

Д 79

С С С Р - М П С

Днепропетровский институт инженеров железнодорожного
транспорта им. М.И.Калинина

На правах рукописи

ДУБРАВИН Юрий Федорович

629.423.3

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРЯМЫТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК
ЭЛЕКТРОВОЗОВ

Специальность 05.22.07 — подвижной состав и
тяга поездов

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

г. Днепропетровск
1975 г.

С С С Р - М П С

Днепропетровский институт инженеров железнодорожного
транспорта им. М.И.Калинина

На правах рукописи

ДУБРАВИН Юрий Федорович

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК
ЭЛЕКТРОВЗОВ

Специальность 05.22.07 — подвижной состав и
тяга поездов

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

г. Днепропетровск

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА
Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В.Лазаряна

6491a

Работа выполнена в Днепропетровском институте инженеров
железнодорожного транспорта

Научные консультанты

Кандидат технических наук, доцент Босов А.А.

Кандидат технических наук, доцент Курасов Д.А.

Официальные оппоненты

доктор технических наук, профессор Зорохович А.Е.

кандидат технических наук, доцент Костин Н.А.

Ведущее предприятие - Юго-Западная железная дорога, МПС.

Автореферат разослан "22" IV 1975 года

Защита диссертации состоится "22" мая 1975 года
на заседании Ученого Совета Днепропетровского института
инженеров железнодорожного транспорта (320629 г. Днепро-
петровск, 10, ул. Университетская ,2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Просим Вас принять участие в работе Совета или прислать
свой отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный
печатью, в адрес института, ученому секретарю.

Ученый секретарь Совета факультетов
кандидат технических наук, доцент

(ТРЕТЬЯК Б.А.)

Актуальность проблемы. Одним из эффективных средств повышения эксплуатационной надежности выпрямительных установок электровозов и сокращения расходов на их ремонт является разработка научно обоснованной, экономически оправданной системы содержания основных агрегатов электровоза.

Существующая система содержания конструктивно новых электровозов зарубежного исполнения, поставляемых СССР по плану СЭВ, не в полном объеме учитывает их производственные возможности. Следствием несовершенства системы ^{ремонта} является снижение надежности, недоиспользование производительности и неоправданное завышение стоимости содержания. При этом основные расходы приходится на осмотры и малые периодические ремонты

и не обеспечивается необходимая степень восстановления. Причиной указанных недостатков являются :

отсутствие научно обоснованных рекомендаций по проверке параметров полупроводниковых вентиляей ;

система ремонтов основывается на интуиции, использовании аналогий без учета конструктивных особенностей выпрямительных установок, конкретных условий эксплуатации и характера изменения количественных показателей надежности ;

отсутствие обоснованных допусков на предельные значения параметров вентиляей, которыми следует руководствоваться при отбраковке их в эксплуатации ;

отсутствие данных о ресурсе основных элементов и узлов выпрямительных установок.

Таким образом, разработка методики определения рациональных параметров систем ремонта выпрямительных установок представляет важную задачу, решение которой позволит снизить себестоимость ремонта и повысить надежность ее работы.

Цель работы. Диссертационная работа посвящена разработке методики управления процессом восстановления подсистем выпрямительных установок и включает в себя следующие вопросы:

исследование влияния управляющих параметров (периодичности частичных и полных восстановлений, степени восстановления) системы профилактических ремонтов на технико-экономические показатели содержания выпрямительных установок. Разработка рациональной системы содержания ;

разработка методики определения рационального уровня надежности выпрямительных установок ;

определение научно обоснованных допусков на предельно допустимые значения параметров, которыми следует руководствоваться при отбраковке полупроводниковых вентиляей ;

возможность использования результатов исследования эксплуатационной надежности при перспективном планировании поставок полупроводниковых вентиляей зарубежного исполнения.

Научная новизна работы заключается в определении существующей и необходимой степени восстановления выпрямительных установок при проведении профилактических мероприятий. Это обусловлено существующими методами подхода к решению проблемы.

В классической теории восстановления и выполненных исследованиях принимались допущения о полном восстановлении первоначальных свойств узлов и деталей при ремонтах. Указанное допущение было бы справедливо в случае полной замены элементов новыми. Однако, специфика эксплуатации и условий ремонта выпрямительных установок электровозов, заключающаяся в длительном использовании элементов и периодическом восстановлении их

первоначальных свойств, не позволяет принять указанное допущение без значительного ущерба для описания качественной стороны ремонта.

При плановых ремонтах выпрямительных установок производится контроль параметров и частичная замена невосстанавливаемых элементов. Работоспособность полученной в результате ремонта системы не будет соответствовать работоспособности той же системы, состоящей из полностью обновленных элементов.

Рассмотрение количественной оценки степени восстановления значительно расширяет возможности управления процессом восстановления выпрямительных установок.

Практическая ценность работы заключается в разработке методики расчета рациональной системы ремонта выпрямительных установок. Методика может быть использована также при оптимизации параметров системы ремонта установок, укомплектованных управляемыми полупроводниковыми вентилями.

Решается задача по определению рационального уровня надежности, а также значений параметров системы ремонта, обеспечивающих достижение заданного в эксплуатации уровня надежности. Предложены алгоритмы, которые позволяют использовать ЭЦВМ при определении параметров математических моделей процесса восстановления. Применение полученных зависимостей проиллюстрировано на примере определения параметров системы ремонта выпрямительных установок электровозов серии ЧС-4.

Реализация результатов исследования. Результаты исследования нашли применение при

корректировке и дополнении приказа МПС об изменении системы содержания электровозов ;

определении рационального объема профилактических мероприятий при содержании выпрямительных установок.

В стадии внедрения при планировании замен подконотем выпрямительных установок и поставок полупроводниковых вентилях нахотся результаты исследования, касающиеся ресурса подконотем.

В перспективе выводы работы могут быть использованы при: распространении методики на агрегаты системы энергоснабжения и других сложных технических систем ;

повышении надежности вентилях заводами изготовителями ;

корректировке правил ремонта по части определения допусков на параметры вентилях.

Содержание работы

В первой главе рассмотрена методика управления процессом восстановления выпрямительных установок. Под управлением процессом восстановления понимается разработка такой системы предупредительных ремонтов, которая позволяет получить необходимые количественные показатели надежности и другие технико-экономические показатели.

В качестве критерия эффективности системы ремонтов приняты суммарные затраты, связанные с ремонтами и отказами выпрямительных установок.

В процессе исследования выпрямительная установка, как сложная система, расчленена на ряд подсистем с соблюдением условия, чтобы отказы каждой из подсистем были независимыми событиями.

Рассматривается условная, регулярная стратегия ремонтов на интервале пробега $[0, l]$. Каждая подсистема выпрямительной установки в течении пробега l_i подвергается ряду ремонтов

с частичным восстановлением и одному полному восстановлению. Выражение для математического ожидания удельных суммарных затрат на восстановление подсистемы:

$$Z(\ell, \tau, u) = \frac{C_0 + C_1 \left(\frac{\ell}{\tau} - 1 \right) + q H(\ell, \tau, u)}{\ell}, \text{ при } \left[\frac{\ell}{\tau} \right] = \frac{\ell}{\tau} \quad (I)$$

где C_0, C_1 — стоимость полного и частичного восстановления;

τ, ℓ — периодичность частичного и полного восстановления ;

q — затраты , связанные с отказами ;

u — количественный показатель степени восстановления ;

$H(\ell, \tau, u)$ — функции восстановления.

Математическая постановка задачи состоит в нахождении таких значений τ, ℓ и u при которых целевая функция (I) достигает минимального значения.

В зависимости от поставленных условий при минимизации функции (I) может выступить ограничение по надежности :

$$H(y) \leq - \ln \alpha,$$

где α — наименьший допустимый в эксплуатации уровень вероятности безотказной работы ;

y — интервал пробега, который может быть принят равным пробегу между плановыми ремонтами.

Для совокупности подсистем выпрямительной установки получено выражение, представляющее суммарные удельные затраты.

Целевая функция (I) для определения рациональных управляющих параметров системы ремонтов получена при условии, что отказы подсистем независимы, а отказ любой из подсистем приводит к отказу всей выпрямительной установки.

Выражение (I) содержит оценки математических ожиданий величин C_0 , C_1 , q и u . Поэтому, с учетом возможных отклонений величин от их средних значений, в работе рассмотрены области разброса и доверительные интервалы значений параметров ℓ и τ .

В результате исследования характера и причин отказов подсистем и отдельных элементов выпрямительных установок сделан вывод о целесообразности одновременного рассмотрения двух схем отказов: схемы накапливающихся изменений и схемы действия нескольких независимых причин отказов.

В качестве входной информации о работоспособности элементов в первом случае используются данные о характере изменения прогнозирующих параметров. Во втором случае исходная информация содержит данные о параметре потока отказов. В связи с различными схемами отказов далее рассматриваются две математические модели процесса восстановления подсистем выпрямительных установок.

Модель процесса изменения физических свойств полупроводниковых вентиляей. Для исследования старения вентиляей выбраны интегральные параметры изменения свойств

обратный ток ($I_{об}$) и прямое падение напряжения (Δu).

Состоянию вентиля в каждый момент соответствует определяющая точка $x_j(\ell, I_{об}, \Delta u)$. Совокупность определяющих точек большого числа вентиляей образует пространство возможных состояний. Положения определяющей точки $x_j(\ell, I_{об}, \Delta u)$ в различные моменты пробега определяют траектории точки. Каждая из траекторий является реализацией случайного процесса, описывающего эволюцию состояния вентиляей. Конечной точке траектории

соответствуют значения параметров $I_{об}$, Δu , которые имели место в момент отказа вентиля.

Пространство возможных состояний включает в себя область исправной работы S_1 , область отказов S_2 и промежуточную область S_0 . Границей между областями S_1 и S_0 служит плоскость $\Phi_1(\ell, I_{об}, \Delta u) = 0$, а плоскость $\Phi_2(\ell, I_{об}, \Delta u) = 0$ граница между областями S_2 и S_1 (рис. 1). Указанные границы областей могут быть найдены при анализе расположения траекторий определяющих точек множества полупроводниковых вентилях. По совокупности проекций конечных точек с помощью метода наименьших квадратов находится оценочное уравнение линии регрессии.

В качестве промежуточной области S_0 служит доверительная полоса разброса проекций конечных точек, соответствующая средне-квадратической ошибке δ при доверительной вероятности $\beta = 0,95$ (рис. 2).

Вероятность отказа полупроводникового вентиля зависит от места расположения его определяющей точки $x_j(\ell, I_{об}, \Delta u)$ в плоскости возможных состояний и определяется соотношением

$$P_0(\ell) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_j(\ell, I_{об}, \Delta u) \in S_1; \\ < 1, & \text{если } x_j(\ell, I_{об}, \Delta u) \in S_0; \\ 1, & \text{если } x_j(\ell, I_{об}, \Delta u) \in S_2 \end{cases}$$

Задача о случайном блуждании определяющей точки $x_j(\ell, I_{об}, \Delta u)$ в пространстве сведена к блужданию ее проекции $x_j(\ell)$ на прямой ρ , представляющей собой кратчайшее расстояние между наиболее удаленной определяющей точкой в начальный момент эксплуатации вентилях и границей области отказов $\Phi_2(\ell, I_{об}, \Delta u) = 0$ т.е.

$$\rho = \begin{cases} \inf |x_j(\ell, I\alpha, \Delta u) - \tilde{x}_j(\ell, I\alpha, \Delta u)| & \text{если } x_j(\ell, I\alpha, \Delta u) \in S_1 \cup S_0 \\ 0, & \text{если } x_j(\ell, I\alpha, \Delta u) \in S_2 \end{cases}$$

Отрезок $[0, \rho]$ разбит на \mathcal{N} уровней и непрерывный процесс смены состояний полупроводникового вентиля рассмотрен как дискретный процесс смены уровней проекцией определяющей точки (рис. I).

Достижение определяющей точкой предельного уровня \mathcal{N} характеризует постепенный отказ вентиля. Отказы вентилей, не зависящие от пробега и места расположения определяющей точек в областях S_1, S_0 отнесены к внезапным отказам. Вероятность отказа вентиля с учетом видов отказов определяется выражением:

$$F_i(\ell) = F_{vi}(\ell) + F_{ni}(\ell) \quad (2)$$

где: $F_{vi}(\ell), F_{ni}(\ell)$ — вероятности соответственно внезапного и постепенного отказов полупроводникового вентиля, проекция определяющей точки которого находится на i -том уровне.

Вероятность постепенного отказа может быть определена с помощью вероятности $P_i(\ell)$, где под $P_i(\ell)$ понимается вероятность того, что в момент ℓ точка $x_j(\ell)$ находится на i -том уровне. Для $P_i(\ell)$ получена следующая система дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{P}_N(\ell) = \mu_{N-1} P_{N-1}(\ell); \\ \dots \dots \dots \\ \dot{P}_i(\ell) = -[\lambda_i(\ell) + \mu_i(\ell)] P_i(\ell) + \lambda_{i+1}(\ell) P_{i+1}(\ell) + \mu_{i-1}(\ell) P_{i-1}(\ell), \\ \dots \dots \dots \\ \dot{P}_0(\ell) = -\mu_0(\ell) P_0(\ell) + \lambda_1(\ell) P_1(\ell) \end{cases} \quad (3)$$

при следующих условиях

$$1) \quad \sum_{i=0}^{\infty} P_i(e) = 1 \quad ;$$

$$2) \quad \lambda_0(e) = 0 \quad ;$$

3) на предельном уровне $\lambda_N(e) = 0$ и переход из уровня N на уровень $N-1$ невозможен ;

4) процесс смены уровней проекцией определяющей точки марковский, ординарный.

В соответствии с принятыми обозначениями функция $\lambda_i(e)$ представляет собой скорость удаления $z_j(e)$ от области отказов, т.е. характеризует процесс улучшения состояния полупроводникового вентиля. Функция $\mu_i(e)$ равна скорости приближения определяющей точки к области отказов, т.е. характеризует скорость процесса старения полупроводниковых вентиляей. Если в процессе длительной эксплуатации происходит ухудшение всех контролируемых параметров полупроводниковых вентиляей $\lambda_i(e) = 0$, а $P_i(e)$ характеризуется дифференциальным уравнением

$$\dot{P}_i(e) = -\mu_i(e)P_i(e) + \mu_{i-1}(e)P_{i-1}(e)$$

Параметры системы уравнений (3) находятся из уравнения

$$\left| \frac{d\mu_i}{de_k} \cos \beta + \frac{d\lambda_i}{de_k} \cos \alpha + \frac{\partial \mu_i}{\partial e_k} \cos \gamma \right| = |\mu_i(e_k) - \lambda_i(e_k)|$$

Полученные при решении системы дифференциальных уравнений (3) вероятности $P_i(e)$ используются для определения вероятностей перехода $P_{ij}(t)$ между уровнями i и j на предельном уровне N , используются для определения интегрального закона распределения наработки на отказ полупроводникового вентиля.

Вероятность появления K отказов вентиляей выпрямительной установки с учетом внезапных и постепенных отказов определяется

$$F_n(e) = \sum_{i=0}^{n-1} P_{ki}(0) [F_{ni}(e) + Q_i(e)],$$

где: $P_{ki}(0)$ - вероятность расположения k проекций определяющих точек вентиля на i -том уровне в момент $e = 0$;

$Q_i(e)$ - вероятность внезапного отказа вентиля, определяющая точка которого расположена на i -том уровне.

Среднее количество отказов вентиля выпрямительной установки определяется:

$$H(e) = \sum_{i=0}^{n-1} m_i(0) [F_{ni}(e) + Q_i(e)], \quad (4)$$

где $m_i(0)$ - среднее количество проекций определяющих точек на i -том уровне.

Величина $m_i(0)$ найдена при рассмотрении статистического распределения проекций определяющих точек по зонам. Зоной названа часть плоскости Γ от O до M , расположенная между смежными уровнями. Исследования показали, что статистические распределения проекций определяющих точек вентиля могут быть аппроксимированы кривыми Пирсона, гамма распределением или распределением Вейбулла-Гнеденко. К примеру, распределение по зонам проекций определяющих точек вентиля выпрямительных установок пассажирских электровозов (рис.8) аппроксимированы функцией

$$f(i) = \begin{cases} \frac{\lambda_2}{\Gamma_2} \exp \left[- \frac{\exp \lambda_2 e^{\lambda_2}}{\lambda_2} + (\lambda_2 - 1) e^{\lambda_2} \right], & i \geq 0; \\ 0, & i < 0 \end{cases}$$

где: λ_2, Γ_2 - параметры распределения Вейбулла-Гнеденко.

Проведенные в работе исследования распределения проекций определяющих точек свидетельствуют, что параметры распределения претерпевают изменения по мере увеличения пробега, а также в

случае замены части вентилях при ремонтах. С увеличением пробега модальное значения дифференциальной функции распределения уменьшается и смещается в направлении предельного уровня (рис.3). Количественная оценка деформации функции $f(i, l)$ характеризуется параметрами γ_2 и β_2 , зависимости которых от пробега аппроксимированы линейными функциями

$$\beta_2(l) = a_2 l + b_3,$$

$$\gamma_2(l) = \alpha_4 - a_3 l,$$

где a_2, a_3, b_3, α_4 - постоянные аппроксимации.

Производимая при плановых ремонтах замена части вентилях приводит к уменьшению количества проекций определяющих точек в зонах, прилегающих к области отказов и увеличению их количества в начальных зонах. При этом параметры дифференциальной функции распределения в определенной степени восстанавливают первоначальные значения. Степень восстановления параметров зависит от процента заменяемых полупроводниковых вентилях и допусков на их параметры.

Степень восстановления подсистемы полупроводниковых вентилях оценивается коэффициентом M , равным количеству зон, в которых находятся проекции определяющих точек заменяемых вентилях. Установлено, что при определенных значениях коэффициентов степени восстановления статистические распределения, отличаясь параметрами, подчиняются одному и тому же закону распределения. Замена части вентилях выпрямительной установки приводит к скачкообразному изменению параметров распределений. Например, в случае распределения проекций определяющих точек по закону Вейбулла-Гнеденко, замена части вентилях приводит к уменьшению параметра

$$\beta_2(l) \text{ на величину } \Delta_2 \text{ и увеличению } \gamma_2(l) \text{ на величину } \Delta_3$$

(рис. 4) . В работе приведены обоснования приемлемости следующих выражений для описания параметров распределения:

$$\tilde{\beta}_2(e) = \beta_2(e) - \Delta_2 \left[\frac{e}{\tau} \right], \quad (5)$$

$$\tilde{\gamma}_2(e) = \gamma_2(e) + \Delta_3 \left[\frac{e}{\tau} \right] \quad (6)$$

где $\left[\frac{e}{\tau} \right]$ - целая часть отношения $\frac{e}{\tau}$.

Для $\tilde{\beta}_2(e)$ и $\tilde{\gamma}_2(e)$ найдены оценки сверху $\bar{\beta}_2(e)$, $\bar{\gamma}_2(e)$ и снизу $\underline{\beta}_2(e)$, $\underline{\gamma}_2(e)$, а также приближенные зависимости

$$\beta_{2cp}(e) = \frac{\bar{\beta}_2(e) + \underline{\beta}_2(e)}{2} = a_2(1 - v_1)e + b_3 + \frac{a_2 \tau v_1}{2};$$

$$\gamma_{2cp}(e) = \frac{\bar{\gamma}_2(e) + \underline{\gamma}_2(e)}{2} = a_3(1 - v_2)e - \frac{a_3 \tau v_2}{2};$$

где $v_1 = \frac{\Delta_2}{a_2 \tau}$ - степень восстановления параметра $\beta_2(e)$;

$v_2 = \frac{\Delta_3}{a_3 \tau}$ - степень восстановления параметра $\gamma_2(e)$

В работе установлено, что параметры v_1 и v_2 являются функциями степени восстановления выпрямительных установок. На основании экспериментальных данных установлен характер функциональных зависимостей $v_1(m)$ и $v_2(m)$.

Среднее количество отказов вентилей выпрямительных установок с учетом восстановления определяется из выражения:

$$H(e, \tau, m) = S_3 \sum_{i=1}^{K_1} [F_{ni}(\tau) + Q_i(\tau)] \sum_{f=0}^{K_1-1} \Phi_i(\tau, f, m) \quad (7)$$

где f - порядковый номер периода τ

$\Phi_i(\tau, f, m)$ - вероятность расположения проекций определяющих точек в i -той зоне ;

S_3 - количество вентилей в выпрямительной установке ;

$K_1 = \frac{e}{\tau}$ - кратность межремонтных периодов.

Математическая модель ремонта для схемы действия нескольких независимых причин отказов. Проведено исследование характера изменения параметра потока отказов $w(e)$ при ремонте и рассмотрена количественная оценка степени восстановления подсистем. Установлено, что параметры потоков отказов подсистем выпрямительной установки с достаточной степенью точности могут быть аппроксимированы линейными зависимостями. Применяемая модель содержит описание характера изменения параметра потока отказов и зависимость его от периодичности и степени восстановления. Среднее количество отказов подсистемы определяется

$$H_{cp}(e) = a_0(1 - \gamma_1)e^2 + (b_0 + a_0\gamma_1)e,$$

где a_0, b_0 - постоянные аппроксимации ;

γ_1 - степень восстановления подсистемы.

В работе изложен алгоритм определения параметров модели восстановления, содержится методика нахождения отклонений и построения доверительных интервалов параметров системы ремонтов.

Вопросы исследования надежности и характера изменения параметров полупроводниковых вентилях рассмотрены во второй главе. Для выяснения зависимости прямого падения напряжения и обратного тока от пробега периодически производились замеры величин параметров вентилях типа ВК - 200, находившихся в непрерывной эксплуатации на пассажирских электровозах. Первоначальные замеры параметров производились до ввода в эксплуатацию, а последующие - после пробега 180, 390, 700 и 1090 тыс. км. и приурочивались к плановым видам ремонтов.

Для получения достоверных данных под наблюдением находилось 505 вентиляй, установленных на 32-х электровозах постоянного использования. Одновременно в течении 3-х лет велось наблюдение за изменением обратного тока запасных вентиляй. Замеры параметров производились в соответствии с техническими условиями завода изготовителя.

При обработке статистических данных на ЭВМ определялись математическое ожидание, дисперсия и доверительные интервалы значений параметров. Получены аналитические зависимости прямого падения напряжения и обратного тока от пробега:

$$\Delta \bar{U}(e) = d_2 e^{-b_1 e} \quad ;$$

$$\bar{I}_{oc}(e) = d_0 + d_1 e \quad ;$$

где b_1, d_0, d_1, d_2 - постоянные аппроксимации.

Анализ полученных данных свидетельствует, что среднее значение прямого падения напряжения вентиляй типа $VK-200$ уменьшается с увеличением пробега. Характер изменения прямого падения напряжения обусловлен тем, что контактное соединение внутренних элементов вентиля осуществлено с помощью внешнего механического прижима. Зарегистрирован различный характер изменения обратного тока отдельных вентиляй. Среднее значение обратного тока совокупности вентиляй растет с увеличением длительности эксплуатации, что свидетельствует об ухудшении их физических свойств. В период хранения происходит увеличение обратного тока вентиляй с интенсивностью $0,621 \text{ мкА/год}$.

В третьей главе исследована существующая система ремонтов и показатели надежности подсистем выпрямительных установок.

61579
При существующей системе ремонтов пассажирских электровозов профилактические осмотры и малые периодические ремонты составляют 94% годовой ремонтной программы. На долю больших периодических ремонтов приходится соответственно около 3,6% и 2,4% от общего количества ремонтов. Установлено, что большинство операций, выполняемых при профилактических осмотрах и малых периодических ремонтах, не предотвращают возникновения отказов и не способствуют восстановлению подсистем. Необоснованные демонтаж и контроль аппаратов, монтажных соединений приводит к отказу подсистем. Наряду с этим на профилактические осмотры и малые периодические ремонты приходится 63,8% от общих затрат на ремонт выпрямительных установок. На долю больших периодических и подъемочных ремонтов приходится соответственно 17,6% и 18% указанной суммы, однако не все операции этих видов ремонта способствуют эффективному восстановлению работоспособности подсистем. Установлено, что существующая технология проверки вентиля и их защиты разработана применительно к вентилям оплавной конструкции и не учитывает конструктивных особенностей выпрямительных установок пассажирских электровозов. Кроме того, замеры величины обратного тока диодов и вентиля осуществляются при температуре корпуса, равной температуре окружающего воздуха, что не способствует их качественной проверке. Отмечены следующие причины, ухудшающие работоспособность и завышающие ее стоимость ремонтов:

недостаточная степень восстановления подсистем при нарушении водниковых вентилях.

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА
Дніпропетровського національного
заповідника історії та культури
університету залізничного транспорту
Імені академіка В.Лазаряна

новых ремонтах;

чрезмерно частые осмотры, которые приводят к нарушению целостности монтажных соединений, креплений и регулировки аппаратов;

несовершенство методики и технических средств диагностики состояния системы ;

отсутствие в ряде случаев технологических разработок с конкретным указанием перечня ремонтных операций;

включение в перечень объектов, подвергаемых восстановлению при плановых ремонтах, элементов, имеющих экспоненциальное распределение времени безотказной работы.

Все это явилось причиной того, что уровень надежности выпрямительных установок в интервале оперативного пробега ($Y = 1,2 \cdot 10^8$ км) равен 0,979 , что недостаточно для обеспечения графика движения пассажирских поездов конкретного участка сети дорог. Наиболее низкую надежность имеют устройства безопасности и полупроводниковые вентили.

Из сказанного следует, что при существующей системе ремонтов, несмотря на большие ремонтные затраты, занижена эксплуатационная надежность и недоиспользуется производительность выпрямительных установок. Ремонт подсистем выпрямительных установок необходимо производить с учетом характера изменения параметров и в зависимости от состояния элементов.

Вопросы определения ресурса и рациональной системы проверки параметров вентилях рассмотрены в главе четвертой. Предложен алгоритм определения параметров модели процесса изменения состояния вентилях и проиллюстрировано применение его при определении

параметров модели процесса старения вентилях пассажирских электропоездов. Построена доверительная полоса разброса проекций определяющих точек на плоскости $L_{0.0.4.2}$. Границы полосы приняты границами областей исправной работы, промежуточной области и области отказов. На основании данных о расположении проекций конечных точек траекторий установлено, что плоскости

$$S_1(e, \Delta L_{0.0.4.2}, \Delta u) = 0 \text{ и } S_2(e, \Delta L_{0.0.4.2}, \Delta u) \text{ параллельны плоскости } L_{0.0.4.2}$$

Найдена вероятность внезапного отказа вентиля, проекция определяющей точки которого находится в i -той зоне:

$$Q_i(e) = 1 - e^{-\lambda(i)e}$$

где $\lambda(i)$ — интенсивность внезапных отказов вентилях, проекции определяющих точек которых находятся в i -той зоне.

Зависимость интенсивности внезапных отказов вентилях типа ВК-200 от номерации зон имеет следующий вид:

$$\lambda(i) = b_2 t^2 + d_3 i,$$

где b_2, d_3 — постоянные аппроксимации.

Построен алгоритм минимизации целевой функции (1) с учетом функции восстановления (7). В основу алгоритма оптимизации положен принцип оптимальности Р. Беллмана.

На ЦВМ "Минск-22" реализована программа, позволяющая проводить исследование процесса восстановления подсистемы полупроводниковых вентилях. Задача решена в нескольких вариантах с учетом ограничений со стороны узлов, лимитирующих межремонтные пробеги, а также при отсутствии ограничений.

Исследованы случаи, когда на систему ремонтов наложены ограничения по обеспечению в эксплуатации определенного уровня надежности. Полученные результаты свидетельствуют, что при восстановлении подсистемы оптимальное значение степени восстановления $M=1$. Оптимальная периодичность проверки параметров вентилей составляет величину, равную 0,66 млн. км, при отсутствии ограничений со стороны других узлов электровоза, и 0,72 млн. км с учетом ограничений со стороны узлов, лимитирующих межремонтные пробеги. Оптимальная величина ресурса подсистемы составила величину, равную 5,94 млн. км. Оптимальный уровень надежности подсистемы в интервале $y = 1,2 \cdot 10^5$ км равен 0,9951. Получен набор значений ξ , ϵ и M необходимых для поддержания значений вероятности безотказной работы, заключенных в интервале $0,99 + 0,999$.

Установлено, что предельная величина обратного тока вентилей типа VK-200 равна $2,5 \text{ мА}$ при $T=140^\circ\text{C}$ и номинальном обратном напряжении. Отбраковку вентилей следует производить при значении обратного тока, заключенном в интервале $2,3 + 2,5 \text{ мА}$.

В главе пятой производится расчет рациональной системы ремонтов выпрямительных установок. На примере пассажирских электровозов проиллюстрировано применение математической модели ремонта подсистем при схеме действия нескольких независимых причин отказов. Проведенные исследования свидетельствуют, что интенсивность отказов элементов защиты полупроводниковых вентилей от коммутационных перенапряжений является постоянной величиной. Ремонт подсистемы следует производить по фактическому состоянию.

При минимизации целевой функции суммарных удельных затрат получены результаты, которые позволили определить оптимальный уровень вероятности безотказной работы защитной и сигнальной аппаратуры, мотор-вентиляторов системы охлаждения и устройств безопасности выпрямительных установок, который в интервале оперативного пробега $y = 1,2 \cdot 10^3$ км равен 0,975. Получены оценки математических ожиданий межремонтных периодов полного и частичного восстановлений подсистем, а также их доверительные интервалы, соответствующие доверительной вероятности $\beta = 0,95$.

При построении структуры ремонтного цикла рассмотрены такие периодичности ремонта подсистем, значения которых кратны и лежат в доверительных интервалах оценок τ_i, ℓ_i . Рассмотрено несколько вариантов системы ремонтов, среди которых минимальные удельные затраты имеют место при значениях параметров, приведенных в таблице 1 (при отсутствии ограничений со стороны лимитирующих межремонтные пробеги узлов) и таблице 2 (с учетом ограничений).

Таблица 1

Наименование подсистем	τ_i млн. км	ℓ_i млн. км	Степень восста- новления	α_i ($y=1,2$ млн. км)	γ руб. млн. км
Полупроводниковые вентили	0,66	5,94	1,0	0,9951	2435,1
Мотор - вентиляторы	0,33	1,98	0,63	0,9982	229
Защитная и сигнальная аппаратура	0,33	1,32	0,362	0,9976	143,3
Устройства безопасности и пр.	0,033	0,165	0,853	0,9954	332,5
Выпрямительная установка (в целом)				0,986	3144,9

Таблица 2

Наименование подсистем	a_i млн. км	b_i млн. км	Степень восстановления	α_i ($y = 1,2$ млн. км)	\bar{x}_i руб. млн. км
Полупроводниковые вентили	0,72	5,76	1,0	0,9942	2550,1
Мотор-вентиляторы	0,36	2,16	0,63	0,9981	212
Защитная и сигнальная аппаратура	0,36	1,44	0,362	0,997	136,1
Устройства безопасности и пр.	0,036	0,18	0,853	0,9946	315
Выпрямительная установка (в целом)				0,984	3213,2

Оценка экономической эффективности от внедрения результатов исследования производилась по калькуляции затрат на плановые ремонты пассажирских электровозов за 1974 год в соответствии с типовой методикой. Из расчетов следует, что при предлагаемой системе ремонтов достигается экономия расходов на деповский ремонт выпрямительных установок пассажирских электровозов в сумме 1330 руб. / млн. км. Наряду с этим, за счет изменения периодичности и степени восстановления подсистем достигается увеличение вероятности безотказной работы выпрямительной установки в интервале $y = 1,2$ млн. км от значения 0,979 до 0,986.

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

I. Установлено, что уровень безотказной работы выпрямительных установок при существующей системе ремонтов составляет 0,979, что не соответствует предъявляемым требованиям. Средством повышения надежности и снижения эксплуатационных затрат является

разработка научно обоснованной и экономически оправданной системы ремонтов.

2. Получены аналитические выражения для определения рациональных параметров системы ремонтов выпрямительных установок с учетом различных схем возникновения отказов подсистем.

3. Разработан алгоритм определения параметров системы ремонтов, обеспечивающих поддержание в эксплуатации рационального или заданного ~~в эксплуатации~~ уровня надежности выпрямительных установок.

4. Разработан метод определения предельных значений дозудов на параметры вентиляй выпрямительных установок, которыми следует руководствоваться при их замене.

5. Установлена функциональная зависимость обратного тока и прямых потерь полупроводниковых вентиляй типа ВК-200 от длительности эксплуатации.

6. Установлено, что конструкция соединения внутренних элементов вентиляй с помощью внешних механических примимов целесообразней сплавной конструкции, так как при этом обеспечивается снижение прямых потерь вентиляй.

7. В период хранения происходит монотонное увеличение обратного тока вентиляй с интенсивностью $0,62I_{\text{мкА}}/\text{год}$.

8. Расчетный ресурс выпрямительной установки пассажирского электровоза составляет 5,94 млн.км. За этот период возможна замена 84,5% вентиляй.

9. Экономия средств на содержание выпрямительных установок пассажирских электровозов при внедрении предлагаемой системы ремонтов составит 1330 руб./млн.км.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах

1. Дроздов А.А. , Дубравин Ю.Ф., Золотарев В.С., Слободской Л.А. Обслуживание электровоза ЧС-4 , Киев, 1968.
2. Дроздов А.А., Дубравин Ю.Ф., Яковлев В.А. Электрическая схема электровоза ЧС-4 , Киев, 1970.
3. Боков А.А., Дроздов А.А., Дубравин Ю.Ф., Курасов Д.А. Основы расчета рациональной периодичности ремонта электроподвижного состава. Труды ДИИТа, вып.134. Днепропетровск, 1972.
4. Дубравин Ю.Ф. Эксплуатационная надежность узлов пассажирских электровозов переменного тока. Труды ДИИТа, вып.134. Днепропетровск, 1972 .
5. Дубравин Ю.Ф. Повышение эффективности использования ползцов токоприемников с угольными вставками при высоких скоростях движения. Труды ДИИТа, вып.134. Днепропетровск, 1972.
6. Дубравин Ю.Ф. Экспериментальное исследование некоторых моделей ремонта электроподвижного состава. Депонированная рукопись ЦНИИТЭИ МПС № II 885-73, 1973.
7. Дубравин Ю.Ф. Совершенствуем периодический ремонт электровозов ЧС-4. Электрическая и тепловозная тяга , № 5, из-во Транспорт, 1974.

Диссертационная работа докладывалась, обсуждалась:

- на ремонтной конференции работников пунктов технического осмотра Юго-Западной железной дороги. Киев, 1970 г.
- на Второй заводской технической конференции по качеству, надежности и долговечности промышленных электровозов, Днепропетровск, 1971 г.
- на заседании кафедры ЭПС Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта, Днепропетровск, 1971 г.
- на заседании кафедры ЭПС Ростовского института инженеров железнодорожного транспорта, Ростов, 1972 г.

- на заседании локомотивной секции ДорНТО Юго-Западной железной дороги, Киев, 1974г.

- на заседании Президиума ДорНТО Юго-Западной железной дороги, Киев, 1974г.

- на объединенном семинаре кафедр ЭК и электрических машин ДИИТа, Днепропетровск, 1975г.

- на расширенном заседании научно-технического семинара кафедры "Электрическая тяга", МИИТа, Москва, 1975г.

НТБ
ДНУЖТ

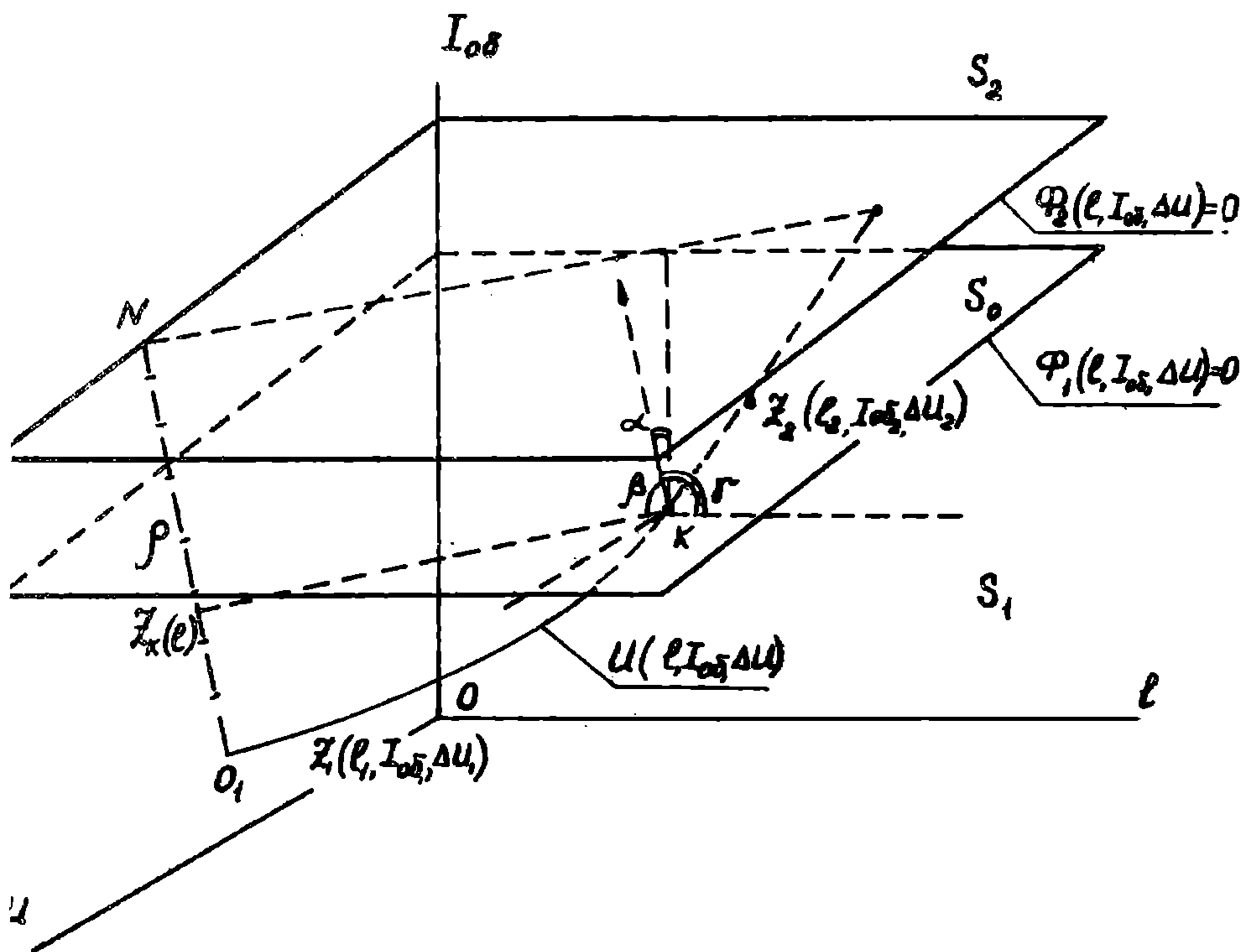


Рис. 1. Геометрическая интерпретация модели возникновения постепенного отказа полупроводникового вентиля при наличии двух прогнозирующих параметров.

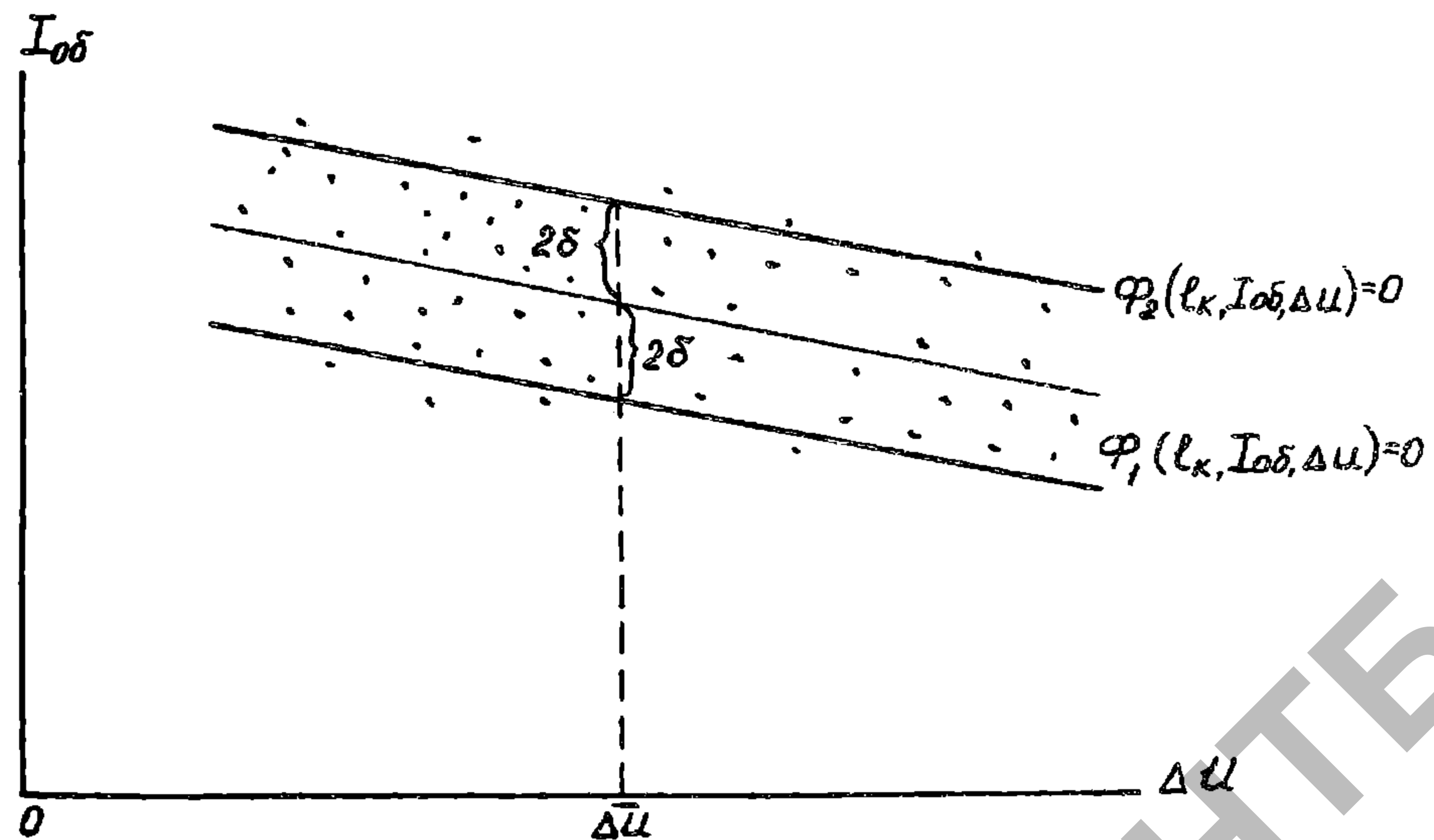


Рис. 2. Определение проекций границ области отказов и области нормальной работы, соответствующих моменту $\ell = \ell_{\text{н}}$

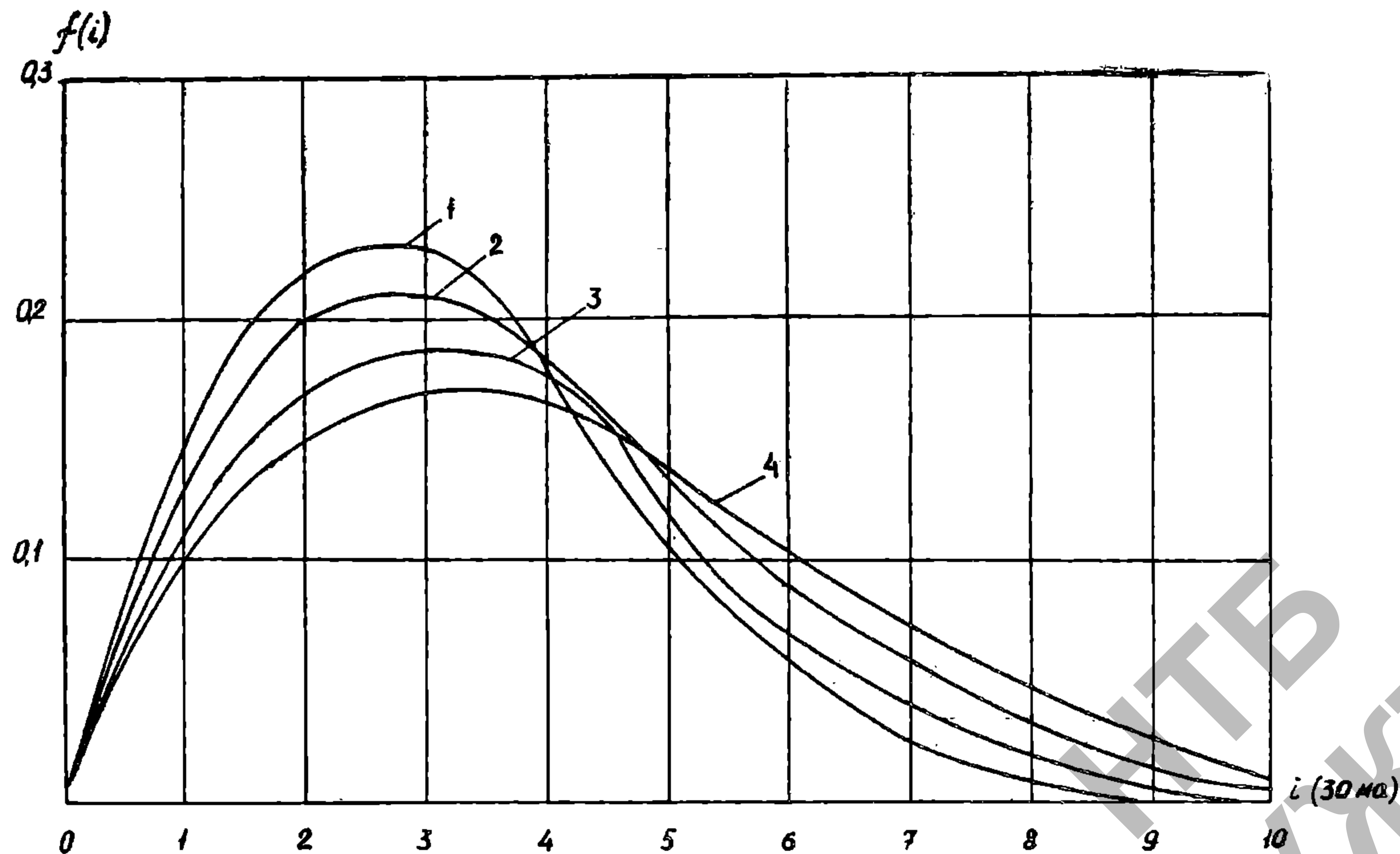


Рис. 3 Распределение определяющих точек полупроводниковых
 вентилях выпрямительных установок по зонам после пробегов 180 тыс. км /кривая 1/,
 390 тыс. км /кривая 2/, 700 тыс. км /кривая 3/, и 1090 тыс. км /кривая 4/.

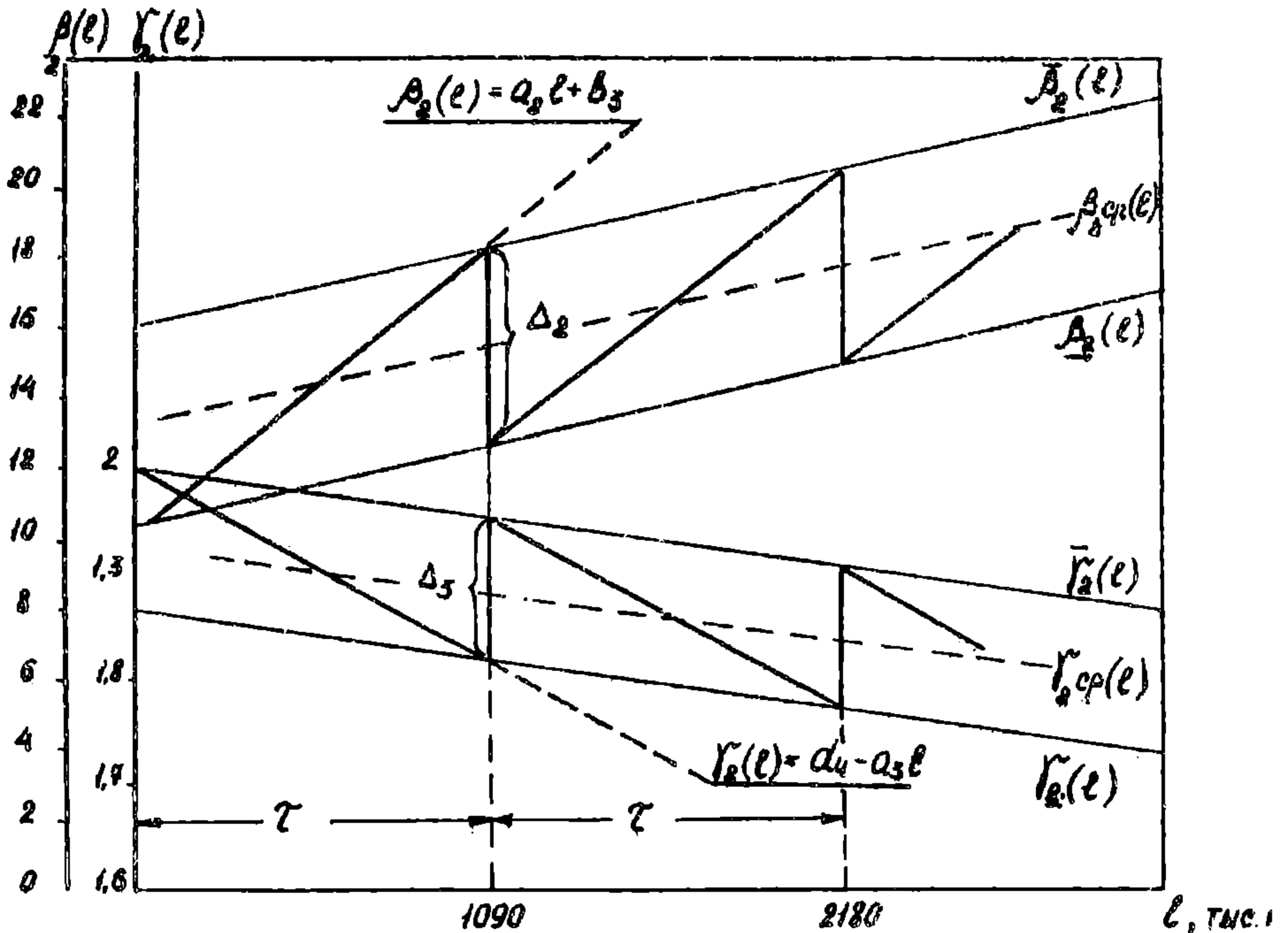


Рис. 4. Зависимость параметров распределения Вейбулла-Гнedenко от длительности эксплуатации вентилях выпрямительных установок электровозов серии ЧС-4 при замене части вентилях после пробега τ