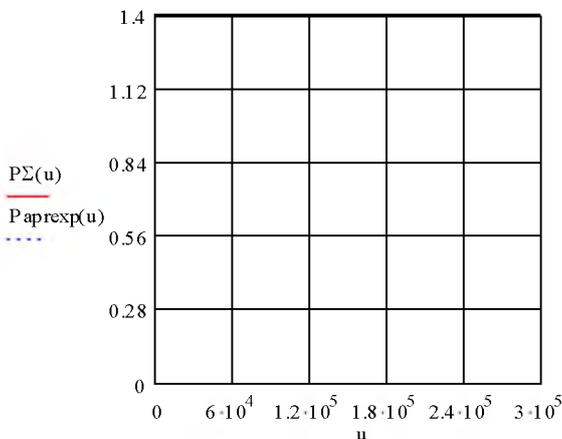


Рисунок 1 – Графическое изображение аппроксимирующих распределений $Papr \exp \Sigma(t)$ и совместного распределения $P\Sigma(t)$

где T_{max} – максимальное время наработки до отказа.

$$T_{max} = 2.7 \cdot 10^5 \text{ час (} \square \text{ лет)}.$$

В производственных условиях, в порту (техносфере), в силовой линии, как было сказано выше, возникают внезапные отказы, которые связаны с несовершенством и нарушениями производственного процесса, в результате чего резко снижается вероятность безотказной работы. Закон распределения времени наработки при этих внезапных (аварийных) отказах описывается экспоненциальным распределением и имеет вид:

$$P_{вн}(t) = \exp\left(-\frac{t}{T_{вн}}\right) = \exp(-2.28 \cdot 10^{-5} \cdot t), \quad (4)$$

где $T_{вн}$ – среднее время наработки до внезапного отказа (наезда автотранспорта на контактную колонку силовой сети $T_{вн} = 4.38 \cdot 10^4$, интенсивность внезапных отказов $\lambda = \frac{1}{T_{вн}} = 2.38 \cdot 10^{-5}$).

Совместное распределение при совместном действии обоих видов отказов и при независимых причинах их возникновения, что соответствует «погружению» объекта в техносферу, количественно представляется в виде

$$P\Sigma(t) = P(t) \cdot P_{вн}(t); \quad (5)$$

Для определения периода проведения профилактик построим Марковскую модель функционирования изоляции электрооборудования. Структурная схема модели может быть представлена графом переходов [5, 6, 7].

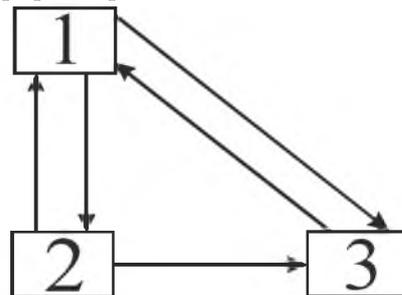


Рисунок 2 – Граф состояний оборудования при наличии профилактического обслуживания и возможных внезапных отказов

Состояние 1 – состояние работоспособности; состояние 2 – профилактического обслуживания; состояние 3 – внезапной отказ вследствие внешних причин (наезд на электрическую колонку с последующим замыканием силовой линии).

Интенсивности переходов процесса из состояния i в состояние j представляется в виде [5, 6]:

$$\lambda_{12} = \frac{1}{T}, \lambda_{31} = \frac{1}{T_6}, \lambda_{21} = \frac{1}{T_n}, \lambda_{13} = \frac{1}{T_{вн}}, \frac{1}{\text{час}},$$

где T – период профилактического обслуживания;
 $Tв$ – время восстановления после внезапного отказа; 240 час; $Tп$ – время профилактики 8 час; $Tво$ – время наработки до отказа $4,38 \cdot 10^4$ час.

Матрица переходов Марковского процесса представляется в виде [6]:

$$M(T) := \begin{pmatrix} \frac{-1}{T} - 2.283 \cdot 10^{-5} & \frac{1}{8} & \frac{1}{240} \\ \frac{1}{T} & -0.125 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Для определения периода профилактического обслуживания T необходимо решить систему уравнений:

$$\begin{aligned} \left(-\frac{1}{T} - 2.28 \cdot 10^{-5}\right) \cdot p_1 + \frac{1}{8} \cdot p_2 + \frac{1}{240} \cdot p_3 &= 0 \\ \frac{1}{T} \cdot p_1 - 0.125 \cdot p_2 &= 0 \\ p_1 + p_2 + p_3 &= 1 \end{aligned}$$

Результирующие вероятности состояний P_1, P_2, P_3 в зависимости от периода профилактики T имеют вид:

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{1.250 \cdot 10^6 \cdot T}{1.000 \cdot 10^7 + 1.257 \cdot 10^6 \cdot T}, \\ P_2 &= \frac{1.000 \cdot 10^7}{1.000 \cdot 10^7 + 1.257 \cdot 10^6 \cdot T}, \\ P_3 &= \frac{6849}{1.000 \cdot 10^7 + 1.257 \cdot 10^6 \cdot T} \end{aligned}$$

Задавая различные значения T полученном выражении для вероятности безотказной работы

$$P_1 = \frac{1.250 \cdot 10^6 \cdot T}{1.000 \cdot 10^7 + 1.257 \cdot 10^6 \cdot T}, \text{ получим}$$

графическое изображение кривой $p_1(T)$, из которой определим период, при котором впервые достигается максимальная вероятность безотказной работы электрооборудования.

Период профилактики, обеспечивающий вероятность безотказной работы оборудования составляет $T = 4400$ час. Вероятность безотказной работы морского портового, силового электрооборудования при этом периоде обслуживания $T = 4400$ составляет:

$$p_1(T) = \frac{1.250 \cdot 10^6 \cdot T}{1.000 \cdot 10^7 + 1.257 \cdot 10^6 \cdot T} = 0.993.$$

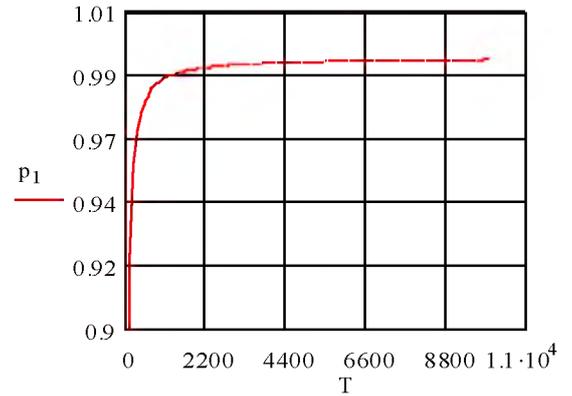


График 3 – Зависимости вероятности безотказной работы $p_1(T)$ от времени между профилактическими обслуживаниями T

Вопрос о возможности непосредственного использования выражению (6) в уравнении (1) в алгоритме *Given* вызывает определенные трудности, связанные со сложностью выражения результирующей вероятности (6), а также со сложностью уравнения, содержащего дифференциальный оператор в $\lambda(t)$ и интегральное выражение

$\int_0^t (1 - F(u)) \cdot du$. Упрощая задачу путем прибли-

женной аппроксимации $P\Sigma(t)$ выражением $Papr\Sigma(t)$. При этом $Papr(t) = \exp(-10^{-7.4} \cdot t^{1.6})$.

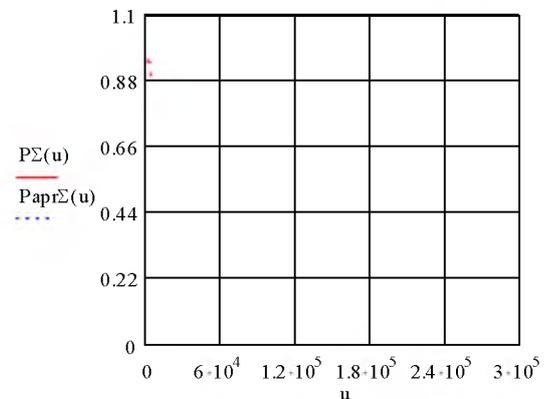


Рисунок 4 – Графическое изображение аппроксимирующих распределений $Papr\Sigma(t)$ и совместного распределения $P\Sigma(t)$

Произведем приближенную оценку периода профилактического обслуживания T в соответствии с уравнением (1). Интенсивность отказов $\lambda(t)$ при функции распределения $P_{apr\Sigma}(t)$ имеет

$$\text{вид } \lambda(t) = \frac{-\frac{d}{dt} P_{apr\Sigma}(t)}{P_{apr\Sigma}(t)}.$$

Алгоритм решения уравнения (1) для определения периода профилактики оборудования представляется в виде:

Given

$$-1 + P_{apr\Sigma}(t) + \lambda(t) \cdot \int_0^t P_{apr\Sigma}(x) \cdot dx - 0.03 = 0$$

$$Find(t) = 7.06 \cdot 10^3$$

0.8 < 1 год

Вероятность работоспособного состояния

$$P_{apr\Sigma}(7.06 \cdot 10^3) = 0.944.$$

Таким образом, решение уравнения (1) с аппроксимированной функцией распределения

$P_{apr\Sigma}(t)$ дает период профилактического обслуживания меньше года.

Учитывая ранее полученный результат на Марковский модели для $T = 4400$ час, примем, что профилактическое обслуживание силовых линий порта, с учетом техносферных взаимодействий, необходимо проводить два раза в год, при этом вероятность безотказной работы составляет $p_1(T) = 0.993$.

Выводы

На основе рассмотрения противоречия между теоретическим значением периода профилактического обслуживания силовой линии в морском порту и реальным временем, требуемым для поддержания её надежности предложено расширение сферы воздействующих факторов, связанных с несовершенством и нарушениями производственного процесса. При этом предполагается введение в рассмотрение такой реальности, как техносфера, которая представляет взаимосвязь в единое целенаправленное целое окружающей среды, технических средств и человека.

В результате взаимодействий, включая и не предусмотренные в производственном процессе в этой техносферной среде, в частности, в морском порту наблюдаются наезды на электроконтактные колонки силовой сети портового автотранспорта, который циркулирует при разгрузке крупнотоннажных судов. При наездах возникают внезапные отказы в силовых линиях, связанные с короткими замыканиями. Такого рода отказы также способствуют зарождению в изоляционном материале линии новых очагов для постепенных отказов.

Внезапные отказы, связанные с наездами на электроконтактные колонки не являются однократными, а появляются в среднем за время $T_{ен} = 4.38 \cdot 10^4$ с функцией распределения

$$P_{ен}(t) = \exp\left(-\frac{t}{T_{ен}}\right).$$

Наличие непредусмотренных явлений в производственном процессе, в частности, в морском порту и их не учёт ведет к резкому снижению вероятности безотказной работы $P(t)$ электрооборудования порта. В рассматриваемом случае это происходит из-за внезапных отказов $P_{вн}(t)$. Ввиду независимости этих отказов результирующая вероятность безотказной работы при этом взаимодействии имеет вид $P_{\Sigma}(t) = P(t) \cdot P_{вн}(t)$.

Для поддержания требуемой надежности и снижении нежелательных последствий от непредусмотренных взаимодействий в портовой техносферной среде необходимо проводить профилактическое обслуживание с периодом $T = 4400$ час, позволяющее обеспечить надежность силового электрооборудования с вероятностью безотказной работы $p_1(T) = 0.993$.

Литература

1. Барзилович Е.Ю., Каштанов В.А. Некоторые математические вопросы теории обслуживания сложных систем. – М.: Изд-во «Советское радио», 1971. – С. 272.
2. Зюзин А.М. Техническая эксплуатация и ремонт электрооборудования. – М.: Энергоатомиздат, 1980. – 530 с.
3. Пронников А.С. Надежность машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с., ил. – (Международная серия «Надежность и качество»).
4. Попкова Н.В. Философия техносферы. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 344 с.
5. Броди С.М., Власенко О.Н., Марченко В.Г. Расчет и планирование испытаний систем на надежность. – Киев: Издательство «Наукова думка», 1970.
6. Баруча А.Т. – Рид. Элементы теории марковских процессов и их приложения. – М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-во «Наука», 1969. – С. 512.
7. Дынкин Е.Б. Управляемые Марковские процессы и их приложения / Е.Б. Дынкин, А.А. Юшкевич. – М.: Наука, 1975. – 337 с.
8. Кондратьев С.И. Теоретические основы управления крупнотоннажными судами по критериям безопасности и энергосбережения: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Новороссийск, 2004.
9. Кондратьев С.И. Синтез программных траекторий методом динамического программирования // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2003. – № S6. – С. 41-43.

References

1. Barzilovich E.Yu., Kashtanov V.A. Nekotorye matematicheskie voprosyi teorii ob-sluzhivaniya

- slozhnyih sistem. M., Izd-vo «Sovetskoe radio», 1971, str.272.
2. Zyuzin A.M. Tehnicheskaya ekspluatatsiya i remont elektrooborudovaniya - M.: Energo-atomizdat, 1980 – 530 s.
 3. Pronnikov A.S. Nadezhnost mashin.- M.: Mashinostroenie, 1978.- 592 s., il. - (Me-zhdunarodnaya seriya «Nadezhnost i kachestvo»).
 4. Popkova N.V. Filosofiya tehnosferyi. - M.: Izdatelstvo LKI, 2008.-344s.
 5. Brodi S.M. , Vlasenko O.N., Marchenko V.G. Raschet i planirovanie ispyitaniy sis-tem na nadezhnost. Izdatelstvo «Naukova dumka», Kiev – 1970.
 6. A.T. Barucha - Rid. Elementyi teorii markovskih protsessov i ih prilozheniya. Glav-naya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literatury izd-vo «Nauka», 1969, str. 512.
 7. Dyinkin E.B. Upravlyaemye Markovskie protsessy i ih prilozheniya / E.B. Dyinkin, A.A. Yushkevich. - M.: Nauka, 1975. - 337 s.
 8. Kondrat'ev S.I. Teoreticheskie osnovy upravleniya krupnotonnazhnymi sudami po kriteriyam bezopasnosti i energosberezheniya. Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk / Novorossiysk, 2004.
 9. Kondrat'ev S.I. Sintez programmyh traektorij metodom dinamicheskogo programmirovaniya. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Tekhnicheskie nauki. 2003. № S6. S. 41-43.