

О.М. Сафронов

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»
вул. І. Приходька 33, м. Кременчук, Полтавської обл., 39621, Україна
Телефон: +38 (05366) 6-03-24, E-mail: office@ukrndiv.com.ua

П.О. Хозя

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»
вул. І. Приходька 33, м. Кременчук, Полтавської обл., 39621, Україна
Телефон: +38 (05366) 6-03-24, E-mail: office@ukrndiv.com.ua
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8948-6032>

Ю.Я. Водянніков

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»
вул. І. Приходька 33, м. Кременчук, Полтавської обл., 39621, Україна
Телефон: +38 (05366) 6-03-24, E-mail: office@ukrndiv.com.ua
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6111-7128>

В.С. Речкалов

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»
вул. І. Приходька 33, м. Кременчук, Полтавської обл., 39621, Україна
Телефон: +38 (05366) 6-03-24, E-mail: office@ukrndiv.com.ua

О.В. Орлов

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»
вул. І. Приходька 33, м. Кременчук, Полтавської обл., 39621, Україна
Телефон: +38 (05366) 6-03-24, E-mail: office@ukrndiv.com.ua

МЕТОДИ СХЕМАТИЗАЦІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ ВАНТАЖНОГО ВАГОНА

Світовим трендом, останнім часом, є створення високошвидкісного вантажного рухомого складу для швидкостей руху більше 160 км/год. У цих умовах актуального значення набувають питання міцності конструкції вантажного вагона.

У процесі руху в конструкції вагона виникають напруження, змінні в часі. Під дією змінної напруги в елементах конструкції відбувається процес поступового накопичення пошкоджень, що призводять спочатку до утворення мікроскопічної тріщини, а потім до її розвитку і подальшому раптовому руйнуванню - втоми металу.

Одним із основних властивостей вагона є здатність витримувати діючі на нього експлуатаційні навантаження зі збереженням цієї здатності без руйнування на всіх етапах життєвого циклу. Оцінка несучої здатності визначається за результатами ходових випробувань на міцність, метою яких є визначення та оцінка коефіцієнта запасу опору втоми при впливі еквівалентних

© Сафронов А.М., Хозя П.А., Водянніков Ю.Я., Речкалов В.С.,
Орлов О.В., 2021

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

наведених амплітуд динамічних напружень. Як правило, динамічні напруження є випадковими через збурюючий вплив з боку рейкової колії на колісні пари, який також є випадковим.

Тому важливим розділом дослідження є вибір методів отримання, обробки і аналізу експериментальних даних. Підвищення достовірності результатів випробувань досягається застосуванням більш досконалих методів запису і обробки результатів.

Для оцінки рівня навантаженості конструкції вантажного вагона використовуються методи, засновані на заміні реального випадкового процесу деяким схематизованим процесом, який за рівнем накопичення втомного пошкодження повинен бути еквівалентним реальному процесу. З усього різноманіття методів схематизації виділяються два методи - метод повних циклів і метод «дощу», які найбільш повно відображають реальний процес.

Перевагою методу «дощу» є можливість обробки процесу в реальному режимі часу. Однак, алгоритм методу «дощу» є досить складним і не дозволяє обробляти великі обсяги інформації. У зв'язку з цим, було запропоновано метод максимальних розмахів, який є різновидом методу повних циклів і дозволяє в режимі онлайн обробляти необмежений обсяг інформації. Схематизований процес розбивається по класах - величинам амплітуд напружень. Залежно від розподілу амплітуд напружень по класах, встановлюється частота (ймовірність) попадання амплітуди в клас.

Наведена амплітуда динамічного напруження визначається як сума добуток ймовірності попадання в кожен клас на середню величину амплітуди напруг в класі.

Ключові слова: вантажний вагон, процес, динамічні напруження, амплітуда.

А.М. Сафронов

Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения»

ул. И. Приходько 33, г. Кременчуг, Полтавская обл., 39621, Украина

Телефон: (05366) 6-03-24

П.А. Хозя

Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения»

ул. И. Приходько 33, г. Кременчуг, Полтавская обл., 39621, Украина

Телефон: (05366) 6-03-24

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8948-6032>

Ю.Я. Водяников

Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения»

ул. И. Приходько 33, г. Кременчуг, Полтавская обл., 39621, Украина

Телефон: (05366) 6-03-24

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6111-7128>

В.С. Речкалов

Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения»

ул. И. Приходько 33, г. Кременчуг, Полтавская обл., 39621, Украина

Телефон: (05366) 6-03-24

О.В. Орлов

Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения»

ул. И. Приходько 33, г. Кременчуг, Полтавская обл., 39621, Украина

Телефон: (05366) 6-03-24

МЕТОДЫ СХЕМАТИЗАЦИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА

Мировым трендом, в последнее время, является создание высокоскоростного грузового подвижного состава для скоростей движения более 160 км/ч. В этих условиях актуальное значение приобретают вопросы прочности конструкции грузового вагона.

В процессе движения в конструкции вагона возникают напряжения, переменные во времени. Под действием переменных напряжений в элементах конструкции происходит процесс постепенного накопления повреждений, приводящих вначале к образованию микроскопической трещины, а затем к ее развитию и последующему внезапному разрушению – усталости металла.

Одним из основных свойств вагона является способность выдерживать воздействующие на него эксплуатационные нагрузки с сохранением этой способности без разрушения на всех этапах жизненного цикла. Оценка несущей способности определяется по результатам ходовых прочностных испытаний, целью которых является определение и оценка коэффициента запаса сопротивления усталости при воздействии эквивалентной приведенной амплитуды динамических напряжений.

Как правило, динамические напряжения являются случайными из-за возмущающего воздействия со стороны рельсового пути на колесные пары, которое также являются случайным.

Поэтому важным разделом исследования является выбор методов получения, обработки и анализа экспериментальных данных. Повышение достоверности результатов испытаний достигается применением более совершенных методов записи и обработки результатов.

Для оценки уровня нагруженности конструкции грузового вагона используются методы, основанные на замене реального случайного процесса некоторым схематизированным процессом, который по уровню накопления усталостного повреждения должен быть эквивалентен реальному процессу. Из всего многообразия методов схематизации выделяются два метода – метод полных циклов и метод «дождя», которые наиболее полно отражают реальный процесс.

Преимуществом метода «дождя» является возможность обработки процесса в реальном режиме времени. Однако, алгоритм метода «дождя» является достаточно сложным и не позволяет обрабатывать большие объемы информации. В этой связи был предложен метод максимальных размахов, который является разновидностью метода полных циклов и позволяет в режиме онлайн обрабатывать неограниченный объем информации. Схематизированный процесс разбивается по классам – величинам амплитуд напряжений. В зависимости от распределения амплитуд напряжений по

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

классам, устанавливается частота (вероятность) попадания амплитуды в класс.

Приведенная амплитуда динамического напряжения определяется как сумма произведений вероятности попадания в каждый класс на среднюю величину амплитуды напряжений в классе.

Ключевые слова: грузовой вагон, процесс, динамические напряжения, амплитуда.

В последние годы мировым трендом становится создание высокоскоростных грузовых поездов со скоростями 160 км/ч и более. В связи с этим, вопросы прочности и надежности грузовых вагонов приобретают первостепенное значение.

В большинстве конструкций вагонов в процессе движения возникают напряжения, переменные во времени. Под действием переменных напряжений в элементах конструкции происходит процесс постепенного накопления повреждений, приводящих вначале к образованию микроскопической трещины, а затем к ее развитию и последующему внезапному разрушению – усталости металла.

Сопrotивление усталости оценивается в многоцикловой постановке по коэффициенту запаса n , определяемому по формуле [1]:

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,\varepsilon}}, \quad (1)$$

где $\sigma_{a,N}$ – предел выносливости по амплитуде в расчетном сечении при вероятности неразрушения 0,95, МПа, при базовом числе циклов $N_0 = 10^7$;

$\sigma_{a,\varepsilon}$ – приведенная амплитуда динамического напряжения МПа, эквивалентная по повреждающему действию распределению амплитуд напряжений за расчетный срок службы.

Как следует из формулы (1), основная задача состоит в определении приведенной амплитуды динамических напряжений, причем амплитуды динамических напряжений являются случайными, что обусловлено случайными возмущающими воздействиями со стороны рельсового пути.

Информацию о величинах амплитуд динамических напряжений получают путем проведения ходовых прочностных испытаний в виде последовательного набора записей (реализаций) при различных скоростях и режимах движения опытного поезда на характерных заранее выбранных (намеченных) участках железнодорожного пути.

Для оценки уровня нагруженности используются методы, основанные на замене реального случайного процесса некоторым схематизированным процессом, который по уровню накопления усталостного повреждения должен быть эквивалентен реальному процессу.

Результаты схематизации используются для:

- ✓ расчетной оценки усталостной долговечности элементов по критериям накопления усталостных повреждений на стадиях до появления макроскопической усталостной трещины и ее развития;
- ✓ сравнительной оценки процессов нагружения однотипных элементов с целью выявления наиболее нагруженных элементов;

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

- ✓ количественной оценки эксплуатационных режимов машин и конструкций по их повреждающему воздействию;
- ✓ моделирования реального нагружения элементов при испытаниях на усталость и расчетном определении характеристик их сопротивления усталости.

Схематизация процессов нагружения элементов машин и конструкций и статистическое представление результатов схематизации включает следующие этапы:

- предварительная подготовка процесса нагружения к схематизации;
- дискретизация процесса нагружения;
- вычисление статистических характеристик дискретной последовательности ординат процесса нагружения;
- выделение экстремумов процесса по дискретной последовательности его ординат;
- замена реального процесса нагружения схематизированным по выбранному методу схематизации.

Запись амплитуд напряжений, как правило, производится через равные промежутки времени, определяемые заданной частотой опроса и, следовательно, реальная осциллограмма может содержать множество промежуточных значений (рис. 1), кроме того, на работу электронной аппаратуры могут оказывать влияние внутренние и внешние факторы не связанных с динамическим процессом (рис. 2).

Поэтому реальная осциллограмма перед схематизацией должна подвергаться первичной обработке с целью устранения указанных недостатков (рис. 3).

Для практического применения используются различные методы схематизации.

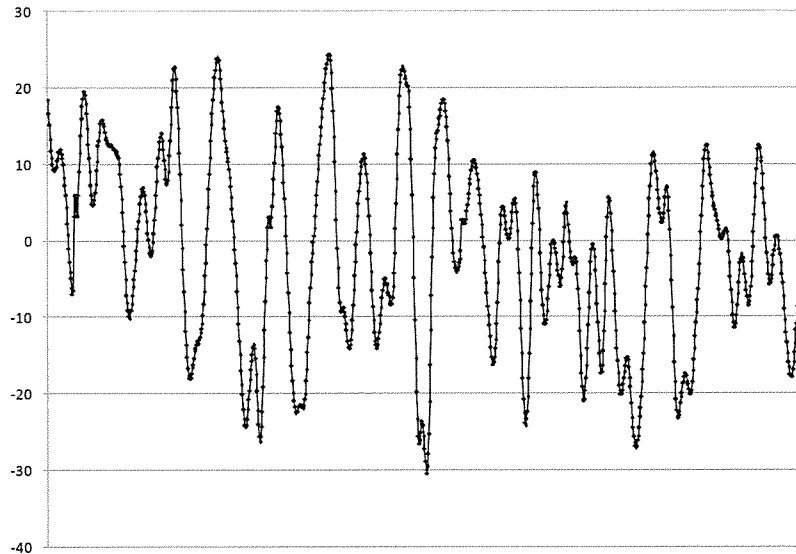


Рис. 1. Фрагмент осциллограммы случайного динамического процесса

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

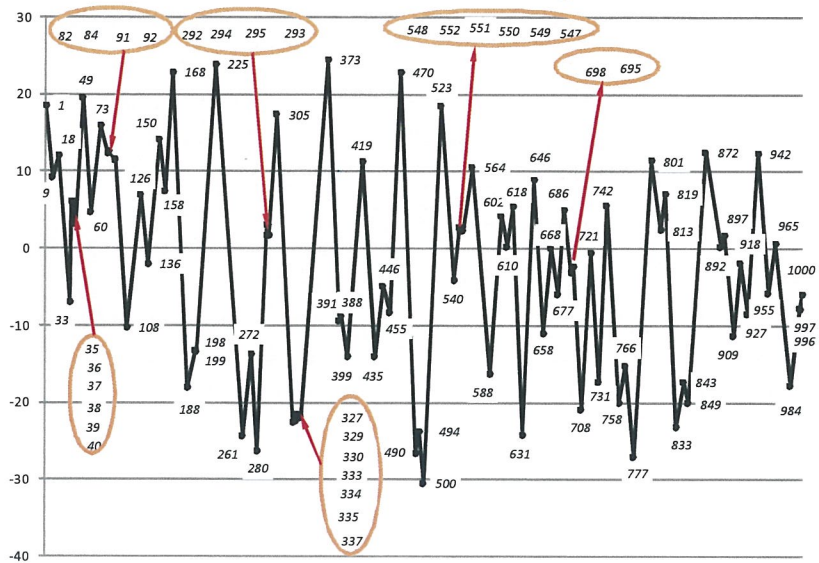


Рис. 2. Осциллограмма после удаления промежуточных значений записи

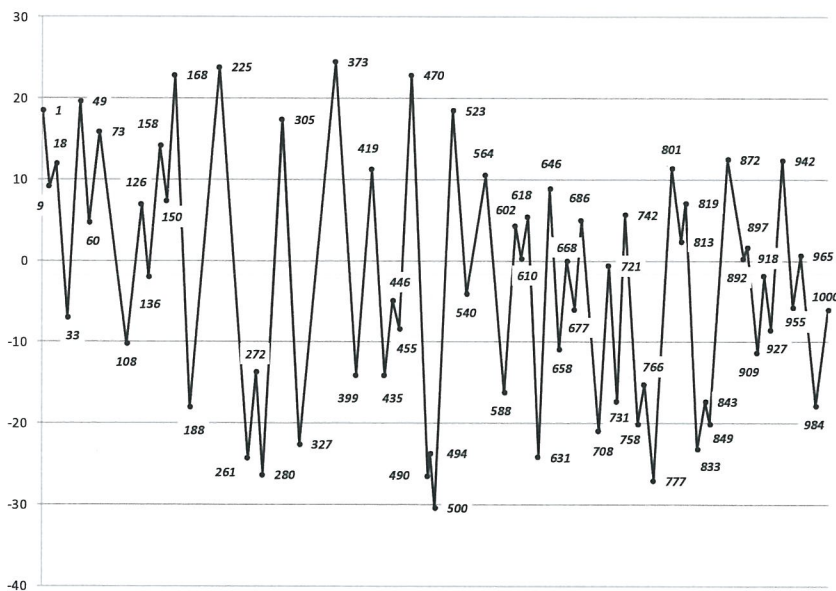


Рис. 3. Окончательный вид осциллограммы, используемый для схематизации

Метод максимумов (рис. 4) [2]. Схематизация реального процесса приведена на рис. 1, в котором приведен график зависимости от времени t .

Величина $\sigma_{cp} = \sigma_m$ характеризует средний уровень процесса и определяется как среднее арифметическое значение случайных ординат. За амплитуды напряжений отдельных полупериодов принимают отклонения между всеми максимумами данного процесса и средним уровнем. При этом предполагают, что распределение минимумов процесса симметрично распределению максимумов вследствие чего

учитывают только максимумы. Метод максимумов приводит к схематизированному процессу, который вызывает более сильные повреждения в смысле усталости, чем реальный процесс.

Метод учета одного экстремума (рис. 5) [2]. Между двумя соседними точками пересечения среднего уровня. В этом методе учитывают только один наибольший экстремум между каждыми двумя пересечениями кривой процесса с линией среднего уровня. Для этого случая схематизированный процесс является менее повреждающим, чем реальный процесс.

Метод размахов (рис. 6) [2]. В этом методе за амплитуду напряжений принимают половину размаха между двумя соседними экстремумами процесса, причем учитывают все экстремумы, как показано на рис. Метод размахов приводит к схематизированному процессу, обладающему меньшим повреждающим действием, чем реальный процесс (получаемые при этом расчетные оценки долговечности являются верхними оценками для срока службы).

Метод укрупненных размахов [3]. Согласно этому методу, на основании линейной гипотезе суммирования повреждений сравнивают повреждающее действие, оказываемое совокупностью промежуточных циклов, с повреждающим действием основного полуцикла, образованного крайними экстремумами. Для регистрации выбирают вариант, оказывающий наибольшее повреждающее действие. Так, применительно к рис. 6, следует сравнивать повреждения от совокупности полуциклов 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6 с повреждением от полуцикла 1-6.

Метод полных циклов (рис. 7) [4], [5], [6]. В методе полных циклов рабочий диапазон изменения напряжений разбивают на несколько участков (разрядов) причем каждому разряду соответствует некоторое приращение напряжений $\Delta\sigma$. По этому методу (см. рис. 4) вначале выделяют простые промежуточные циклы, размах которых не превышает 2Δ . Здесь вначале выделяют заштрихованные циклы с размахом $\Delta < a < 2\Delta$, которые регистрируют и из дальнейшего рассмотрения исключают. Процесс $X_1(t)$, изображенный на черт. 2б, получен из исходного $x(t)$ после исключения циклов с $\Delta < a < 2\Delta$. Затем выделяют циклы с $2\Delta < a < 3\Delta$ (черт. 2б). Процесс $x_2(t)$; изображенный на черт. 2в, получен из процесса $x_1(t)$ после исключения циклов с размахом $2\Delta < a < 3\Delta$. После исключения циклов с размахами $a < 5\Delta$ будет получен процесс $x_3(t)$, изображенный на черт. 2г.

Метод «дождя» [4], [7]. Метод «дождя» является разновидностью метода полных циклов. При схематизации удобно представить, что ось времени направлена вертикально вниз (рис. 8).

Пусть линии, соединяющие соседние экстремумы это последовательность крыш, по которым стекают потоки дождя. Номерам максимумов соответствуют нечетные числа, номерам минимумов - четные.

Траектории потоков определяют в соответствии со следующими правилами:

1. Потоки начинаются с внутренней стороны экстремумов последовательно. Каждый поток определяет полуцикл нагружения. Величину размаха определяют проекцией траектории потока на ось нагрузки.

2. Поток, начавшийся в точке максимума, прерывается в тот момент, когда встретится максимум больший, чем исходный. Например, поток из максимума 1 стекает по направлению к максимуму 2 и прерывается напротив максимума 3, поскольку он больше исходного.

3. Поток, начавшийся в точке минимума, прерывается, когда встретится минимум меньший, чем исходный. Например, поток из точки 10 прерывается напротив 16, поскольку минимум 16 меньше исходного.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

4. При встрече на одной из крыш нескольких потоков движение продолжает тот, который берет начало в экстремуме с меньшим номером, а остальные прерываются. Например, поток из точки 5 продолжает свой путь, а потоки из точек 7 и 9 прерываются.

5. Поток, не встретивший препятствий, падает на землю, например поток из максимума 19.

Метод «дождя» позволяет ввести схематизацию в режиме реального времени. При этом запоминают лишь траектории потоков дождя и обработку проводят по мере ввода экстремумов.

Метод дождевого потока сводится к следующему:

- выделение полных полуциклов происходит в координатах напряжения (деформация) время, причем время отложено по вертикальной оси, направленной вниз;
- полуциклы представляют собой как бы дождевые потоки, льющиеся по графику вправо, влево и вниз («растяжение - сжатие» соответственно). Условиями окончания полуцикла служат: а) попадание потока, соответствующего этому полуциклу, в поток от предыдущего полуцикла; б) выход полуцикла, идущего в противоположном направлении, за минимальное (начальное) значение напряжения (деформация), соответствующее оканчиваемому полуциклу.

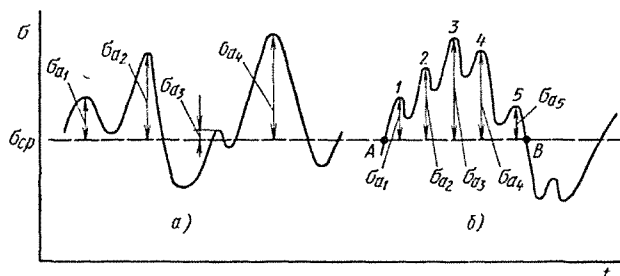


Рис. 4. Обработка осциллограмм по методу максимумов

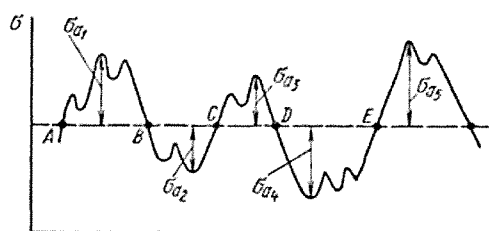


Рис. 5. Обработка осциллограмм по методу учета одного экстремума между соседними пересечениями среднего уровня

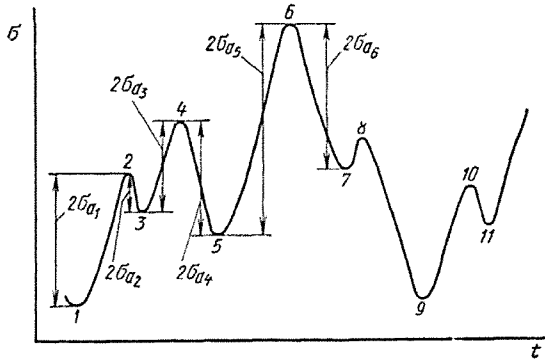


Рис. 6. Обработка осциллограмм по методу размахов

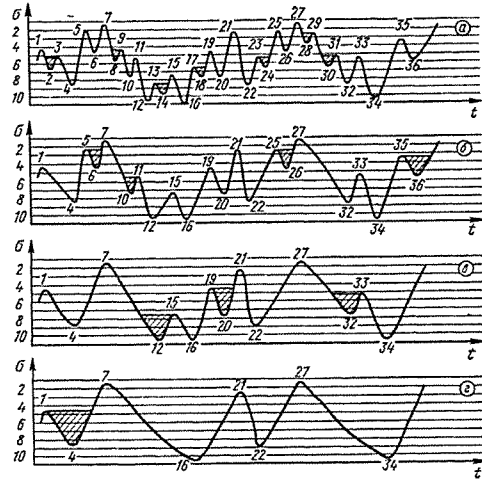


Рис. 7. Обработка осциллограмм по методу полных циклов

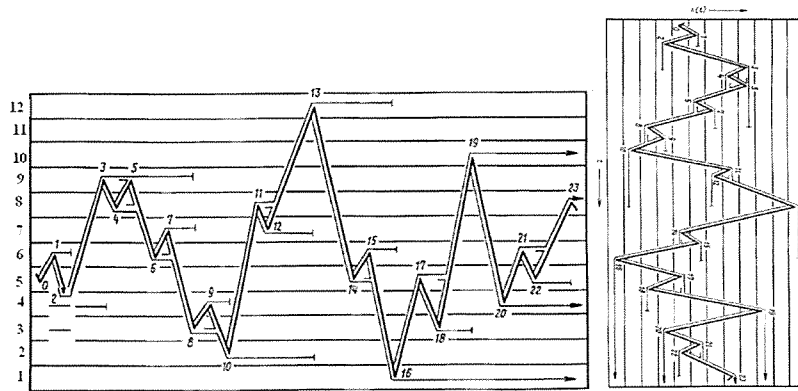


Рис. 8. Обработка осциллограмм по методу «дождя»

Следует отметить, алгоритм реализации по методу «дождя» достаточно сложен, сложность многократно увеличивается при обработке большого объема информации. В этой связи предложена методика схематизации по **максимальным размахам**, которая является модификацией метода полных циклов. Суть метода состоит в выделении восходящих и нисходящих размахов с максимальными амплитудами (рис. 9) при этом удаляются внутренние циклы (рис. 10).

Метод максимальных размахов реализован в виде программы на ЭВМ (табл. 1), написанной на языке Бейсик в среде EXCEL, позволяет в режиме реального времени обрабатывать неограниченное число записей, так как внутренние циклы определяются последовательно по каждому максимальному размаху.

Для сравнительного анализа методов схематизации «дождя» и максимальных размахов (рис. 11) был использован пример, приведенный в [4]. Анализ показал удовлетворительное совпадение обоих методов (рис. 12).

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Окончательным этапом схематизации является дискретизация и оценка статистических характеристик процесса нагружения. Для этого процесс нагружения разбивается на классы.

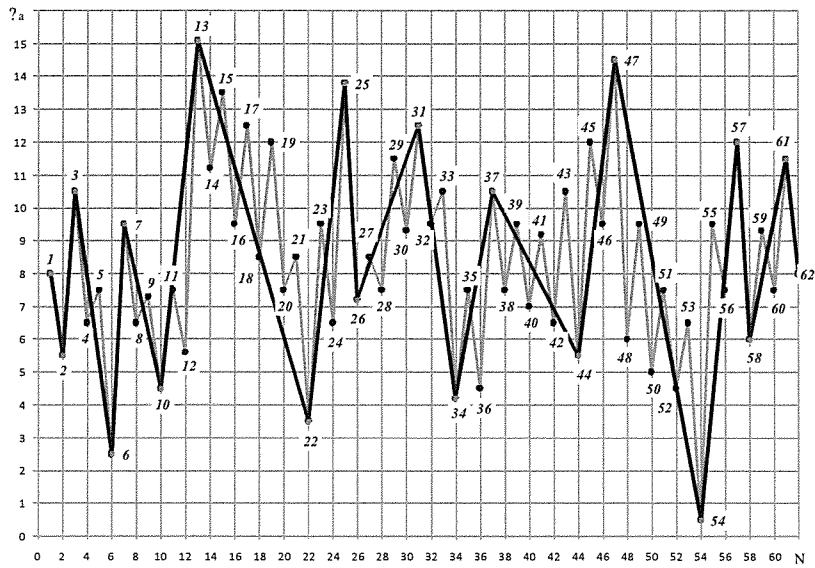


Рис. 9. Обработка осциллограмм по методу максимальных размахов

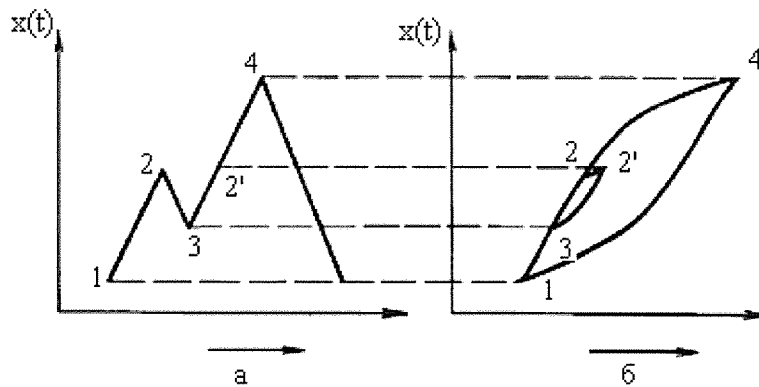


Рис. 10. Наложение циклов

(а - фрагмент процесса нагружения; б - диаграмма "напряжение-деформация").

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

*Таблиця 1.- Фрагмент програми схематизації по методу
Максимальних размахів*

Наименование	Фрагмент программы
1	2
Формирование рабочего файла «ggg»	<pre> ww = 10000 ***** ij = 1 kkk = 0 Do While ww > 0 ww = ActiveCell.Offset(5 + ij, 1).Range("A1") Select Case ww Case Is > 0 ggg(ij) = ActiveCell.Offset(5 + ij, 3).Range("A1") uskor(ij) = ActiveCell.Offset(5 + ij, 2).Range("A1") ij = ij + 1 End Select Loop inter = ij - 1 kol = inter ***** * </pre>
Определение координат узлов максимальных экстремумов (массив uskor)	<pre> ikk = 1 krk = 1 For krk = 1 To (kol + 1) / 2 If ikk = 1 Then uskor(ikk) = krk * 2 - 1 End If ij = krk For a1 = 1 To 20 maxx = ggg(2 * krk - 1) - ggg(2 * krk + 1) mixx = ggg(2 * krk) - ggg(2 * krk + 2) If maxx > 0 And mixx > 0 Then krk = krk + 1 Else Exit For End If Next a1 ikk = ikk + 1 If krk * 2 > kol Then uskor(ikk) = kol Else uskor(ikk) = krk * 2 End If 'uskor(ikk) = krk * 2 ***** * For a1 = 1 To 20 maxx = ggg(2 * krk + 1) - ggg(2 * krk + 3) </pre>

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Продолжение таб.1

1	2
	<pre> mixx = ggg(2 * krk) - ggg(2 * krk + 2) If maxx < 0 And mixx < 0 Then krk = krk + 1 Else Exit For End If Next a1 krk = krk + 1 ikk = ikk + 1 If krk * 2 - 1 > kol Then uskor(ikk) = kol Else uskor(ikk) = krk * 2 - 1 End If Next krk inter = ikk </pre>
<p>Определение узловых точек максимальных размахов</p>	<pre> For kkk = 1 To inter If kkk + 1 > inter Then Exit For End If rkk = Abs(uskor(kkk + 1) - uskor(kkk)) dekr = Int(rkk / 2) ***** If rkk = 1 Then ikk = ikk + 1 mmm(ikk) = uskor(kkk) nnn(ikk) = uskor(kkk + 1) sum(ikk) = Abs(ggg(mmm(ikk)) - ggg(nnn(ikk))) ***** Else ikk = ikk + 1 mmm(ikk) = uskor(kkk) nnn(ikk) = uskor(kkk + 1) sum(ikk) = Abs(ggg(mmm(ikk)) - ggg(nnn(ikk))) ***** For ij = 1 To dekr ikk = ikk + 1 mmm(ikk) = uskor(kkk) + 2 * ij - 1 'mmm(ikk) = krk 'krk = krk + 2 * ij nnn(ikk) = uskor(kkk) + 2 * ij sum(ikk) = Abs(ggg(mmm(ikk)) - ggg(nnn(ikk))) sum(ikk + 1) = Abs(ggg(mmm(ikk)) - ggg(nnn(ikk))) ActiveCell.Offset(5 + ikk + 1, 15).Range("A1") = sum(ikk) ikk = ikk + 1 </pre>

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Окончание таб.1

1	2
	<pre> Next ij End If Next kkk kol1 = ikk ***** </pre>
<p>Распределение размахов по классам, количество классов принимается равным $kol1 = 28$, а интервал класса $dt = 2$</p>	<pre> For ikk = 1 To kol1 chast1 = (ikk - 1) * dt chast2 = ikk * dt ij = 0 For krk = 1 To kol1 gg = sum(krk) If gg >= chast1 And gg < chast2 Then ij = ij + 1 End If Next krk chh(ikk) = ij sred(ikk) = (chast1 + chast2) / 2 Next ikk </pre>
<p>Передача полученных данных в рабочий лист «расчет» для определения вероятности распределения напряжений</p>	<pre> Sheets("расчет").Select Range("a5:ad1500").Select Selection.ClearContents Range("A1").Select rkk = 0 For ikk = 1 To kol1 If ikk = 1 Then rkk = chh(ikk) Else rkk = rkk + chh(ikk) End If kol1 Next ikk End Sub </pre>

Разбиение на классы состоит из двух этапов:

- 1 На первом этапе определяется диапазон изменения нагрузок процесса:

$$a_{max} = X_{max} - X_{min},$$

где X_{max} и X_{min} – максимальные и минимальные значения размахов;

- 2 Второй этап состоит в разбиении процесса на равноотстоящие уровни размахов (классы) шириной Δ :

$$\Delta = a_{max}/m$$

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

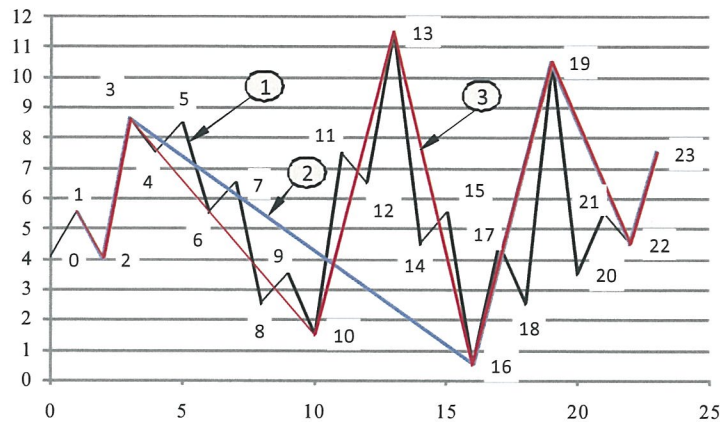


Рис. 11. Сравнительная схематизация по методу «дождя» и максимальных размахов

(1 - исходная осциллограмма, 2 - схематизация по методу «дождя», 3 - схематизация по методу максимальных размахов)

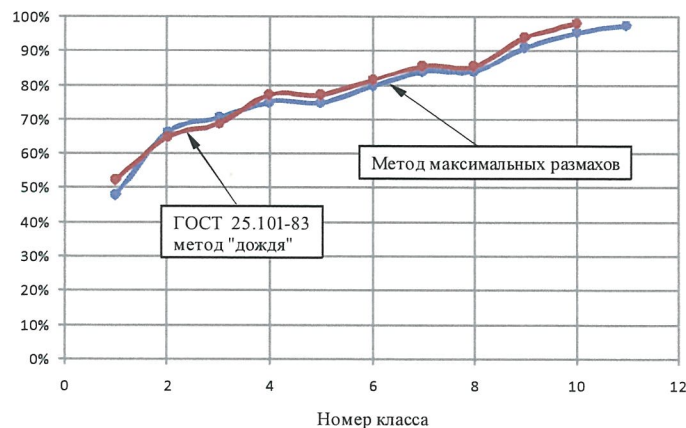


Рис. 12. Эмпирические функции распределения

Величина Δ отражает масштаб при схематизации и показывает, какая нагрузка соответствует одному классу. Количество классов m должно удовлетворять неравенству $14 < m < 32$.

Нумерация классов i производится снизу вверх в направлении возрастания нагрузок процесса, начиная с первого класса (рис. 13).

В зависимости от распределения амплитуд напряжений по классам, устанавливается частота (вероятность) попадания амплитуды в класс.

Приведенная амплитуда динамического напряжения определяется как сумма произведений вероятности попадания в каждый класс на среднюю величину амплитуды напряжений в классе.

Вместе с тем следует отметить, что современные вероятностные методы расчета на прочность при многоцикловом нагружении не находят достаточно полного отражения в практике исследования конструкций.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

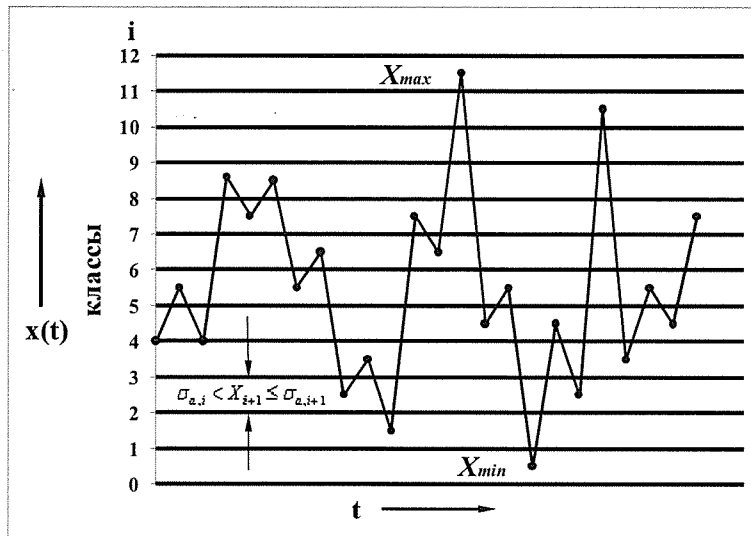


Рис. 13. Разбиение схематизированного процесса на классы

Преимущество вероятностных методов по сравнению с традиционными методами расчета по коэффициентам запаса прочности или по допускаемым напряжениям заключается в том, что в них учитывается реальный случайный характер изменения эксплуатационных напряжений, рассеяния характеристик сопротивления усталости, накопления усталостных повреждений при нерегулярном нагружении. В результате расчета получают функцию распределения ресурса, являющейся важнейшей характеристикой ее надежности.

Выводы

1. Предложенная схематизация позволяет в режиме онлайн обрабатывать неограниченное число записей динамического процесса;
2. Разработанный алгоритм и пакет прикладных программ повышают автоматизацию определения коэффициента запаса прочности грузового вагона (рис. 14).

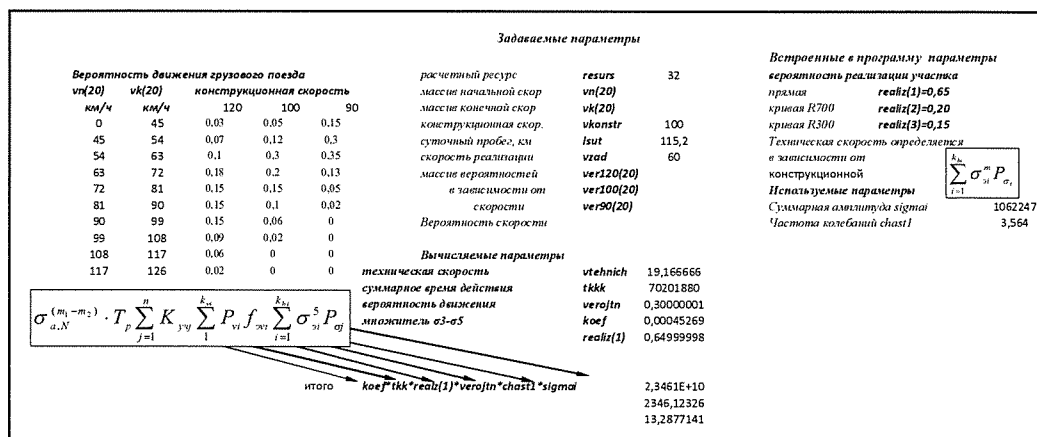


Рис. 14. Результаты расчета тестового примера

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колес 1520 мм (несамоходных), ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996 г.;
2. С. В. Серенсен. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность. / Серенсен С. В., Когаев В. П., Шнейдерович Р. М. // Руководство и справочное пособие по редакции С. В. Серенсена. Москва, «Машиностроение», 1975 г., С. 488.;
3. Р. М. Шнейдерович. Прочность при статическом и повторно-статическом нагружениях. М. «Машиностроение», 1968 г., С. 355.;
4. ГОСТ 2 5 .101 -83. РАСЧЕТЫ И ИСПЫТАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ. Методы схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций и статистического представления результатов. С. 25.;
5. Гусев А. С. О распределении амплитуд в широкополосных случайных процессах при схематизации их по методу полных циклов. // Статистические методы расчетов. М. «Машиноведение», 1974 г., №1., С. 336.;
6. Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. Москва, «Машиностроение», 1977 г., С. 232.;
7. Гусев А.С. Сопrotивление усталости и живучесть конструкций при случайных нагрузках. М. «Машиностроение», 1989 г., С. 248.

O.M. Safronov

State Enterprise "Ukrainian Scientific Railway Car Bulding Research Institute"
33 I. Prikhodka Str., Kremenchuk, Poltava region, 39621, Ukraine
tel.: (05366) 6-03-24

P.O. Khozia

State Enterprise "Ukrainian Scientific Railway Car Bulding Research Institute"
33 I. Prikhodka Str., Kremenchuk, Poltava region, 39621, Ukraine
tel.: (05366) 6-03-24
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8948-6032>

YU.YA. Vodiannikov

State Enterprise "Ukrainian Scientific Railway Car Bulding Research Institute"
33 I. Prikhodka Str., Kremenchuk, Poltava region, 39621, Ukraine
tel.: (05366) 6-03-24
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6111-7128>

V.S. Rechkalov

State Enterprise "Ukrainian Scientific Railway Car Bulding Research Institute"
33 I. Prikhodka Str., Kremenchuk, Poltava region, 39621, Ukraine
tel.: (05366) 6-03-24

O.V. Orlov

State Enterprise "Ukrainian Scientific Railway Car Bulding Research Institute"
33 I. Prikhodka Str., Kremenchuk, Poltava region, 39621, Ukraine
tel.: (05366) 6-03-24

METHODS FOR THE SCHEMATIZATION OF THE OPERATIONAL LOADING OF THE FREIGHT CAR

The world trend, recently, is the creation of a high-speed cargo rolling stock for speeds with 160 km / h. In these condition, the durability of the structure of the cargo car are relevant.

In the process of movement in the design of the car, voltages occur, variables in time. Under the action of alternating voltages in the design elements, the process of gradual accumulation of damage, leading to the formation of microscopic crack, and then to its development and subsequent sudden destruction - metal fatigue.

One of the main properties of the wagon is the ability to withstand operational loads acting on it while maintaining this ability without destruction at all stages of the life cycle. The assessment of the bearing capacity is determined by the results of the undercarriage tests, the purpose of which is the definition and assessment of the reserve coefficient of fatigue resistance of the equivalent reduced amplitude of dynamic stresses.

As a rule, dynamic stresses are random due to the perturbing effect on the side of the rail path on the wheeled pairs, which are also random.

Therefore, an important section of the study is the choice of methods for obtaining, processing and analyzing experimental data. Improving the reliability of test results is achieved by applying more advanced recording methods and processing results.

To estimate the level of loading of the cargo car, methods are used based on the replacement of a real random process by some schematized process, which in terms of the accumulation of fatigue damage should be equivalent to a real process. Of the variety of schematics methods, two methods are distinguished - the method of complete cycles and the rain method, which most fully reflect the real process.

The advantage of the "rain" method is the ability to process the process in real time. However, the algorithm of the "rain" method is quite complicated and does not allow processing large amounts of information. In this regard, the method of maximum discharges was proposed, which is a type of full cycles method and allows you to process an unlimited amount of information online. The schematic process is divided into classes - voltage amplitudes values. Depending on the distribution of voltage amplitudes in classes, the frequency (probability) of amplitude in the class is established.

The reduced amplitude of the dynamic voltage is defined as the amount of products of the likelihood of entering each class on the average magnitude of the voltage amplitude in the class.

Key words: cargo car, process, dynamic, voltage, amplitude.

REFERENCES

1. Normy dlya rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznyh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnyh), GosNIIV-VNIIZhT, 1996 g.;
2. S. V. Serensen. Nesushaya sposobnost i raschet detalej mashin na prochnost. / Serensen S. V., Kogaev V. P., Shnejderovich R. M. // Rukovodstvo i spravochnoe posobie po redakciej S. V. Serensena. Moskva, «Mashinostroenie», 1975 g., S. 488.;
3. R. M. Shnejderovich. Prochnost pri staticheskom i povtorno-staticheskom nagruzheniyah. M. «Mashinostroenie», 1968 g., S. 355.;
4. GOST 25.101 -83. RASChETY I ISPYTANIYa NA PROChNOST. Metody shematizacii sluchajnyh processov nagruzheniya elementov mashin i konstrukcij i statisticheskogo pred-stavleniya rezultatov.
5. Gusev A. S. O raspredelenii amplitud v shirokopolosnyh sluchajnyh processah pri shematizacii ih po metodu polnyh cyklov. // Statisticheskie metody raschetov. M. «Mashinostroenie», 1974 g., № 1., S. 336.;
6. Kogaev V. P. Raschety na prochnost pri napryazheniyah, peremennyh vo vremeni. Moskva, «Mashinostroenie», 1977 g., S. 232.;
7. Gusev A. S. Soprotivlenye ustalosti i zivuchest konstrukcij pri sluchainykh zagruzkah. M. «Mashinostroenie», 1989 g., S. 248.