

Минобрнауки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
Высшего профессионального образования
«Тульский государственный университет»
Кафедра "Автомобили и автомобильное хозяйство"

Политехнический институт

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ПТИ

_____ О. И.
Борискин

«___» _____ 2012 г.

Методические указания по выполнению контрольной работы
по дисциплине

"ОБЩИЙ КУРС ТРАНСПОРТА"

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ:

190700 – Технология транспортных процессов

ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ:

Организация перевозок и управление на автомобильном транспорте

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ: 190600 – Эксплуатация
транспортно-технологических систем и комплексов

ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ – Автомобили и автомобильное
хозяйство

ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ:

Очная, заочная

Тула 2012 г.

Методические указания разработал проф. каф. АиАХ Агуреев И. Е.

Обсуждено

на заседании кафедры АиАХ

протокол № _____ от _____ 2012 г.

зав. кафедрой АиАХ _____ Н.Н.Фролов

Введение

Анализ и исследование процессов в автомобильных транспортных системах является важной составной частью задач, решаемых при эксплуатации автомобильного транспорта.

Объектом исследования настоящей контрольной работы (ККР) является автомобильная транспортная система, состоящая из грузового автотранспортного предприятия (АТП) и пунктов погрузки-разгрузки. Система осуществляет перевозку строительных материалов на объект в течение одного года. Особенности работы системы, принятыми в ККР, являются:

- 1) автомобили работают на маятниковом маршруте, который является общим для всех транспортных средств; длина груженой ездки приведена в настоящих методических указаниях (см. Приложение 1);
- 2) размер партии перевозимого груза, предъявляемой к перевозке, является случайной величиной, распределенной по показательному закону;
- 3) автомобили в совокупности с погрузочно-разгрузочными средствами образуют замкнутую систему массового обслуживания (СМО).

Тема контрольной работы формулируется следующим образом: «Разработка комплекса показателей перевозочной и эксплуатационной работы автомобильной транспортной системы». Таким образом, учебно-методической целью ККР является ознакомление с методиками расчета показателей перевозочной и эксплуатационной работы АТП. Задачами ККР являются:

- 1) расчет оптимальной структуры парка грузового АТП, обусловленной необходимостью наиболее точного соответствия грузоподъемности транспортных средств случайной величине размера партии груза;
- 2) расчет (имитационное моделирование) работы транспортной системы (взаимодействие транспортных и погрузочно-разгрузочных средств) как замкнутой системы массового обслуживания;
- 3) расчет комплекса показателей перевозочной и эксплуатационной работы;
- 4) выполнение исследовательских расчетов (по индивидуальному заданию преподавателя).

Порядок выполнения контрольной работы. Контрольная работа содержит следующие основные разделы:

- 1) расчет оптимальной структуры парка подвижного состава грузового автотранспортного предприятия (Приложение 1);
- 2) расчет работы пункта разгрузки методами теории массового обслуживания (Приложение 2);
- 3) расчет показателей перевозочной и эксплуатационной работы транспортной системы;

3) исследовательская часть: расчет динамики и устойчивости работы склада строительных материалов (Приложение 3).

Состав контрольной работы. ККР состоит из пояснительной записки объемом 30...40 страниц формата А4.

Содержание расчетно-пояснительной записки включает в себя следующие части и разделы:

- 1) титульный лист;
- 2) бланк задания;
- 3) аннотация;
- 4) оглавление;
- 5) введение;
- 6) основную часть, имеющую разделы в соответствии с приведенным выше порядком работы;
- 7) заключение, содержащее выводы о работе системы, характере существовавших в ней проблем и способам их решения
- 8) список использованной литературы;
- 9) приложения.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Расчет оптимальной структуры парка подвижного состава грузового автотранспортного предприятия

П1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Для определения оптимальной структуры парка автомобилей по грузоподъемности необходимо установить характер распределения размеров партий грузов и среднесуточную выработку автомобилей, то есть средний размер перевозимой за сутки партии груза. Приведем основные зависимости для выполнения расчетов.

Обозначим грузоподъемности автомобилей $q_1, q_2, \dots, q_j, \dots, q_m$.

Плотность распределения размеров партий грузов задана и равна $f(x)$. Тогда вероятность поступления требования на поставку партии груза, для перевозки которой необходим автомобиль грузоподъемности q_j ($j = 1, 2, \dots, m-1$) равна

$$p_j = \begin{cases} \int_0^{(q\gamma)_j} f(x)dx, & j = 1; \\ \int_{(q\gamma)_{j-1}}^{(q\gamma)_j} f(x)dx, & j > 1. \end{cases} \quad (1)$$

Вероятность поступления требования на поставку партии груза, для перевозки которой требуется автомобиль грузоподъемностью q_m , осуществляющий перевозку партии за i ездов ($i = 1, 2, \dots$),

$$p_{m,i} = \begin{cases} \int_0^{(q\gamma)_m} f(x)dx, & i = 1; \\ \int_{(i-1)(q\gamma)_m}^{i(q\gamma)_m} f(x)dx, & i > 1. \end{cases} \quad (2)$$

Требуемое количество автомобилей j -го типа ($j = 1, 2, \dots, m-1$) для работы на линии

$$A_{\gamma j} = \frac{\bar{N}_{\text{с.т.}} p_j}{T_{\text{н.ж}}} \left(\frac{l_{\text{р.е.ж}}}{v_{\text{т.ж}} \beta_j} + t_{\text{пп.ж}} \right), \quad (3)$$

где $\bar{N}_{\text{с.т.}}$ – среднесуточное количество требований на перевозку грузов.

Требуемое количество автомобилей грузоподъемностью q_m

$$A_{\text{эм}} = \frac{\bar{N}_{\text{с.т}} \sum_{i=1}^{\infty} i p_{m,i}}{T_{\text{нм}}} \left(\frac{l_{\text{г.ем}}}{v_{\text{тм}} \beta_m} + t_{\text{прм}} \right), \quad (4)$$

а общее количество автомобилей в парке равно

$$A_{\text{э}} = \sum_{j=1}^m A_{\text{э}j} = \bar{N}_{\text{с.т}} \left[\sum_{j=1}^{m-1} \frac{p_j}{T_{\text{н}j}} \left(\frac{l_{\text{г.е}j}}{v_{\text{т}j}} \beta_j + t_{\text{пр}j} \right) + \frac{\sum_{i=1}^{\infty} i p_{m,i}}{T_{\text{нм}}} \left(\frac{l_{\text{г.ем}}}{v_{\text{тм}} \beta_m} + t_{\text{прм}} \right) \right]. \quad (5)$$

Разделив левые и правые части уравнений (3) и (5), получим

$$\frac{A_{\text{э}j}}{A_{\text{э}}} = \frac{p_j}{T_{\text{н}j} B} \left(\frac{l_{\text{г.е}j}}{v_{\text{т}j}} \beta_j + t_{\text{пр}j} \right), \quad j = 1, 2, \dots, m-1. \quad (6)$$

Аналогично из уравнений (4) и (5) следует

$$\frac{A_{\text{эм}}}{A_{\text{э}}} = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} i p_{m,i}}{T_{\text{нм}} B} \left(\frac{l_{\text{г.ем}}}{v_{\text{тм}} \beta_m} + t_{\text{прм}} \right). \quad (7)$$

В уравнениях (6) и (7)

$$B = \frac{A_{\text{э}}}{\bar{N}_{\text{с.т}}} = \sum_{j=1}^{m-1} \frac{p_j}{T_{\text{н}j}} \left(\frac{l_{\text{г.е}j}}{v_{\text{т}j}} \beta_j + t_{\text{пр}j} \right) + \frac{\sum_{i=1}^{\infty} i p_{m,i}}{T_{\text{нм}}} \left(\frac{l_{\text{г.ем}}}{v_{\text{тм}} \beta_m} + t_{\text{прм}} \right). \quad (8)$$

Если $T_{\text{н}j} = T_{\text{нм}} = T_{\text{н}}$, то при расчетах следует предварительно вычислить

$$T_{\text{н}} B = \sum_{j=1}^{m-1} p_j \left(\frac{l_{\text{г.е}j}}{v_{\text{т}j}} \beta_j + t_{\text{пр}j} \right) + \left(\frac{l_{\text{г.ем}}}{v_{\text{тм}} \beta_m} + t_{\text{прм}} \right) \sum_{i=1}^{\infty} i p_{m,i}. \quad (9)$$

Таким образом, чтобы определить вероятности требований на перевозку автомобилями различной грузоподъемности, достаточно установить характер распределения размеров партий грузов и среднесуточную выработку этих автомобилей.

Если принять показательный (экспоненциальный) закон распределения партий грузов

$$f(x) = \frac{1}{\bar{g}} e^{-\frac{x}{\bar{g}}},$$

где $\bar{g}$ - средний размер партии груза (m), то

$$p_1 = \frac{1}{\bar{g}} \int_0^{(q\gamma)_1} e^{-\frac{x}{\bar{g}}} dx = 1 - e^{-\frac{(q\gamma)_1}{\bar{g}}};$$

$$p_j = \frac{1}{\bar{g}} \int_{(q\gamma)_{j-1}}^{(q\gamma)_j} e^{-\frac{x}{\bar{g}}} dx = e^{-\frac{(q\gamma)_{j-1}}{\bar{g}}} - e^{-\frac{(q\gamma)_j}{\bar{g}}}, \quad j > 1; \quad (10)$$

$$p_{m,i} = \frac{1}{\bar{g}} \int_{(i-1)(q\gamma)_m}^{i(q\gamma)_m} e^{-\frac{x}{\bar{g}}} dx = e^{-\frac{(i-1)(q\gamma)_m}{\bar{g}}} - e^{-\frac{i(q\gamma)_m}{\bar{g}}}.$$

Размеры перевозимых партий грузов приводятся в соответствие с грузоподъемностью автомобиля. В этом случае средний размер завозимой партии груза

$$\bar{g} = \sum_{j=1}^{m-1} p_j (q\gamma)_j + (q\gamma)_m \sum_{i=1}^{\infty} i p_{m,i}. \quad (11)$$

Здесь $(q\gamma)_j, (q\gamma)_m$ - возможные наибольшие загрузки автомобилей, обусловленные вместимостью кузова и характером перевозимого груза.

Средний размер перевозимой за езду партии груза

$$\bar{q}_e = \sum_{j=1}^{m-1} p_j (q\gamma)_j + (q\gamma)_m \sum_{i=1}^{\infty} p_{m,i}. \quad (12)$$

Средняя грузоподъемность автомобиля из расчета на одну езду

$$\bar{g}_e = \sum_{j=1}^{m-1} p_j q_j + q_m \sum_{i=1}^{\infty} p_{m,i}. \quad (13)$$

Среднее значение коэффициента статического использования грузоподъемности парка автомобилей

$$\bar{\gamma}_{ст} = \frac{\bar{g}_e}{\bar{q}_e}. \quad (14)$$

Количество ездов, выполняемое парком автомобилей за рассматриваемый период,

$$n_e = \frac{P}{\bar{q}_e \bar{\gamma}_{ст}}, \quad (15)$$

где P - общий объем перевозок (т).

Число ездов, выполняемое автомобилями j -го типа, равно

$$n_{ej} = p_j n_e, \quad j = 1, 2, \dots, m-1, \quad (16)$$

а автомобилями наибольшей грузоподъемности

$$n_{em} = n_e \sum_{i=1}^{\infty} p_{m,i} = n_e - \sum_{j=1}^{m-1} n_{ej}. \quad (17)$$

Объем перевозок автомобилями грузоподъемности q_j определяется по формуле

$$P_j = n_{ej}(q\gamma)_j, \quad j=1, 2, \dots, m. \quad (18)$$

Требуемое (среднесписочное) количество автомобилей грузоподъемности q_j

$$\bar{A}_j = \frac{P_j}{D\alpha_j P_{\text{сут } j}}, \quad j=1, 2, \dots, m, \quad (19)$$

где $P_{\text{сут } j}$ - суточная выработка автомобиля

$$P_{\text{сут } j} = \frac{v_{тj}\beta_j q_j \gamma_{\text{ст } j} T_{нj}}{l_{г.еj} + v_{тj}\beta_j t_{прj}}. \quad (20)$$

Пример. Размеры партий металла и труб, вывозимых с базы производственно-технической комплектации строительства в соответствии с требованиями на перевозки, распределены по экспоненциальному закону с плотностью

$$f(x) = 0,0675e^{-0,0675x}.$$

Средний размер партии груза $\bar{g} = 1/0,0675 = 14,8m$.

Для перевозки за год $P=300$ тыс.т металла и труб предполагается использовать автомобили ЗИЛ-130В1 с полуприцепом ОдАЗ-885 ($q_1 = 7,5m; t_{np1} = 1,47; \alpha_1 = 0,75$), МАЗ-200В с полуприцепом МАЗ-5215 ($q_2 = 12,5m; t_{np2} = 1,58; \alpha_2 = 0,79$) и МАЗ-504В с полуприцепом МАЗ-5245В ($q_3 = 14,0m; t_{np3} = 1,58; \alpha_3 = 0,74$). Остальные показатели одинаковы для всех автомобилей:

$$l_{г.еj} = 10 \text{ км}; v_{Тj} = 22 \text{ км/ч}; \beta_j = 0,5; T_{нj} = 12 \text{ час} \quad (j=1,2,3).$$

Вероятности требований на перевозку грузов партиями, для доставки которых целесообразно использовать автомобили-тягачи ЗИЛ-130В1 и МАЗ-200В, соответственно составляют:

$$p_1 = 1 - e^{-\frac{(q\gamma)_1}{\bar{g}}} = 1 - e^{-\frac{7,5}{14,8}} = 0,4;$$

$$p_2 = e^{-\frac{(q\gamma)_1}{\bar{g}}} - e^{-\frac{(q\gamma)_2}{\bar{g}}} = e^{-\frac{7,5}{14,8}} - e^{-\frac{12,5}{14,8}} = 0,17.$$

Вероятности требований на перевозку грузов партиями, доставлять которые целесообразно автомобилем МАЗ-504В при выполнении соответственно $i=1,2,\dots$ ездов

$$\begin{aligned}
p_{3,1} &= e^{-\frac{(q\gamma)_2}{\bar{g}}} - e^{-\frac{(q\gamma)_3}{\bar{g}}} = e^{-\frac{12,5}{14,8}} - e^{-\frac{14,0}{14,8}} = 0,05; \\
p_{3,2} &= e^{-\frac{(q\gamma)_3}{\bar{g}}} - e^{-\frac{2(q\gamma)_3}{\bar{g}}} = e^{-\frac{14,0}{14,8}} - e^{-\frac{2 \cdot 14,0}{14,8}} = 0,24; \\
p_{3,3} &= e^{-\frac{2(q\gamma)_3}{\bar{g}}} - e^{-\frac{3(q\gamma)_3}{\bar{g}}} = 0,13; \\
p_{3,4} &= e^{-\frac{3(q\gamma)_3}{\bar{g}}} - e^{-\frac{4(q\gamma)_3}{\bar{g}}} = 0,01; \\
p_{3,5} &\approx p_{3,6} \approx \dots \approx 0.
\end{aligned}$$

В нашем случае $T_{n1} = T_{n2} = T_{n3}$, поэтому можно по формуле (9) найти $T_n B = 3$.

Удельный вес автомобилей каждой грузоподъемности определяется по формулам (6) и (7):

$$\frac{A_{\gamma 1}}{A_{\gamma}} = 0,239; \quad \frac{A_{\gamma 2}}{A_{\gamma}} = 0,106; \quad \frac{A_{\gamma 3}}{A_{\gamma}} = 0,655;$$

Средняя грузоподъемность автомобиля за езду, в соответствии с формулой (13), равна $\bar{q}_e = 11,13 \text{ т}$.

Поскольку $\gamma_{cm1} = \gamma_{cm2} = \gamma_{cm3} = 1$, то среднее значение коэффициента статического использования грузоподъемности можно установить без расчета: $\gamma_{cm} = 1$.

Количество ездов, выполняемое парком автомобилей за рассматриваемый период, по формуле (15)

$$n_e = 26600,$$

а число ездов, выполняемое автомобилями каждой грузоподъемности, соответственно

$$n_{e1} = 10600; \quad n_{e4} = 3110; \quad n_{e3} = 12890.$$

Объем перевозок

$$P_1 = 80000 \text{ т}; \quad P_2 = 39000 \text{ т}; \quad P_3 = 181000 \text{ т}.$$

Суточную выработку автомобилей вычисляем по формуле (20)

$$P_{\text{сут}1} = 37,9 \text{ т / сут}; \quad P_{\text{сут}2} = 60,3 \text{ т / сут}; \quad P_{\text{сут}3} = 62,3 \text{ т / сут}.$$

Требуемое среднесписочное количество автомобилей:

$$A_1 = 7,71; \quad A_2 = 2,4; \quad A_3 = 10,8.$$

П2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТА

1. Изучить настоящие методические указания.
2. Подготовить необходимые исходные данные для выполнения расчетов.
3. Выполнить расчеты в соответствии с вышеприведенной методикой и выданным вариантом задания.

4. Сделать анализ полученных результатов и дать рекомендации по изменению структуры существующего парка автомобилей по условиям работы.

5. Оформить соответствующий раздел пояснительной записки курсового проекта.

ПЗ. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ на курсовое проектирование

Для всех вариантов средний размер партии завозимого груза составляет $P = 320 \text{ тыс.т}$, длина груженой ездки $l_{г.е} = 12 \text{ км}$.

Вариант	μ	α	$v_r, \text{ км/ч}$
1	0,0475	0,71	30
2	0,05	0,72	28
3	0,0525	0,73	26
4	0,055	0,74	24
5	0,0575	0,75	22
6	0,06	0,76	20
7	0,0625	0,77	30
8	0,065	0,78	28
9	0,0675	0,79	26
10	0,07	0,80	24
11	0,0725	0,71	22
12	0,075	0,72	20
13	0,0775	0,73	30
14	0,08	0,74	28
15	0,0475	0,75	26
16	0,05	0,76	24
17	0,0525	0,77	22
18	0,055	0,78	20
19	0,0575	0,79	30
20	0,06	0,80	28
21	0,0625	0,71	26
22	0,065	0,72	24
23	0,0675	0,73	22
24	0,07	0,74	20
25	0,0725	0,75	30

Расчет работы пункта разгрузки методами теории массового обслуживания

П2.1 Теоретические сведения. Исследование систем автомобильного транспорта как замкнутых одноканальных СМО

Существуют системы массового обслуживания, обладающие общим свойством – входящий поток заявок $\Pi_{\text{вх}}$ в них и его интенсивность не зависят от состояний системы, источник поступающих заявок находился вне системы. Рассмотрим СМО, в которых интенсивность потока поступающих заявок зависит от состояния системы. Такие СМО называют *замкнутыми* или *системами Энгсета* по имени Т. Энгсета, который впервые дал их полный анализ.

Пусть одноканальная СМО содержит i источников заявок, каждый из которых порождает простейший поток заявок с интенсивностью λ .

Заявка, пришедшая от источника в момент, когда канал занят, становится в очередь и ждет обслуживания. При этом источник может подать следующую заявку только в том случае, если поданная им предыдущая заявка уже обслужена. Среднее время обслуживания каналом одной заявки (безразлично из каких источников)

$$\bar{T}_{об} = \frac{1}{\mu},$$

где μ – интенсивность простейшего потока обслуживания.

Таким образом, имеем своеобразную СМО, содержащую конечное число источников заявок, каждый из которых может находиться в одном из двух состояний: активном или пассивном. *Активное состояние* источника – это такое состояние, при котором уже обслужена поданная им последняя заявка. *Пассивное состояние* характеризуется тем, что поданная источником последняя заявка еще не обслужена, т.е. либо стоит в очереди, либо находится под обслуживанием.

В активном состоянии источник может подавать заявки, а в пассивном – нет. Следовательно, интенсивность общего потока заявок зависит от того, сколько источников находится в пассивном состоянии, т.е. сколько заявок связано с процессом обслуживания (стоит в очереди или непосредственно обслуживается).

Характерным для замкнутой СМО является *зависимость потока заявок от состояний самой СМО*. Эта зависимость проявляется существенно при *конечном небольшом* числе источников заявок. Но если число источников достаточно велико, то практически можно считать, что интенсивность потока заявок не зависит от состояний СМО.

Занумеруем состояния СМО по числу источников, находящихся в пассивном состоянии, т.е. по числу заявок, находящихся в очереди и под обслуживанием:

S_0 – все i источников находятся в активном состоянии, канал свободен, очереди нет;

S_1 – один источник находится в пассивном состоянии, канал обслуживает поданную этим источником заявку, очереди нет;

S_2 – два источника находятся в пассивном состоянии, заявка, поданная одним из них, обслуживается, а заявка, поданная другим источником, стоит в очереди;

S_i – все i источников находятся в пассивном состоянии, заявка, поданная одним из них, обслуживается, а $i-1$ заявок, поданных остальными источниками, стоят в очереди.

Граф состояний рассматриваемой СМО приведен на рис.1.

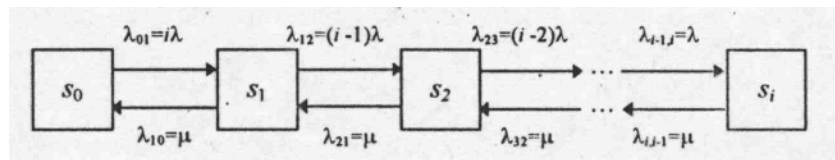


Рис.1. Размеченный граф состояний одноканальной замкнутой СМО

Из состояния S_0 в состояние S_1 систему переводит суммарный поток, состоящий из потоков всех i активных источников; поэтому интенсивность этого суммарного потока $\lambda_{01} = i\lambda$. Из состояния S_1 в состояние S_2 система переходит под воздействием суммарного потока уже $(i-1)$ потоков активных источников, поскольку один источник находится в пассивном состоянии; следовательно, $\lambda_{12} = (i-1)\lambda$ и т.д. Из состояния S_{i-1} в состояние S_i систему переводит только один поток, порождаемый единственным источником, находящимся в активном состоянии (все остальные $(i-1)$ источников в пассивном состоянии); поэтому $\lambda_{i-1,i} = \lambda$. Таким образом, мы нашли все плотности вероятностей переходов системы по стрелкам слева направо. Интенсивности же потоков, переводящих СМО по стрелкам справа налево, все одинаковы и равны μ , поскольку все время работает один канал с интенсивностью обслуживания μ . Таким образом, $\lambda_{k,k-1} = \mu, k=1, \dots, i$.

Как видно из структуры графа состояний данной СМО (рис.1), в ней протекает процесс гибели и размножения. Тогда для определения предельных вероятностей состояний получим:

$$\alpha_k = \frac{(i\lambda)[(i-1)\lambda] \dots [i-(k-1)\lambda]}{\mu^k} = \frac{\lambda^k}{\mu^k} \cdot \frac{i!}{(i-k)!} = \frac{i!}{(i-k)!} \rho^k; k=1, \dots, i,$$

где $\rho = \lambda/\mu$ – показатель нагрузки системы, порождаемой каждым источником заявок.

Найдем вероятности состояний:

$$\begin{cases} p_0 = \left(i! \sum_{k=0}^i \frac{\rho^k}{(i-k)!} \right)^{-1} \\ p_k = \frac{i!}{(i-k)!} \rho^k p_0; k=1, \dots, i. \end{cases}$$

Событие, состоящее в том, что канал занят, и событие, состоящее в том, что канал свободен, противоположны и потому вероятности этих событий в сумме дают единицу. Следовательно, вероятность того, что канал занят

$$p_{\text{зан}} = 1 - p_0$$

где p_0 – вероятность того, что канал свободен. Так как производительность канала – μ заявок в единицу времени, то абсолютная пропускная способность СМО

$$A = p_{\text{зан}} \mu = (1 - p_0) \mu$$

Напомним, что интенсивность ν выходящего потока $P_{\text{вых}}$ обслуженных заявок совпадает с абсолютной пропускной способностью A :

$$\nu = A = (1 - p_0) \mu.$$

Так как каждая заявка рано или поздно будет обслужена каналом, то относительная пропускная способность СМО равна единице $Q = 1$.

Вычислим среднее число $\bar{N}_{\text{сис}}$ заявок, находящихся в системе, т.е. в очереди и под обслуживанием, иными словами, среднее число $\bar{N}_{\text{нас}}$ источников, находящихся в пассивном состоянии.

В рассматриваемой СМО всего i источников заявок, из которых в среднем $\bar{N}_{\text{нас}}$ находятся в пассивном состоянии. Следовательно, $i - \bar{N}_{\text{нас}}$ источников находятся в активном состоянии и каждый из них порождает поток заявок с интенсивностью λ . Тогда средний суммарный входящий поток (порождаемый активными источниками) будет иметь среднюю интенсивность заявок в единицу времени:

$$\bar{\lambda} = (i - \bar{N}_{\text{нас}}) \lambda. \quad (1)$$

Поскольку все эти заявки обслуживаются каналом, то

$$\bar{\lambda} = (i - \bar{N}_{\text{нас}}) \lambda = A = (1 - p_0) \mu = \nu. \quad (2)$$

Формула (2) показывает, что средняя интенсивность $\bar{\lambda}$ входящего потока равна интенсивности ν выходящего потока.

Из формулы (2)

$$\bar{N}_{\text{нас}} = i - (1 - p_0) \frac{1}{\rho}. \quad (3)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Исследовательская часть: расчет динамики и устойчивости работы склада строительных материалов

П3.1 Теоретические сведения

Существует большое разнообразие подходов к описанию транспортных процессов и систем. Это обусловлено, с одной стороны, различием целей и задач, решаемых в конкретных ситуациях. С другой стороны, в любой транспортной системе (мы не касаемся специфики трубопроводного транспорта) можно выделить следующие основные элементы:

- транспортное средство;
- предприятие, осуществляющее грузовые и/или пассажирские перевозки;
- транспортная сеть;
- пункт погрузки-разгрузки;
- грузовой склад (терминал);
- пассажирский вокзал (пассажирская остановка);
- перевозочный (транспортный) процесс;
- поток транспортных средств и др.

Отличительными особенностями почти любой из перечисленных подсистем являются: наличие большого числа однородных элементов или элементов разной природы; дискретность состояний; наличие потоков случайных событий и случайных процессов. В качестве теоретических основ для моделирования перечисленных объектов применяются чаще всего аппараты теории линейного (нелинейного, динамического) программирования, массового обслуживания, управления запасами, игр и т.д. При этом делаются предположения либо о полностью детерминированном функционировании систем (например, в случае решения разнообразных транспортных задач линейного программирования), либо о вероятностном характере происходящих процессов (в большинстве других случаев) [1]. Подход, который используется в теории макросистем [2], позволяет расширить указанные рамки и допускает детерминированное поведение систем, состоящих из элементов со стохастическим типом поведения.

На рис.1 приведена схема транспортной макросистемы S_0 , где S_{01} – грузовой склад; S_{02} – пассажирская остановка; S_{03} – участок улично-дорожной сети; S_{04} – гараж (парковка, автотранспортное предприятие и т.п.); $S_{Г1}$ – грузоотправитель; $S_{Г2}$ – грузополучатель; $S_{П1}$ – место проживания пассажиров; $S_{П2}$ – место работы пассажиров и приобретения услуг.

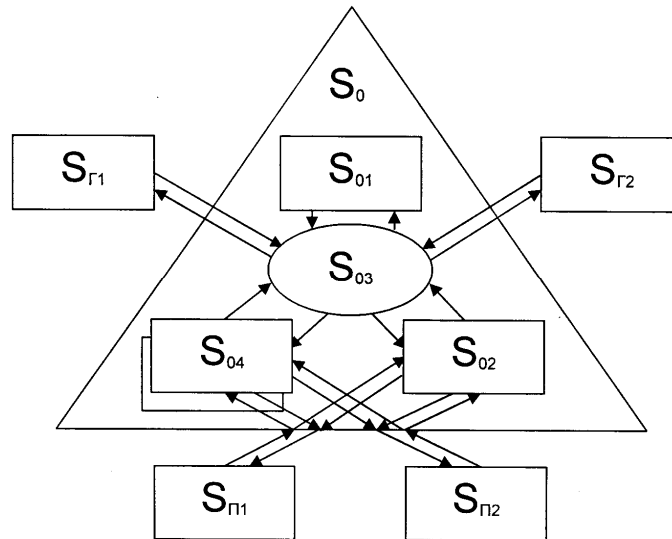


Рис.1. Схема транспортной макросистемы

Все перечисленные элементы также рассматриваются как макросистемы. Например, макросистема S_{02} состоит из всех остановочных пунктов города. Каждый из них описывается собственными переменными, такими как число пассажиров, число автобусов, находящихся на остановке, число свободных мест в транспортном средстве (см. п.2.2). Складывая все переменные в один и тот же момент времени, которые являются случайными величинами, получаем описание системы в целом. Учитывая коллективный характер такого описания, можем предположить возникновение детерминированных связей, эффектов самоорганизации, синхронизации функционирования отдельных элементов и т.д. Аналогичное допущение действует и на подсистему S_{01} .

В макросистеме главным образом предполагается наличие потоков трех видов: пассажиров, грузов и транспортных средств. Можно установить достаточно большое количество цепочек, соединяющих узлы на рис.1 и соответствующих некоторым реальным перемещениям в транспортной системе. Каждый из потоков будет определяться собственной переменной, зависящей от времени. В результате могут быть сформулированы динамические модели вида:

$$\dot{x} = F(x, \mu)$$

или

$$\dot{x} = F(x, t, \mu),$$

где $x \in M \subset \mathbb{R}^m$, $\mu \in L \subset \mathbb{R}^k$, $t \in I \subset \mathbb{R}$.

П3.2 Постановка задачи

1. Модель грузового склада (макросистемы S_{01})

Данная модель может быть представлена в виде системы уравнений

$$\begin{cases} \dot{x} = a[(X - x) + ky - mz](Z - z) - b(Y - y)(Z - z); \\ \dot{y} = c[(Y - y) + lx + nz]z - d(X - x)z; \\ \dot{z} = ex - fy + g. \end{cases} \quad (1)$$

Переменные имеют следующий смысл: x – автомобили, доставляющие груз; y – автомобили, развозящие груз; z – количество груза на складе. Параметры в уравнениях (1) обозначают: X – число автомобилей, участвующих в доставке груза; Y – число автомобилей, участвующих в развозе груза; Z – предельная (или наиболее вероятная) емкость склада; g – интенсивность восполнения груза другими видами транспорта.

При формулировке настоящей модели, равно как и последующих, использовалось представление о балансе транспортных средств и груза (по аналогии с уравнением баланса массы в механике сплошной среды), а также учет основных причинно-следственных связей, приводящих к изменению поведения участников транспортной системы. Например, в первом уравнении учтено: чем больше груза на складе, тем больше автомобилей снимают с маршрута ($-mz$); чем меньше запас z , тем интенсивнее будут поступать автомобили ($Z - z$); чем больше автомобилей стоит на погрузку, тем медленнее отбывают автомобили типа x (множитель $Y - y$); чем больше груза, тем сложнее разгрузиться (множитель $Z - z$) и т.д. Отсюда становится ясным смысл коэффициентов $a...f$, которые выражают интенсивность прироста или убывания переменных в результате действия соответствующих причин.

2. Модель пассажирской остановки (макросистемы S_{02})

Модель может быть сформулирована в виде системы [3]:

$$\begin{cases} \dot{x} = a[(X + ky - mz) - x]z - b(Y - y)(Z - z); \\ \dot{y} = -cxz + d(Y - y); \\ \dot{z} = -eyz + f(Z - z) + [gz - h(Y - y)]x. \end{cases} \quad (2)$$

Здесь переменными являются: x – количество автобусов, находящихся на остановке; y – количество пассажиров, ожидающих посадку; z – число свободных мест в автобусах, находящихся на остановке. Остальные параметры имеют следующий смысл: X – среднее (нормативное) число автобусов, работающих на маршруте; Y – среднее количество пассажиров на остановке (условная «вместимость» остановки); Z – среднее число мест для пассажиров (вместимость автобуса). Коэффициенты модели характеризуют:

a – интенсивность прибытия автобусов на остановку (имеет размерность $1/(\text{мест} \cdot \text{мин})$); b – интенсивность отправления автобусов от остановки ($\text{авт}/(\text{пасс} \cdot \text{мест} \cdot \text{мин})$); c – интенсивность посадки пассажиров в автобусы ($\text{пасс}/\text{авт} \cdot \text{мест} \cdot \text{мин}$); d – интенсивность прибытия пассажиров на остановку ($1/\text{мин}$); e – скорость уменьшения числа свободных мест вследствие посадки пассажиров ($1/(\text{пасс} \cdot \text{мин})$); f – интенсивность увеличения числа свободных мест за счет высадки пассажиров ($1/\text{мин}$); g – скорость роста числа свободных мест, «прибывающих» вместе с автобусами ($1/\text{авт} \cdot \text{мин}$); h – интенсивность «убывания» свободных мест, не занятых пассажирами до отправления автобуса ($1/\text{пасс} \cdot \text{авт} \cdot \text{мин}$); k – интенсивность выхода на линию автобусов сверх нормативного значения при увеличении числа пассажиров на остановках ($\text{авт}/\text{пасс}$); t – интенсивность «схода» автобусов с маршрутов вследствие роста числа свободных мест ($\text{авт}/\text{мест}$).

Слагаемые в правых частях уравнений имеют следующий смысл. В первом уравнении (4) слагаемое с знаком «+» отражает поступление автобусов на остановку, зависящее от разности общего количества автобусов, находящихся на маршрутах, и числа автобусов на остановке. В этом слагаемом учитываются также выпуск автобусов на маршрут при росте числа пассажиров на остановке (например, в часы «пик»), а также «сход» с маршрута при увеличении числа свободных мест в автобусе. Это слагаемое пропорционально количеству свободных мест в автобусах на остановке (чем больше свободных мест, тем интенсивнее будут автобусы поступать на посадку с целью загрузки – или сходят с маршрута, о чем уже сказано). Слагаемое со знаком «–» отражает процесс отправления автобуса от остановки. Оно осуществляется быстрее, если, с одной стороны, на остановке мало пассажиров (становится короче по времени процесс посадки) или, с другой стороны, если мало свободных мест в самом автобусе (пассажиры отказываются от посадки). Таким образом, имеем произведение $b(Y - y)(Z - z)$.

Во втором уравнении слагаемое со знаком «+» описывает приход пассажиров на остановку: чем меньше занята остановка, тем выше вероятность увеличения числа пассажиров. Чем больше занята остановка (уменьшение разности $(Y - y)$), тем больше пассажиров будет ее покидать с целью поиска альтернативного способа передвижения. Чем больше пассажиров уже находится на остановке, тем меньше потенциальных пассажиров находится за ее пределами. Слагаемое со знаком «–» описывает процесс посадки пассажиров в автобусы: чем больше автобусов на остановке и чем больше на ней свободных мест, тем выше вероятность посадки.

В третьем уравнении слагаемое $f(Z - z)$ учитывает процесс увеличения числа свободных мест за счет высадки пассажиров (чем больше пассажиров в автобусе, тем вероятнее выход пассажиров на остановке). Второе слагаемое со знаком «+» учитывает «поступление» свободных мест с автобусами. Слагаемое со знаком «–» описывает процесс уменьшения свободных мест за счет посадки пассажиров. Это слагаемое

пропорционально произведению yz : чем больше пассажиров на остановке и чем больше свободных мест, тем выше вероятность того, что свободные места будут заняты.

П3.3 Пример исследования моделей

Анализ описанных выше моделей (1) и (2) выполняется при допущении, что все параметры и коэффициенты положительны (некоторые в частных случаях принимаются равными нулю) и не зависят от времени. Исследование систем уравнений начинаем с определения точек стационарных состояний, их типа и устойчивости. Модель (1) в общем случае имеет три особые точки, координаты которых определяются формулами:

$$x_1^* = \frac{aX - bY + g(ak + b)/f}{a - e(ak + b)/f}; \quad y_1^* = (ex_1^* + g)/f; \quad z_1^* = 0. \quad (3)$$

$$x_2^* = -\frac{cY - dX + c(nZ - g/f)}{d + c(l - e/f)}; \quad y_2^* = (ex_2^* + g)/f; \quad z_2^* = Z. \quad (4)$$

$$x_3^* = \frac{(Y - g/f)(1 - bn/am) + n(X + kg/f)/m - dX/c}{(e/f - l) + n(1 - ke/f - be/af)/m - d/c};$$

$$y_3^* = (ex_3^* + g)/f; \quad z_3^* = \frac{1}{m}[(X - x_3^*) + (k + b/a)y_3^* - bY/a]. \quad (5)$$

В частном случае, при $m = n = 0$, в системе могут быть две особые точки. Тип и устойчивость точек определяется, как обычно, характеристическим уравнением для линеаризованной в окрестности этих точек системы.

Система (1) диссипативна при условии:

$$\text{div}F(x, y, z) = -a - c < 0,$$

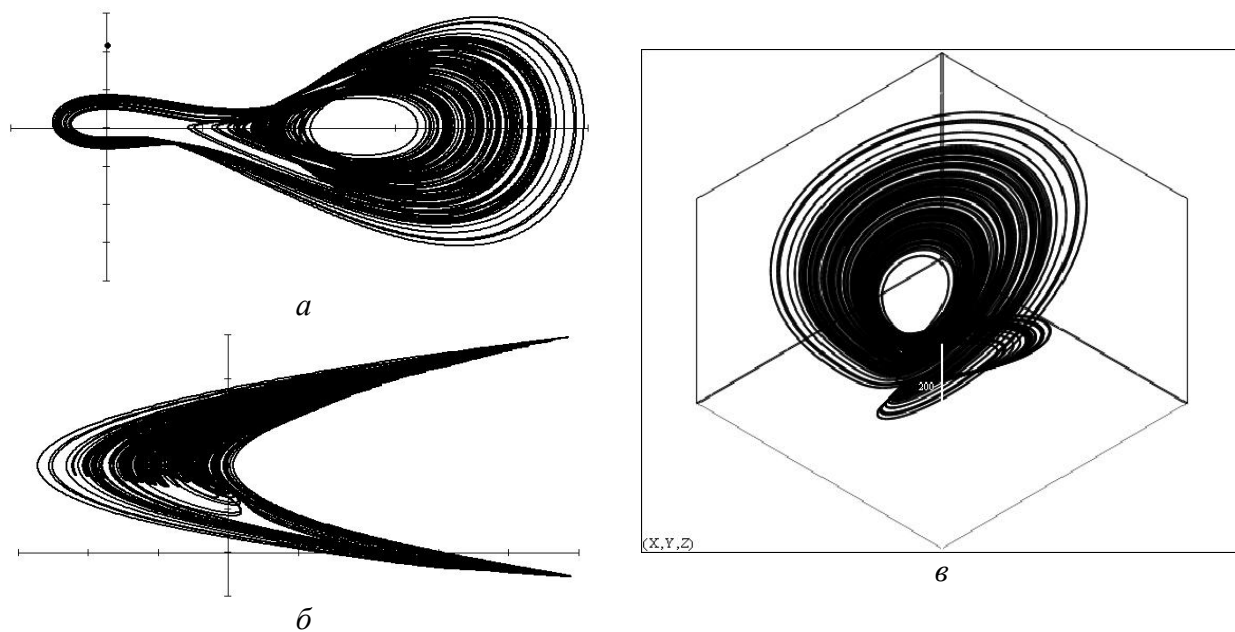
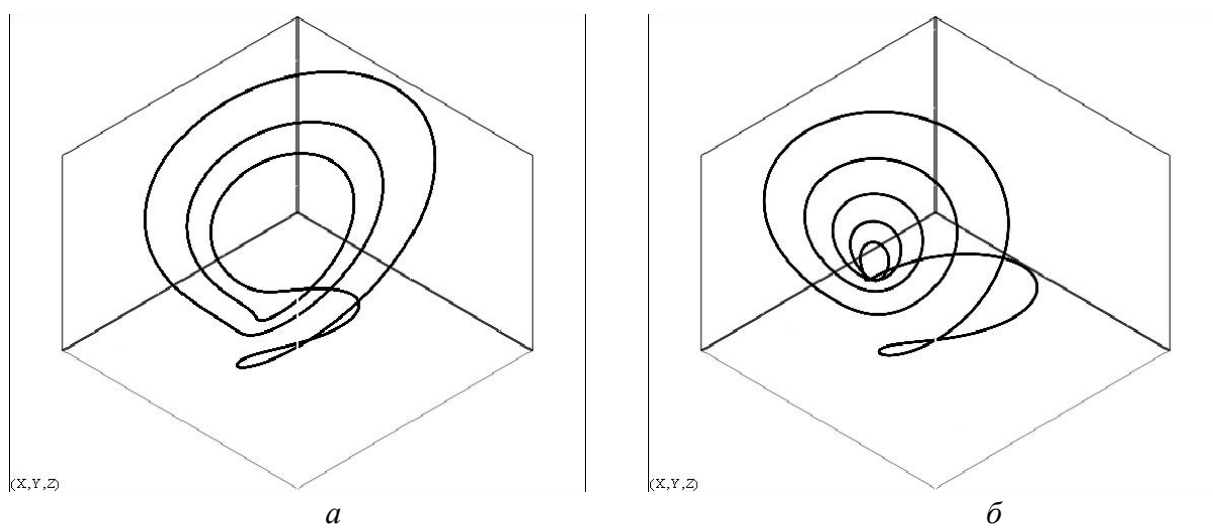
которое выполняется всегда при положительных a и c . Следовательно, имеется предположение о возможности существования гетероклинических контуров, определяющих вид траекторий в фазовом пространстве.

Уравнения (1) и (2) исследовались численно методом Рунге-Кутты с переменным шагом и точностью $1 \cdot 10^{-6}$.

Зафиксируем константы модели (1), как указано в табл.1. Рассматривая коэффициенты d, e, f, k, l, m, n в качестве бифуркационных параметров, можем обнаружить все основные виды решений, характерных для трехмерных автономных нелинейных систем: стационарное состояние, предельный цикл, хаотический аттрактор и другие типы циклов различной периодичности. Например, на рис.2 и 3 представлены хаотический аттрактор, а также циклы типа C_2^+ и C_4^+ (в терминологии, принятой в работе [4]).

Параметры модели макросистемы S_{01}

a	b	c	d	e	f	g
0.2	2.5	0.3	4	1.535	20	100
k	l	m	n	X	Y	Z
1	0	0	0	50	50	100

Рис.2. Проекция хаотического аттрактора (параметры соответствуют табл.1)
в координатах: $a - z(y)$; $b - x(z)$ Рис.3. Циклы типа C_2^+ и C_4^+ при $d = 2$, $e = 0.5$, $k = m = 0.5$, $l = n = 1$
(остальные параметры как в табл.1): $a - f = 21$; $b - f = 10$

Предположение о возможности существования гетероклинического контура косвенно подтверждается видом аттрактора (рис.4), полученного в системе (1) с параметрами, заданными в табл.2. На рис.4, *б* приведена зависимость $z(t)$, которая свидетельствует о существовании так называемых контрастных структур и пограничного слоя [5] в решениях модели. Эти особенности являются неслучайными, так как при заданных в табл.2 параметрах система стремится к сингулярно возмущенной задаче, что и является, по-видимому, источником подобных эффектов. Зависимость $z(t)$ весьма напоминает при этом некоторую стратегию управления запасами, что придает модели (1) практическую привлекательность.

Таблица 2

Параметры модели макросистемы S_{01} для случая контрастных структур

a	b	c	d	e	f	g
0.23	2.937	8	72,1	1.532	14,9	100
k	l	m	n	X	Y	Z
0.49	0	0	0	50	50	100

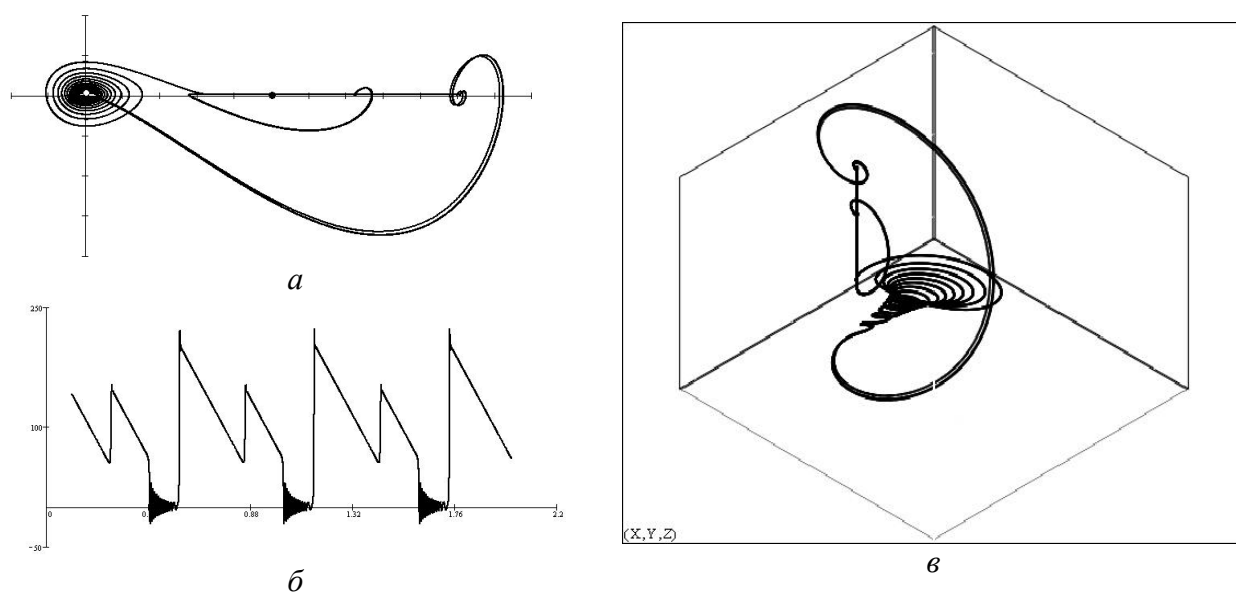


Рис.4. Проекция аттрактора (*а*, отмечены особые точки) с контрастными структурами и погранслоем (*б*)

К сожалению, в рамках данной статьи невозможно привести все найденные виды решений, исследование которых в настоящий момент находится тем не менее на начальной стадии.

Система (2) может иметь различное, в зависимости от числа действительных корней уравнения 4-й степени, количество особых точек. Это уравнение здесь не приводим ввиду его громоздкости.

В табл.3 представлены значения параметров модели и начальные условия, которые принимались при изучении системы (2).

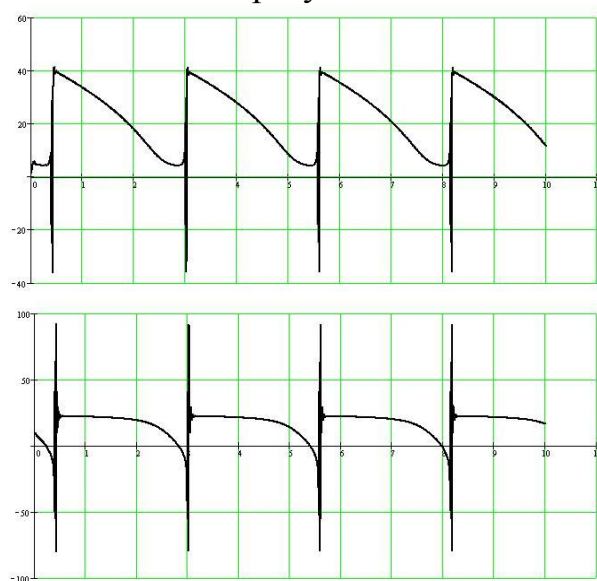
Таблица 3

Параметры и начальные условия модели S_{02}

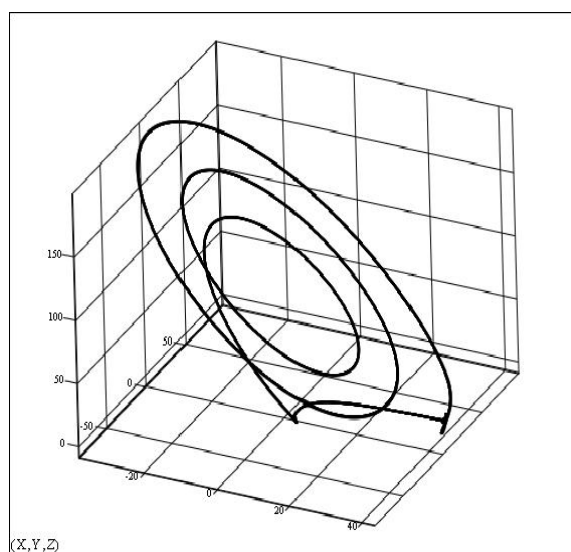
a	b	c	d	e	f	g	h
2,5	0,2	15	0,5	7	50	2	1,5
k	m	X	Y	Z	X_0	y_0	z_0
1	0,5	50	25	20	1	10	1

Практический интерес представляет решение системы, полученное при $f = 8$ (1/мин) и приведенное на рис.5. Здесь имеет место циклический характер работы системы. Временная зависимость переменных x и y показывает изменение числа автобусов и пассажиров на остановке, напоминающее известные функции из теории управления запасами, как и в модели (1). В течение некоторого времени число автобусов на остановке плавно уменьшается, число пассажиров остается до определенного момента почти постоянным, затем их количество заметно уменьшается и практически мгновенно (в масштабе времени одного цикла) осуществляется интенсивный переходный процесс, связанный с накоплением пассажиров и автобусов до исходного уровня. Эти пилообразные кривые представляют своего рода временные (контрастные, как и в модели грузового склада) структуры, показывающие согласованный характер работы всех элементов (остановок) макросистемы, т.е. самоорганизацию. Изучение подобных структур в реальных системах позволит сформулировать постановку задачи теории управления для создания требуемых типов временных структур в течение дня работы автобусного парка.

В модели реализуется каскад бифуркаций, приводящих к нерегулярному аттрактору. Параметры, приведенные в таблице, соответствуют этому решению, которое показано на рис.6. Таким образом, в системе уравнений (2) также имеется детерминированный хаос, возникающий в результате гомоклинического каскада бифуркаций [4].



а



б

Рис.5. Решение модели (2) при $f = 8$ (1/мин):
а – временные зависимости; б – фазовый портрет

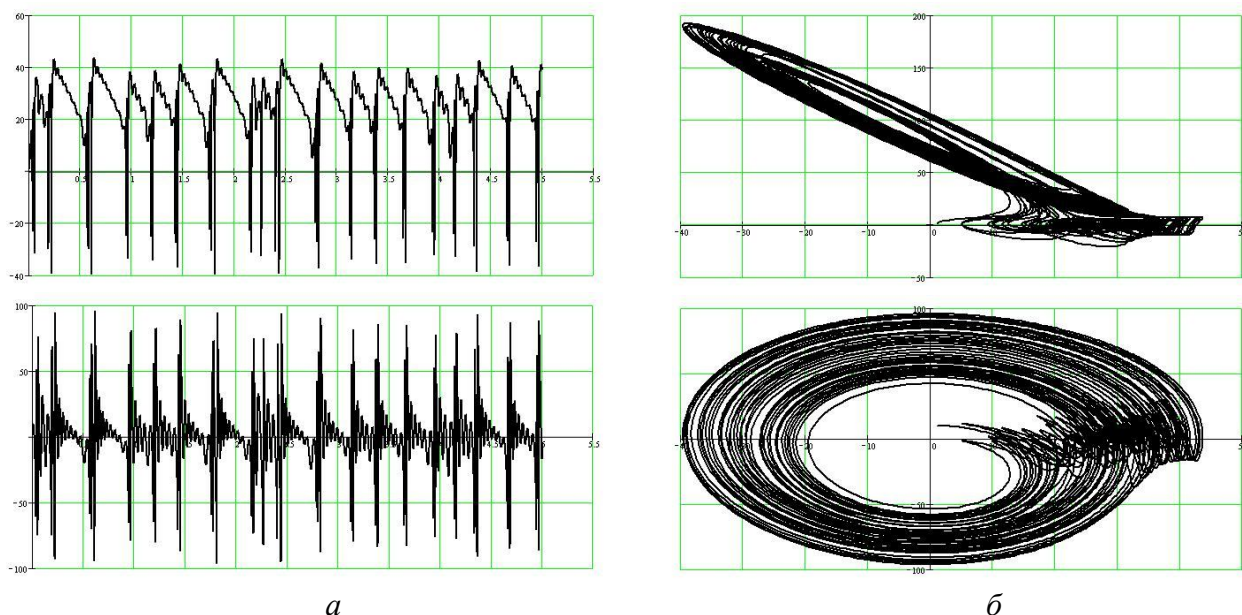


Рис.6. Хаотический аттрактор в модели пассажирской остановки:
а – временные зависимости; *б* – проекции фазового портрета

ПЗ.4 Порядок выполнения исследовательского раздела курсового проекта

1) После получения задания в курсовом проекте необходимо сделать подробное описание теоретической модели автотранспортной системы. В качестве такой системы может быть модель вида (1) или (2). Описание модели заключается в определении всех слагаемых, входящих в состав уравнений, их конкретного смысла, а также в определении всех коэффициентов (параметров) и их размерностей (аналогично тому, как это сделано на сс. 3-4 настоящих указаний, но более подробно).

2) На втором этапе выполняется экспериментальное исследование динамики транспортной системы. Например, могут быть получены временные ряды, соответствующие количеству пассажиров и автобусов на остановке, методом видеосъемки и ее последующей расшифровки. Каждому единичному событию (подход пассажира, автобуса, посадка пассажира, отход автобуса и т.д.) должно быть поставлено в соответствие конкретное значение времени с точностью до одной секунды). Посекундная регистрация событий производится в течение, например, одного часа. Результаты оформляются в виде таблиц и включаются в состав приложения пояснительной записки.

3) Выполняется статистический анализ полученных временных рядов (построение гистограмм распределения для числа пассажиров и автобусов, определение законов и параметров распределения соответствующих случайных величин), строятся графики полученных в п.2 временных рядов и результаты выполненного статистического анализа.

4) С помощью имеющегося программного обеспечения выполняется компьютерный вычислительный эксперимент. Он заключается в

исследовании модели (1) или (2) с целью определения их динамических режимов. Выбираются те из них, которые соответствуют реальным временным рядам, полученным в п.2. Для этого вместе с руководителем курсового проекта на консультации выполняется процедура выбора коэффициентов модели (1) или (2) и изучается влияние этого выбора на характер поведения системы. В результате должны быть построены графики типа фазового портрета (см. рис. 5-6, б) или зависимости переменных от времени (см. рис. 5-6, а). Число вариантов находится в пределах от 20 до 50 различных сочетаний параметров.

5) Оформляется пояснительная записка и графическая часть. Объем пояснительной записки составляет 40-50 листов формата А4, а графическая часть (в электронном виде) – два листа, на один изображаются результаты выполнения п.3, а на втором – п.4.

6) Защита проекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вельможин А. В., Гудков В. А., Миротин Л. Б. Теория транспортных процессов и систем. М.: Транспорт, 1998. 167 с.
2. Попков Ю. С. Теория макросистем (равновесные модели). М.: Эдиториал УРСС, 1999. 320 с.
3. Агуреев И. Е. Нелинейная динамика в теории автомобильных транспортных систем // Изв. ТулГУ. Сер. «Автомобильный транспорт». Вып.9. Тула: Изд-во ТулГУ, 2006. С.3-13.
4. Магницкий Н. А., Сидоров С. В. Новые методы хаотической динамики. М.: Эдиториал УРСС, 2004. 320 с.
5. Неймарк Ю. И., Смирнова В. Н. Контрастные структуры, предельная динамика и парадокс Пэнлеве // Дифференциальные уравнения. 2001. Т.37. № 11. С.1507-1515.