

УДК 629.45

А. В. ПИГУНОВ, научный сотрудник; Белорусский государственный университет транспорта,
г. Гомель

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КУЗОВОВ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ И УПРАВЛЕНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕМ ИХ РЕСУРСА

Предложена методика прогнозирования технического состояния, остаточной несущей способности и остаточного ресурса основных элементов металлоконструкции кузова за период жизненного цикла вагона.

Разработанная методика прогнозирования основывается на моделировании на ПЭВМ технического состояния кузова пассажирского вагона для различных сроков его службы, остаточной несущей способности и остаточного ресурса для основных элементов кузова с последующей выдачей рекомендаций по варианту его восстановления. В рассматриваемом случае под прогнозированием будем понимать моделирование технического и напряженного состояний кузова вагона на ПЭВМ в течение его жизненного цикла и управление процессом восстановления его ресурса.

Предлагаемая методика прогнозирования базируется на модели скоростей коррозионных повреждений для различных участков кузова, позволяющей смоделировать техническое состояние вагона на любой момент времени, и расчетной конечно-элементной модели кузова, дающей возможность с помощью метода конечных элементов оценить его остаточную несущую способность.

Модель скоростей коррозионных повреждений металлоконструкции кузова. Основывается на нормативных значениях [1] скоростей коррозионных повреждений и сроках службы антикоррозионных покрытий на различных участках кузовов. В ходе обследования технического состояния кузовов пассажирских вагонов, проведенного автором совместно с сотрудниками лаборатории ТТОРЕПС, и анализа исследований, ранее выполненных ВНИИЖТом, ПКБ ЦВ МПС, РИИЖТом, БелИИЖТом и ДИИТом, были уточнены границы зон, в которых коррозионные процессы протекают с различной скоростью (рисунок 1).

Предлагается выделять следующие зоны, различающиеся скоростью коррозионных процессов:

- пол туалета;
- пол консольной части;
- участки пола средней части кузова, примыкающие к боковым балкам рамы на ширине 500 мм;
- пол средней части кузова, примыкающий к хребтовой балке;

- нижний пояс боковой стены в консольной части;
- нижний пояс боковой стены в зоне туалета;
- нижний пояс боковой стены в средней части на высоте 300 мм от нижней обвязки;
- нижний пояс боковой стены в средней части до окон;
- торцовая стена в нижней части до угольных ящиков и угольные ящики.

Расчетная конечно-элементная модель металлоконструкции кузова пассажирского вагона. Для оценки остаточной несущей способности разработана конечно-элементная модель металлоконструкции кузова пассажирского некупежного вагона (рисунок 2). Особенностью модели является то, что она составлена для кузова в целом и с достаточной точностью аппроксимирует кузов пассажирского вагона ЦМВО. При построении модели использовались два типа конечных элементов: пластина и стержень.

Пластинчатые конечные элементы применялись для моделирования обшивки, а также хребтовой, шкворневых, концевых балок, нижних обвязок боковых стен и противоударных стоек торцовых стен. Для всех остальных балок конструкции использовались стержневые конечные элементы. При моделировании гофрированной обшивки ее плоская часть представлялась как пластина, а гофры – стержнями.

Параметры расчетной модели следующие: количество узлов – 22112, количество конечных элементов – 33485. Она позволяет производить расчеты для любого вида и сочетания эксплуатационных нагрузок и с учетом любых схем износов.

Прогнозирование остаточной несущей способности металлоконструкции кузова пассажирского вагона. Предлагаемая модель прогнозирования позволяет исследовать состояние вагона как в определенный момент времени, так и в течение продолжительного периода. Построение модели [2] начинается с выбора переменных модели, которые подразделяются на эндогенные и экзогенные переменные, переменные состояния и управления.

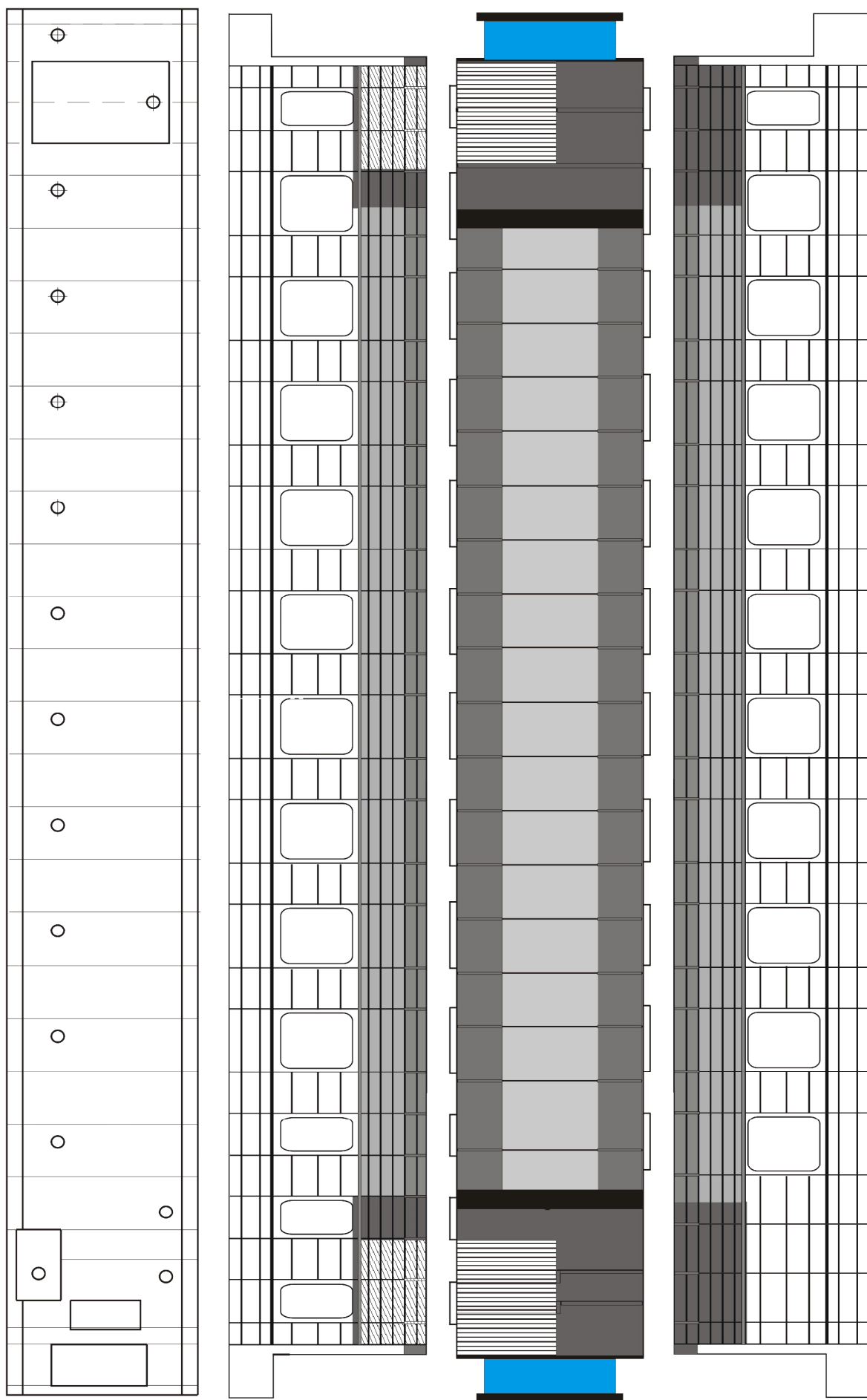


Рисунок 1 – Схема зон с различной интенсивностью коррозионных повреждений кузова пассажирского некулейного вагона

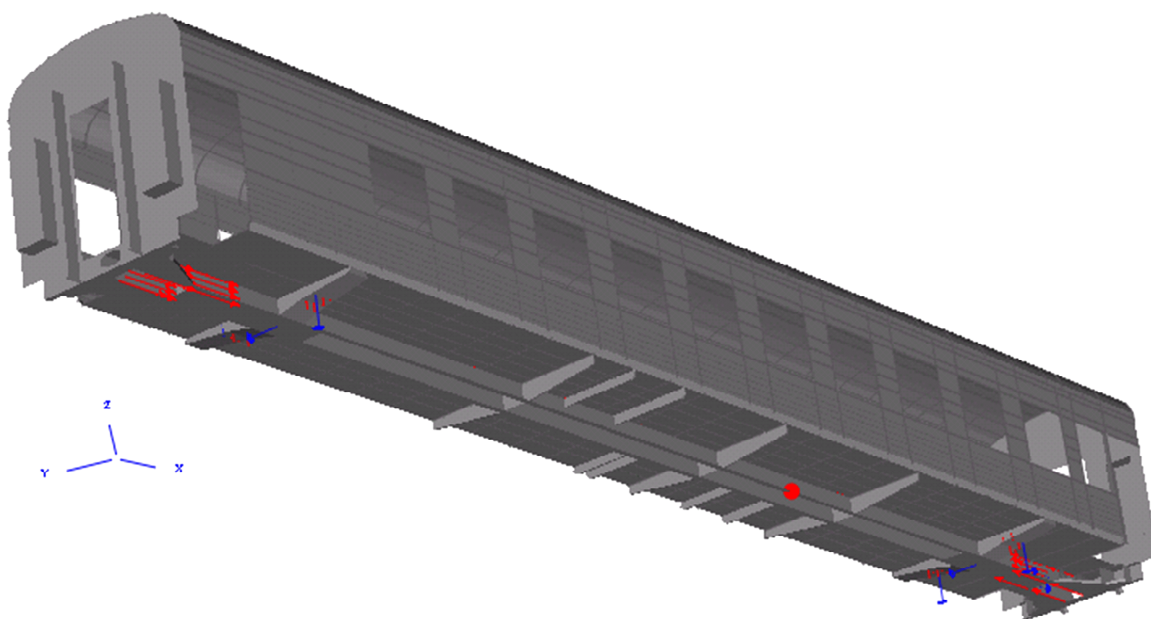


Рисунок 2 – Расчетная конечно–элементная модель металлоконструкции кузова ЦМВО

Эндогенные переменные представляют собой выходные переменные системы. Они определяются в результате взаимодействия входных переменных и переменных управления системы.

Переменные состояния – это промежуточные данные, которые необходимы для вычисления окончательных значений выходных переменных системы.

Экзогенные переменные и переменные управления являются входными (независимыми) переменными. Они определяются независимо от моделируемой системы, но сами на нее активно влияют.

Рассматриваемую модель прогнозирования состояния вагона можно описать следующими переменными, параметрами и функциональными соотношениями.

ЭНДОГЕННЫЕ (ВЫХОДНЫЕ) ПЕРЕМЕННЫЕ

σ – напряжения в элементах кузова;
 n_y – расчетные коэффициенты запаса устойчивости элементов кузова;
 $d_{\text{пред}}$ – предельные толщины элементов кузова;
 t_p – остаточный ресурс элементов кузова на момент времени t ;
 n_t – число элементов, потерявших несущую способность на момент времени t .

ПЕРЕМЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ

t – текущий срок службы вагона.

ЭКЗОГЕННЫЕ (ВХОДНЫЕ) ПЕРЕМЕННЫЕ

J_t – геометрические характеристики сечений элементов для t -го срока службы.

ПЕРЕМЕННЫЕ УПРАВЛЕНИЯ

d_t – толщина сечения элементов кузова на момент времени t .

ПАРАМЕТРЫ

TKE – типы конечных элементов;
 NKE – количество конечных элементов;
 NU – количество узлов;
 KU – координаты узлов в глобальной системе координат;
 SW – связи, накладываемые на узлы;
 NR – характеристика нагружения;
 $[\sigma]$ – допускаемые напряжения;
 $[n_y]$ – допускаемый коэффициент запаса устойчивости;
 T – период моделирования (заданный срок службы вагона);
 $t_{\text{АКП}}$ – срок службы антикоррозионного покрытия;

$t_{\text{КР}}$ – срок проведения капитального ремонта.

ТОЖДЕСТВА

$$t_p = \begin{cases} \frac{d_t - d_{\text{пред}}}{V} & \text{при } t > t_{\text{АКП}}; \\ (t_{\text{АКП}} - t) + \frac{d_t - d_{\text{пред}}}{v} & \text{при } t \leq t_{\text{АКП}}; \end{cases} \quad (1)$$

$$d_t = \begin{cases} d_0 & \text{при } t \leq t_{\text{АКП}}; \\ d_0 - (t - t_{\text{АКП}})v & \text{при } t > t_{\text{АКП}}; \end{cases} \quad (2)$$

$$d_{\text{пред}} = d_t \text{ при } \sigma_s \approx [\sigma] \text{ и } \sigma_{\text{расч}} \approx \frac{\sigma_{\text{сп}}}{n_y}; \quad (3)$$

$$I_x = \sum I_{xi} + \sum F_i Y_i^2 - Y_c \sum F_i Y_i; \quad (4)$$

$$I_y = \sum I_{yi} + \sum F_i X_i^2 - X_c \sum F_i X_i; \quad (5)$$

$$I_k = \frac{h_0^2 b_0^2 \delta_c \delta_n}{h \delta_n + b \delta_c - \delta_c^2 - \delta_n^2}; \quad (6)$$

$$I_k = \sum I_{ki}; \quad (7)$$

$$I_{ki} = \beta_i h_i b_i^3, \quad (8)$$

где t_p – остаточный ресурс рассматриваемого элемента кузова, лет; $d_t, d_{\text{пред}}$ – соответственно толщина элемента при сроке службы вагона t и предельная, мм, d_0 – номинальная толщина элемента, мм; v – средняя скорость коррозии элемента, мм/год; F_i – площадь поперечного сечения i -го элемента; Y_i, X_i – расстояние от оси X_0 и Y_0 до собственной центральной оси X_i и Y_i i -го элемента; I_{xi}, I_{yi} – момент инерции i -го элемента относительно собственной центральной оси X_i или Y_i ; h – высота сечения; h_0 – высота сечения между серединами горизонтальных полок; b – ширина сечения; b_0 – ширина сечения между серединами вертикальных стенок; δ_c, δ_n – соответственно толщины вертикальных стенок и горизонтальных полок сечения; I_{ki} – момент сопротивления i -го прямоугольного элемента; h_i – длинная сторона i -го прямоугольного поперечного сечения; b_i – короткая сторона i -го прямоугольного поперечного сечения; β_i – коэффициент, численные значения которого принимаются в зависимости от отношения h_i/b_i .

В результате проведения вычислительных экспериментов с рассматриваемой моделью определяются напряженное состояние, устойчивость, предельное состояние $d_{\text{пред}}$ по формуле (3) и остаточный ресурс t_p по формуле (1) основных элементов кузова.

Блок-схема процесса моделирования состояния вагона представлена на рисунке 3.

Последовательность выполнения операций моделирования

1 Вводится исходная информация по расчетной конечно-элементной модели, по значениям скоростей коррозионных повреждений элементов кузова, по начальному текущему сроку службы вагона.

2 Проверяется, не истек ли установленный период моделирования T ($t \leq T$). Если текущий срок службы вагона t превысил величину T , то управление передается блоку 17.

3 Производится сравнение текущего срока службы t и срока службы антикоррозионного покрытия кузова $t_{\text{АКП}}$. Если $t > t_{\text{АКП}}$, то переход к блоку 4, если нет – к блоку 6.

4 Текущий срок службы t сравнивается со сроком проведения капитального ремонта вагона $t_{\text{КР}}$. При выполнении равенства управление передается блоку 7, в противном случае – блоку 5.

5 Производится уменьшение толщины элементов кузова на величину коррозионных повреждений

$$d_t = d_0 - (t - t_{\text{АКП}})v.$$

6 Рассчитываются геометрические характеристики сечений элементов кузова.

7 Текущий срок службы t совпал со временем поступления вагона в капитальный ремонт $t_{\text{КР}}$. Принимается решение о восстановлении или замене элементов металлоконструкции кузова в соответствии с правилами ремонта.

8 Изменяется толщина элементов кузова. Для элементов, которые в процессе ремонта восстанавливаются или заменяются, толщина увеличивается, для остальных – уменьшается в результате коррозионных повреждений.

9 Рассчитывается остаточный ресурс t_p основных элементов кузова

$$t_p = \frac{d_t - d_{\text{пред}}}{v}.$$

10 Производится оценка остаточной несущей способности (остаточной прочности и устойчивости) элементов кузова по МКЭ.

11 Результаты расчетов выводятся на печать.

12 Расчетные напряжения σ , сравниваются с допускаемыми $[\sigma]$. Если условие прочности выполняется, то осуществляется переход к блоку 13.

13 Производится проверка устойчивости продольных элементов кузова. Если $n_y < [n_y]$, то условие устойчивости не выполняется и управление передается блоку 14. В противном случае – переход к блоку 16.

14 Фиксация предельной толщины $d_{\text{пред}}$ для элементов, потерявших несущую способность.

15 Выдача на печать перечня элементов, потерявших несущую способность на момент времени t .

16 При необходимости принимается решение о восстановлении или замене элементов, потерявших несущую способность.

17 Увеличивается на единицу текущий срок службы вагона, т.е. $t := t + 1$.

18 Текущий срок службы t превысил установленный для вагона срок службы T . Процесс моделирования прекращается.

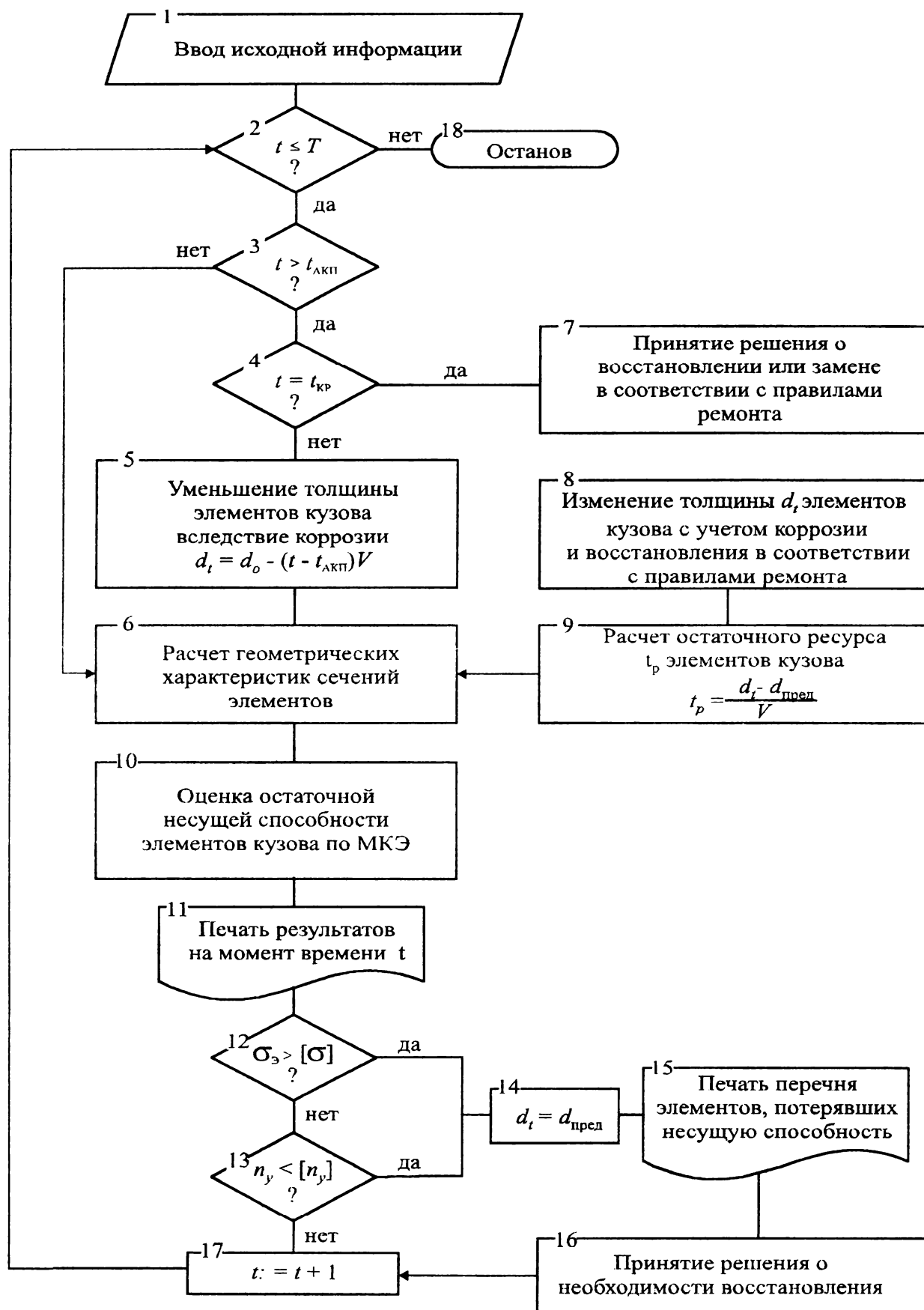


Рисунок 3 – Блок-схема процесса моделирования состояния кузова за период жизненного цикла вагона

Возможности предлагаемой методики прогнозирования. Разработанная методика прогнозирования позволяет:

- оценить влияние степени коррозионных по-

вреждений на несущую способность кузова вагона;

- моделировать техническое состояние, остаточную несущую способность и остаточный ресурс основных элементов кузова на этапе проекти-

рования, а также осуществлять их корректировку для вагонов с определенным сроком службы;

- управлять восстановлением ресурса за счет выбора вариантов восстановления и систем ремонта;

- определить предельное состояние элементов (толщину поперечного сечения).

Результаты исследования. В результате проведения вычислительных экспериментов для вагона, имеющего коррозионные повреждения после различных сроков эксплуатации, оценивалось напряженное состояние каждого элемента кузова. При этом толщина подкрепляющих элементов и обшивки определялась по формуле (2).

Те элементы, у которых напряжения близки или превышали допускаемые, считались достигшими предельного состояния по критерию прочности.

Для продольных элементов кузова (нижняя обвязка, гофры боковой стены и настила пола) про-изводились расчеты на устойчивость и выявлялись

те из них, которые достигли предельного состояния по критерию устойчивости.

Выполненные исследования по моделированию на ПЭВМ технического состояния кузовов пассажирских некупейных вагонов в зависимости от срока службы позволили установить предельные значения толщин сечений основных элементов кузова, при которых теряется их несущая способность. Расчеты показали, что критерий максимального износа 30 % нуждается в корректировке и должен быть не унифицированным, а дифференцированным для основных элементов кузова по критериям прочности и устойчивости. В частности, в результате проведенных экспериментов установлены предельные состояния наиболее подверженных коррозионному износу элементов, определяющих несущую способность кузова. Потеря несущей способности наступает при уменьшении площади поперечного сечения от 10 до 50 %, по сравнению с исходной.

Список литературы

1 Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ВНИИВ-ВНИИЖТ, 1983. – 260 с.

2 Нейлор Т. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем. – М.: Мир, 1975. – 502 с.

3 Пигунов А.В. Методика оценки предельного состояния элементов металлоконструкции кузова пассажирского некупейного вагона // Актуальные проблемы развития транспортных систем и строительного комплекса: Тр. Междунар. науч.-практ. конф. / БелГУТ. – Гомель, 2001. – С. 88.

Получено 12.04.2002

A. V. Pigunov. Forecasting of residual bearing ability of bodies carriages and management of restoration of their resource.

The technique of forecasting of a technical condition, residual bearing ability and residual resource of basic elements metallic construction of a body for the period of a life cycle of a car is offered.

Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. 2002. № 1(4)

УДК 658.512.011

В. Б. ПОПОВ, кандидат технических наук; Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, г. Гомель

АНАЛИЗ ГРУЗОПОДЪЁМНОСТИ МАЛОГАБАРИТНОГО УНИВЕРСАЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА «ПОЛЕСЬЕ-30М»

Представлена методика расчета выходных параметров, определяющих один из критериев оптимальности миниэнергосредства «Полесье-30М». Получены аналитические выражения для грузоподъемности, позволяющие оценить возможность агрегатирования «Полесье-30М» с различными рабочими машинами и орудиями.

Ряд фирм в Западной Европе, США и Японии развернул производство малогабаритных погрузчиков, которые успешно механизмируют ручной труд в условиях ограниченного пространства: на строительных площадках, внутри складских помещений или когда использование специальной техники нецелесообразно.

Разработанное ГСКБ ПО «Гомсельмаш» мало-

габаритное универсальное энергетическое средство (мини-УЭС) «Полесье-30М» с набором машин и орудий относится к вышеупомянутым малогабаритным погрузчикам. Оно предназначено для механизации небольших по объёму работ, выполняемых как в обычных, так и в стесненных условиях: погрузочно-разгрузочных, по очистке и обустройству территории, прокладке коммуникаций, посад-