

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
СОЮЗА ССР

НАДЕЖНОСТЬ В ТЕХНИКЕ

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НАГРУЖЕННОСТИ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

МЕТОДЫ ТИПИЗАЦИИ РЕЖИМОВ НАГРУЖЕНИЯ

ГОСТ 23605—79

Издание официальное

Цена 5 коп.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ
Москва

gost.e-ecolog.ru

РАЗРАБОТАН Государственным комитетом СССР по стандартам

ИСПОЛНИТЕЛИ

В. И. Перепонов, канд. техн. наук; **Ш. С. Нурханов,** канд. техн. наук; **С. М. Порицкий; А. В. Смирнова; А. И. Сальников**

ВНЕСЕН Государственным комитетом СССР по стандартам

Член Госстандарта **Б. Н. Лямин**

УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 26 апреля 1979 г. № 1572

УДК 621—192:006.354 Группа Т51

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР

Надежность в технике.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НАГРУЖЕННОСТИ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

Методы типизации режимов нагружения

Reliability in technique. Estimator of the loading of machines and mechanisms. Methods of the typing of loading regimes

ГОСТ 23605—79

Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 26 апреля 1979 г. № 1572 срок введения установлен с 01.01. 1980 г.

Настоящий стандарт устанавливает применяемые в науке, технике и производстве методы типизации режимов нагружения машин и механизмов, как динамических систем, с целью статистической оценки их нагруженности.

В развитие настоящего стандарта разрабатывают отраслевую нормативно-техническую документацию по методам типизации режимов нагружения машин и механизмов, отражающую специфические особенности режимов нагружения машин и механизмов.

Термины и определения методов типизации режимов нагружения машин и механизмов приведены в рекомендуемом приложении 1.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Типизация режимов нагружения должна быть основана на структуре режимов нагружения.

1.2. В зависимости от информативных признаков режимов нагружения методы типизации подразделяются следующим образом:

вероятностный (основан на априорных данных);

статистический (основан на результатах эксперимента);

вероятностно-статистический (основан на априорных данных и результатах эксперимента);

детерминированный (основан на детерминистическом принципе).

Издание официальное ★ **Перепечатка воспрещена**

© Издательство стандартов, 1979

1.3. Типизация режимов нагружения машин и механизмов включает следующие этапы:

выявление структуры режима нагружения;

выявление свойства режима нагружения;

выбор метода типизации;

выбор математической модели.

Пример типизации режима нагружения приведен в справочном приложении 2.

2. СТРУКТУРА РЕЖИМОВ НАГРУЖЕНИЯ

2.1. Структура режимов нагружения определяется по их характеру приложения, протекания и виду:

по характеру приложения — сосредоточенные (временные) и распределенные (пространственно-временные);

по характеру протекания — импульсные (конечной продолжительности или мгновенные), ступенчатые, непрерывные, комбинированные;

по виду — случайные и детерминированные.

3. СВОЙСТВА РЕЖИМОВ НАГРУЖЕНИЯ

3.1. По характеру изменения совокупности безразмерных параметров во времени и информированности о них режимы нагружения относятся к стационарным и нестационарным видам случайных или периодическим и непериодическим видам детерминированных процессов.

3.2. По сопоставимости значений статистических безразмерных параметров, полученных усреднением по множеству реализаций и усреднением реализаций по времени, режимы нагружения относятся к эргодическим и неэргодическим случайным процессам.

4. ВЫБОР МЕТОДА ТИПИЗАЦИИ РЕЖИМОВ НАГРУЖЕНИЯ

4.1. Выбор метода типизации производится в зависимости от полноты информативных признаков режима нагружения, конструктивных особенностей, условий эксплуатации машин и механизмов и оценки характеристик надежности.

4.1.1. При заранее известных вероятностных характеристиках режима нагружения следует применять вероятностный метод типизации.

4.1.2. При неизвестных вероятностных характеристиках режима нагружения, свойств конструкций и условий эксплуатации следует применять статистический метод типизации.

4.1.3. При частично известных вероятностных характеристиках

режима нагружения следует применять вероятностно-статистический метод типизации.

4.1.4. При полностью определенных закономерностях протекания режимов нагружения, которые можно описать функциональными зависимостями, следует применять детерминированный метод типизации.

5. ВЫБОР МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РЕЖИМОВ НАГРУЖЕНИЯ

5.1. Выбор математических моделей режимов нагружения производится в зависимости от классификационных признаков режимов и выбранного метода типизации.

5.1.1. При вероятностном методе типизации следует применять вероятностные модели режимов нагружения.

5.1.1.1. Сосредоточенные случайные режимы нагружения должны быть описаны следующими математическими моделями:

для импульсных (конечной продолжительности) и ступенчатых

$$X(t)=q(t)\sum_{k=1}^{r} f_k(t-T_k); \qquad X(t)=\sum_{k=1}^{r} q_k\cdot f_k(t-T_k);$$

$$X(t)=Q(t)\sum_{k=1}^{r} f_k(t-t_k); \qquad X(t)=\sum_{k=1}^{r} Q_k\cdot f_k(t-t_k);$$

$$X(t)=Q(t)\sum_{k=1}^{r} f_k(t-T_k); \qquad X(t)=\sum_{k=1}^{r} Q_k\cdot f_k(t-T_k);$$

для непрерывных

$$X(t)=Q(t)\sum_{k=1}^{r} f_k(t);$$

$$X(t)=\sum_{k=1}^{r} Q_k\cdot f_k(t),$$

где $X(t)$ — сосредоточенный случайный режим нагружения;

$q(t)$ — непрерывная детерминированная вещественная модулирующая функция времени;

q_k — детерминированные вещественные величины амплитуд импульсной или ступенчатой последовательности, или непрерывных функций времени;

Q_k — случайные величины амплитуд импульсной или ступенчатой последовательности, или непрерывных функций времени;

$Q(t)$ — непрерывная случайная модулирующая функция времени;

$f_k(t-t_k)$ — нормированные детерминированные функции времени импульсной (конечной продолжительности) или

ступенчатой последовательности с детерминированными моментами появления t_k;

$f_k(t-T_k)$ — нормированные детерминированные функции времени импульсной (конечной продолжительности) или ступенчатой последовательности со случайными моментами появления T_k.

5.1.1.2. Распределенные случайные режимы нагружения должны быть описаны следующими математическими моделями:

для импульсных (конечной продолжительности) и ступенчатых

$$X(l,t)=q(l,t)\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r}f_k(t-T_k)\cdot f_\nu(l-l_\nu);$$

$$X(l,t)=\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r}q_{\nu k}f_k(t-T_k)\cdot f_\nu(l-l_\nu);$$

$$X(l,t)=q(l,t)\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r}f_k(t-t_k)\cdot f_\nu(l-L_\nu);$$

$$X(l,t)=\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r}q_{\nu k}\cdot f_k(t-t_k)\cdot f_\nu(l-L_\nu);$$

$$X(l,t)=q(l,t)\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r}f_k(t-T_k)\cdot f_\nu(l-L_\nu);$$

$$X(l,t)=\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r}q_{\nu k}\cdot f_k(t-T_k)\cdot f_\nu(l-L_\nu);$$

$$X(l,t)=Q(l,t)\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r}f_k(t-T_k)\cdot f_\nu(l-l_\nu);$$

$$X(l,t)=\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r}Q_{\nu k}\cdot f_k(t-T_k)\cdot f_\nu(l-l_\nu);$$

$$X(l,t)=Q(l,t)\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r}f_k(t-t_k)\cdot f_\nu(l-L_\nu);$$

$$X(l,t)=\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r}Q_{\nu k}\cdot f_k(t-t_k)\cdot f_\nu(l-L_\nu);$$

$$X(l,t)=Q(l,t)\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r}f_k(t-T_k)\cdot f_\nu(l-L_\nu);$$

$$X(l,t)=\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r}Q_{\nu k}\cdot f_k(t-T_k)\cdot f_\nu(l-L_\nu);$$

для непрерывных

$$X(l,t)=Q(l,t)\cdot\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r}f_k(t)\cdot f_\nu(l);$$

$$X(l,t)=\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r}Q_{\nu k}\cdot f_k(t)\cdot f_\nu(l),$$

где $X(l, t)$ — распределенный случайный режим нагружения;

$q(l, t)$ — непрерывная детерминированная вещественная модулирующая функция времени и пространственной координаты;

$q_{\nu k}$ — детерминированные вещественные величины амплитуд импульсной или ступенчатой последовательности, или непрерывных функций времени и пространственной координаты;

$Q(l, t)$ — непрерывная случайная модулирующая функция времени и пространственной координаты;

$Q_{\nu k}$ — случайные величины амплитуд импульсной или ступенчатой последовательности, или непрерывных функций времени и пространственной координаты с законами распределения, не зависящие от момента их появления;

$\mathring{f}_{\nu}(l-l_{\nu})$ — нормированные детерминированные функции пространственной координаты импульсной или ступенчатой последовательности с детерминированными моментами появления l_{ν};

$\mathring{f}_{\nu}(l-L_{\nu})$ — нормированные детерминированные функции пространственной координаты импульсной или ступенчатой последовательности со случайными моментами появления L_{ν}.

5.1.2. При статистическом методе типизации следует применять статистические модели режимов нагружения.

5.1.2.1. Сосредоточенные случайные режимы нагружения должны быть описаны следующими математическими моделями:

для импульсных (конечной продолжительности) и ступенчатых

$$X(t)=\sum_{k=1}^{r} q_k(t)\cdot f_k(t-T_k); \qquad X(t)=\sum_{k=1}^{r} q(k)\cdot f_k(t-T_k);$$

$$X(t)=\sum_{k=1}^{r} Q_k(t)\cdot f_k(t-t_k); \qquad X(t)=\sum_{k=1}^{r} Q(k)\cdot f_k(t-t_k);$$

$$X(t)=\sum_{k=1}^{r} Q_k(t)\cdot f_k(t-T_k); \qquad X(t)=\sum_{k=1}^{r} Q(k)\cdot f_k(t-T_k);$$

для непрерывных

$$X(t)=\sum_{k=1}^{r} Q_k(t)\cdot f_k(t);$$

$$X(t)=\sum_{k=1}^{r} Q(k)\cdot f_k(t),$$

где $q(k)$ — конечные множества детерминированных вещественных величин амплитуд импульсной или ступенчатой последовательности, или непрерывных функций времени;

$q_k(t)$ — непрерывные детерминированные вещественные модулирующие функции времени;

$Q(k)$ — конечные множества случайных величин амплитуд импульсной или ступенчатой последовательности, или непрерывных функций времени;

$Q_k(t)$ — непрерывные случайные модулирующие функции времени.

5.1.2.2. Распределенные случайные режимы нагружения должны быть описаны следующими математическими моделями:

для импульсных (конечной продолжительности) и ступенчатых

$$X(l,t)=\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r} q_{\nu k}(l,t)\cdot f_k(t-T_k)\cdot f_\nu(l-l_\nu);$$

$$X(l,t)=\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r} q(\nu,k)\cdot f_k(t-T_k)\cdot f_\nu(l-l_\nu);$$

$$X(l,t)=\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r} q_{\nu k}(l,t)\cdot f_k(t-t_k)\cdot f_\nu(l-L_\nu);$$

$$X(l,t)=\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r} q(\nu,k)\cdot f_k(t-t_k)\cdot f_\nu(l-L_\nu);$$

$$X(l,t)=\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r} q_{\nu k}(l,t)\cdot f_k(t-T_k)\cdot f_\nu(l-L_\nu);$$

$$X(l,t)=\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r} q(\nu,k)\cdot f_k(t-T_k)\cdot f_\nu(l-L_\nu);$$

$$X(l,t)=\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r} Q_{\nu k}(l,t)\cdot f_k(t-T_k)\cdot f_\nu(l-l_\nu);$$

$$X(l,t)=\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r} Q(\nu,k)\cdot f_k(t-T_k)\cdot f_\nu(l-l_\nu);$$

$$X(l,t)=\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r} Q_{\nu k}(l,t)\cdot f_k(t-t_k)\cdot f_\nu(l-L_\nu);$$

$$X(l,t)=\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r} Q(\nu,k)\cdot f_k(t-t_k)\cdot f_\nu(l-L_\nu);$$

$$X(l,t)=\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r} Q_{\nu k}(l,t)\cdot f_k(t-T_k)\cdot f_\nu(l-L_\nu);$$

$$X(l,t)=\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r} Q(\nu,k)\cdot f_k(t-T_k)\cdot f_\nu(l-L_\nu);$$

для непрерывных

$$X(l,t)=\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r} Q_{\nu k}(l,t)\cdot f_k(t)\cdot f_\nu(l);$$

$$X(l,t)=\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r} Q(\nu,k)\cdot f_k(t)\cdot f_\nu(l),$$

где $q(\nu, k)$ — конечные множества детерминированных вещественных величин амплитуд импульсной или ступенчатой последовательности, или непрерывных функций времени и пространственной координаты;

$q_{\nu k}(l, t)$ — непрерывные детерминированные вещественные модулирующие функции времени и пространственной координаты;

$Q(\nu, k)$ — конечные множества случайных величин амплитуд импульсной или ступенчатой последовательности, или непрерывных функций времени и пространственной координаты;

$Q_{\nu k}(l, t)$ — непрерывные случайные модулирующие функции времени и пространственной координаты.

5.1.3. При вероятностно-статистическом методе типизации следует применять вероятностно-статистические модели режимов нагружения, построенные на априорных данных и результатах эксперимента с использованием вероятностных (п. 5.1.1) и статистических (п. 5.1.2) моделей.

5.1.4. При детерминированном методе типизации следует применять детерминированные модели режимов нагружения.

5.1.4.1. Сосредоточенные детерминированные режимы нагружения должны быть описаны следующими математическими моделями:

для импульсных (конечной продолжительности) и ступенчатых

$$x(t)=q(t)\sum_{k=1}^{r} f_k(t-t_k);$$

$$x(t)=\sum_{k=1}^{r} q_k(t)\cdot f_k(t-t_k);$$

$$x(t)=\sum_{k=1}^{r} q_k\cdot f_k(t-t_k);$$

для непрерывных

$$x(t)=q(t)\sum_{k=1}^{r} f_k(t);$$

$$x(t)=\sum_{k=1}^{r} q_k(t)\cdot f_k(t);$$

$$x(t)=\sum_{k=1}^{r} q_k\cdot f_k(t).$$

5.1.4.2. Распределенные детерминированные режимы нагружения должны быть описаны следующими математическими моделями:

для импульсных (конечной продолжительности) и ступенчатых

$$x(l,t)=q(l,t)\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r}f_k(t-t_k)\cdot f_\nu(l-l_\nu);$$

$$x(l,t)=\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r}q_{\nu k}(l,t)\cdot f_k(t-t_k)\cdot f_\nu(l-l_\nu);$$

$$x(l,t)=\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r}q_{\nu k}\cdot f_k(t-t_k)\cdot f_\nu(l-l_\nu);$$

для непрерывных

$$x(l,t)=q(l,t)\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r}f_k(t)\cdot f_\nu(l);$$

$$x(l,t)=\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r}q_{\nu k}(l,t)\cdot f_k(t)\cdot f_\nu(l);$$

$$x(l,t)=\sum_{\nu=1}^{d}\sum_{k=1}^{r}q_{\nu k}\cdot f_k(t)\cdot f_\nu(l).$$

5.1.5. Для импульсных (конечной продолжительности) режимов нагружения с детерминированными t_{u_k}, l_{u_ν} или со случайными T_{u_k}, L_{u_ν} продолжительностями импульсов следует применять математические модели, используемые при описании импульсных (конечной продолжительности) режимов (пп. 5.1.1—5.1.4), в которых выражения (не учитывающие явным образом изменения продолжительности импульсов) $f_k(t-t_k)$, $f_k(t-T_k)$ или $f_\nu(l-l_\nu)$, $f_\nu(l-L_\nu)$ под знаком суммы должны быть заменены выражениями (позволяющими учесть изменения продолжительности импульсов) соответственно $f_k\left(\frac{t-t_k}{t_{u_k}}\right)$, $f_k\left(\frac{t-T_k}{t_{u_k}}\right)$ и $f_\nu\left(\frac{l-l_\nu}{l_{u_\nu}}\right)$, $f_\nu\left(\frac{l-L_\nu}{l_{u_\nu}}\right)$ или $f_k\left(\frac{t-t_k}{T_{u_k}}\right)$, $f_k\left(\frac{t-T_k}{T_{u_k}}\right)$ и $f_\nu\left(\frac{l-l_\nu}{L_{u_\nu}}\right)$, $f_\nu\left(\frac{l-L_\nu}{L_{u_\nu}}\right)$, где $f_k\left(\frac{t-t_k}{t_{u_k}}\right)$, $f_k\left(\frac{t-T_k}{t_{u_k}}\right)$ — нормированные детерминированные функции времени импульсной последовательности с детерминированными продолжительностями t_{u_k} импульсов и детерминированными t_k или случайными T_k моментами их появления; $f_k\left(\frac{t-t_k}{T_{u_k}}\right)$, $f_k\left(\frac{t-T_k}{T_{u_k}}\right)$ — нормированные детерминированные функции времени импульсной последовательности со случайными продолжительностями T_{u_k} импульсов и детерминированными t_k или случайными T_k моментами их появления; $f_\nu\left(\frac{l-l_\nu}{l_{u_\nu}}\right)$, $f_\nu\left(\frac{l-L_\nu}{l_{u_\nu}}\right)$ — нормированные детерминированные функции пространственной координаты импульсной последовательности с детерминированны-

ми продолжительностями l_{u_ν} импульсов и детерминированными l_ν или случайными L_ν моментами их появления; $f_\nu\left(\frac{l-l_\nu}{L_{u_\nu}}\right)$, $f_\nu\left(\frac{l-L_\nu}{L_{u_\nu}}\right)$ — нормированные детерминированные функции пространственной координаты импульсной последовательности со случайными продолжительностями L_{u_ν} импульсов и детерминированными l_ν или случайными L_ν моментами их появления.

5.1.6. Для импульсных (мгновенных) режимов нагружения следует применять математические модели, используемые при описании импульсных (конечной продолжительности) и ступенчатых режимов (пп. 5.1.1—5.1.4), в которых выражения $f_k(t-t_k)$, $f_k(t-T_k)$ или $f_\nu(l-l_\nu)$, $f_\nu(l-L_\nu)$ под знаком суммы должны быть заменены выражениями соответственно $\delta(t-t_k)$, $\delta(t-T_k)$ и $\delta(l-l_\nu)$, $\delta(l-L_\nu)$, где $\delta(t-t_k)$, $\delta(t-T_k)$ — мгновенные импульсы с детерминированными t_k и со случайными T_k моментами их появления; $\delta(l-l_\nu)$, $\delta(l-L_\nu)$ — мгновенные импульсы с детерминированными l_ν и со случайными L_ν моментами их появления.

5.1.7. Для комбинированных режимов нагружения следует применять математические модели, составленные в виде суммы или произведения моделей (пп. 5.1.1—5.1.6), используемые при вероятностном, статистическом, вероятностно-статистическом, детерминированном методах типизации.

5.1.8. Математическую модель выбирают в соответствии со структурой, свойством режима нагружения и с выбранным методом типизации по следующим этапам: определение состава нагружения по режимам с детализацией и установлением их границ; выявление внутренней структуры режима нагружения по характеру приложения, протекания и виду; выявление свойства режима нагружения; выбор типовой математической модели режима нагружения с учетом выбранного метода типизации; выявление возможностей преобразования типовой модели в частную (упрощенного вида); определение вероятностно-статистических характеристик и параметров режима нагружения; проверка модели режима нагружения на адекватность; представление результатов типизации в виде, удобном для определения характеристик надежности.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Рекомендуемое

ТЕРМИНЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В СТАНДАРТЕ, И ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Термин	Определение
Нагруженность	Состояние машины или механизма, обусловленное внешними воздействиями и условиями функционирования
Нагружение	Процесс, характеризующий изменение нагруженности во времени и в пространстве.
Режим нагружения	Нагружение, значение и характер изменения совокупности безразмерных параметров которого на некоторых интервалах времени реализаций остается постоянным
Структура режима нагружения	Совокупность классификационных признаков, позволяющая выявить режимы нагружения по характеру приложения, протеканию и виду
Типизация режимов нагружения	Сведение режимов нагружения к небольшому числу типовых математических моделей, исходя из структуры нагружения машин и механизмов и задач по оценке их характеристик надежности
Математическая модель режима нагружения	Модель режима нагружения, представленная в виде математического выражения, позволяющего вычислить характеристики и изучить свойства режима, необходимые для оценки характеристик надежности машин и механизмов
Детерминированный режим нагружения	Режим нагружения, значения параметров которого в любой момент времени определены функциональной зависимостью
Импульсный режим нагружения	Режим нагружения, представляющий собой импульсную функцию времени или последовательность импульсов, удовлетворяющих условию: $t_{к+1}-t_к > t_и$, где $t_и$ — продолжительность импульса; $t_{к+1}$, $t_к$ — моменты появления импульсов
Непрерывный режим нагружения	Режим нагружения, непрерывно изменяющийся на бесконечном интервале времени
Ступенчатый режим нагружения	Режим нагружения, представляющий собой последовательность ступенчатых функций времени или импульсов, удовлетворяющую условию: $t_{к+1}-t_к \leqslant t_и$
Комбинированный режим нагружения	Режим нагружения, представляющий собой комбинацию импульсных, непрерывных и ступенчатых режимов
Случайный режим	Режим нагружения, значения которого в любой момент времени являются случайными величинами

Термин	Определение
Математическое ожидание случайного режима нагружения	Функция времени, для каждого значения аргумента, равная математическому ожиданию случайных величин совокупности реализаций однотипных режимов нагружения
Дисперсия случайного режима нагружения	Функция времени, для каждого значения аргумента, равная дисперсии случайных величин совокупности реализаций однотипных режимов нагружения
Корреляционная функция случайного режима нагружения	Функция двух переменных t_1 и t_2, равная ковариационной функции центрированного случайного режима нагружения
Ковариационная функция случайного режима нагружения	Функция двух переменных t_1 и t_2 из области определения режима нагружения, равная математическому ожиданию произведения значений случайного режима нагружения в момент времени t_1 и t_2.
Центрированный случайный режим нагружения	Случайный режим нагружения, представляющий собой разность случайного режима и его математического ожидания
Стационарный в узком смысле случайный режим нагружения	Случайный режим нагружения, у которого все конечномерные функции распределения вероятностей любого порядка инвариантны относительно сдвига по времени
Стационарный в широком смысле случайный режим нагружения	Случайный режим нагружения с конечной дисперсией, у которого математическое ожидание и ковариационная функция инвариантны относительно сдвига по времени
Эргодический случайный режим нагружения	Случайный режим нагружения, для которого характерна сходимость (с вероятностью единица) соответствующих вероятностных характеристик, полученных усреднением по множеству реализаций и по времени одной реализации на бесконечном интервале
Спектральная плотность стационарного случайного режима нагружения	Функция частоты, равная преобразованию Фурье ковариационной функции стационарного случайного режима нагружения
Сосредоточенный режим нагружения	Режим нагружения, зависящий только от функции времени
Распределенный режим нагружения	Режим нагружения, зависящий как от функции времени, так и от пространственной координаты

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Справочное

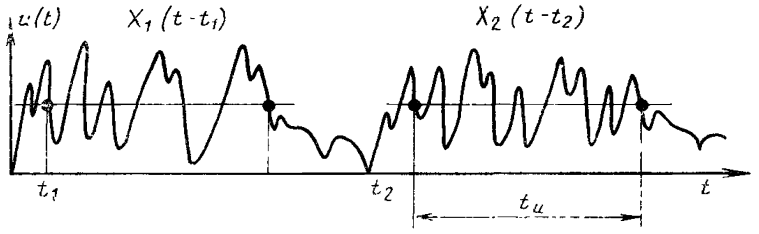
ПРИМЕР ТИПИЗАЦИИ РЕЖИМА НАГРУЖЕНИЯ

Возможности использования типовых математических моделей режимов нагружения проиллюстрируем на примере анализа структуры и вероятностных свойств режима нагружения рабочего оборудования одноковшового экскаватора.

Осциллограмма нагружения рабочего оборудования одноковшового экскаватора показывает, что оно имеет характерную особенность циклического чередования участков со сравнительно большими амплитудами и частотой колебаний нагрузки. При этом кривая нагрузки сначала возрастает от нуля, потом колеблется случайным образом относительно некоторого уровня и затем снова падает до нуля.

1. Определение состава нагружения по режимам

На черт. 1 представлен график нагружения, состоящий из последовательности нескольких независимых режимов, соответствующих операциям внедрения рабочего оборудования во взорванную породу, черпания породы, поворота на выгрузку и возврата рабочего оборудования в исходное положение.



Черт. 1

Рассмотрим режим нагружения рабочего оборудования при выполнении операции черпания породы. Этот участок отмечен на черт. 1 на интервале t_u.

2. Определение структуры режима нагружения

По характеру режим нагружения рабочего оборудования одноковшового экскаватора при выполнении операции черпания породы является непрерывным процессом. Изменение нагрузок во времени носит случайный характер и не может быть выражено детерминированной функцией времени. Это приводит к необходимости рассмотрения упомянутой функции в виде случайного процесса.

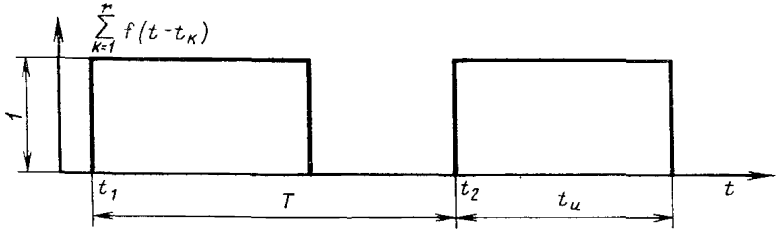
3. Выявление вероятностных свойств режима нагружения и выбор метода типизации

Настоящий этап является наиболее важным, поскольку его задачей является выбор гипотез о вероятностных свойствах, которые исследователь считает возможным принять.

Математической формой учета принятых гипотез является типовая математическая модель режима нагружения, позволяющая вычислить или постулировать те его вероятностные характеристики и свойства, которые существенны в решаемой задаче, а также выработать рекомендации по использованию полученных результатов.

Выбор типовой математической модели режима нагружения зависит от выбранного метода типизации.

Поскольку оцениваемый режим нагружения получен экспериментально и не содержит никаких априорных информативных признаков, то для его типизации можно применить только статистический метод.



Черт. 2

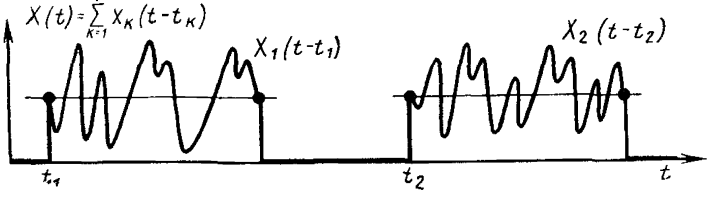
Для удобства описания режима нагружения рабочего оборудования одноковшового экскаватора при выполнении операции черпания породы последний целесообразно выделить из общего нагружения. Простейшим способом такого выделения является стробирование его импульсной нормированной детерминированной функцией $f(t-t_k)$ (черт. 2). В результате чего получим импульсный режим нагружения $X(t)$ (черт. 3), который описывается статистической моделью вида:

$$X(t)=\sum_{k=1}^{r} X_k(t-t_k)=\sum_{k=1}^{r} Q_k(t)\cdot f(t-t_k), \qquad (1)$$

где $X_k(t-t_k)=Q_k(t)\cdot f_k(t-t_k)$,

$k=1,2,3,\ldots,$ r—операция черпания;

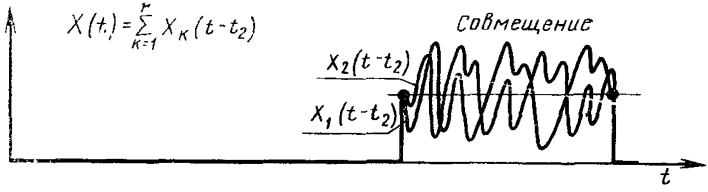
$$f(t-t_k)=\begin{cases} 1, & \text{при } t_k \leqslant t \leqslant t_k+t_u \\ 0, & \text{при остальных } t. \end{cases}$$



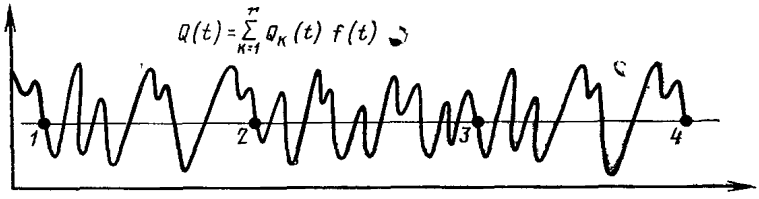
Черт. 3

Исходной предпосылкой для анализа вероятностных свойств рассматриваемого реального случайного процесса изменения нагрузки может служить предположение о наличии в нем участков локальной стационарности и возможности представления режима нагружения в виде стационарного эргодического процес-

са. Для того, чтобы сделать заключение о стационарном характере реализаций случайного процесса рассматриваемого режима нагружения $X_k\ (t—t_k)$, необходимо показать, что при $k=1, 2, 3 \ldots, r$ все они однотипны и характеризуют режим нагружения рабочего оборудования при выполнении операции черпания породы $X(t)$. В то же время на интервале t_u сделать заключение о стационарности рассматриваемого режима сложно из-за недостаточной продолжительности. Пристыковка участков, характеризующих режим нагружения, правомерна лишь после доказательства эргодичности этих участков.



Черт. 4



Черт. 5

Одним из способов выявления свойства эргодичности случайных процессов является сравнение метода суперпозиционного анализа (наложения) однородных реализаций с временным анализом пристыкованных однородных реализаций, как показано на черт. 4, 5.

В приводимом примере оценивались такие безразмерные параметры, как коэффициент вариации и нормированная корреляционная функция. Значения этих параметров совпали, что дало основание сделать заключение об эргодическом свойстве рассматриваемого режима нагружения.

Математическая модель режима нагружения, представленная на черт. 4, имеет вид:

$$X(t)=\sum_{k=1}^{r} X_k(t—t_2)=\sum_{k=1}^{r} Q_k(t)\cdot f(t—t_2), \qquad (2)$$

где $f(t—t_2)=\begin{cases} 1, & \text{при } t_2 \leqslant t \leqslant t_2+t_u \\ 0, & \text{при остальных } t. \end{cases}$

Математическая модель режима нагружения, представленная на черт. 5, имеет вид:

$$Q(t)=\sum_{k=1}^{r} Q_k(t)\cdot f(t), \text{ при } t_k \leqslant t \leqslant t_{k+1}. \qquad (3)$$

Учитывая свойства эргодичности, по пристыкованным участкам было проверено свойство стационарности методом смещения начала отсчета. Таким образом были установлены стационарность и эргодичность режима нагружения

рабочего оборудования одноковшового экскаватора при выполнении операции черпания.

4. Выбор типовой математической модели

При рассмотрении моделей (2) и (3) очевидно, что функция модуляции для всех однотипных режимов нагружения может быть принята общей, что дает возможность заменить статистический метод типизации вероятностным, используя вероятностную модель вида:

$$X(t)=Q(t)\sum_{k=1}^{r} f(t-t_k). \qquad (4)$$

Учитывая периодическую цикличность чередований операций черпания породы, можно выражение (4) переписать в виде:

$$X(t)=Q(t)\sum_{k=0}^{r} f(t-k\cdot T). \qquad (5)$$

Выражение (5) дает возможность перейти к использованию упрощенной частной модели вида:

$$X(t)=Q(t)\cdot f(t), \text{ при } 0\leqslant t\leqslant\infty. \qquad (6)$$

Математическую модель (5), содержащую информацию о периодическом чередовании операций черпания, используют для оценки предельного состояния рабочего оборудования одноковшового экскаватора по усталостной прочности, а модель (6) — для оценки статической прочности при выполнении той же операции.

gost.e-ecolog.ru