

кручивании и прогибе консоли шпинделя; с учетом их приоритета для конкретного вида обработки;

- при выборе оптимальной схемы шпиндельного узла (межопорного расстояния, вылета консоли шпинделя, формы и размеров посадочных мест) необходимо руководствоваться местом и способом приложения внутренних и внешних силовых факторов;

- при отработке управляющей программ для станков с ЧПУ необходимо производить коррекцию инструмента при выходе на эквидистанту.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Точность и надежность станков с числовым программным управлением / Под ред. А.С. Проникова. – М.: Машиностроение, 1982. – 256 с.

2. Надежность и диагностика технологических систем: учебник / В.А. Синопальников, С.Н. Григорьев. – М.: Высш. шк.; 2005. – 343 с.

УДК 629.33

*Линник Д.А., Казьмин А.А.*

*Научные руководители: ассист. Концевич П.С., ст. преподаватель Страчук И.В.*

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ

Развитие рынка конкуренции транспортных работ и услуг ставит перед действующими автотранспортными предприятиями (АТП) задачу реконструкции производства, обновления его производственно-технической базы, перед вновь создаваемыми АТП – выбора оптимальной мощности зон технического обслуживания (ТО) и текущего ремонта (ТР), повышения качества работ по ТО и ТР, экономии топливно-энергетических, финансовых и трудовых ресурсов [1].

Целью данной работы является разработка математической модели функционирования зоны ТО и ТР АТП, составление алгоритма функционирования данных зон, разработка программного обеспечения для проведения вычислительного эксперимента; оценка возможностей использования имитационного моделирования для определения производственной программы по ТО автомобилей.

Вычислительный эксперимент проводится в среде GPSS-World, предназначенной для имитационного моделирования. Одним из распространенных разновидностей математического моделирования, реализуемого с помощью набора математических инструментальных средств, специальных имитирующих программ и технологий моделирования, позволяющих посредством процессов-аналогов провести целенаправленное исследование структуры и функций реального сложного процесса в памяти компьютера в режиме «имитации», выполнить оптимизацию некоторых его параметров.

Задачи работы:

- 1) организация и проведение пассивного эксперимента (наблюдения) на АТП;
- 2) статистический анализ полученных данных;
- 3) разработка и реализация имитационного моделирования, проведение вычислительных операций;
- 4) анализ результатов эксперимента.

Во время прохождения преддипломной практики на «Грузовом автомобильном парке № 1» г. Гродно (230768, улица Суворова, 256), в качестве объекта наблюдения был выбран парк автомобилей МАЗ-54323.

Исходными данными для проведения статистического анализа являлась собранная на предприятии информация из путевых и ремонтных листов для данного автомобиля за 2009 год (таблица 1):

- 1) количество рейсов и дней нахождения автомобиля в рейсе;
- 2) пробег автомобиля за каждый рейс;
- 3) среднесуточный рейсовый пробег;
- 4) количество дней и продолжительность простоя автомобиля в ТР.

Таблица 1 – Исходные данные

№	Рейсы	Дни в рейсе	Пробег, км	Лсс, км	Дата ТР	Простой в ТР, ч.
1	22.01-01.02	10	3220	322	10.02-18.02	192
2	19.02-01.03	10	3005	300,5	03.03-05.03	48
3	05.03-14.03	9	3205	356,1	15.03-18.03	72
4	19.03-29.03	10	3490	349	01.04-02.04	24
5	04.04-15.04	11	3855	350,5	17.04-21.04	96
6	21.04-26.04	5	1655	331		
7	01.05-05.05	4	2405	601,3	12.05-15.05	72
8	16.05-22.05	6	2565	427,5	22.05-27.05	120
9	27.05-05.06	9	3030	336,7		
10	12.06-18.06	6	2420	403,3	22.06-26.06	96
11	27.06-09.07	12	5600	466,7	09.07-10.07	24
12	12.07-16.07	4	1065	266,3	17.07-18.07	24
13	18.07-26.07	8	2995	374,4	01.09-03.09	48
14	03.09-12.09	9	3010	334,4	12.09-16.09	96
15	16.09-25.09	9	3065	340,6	11.10-17.10	144
16	18.10-24.10	6	2470	411,7		
17	29.10-07.11	9	3155	350,6	08.11-12.11	96
18	12.11-21.11	9	3000	333,3	22.11-27.11	120
19	30.11-02.12	3	486	162		
20	04.12-10.12	6	2490	415		
21	12.12-18.12	6	2515	419,2		
22	24.12-30.12	6	2355	392,5	20.12-23.12	72

На основании исходных данных был произведен статистический анализ пробега автомобиля до ТР и продолжительность простоя в ТР с использованием корреляционных формул в табличном процессоре MS Excel.

Длина интервала [2]:

$$A = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{m}, \text{ км}, \quad (1)$$

где  $L_{\max}$  – максимальный пробег автомобиля, км;  $L_{\min}$  – минимальный пробег автомобиля, км;  $m$  – количество интервалов.

Для большего числа попаданий принимаем число интервалов:  $m = 6$ .

Середина интервалов пробега ( $\bar{x}$ ) [2]:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^m \bar{x}_i \cdot n_i, \text{ км}, \quad (2)$$

где  $N$  – общее число наблюдаемых воздействий,  $N = 16$ ;  $\bar{x}_i$  – середина  $i$ -го интервала, км;  
 $n_i$  – число попаданий экспериментальных значений в  $i$ -й интервал.

Опытная вероятность [2]:

$$p_i = \frac{n_i}{N}. \quad (3)$$

Накопленная опытная вероятность [2]:

$$\sum p_i = \sum (p_i + p_{i-1}). \quad (4)$$

Дисперсию экспериментальных данных определяем при  $N \leq 30$  [2]:

$$D(x) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (\bar{x}_i - \bar{x})^2 \cdot n_i, \text{ км}^2. \quad (5)$$

Среднее квадратическое отклонение [2]:

$$\sigma_x = \sqrt{D(x)}, \text{ км}. \quad (6)$$

Значение  $\sigma_x$  характеризует рассеивание, разброс значений пробега до ТР около его среднего  $\bar{x}$ .

Кoeffициент вариации [2]:

$$v_x = \frac{\sigma_x}{\bar{x}}. \quad (7)$$

По полученным результатам статистического анализа построили гистограмму опытных вероятностей (рис. 1), которая дает наглядное представление об опытном распределении отказов в зависимости от пробега автомобиля.

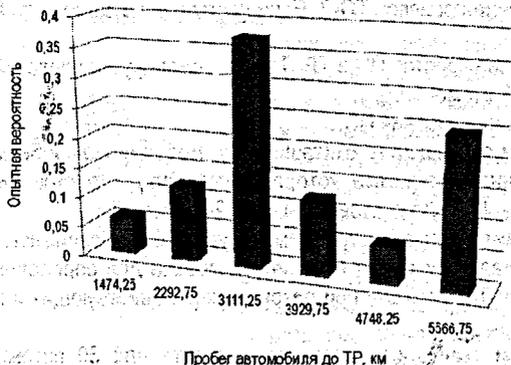


Рисунок 1 – Гистограмма опытных вероятностей

Для определения годовой производственной программы по ТО была разработана и реализована имитационная модель в GPSS-World [3, 4].

Разработанная имитационная модель состоит из следующих основных блоков:

1. Исходные данные.

Исходными данными для моделирования являются: количество автомобилей MA3-54323 (30), скорректированная периодичность ТО-1 (6400 км) и ТО-2 (19200 км), количество постов ТО-1 и ТО-2 (по одному), категория условий эксплуатации (третья), условия эксплуатации (умеренно-теплый влажный климатический район), пробег с начала эксплуатации (250000 км), время моделирования (2016 ч). Среднесуточный пробег распе-

деляется согласно нормальному закону распределения со средним значением 360 км и средним коэффициентом вариации – 0,1 [2]. Среднее квадратическое отклонение, характеризующее рассеивание признака около его среднего значения, для среднесуточного пробега составит исходя из (7):

$$\sigma_x = v_x \cdot \bar{x} = 0,1 \cdot 360 = 36, \text{ км.} \quad (8)$$

Средняя продолжительность выполнения работ ТО-1, ТО-2 и ТР составляет соответственно  $2,183 \pm 0,112$  ч,  $5,139 \pm 0,263$  ч и  $1,492 \pm 0,077$  ч.

2. Моделирование пробега до ТР. В данном блоке модели каждой единице подвижного состава (ПС) присваивается пробег до ТО.

3. Моделирование начального пробега. В данном блоке модели каждой единице ПС присваивается начальный пробег и проверяется необходимость проведения ТО-1 или ТО-2. В случае необходимости проведения ПС направляется в соответствующую зону, в противном случае он отправляется на линию.

4. Моделирование работы ПС на линии. Осуществляется моделирование работы ПС, моделирование с помощью нормального закона распределения среднесуточного пробега, его накопление и сравнение накопленного значения пробега с контрольным для направления ПС на обслуживание.

5. Моделирование работы зоны ТО-1. В данном блоке модели осуществляется постановка ПС на обслуживание и моделирование процесса ТО-1. В случае если посты в зоне ТО-1 заняты ПС занимает посты ожидания.

6. Моделирование работы зоны ТО-2. Осуществляется постановка ПС на обслуживание и моделирование процесса ТО-2. Если посты в зоне заняты, то ПС занимает посты ожидания.

7. Моделирование простоя ПС в ТР. Так же моделируется простой ПС в ТР путем задержки транзакта (автомобиля).

8. Моделирование списания ПС.

По полученным результатам имитационного моделирования была определена годовая производственная программа, которая составила для постов зоны ТО-1 – 257, для постов зоны ТО-2 – 120, для постов зоны ТР – 240 входов.

Полученная имитационная модель имитирует работу подвижного состава и зон технического обслуживания и может быть использована для определения производственной программы зон ТО-1 и ТО-2 при реконструкции действующих и проектировании новых АТП.

По результатам вычислительного эксперимента для 30 автомобилей МА3-54323, анализа полученных результатов можно сделать выводы:

1) имитационное моделирование в среде GPSS-World позволяет сокращать время на определение производственной программы зон АТП, не требует больших расчетов, обеспечивает высокую точность данных результата моделирования, что способствует выбору оптимальных решений;

2) разработанная и реализованная имитационная модель может быть использована для определения производственной программы по ТО автомобилей за различные периоды времени;

3) разработанная прикладная программа на базе GPSS-World может быть использована в учебном процессе при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Информационное обеспечение на автомобильном транспорте».

## СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Болбас, М.М. Проектирование предприятий автомобильного транспорта: учеб. для студентов специальности «Техническая эксплуатация автомобилей» учреждений, обеспечивающих получение высш. образования. – Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2004. – 528 с.: ил.
2. Кучур, С.С. Научные исследования и решение инженерных задач: учебн. пособие / С.С. Кучур, М.М. Болбас, В.К. Ярошевич. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2003. – 416 с.: ил.
3. Кудрявцев, Е.М. GPSS-World. Основы имитационного моделирования различных систем. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 320 с.: ил. (Серия «Проектирование»).
4. Томашевский, В.Н. Имитационное моделирование в среде GPSS / В.Н. Томашевский, Е.Н. Жданов. – М.: Бестселлер, 2003. – 416 с.: ил.

УДК 621.891.67

Манцевич А.В.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Голуб В.М.

## ТОРЦОВЫЕ УПЛОТНЕНИЯ ВАЛОВ ГИДРОМАШИН

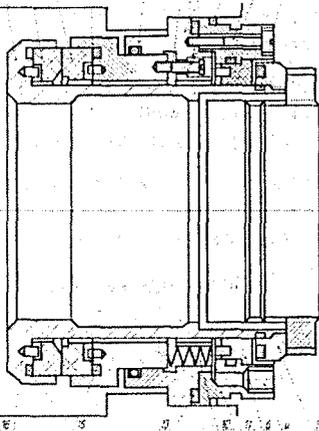
### Введение

Эффективность работы насосного оборудования при любом режиме перекачки жидких сред в основном зависит от состояния работы уплотнений. Состояние уплотнений выхода вала из корпуса центробежного насоса определяет ресурс его работы, надёжность и уровень автоматизации насосных станций, возможность перехода на «малолюдную» или «безлюдную» технологию перекачки. Небольшой по размерам узел уплотнения особенно требует пристального внимания,

поскольку разгерметизация насоса может привести к тяжким последствиям, при перекачке пожаро- и взрывоопасных сред, и нанести значительный экономический и социальный ущерб.

С широким развитием трубопроводного транспорта нефти, совершенствования технологии перекачки и технологического оборудования, требования, предъявляемые к уплотнениям насосов, всё время повышаются. Необходимо обеспечить надёжную и длительную работу уплотнений при больших величинах давления перекачки (65 атм. и более), высоких скоростях вращения вала насоса, иногда при вибрации, и наличии механических примесей в перекачиваемой среде [3,6].

Современный период эксплуатации насосов магистральных нефтепроводов характеризуется значительным повышением срока службы уплотнений. Однако общая доля отказов насосов по причине выхода из строя уплотнений остаётся преобладающей, более 30% от общего числа отказов.



- 1 – корпус уплотнения; 2 – втулка вала; 3 – аксиальноподвижная втулка; 6 и 9 – резервная пара трения; 7 и 8 – основная пара трения; 10 – пружины; 11 – корпус резинового уплотнения; 12 – винт крепления; 14 – винт фиксации; 18 – штифт; 4,5,13,15,16 и 17 – резиновые уплотнительные кольца

Рисунок 1 – Торцовое уплотнение УТН-120С