

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ТЕХНИЧЕСКОЙ ИННОВАЦИИ

Выполнил: магистрант второго года
обучения

Надеждин Игорь Владимирович

Научный руководитель: доктор техн. наук,
профессор кафедры САПР

Белов Владимир Фёдорович

Саранск 2018

г.

Цель магистерской

диссертации:

Анализ математических моделей процессов жизненного цикла технической инновации, а также моделирование основных показателей процессов жизненного цикла технической инновации и оценка полученных результатов.

Задачи магистерской диссертации:

- исследование математической модели финансового обеспечения процесса производства технической инновации;
- исследование математической модели процесса реализации технической инновации;

Динамическая модель финансового
обеспечения процесса производства
технической инновации

$$\frac{dM}{dt} = W - \frac{M}{\tau_{cr}} + M_{ex} \delta(t - t_1) - \frac{M_{ex}}{\tau_{cr}} - K - \frac{P}{\tau_s} \quad (1)$$

$$W = Q_r p$$

Динамическая модель финансового обеспечения процесса производства технической инновации

$$\frac{dM}{dt} = W - \frac{M}{\tau_{cr}} + M_{ex} \delta(t - t_1) - \frac{M_{ex}}{\tau_{cr}} - K - \frac{P}{\tau_s} \quad (1)$$

- M – выручка от реализации продукта;
- m – отражает производственные издержки;
- c_{ij} – время оборота средств;;
- e_{ij} –объем внешних заимствований;
- i_{ij} – кредитная ставка;
- τ_s – доля оборотных средств, затрачиваемая на хранение единицы готовой продукции в единицу времени

$$W = Q_r p$$

Динамическая модель финансового
обеспечения процесса производства
технической инновации

$$\frac{dM}{dt} = Q_m \frac{P}{P_0 + |P|} - \frac{M}{\tau_1} + M_{ex} \delta(t - t_1) - \frac{M_{ex}}{\tau_{cr}} - K - \frac{P}{\tau_s}$$

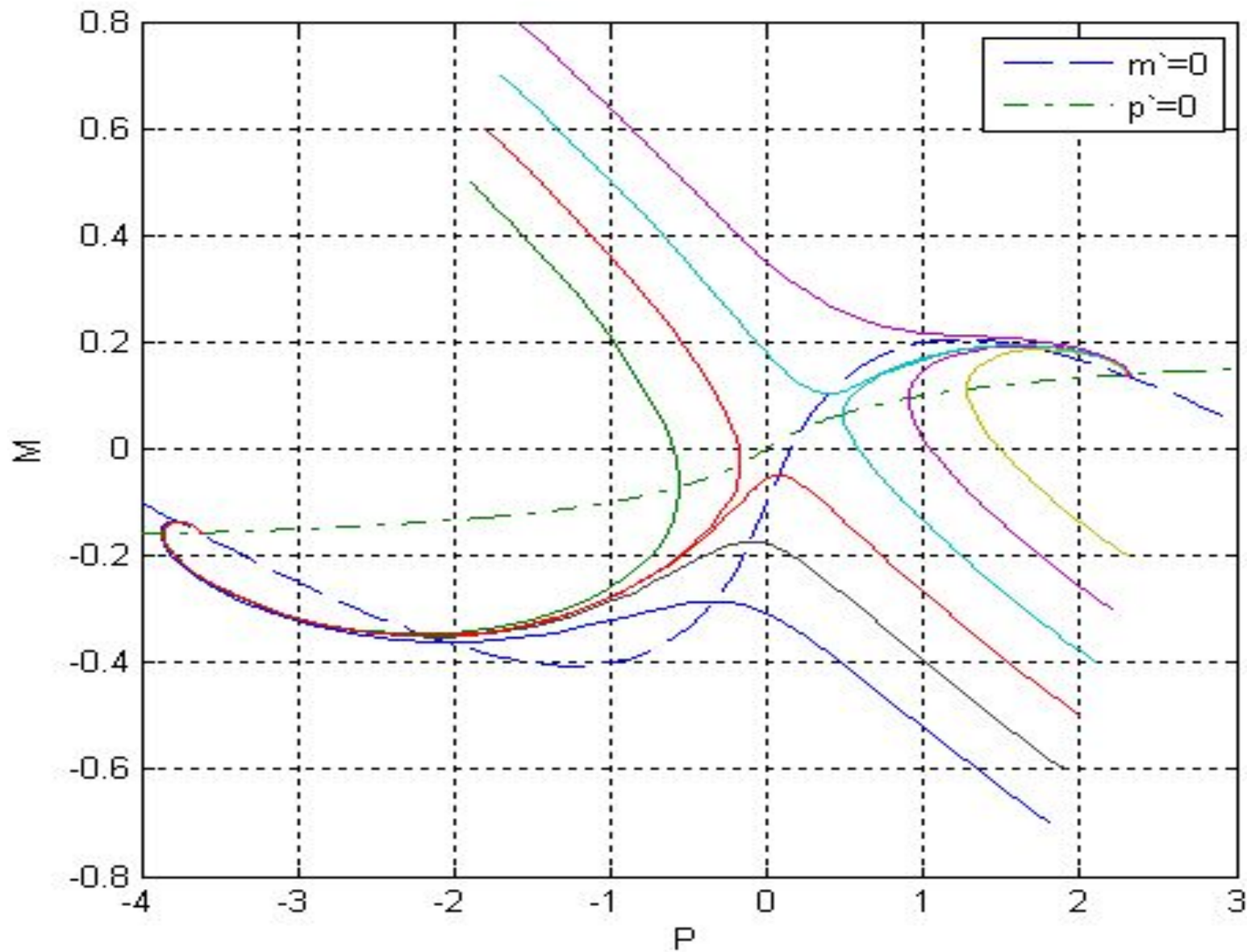
$$\frac{dP}{dt} = k \frac{M}{\tau_1} - Q_m \frac{P}{P_0 + |P|}$$

Бифуркационный анализ динамической модели финансового обеспечения

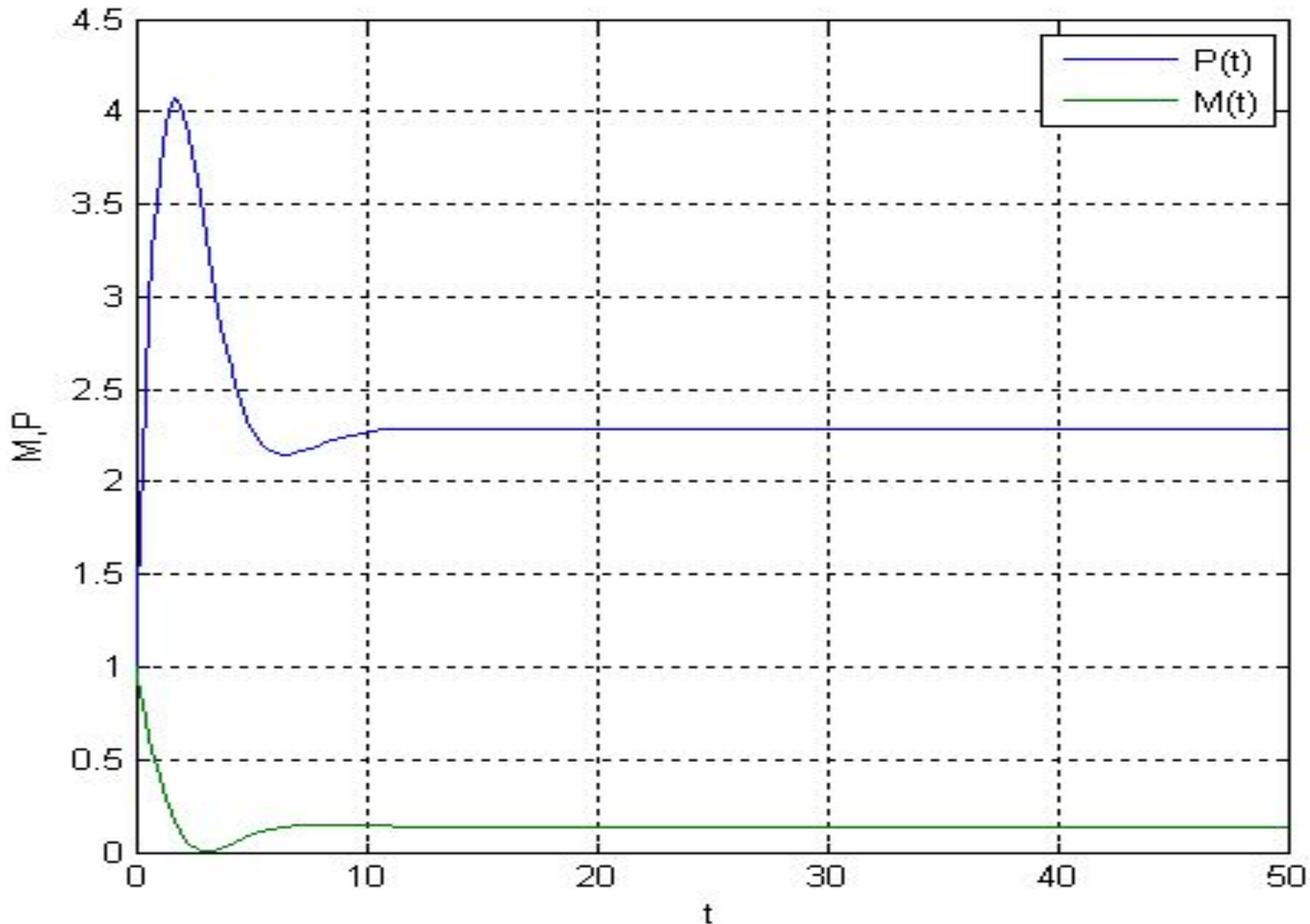
Рассмотрим особые точки системы (5):

$$\left(1 - \frac{1}{k}\right) \frac{P}{1 + |P|} - \varepsilon P - b = 0$$

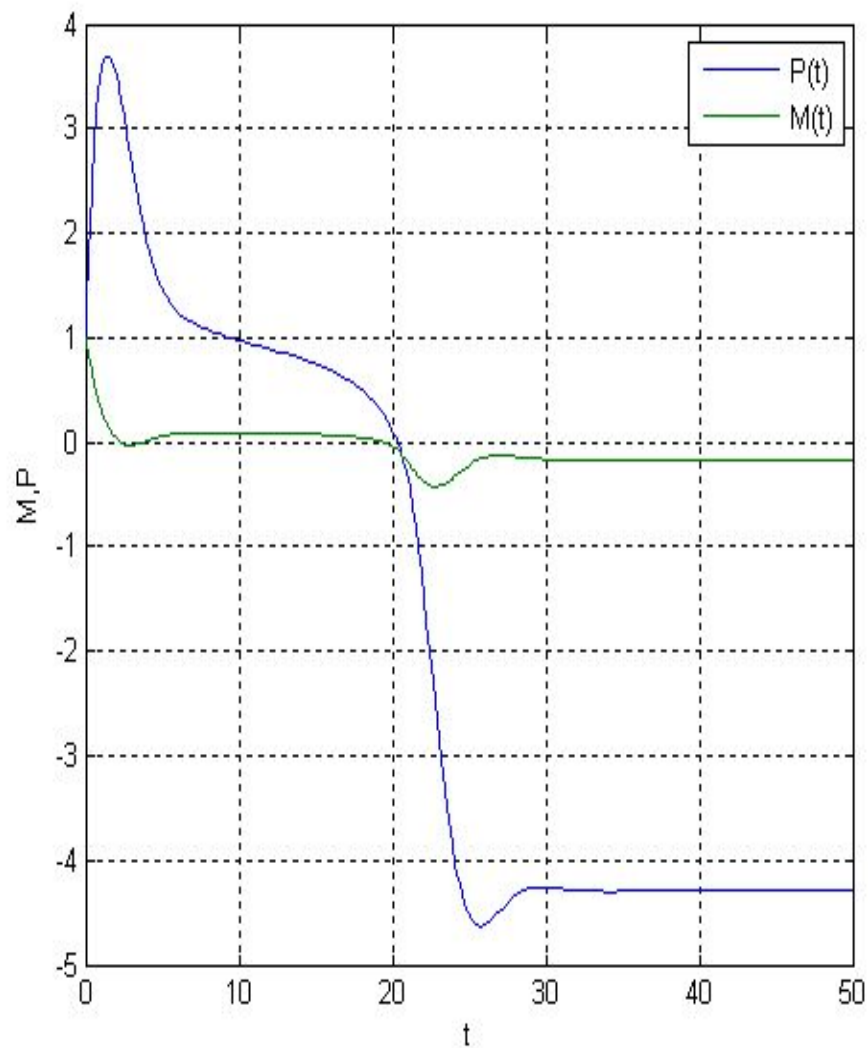
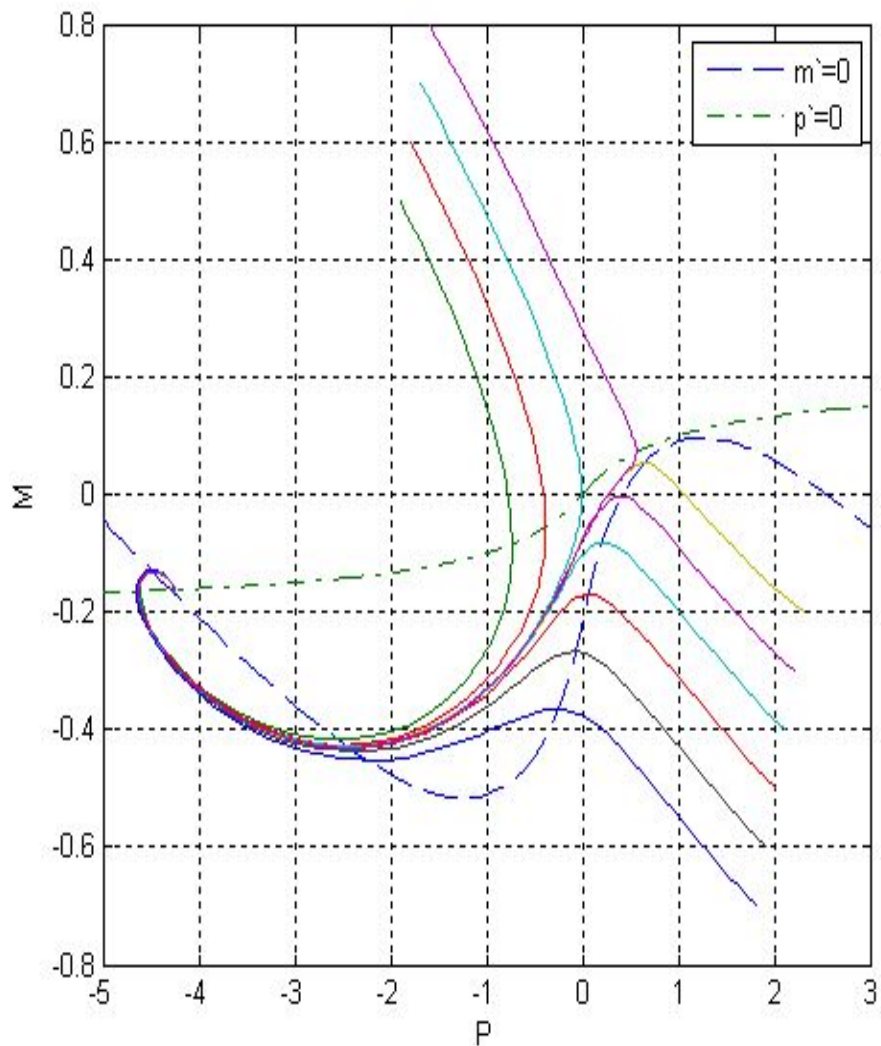
Фазовый портрет системы



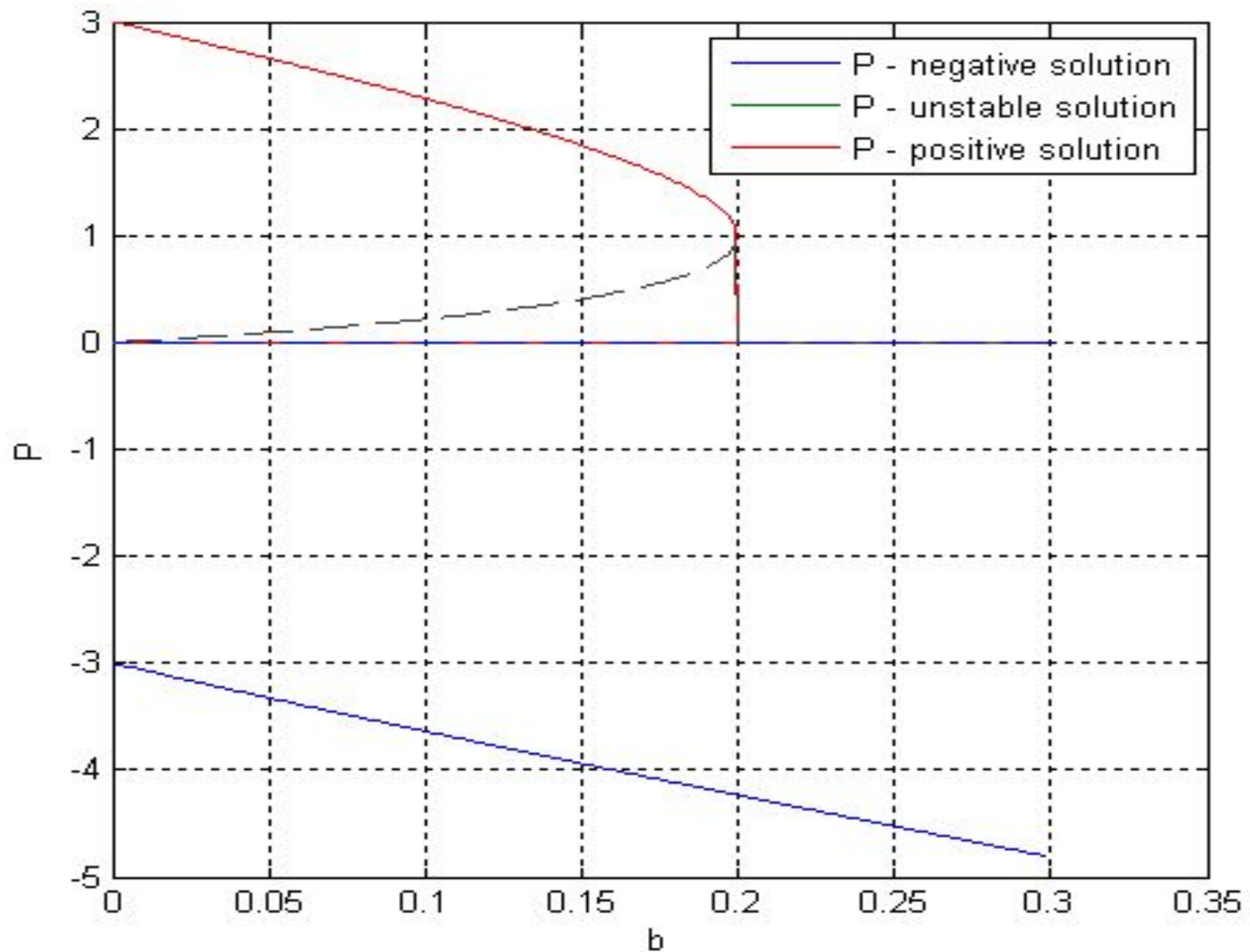
Зависимость динамических параметров системы от времени



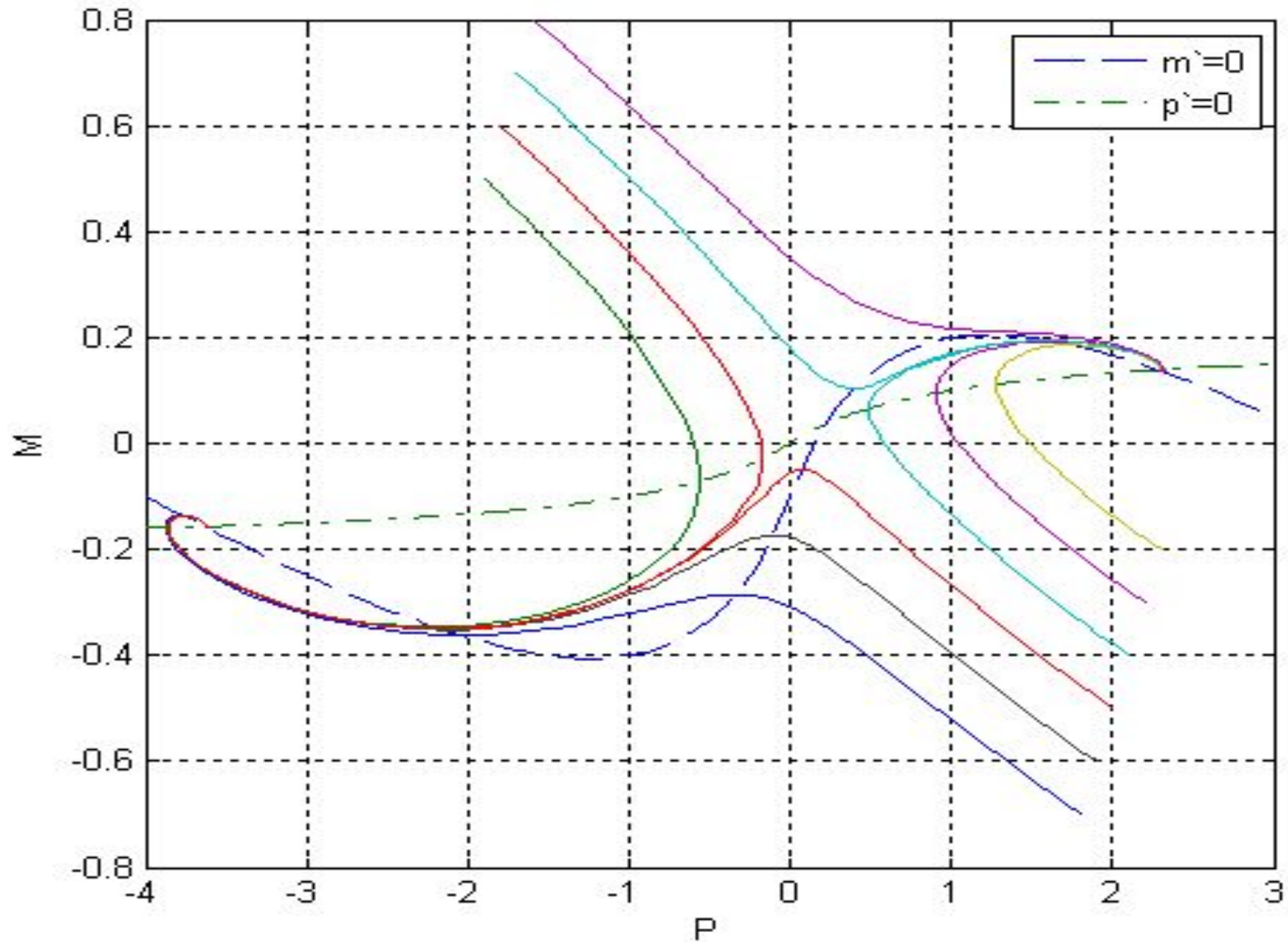
Пример бифуркации системы



Фазо-параметрическая диаграмма системы



Случай, когда предприятие берет кредит



Определение оптимальной структуры источников финансирования

$$Y(w) = \sum_{k=1}^m w_k \cdot r_k \rightarrow \min \quad (4)$$

при

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ограничения:} \\ \sum_{k=1}^m w_k = 1, \sum_{k=1}^m w_k \cdot r_k \leq R \\ r_k, w_k \geq 0, w_k \leq W_k \\ w_k \cdot risk_k \leq w_k \cdot risk^{\max} \\ \sum_{k=1}^m w_k \cdot t(w_k) \leq \sum_{j=1}^n t_j \frac{C_j}{C_{\text{пл}}} \end{array} \right. \quad (5)$$

где m – число возможных источников финансирования;

r_k – стоимость k -го источника финансирования;

w_k – удельный вес k -го источника финансирования;

W_k – максимальный доступный удельный вес k -го источника финансирования;

$risk_k$ – риск неполучения финансирования из k -го источника;

$risk^{\max}$ – максимально допустимый риск неполучения финансирования;

R – рентабельность реализуемого проекта;

$t(w_k)$ – время привлечения средств из k -го источника финансирования;

C_j – средства необходимые в j -й период проекта;

$C_{\text{пл}}$ – средства необходимые на весь проект;

t_j – допустимое время привлечение средств для j -го периода проекта.

Исходные данные

Моделирование динамики рынка инноваций методом клеточных автоматов

Кол-во ячеек 2500
Время моделир. 400
Радиус верт. 1
Радиус гориз. 1
Кол-во живых 50

Установить

Старт

Стоп

График

Кол-во итераций
Кол-во живых
Кол-во неживых
Процент живых

Вероятность перехода 1 -> 0 0
Вероятность перехода 0 -> 1 0,1

Ценовой фактор
Цена
 Цена убывает Цена растет

Время начала изменения цены 0
Время окончания изменения цены 400
Степень влияния цены 0,6
Козф-т спроса при min-ой цене 1

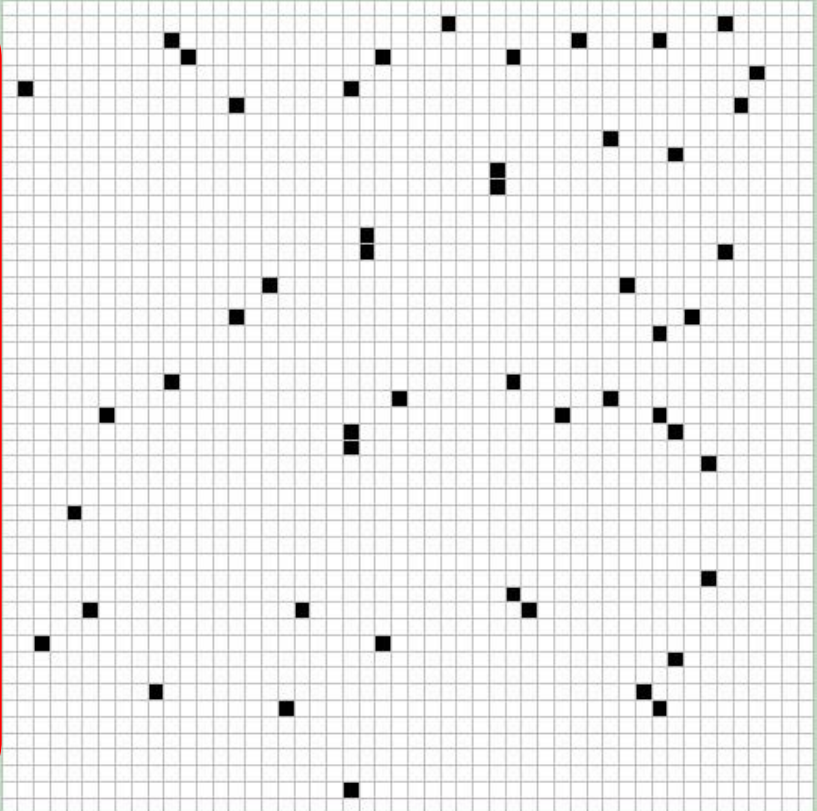
Новизна
Н' 300 Н" 330 Н 0,85

Срок годности 75

Период сезона 50

Козффициент рекламы 1,2

Вероятность брака 0,07



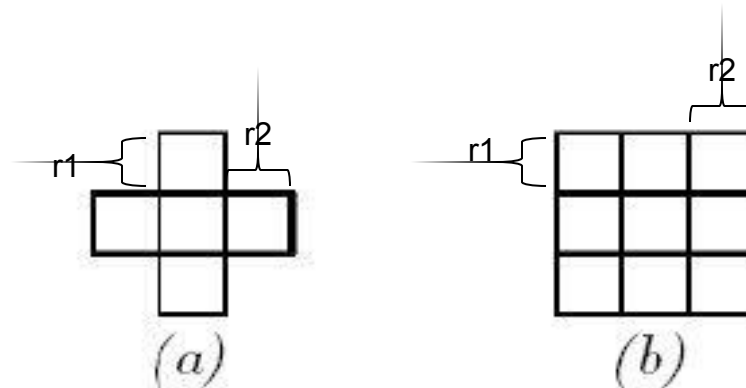
Клеточно-автоматная модель динамики инноваций

$s(i, j, t)$ - состояние s клетки с координатами (i, j) в момент времени t

$$F : \{0,1\}_{okr} \rightarrow \{0,1\}$$

okr – количество клеток, входящих в окрестность клетки + 1 (сама клетка)

Клеточно-автоматная модель динамики инноваций



Окрестность клетки:

а) по фон Нейману б) по Муру

$s(i, j, t) = 1$ - клетка жива

$s(i, j, t) = 0$ - клетка мертва

Правило №1:

Состояние клетки с координатами (i, j) в момент времени $t+1$ зависит от плотности соседних живых клеток, входящих в окрестность $(r1, r2)$ на предыдущем шаге t .

Правило №1:

Плотность $\sigma(i, j, t)$ по Муру:

$$\sigma(i, j, t+1) = \frac{1}{(2 \cdot r_1 + 1) \cdot (2 \cdot r_2 + 1) - 1} \cdot \left(\sum_{a=i-r_1}^{i+r_1} \sum_{b=j-r_2}^{j+r_2} s(a, b, t) - s(i, j, t) \right)$$

$P_{a \leftarrow b}$ - вероятность изменения состояния клетки с b на a

Матрица перехода:

$$F = \begin{bmatrix} P_{0 \leftarrow 0} & P_{0 \leftarrow 1} \\ P_{1 \leftarrow 0} & P_{1 \leftarrow 1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - \sigma(i, j, t) & 0 \\ \sigma(i, j, t) & 1 \end{bmatrix}$$

Правило №2:

Вероятность обладателя инновации отказаться от нее равняется некоторому заранее заданному числу p ($p \in]0,1[$), зависящему от вида продукта, для которого проводится моделирование, текущего состояния потребителя и его окружения. Вероятность же объекта, не обладающего инновацией, приобрести его пропорциональна плотности окружения соседних клеток, с коэффициентом пропорциональности q ($q \in]0,1[$) их текущего состояния.

Правило №2:

Матрица перехода:

$$F = \begin{bmatrix} P_{0 \leftarrow 0} & P_{0 \leftarrow 1} \\ P_{1 \leftarrow 0} & P_{1 \leftarrow 1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - q \cdot \sigma(i, j, t) & p \\ q \cdot \sigma(i, j, t) & 1 - p \end{bmatrix}$$

Моделирование динамики рынка инноваций методом клеточных автоматов

Кол-во ячеек: 2500
 Время моделир.: 100
 Радиус верт.: 1
 Радиус гориз.: 1
 Кол-во живых: 50

Вероятность перехода 1 -> 0: 0
 Вероятность перехода 0 -> 1: 0,1

Ценовой фактор
 Цена
 Цена убывает Цена растет

Установить
 Старт
 Стоп
 График

Кол-во итераций:
 Кол-во живых:
 Кол-во неживых:
 Процент живых:

Время начала изменения цены: 0
 Время окончания изменения цены: 400
 Степень влияния цены: 0,6
 Коэф-т спроса при min-ой цене: 1

Новизна
 H': 300 H'': 330 H: 0,85

Срок годности: 75
 Период сезона: 50
 Коэффициент рекламы: 1,2
 Вероятность брака: 0,07

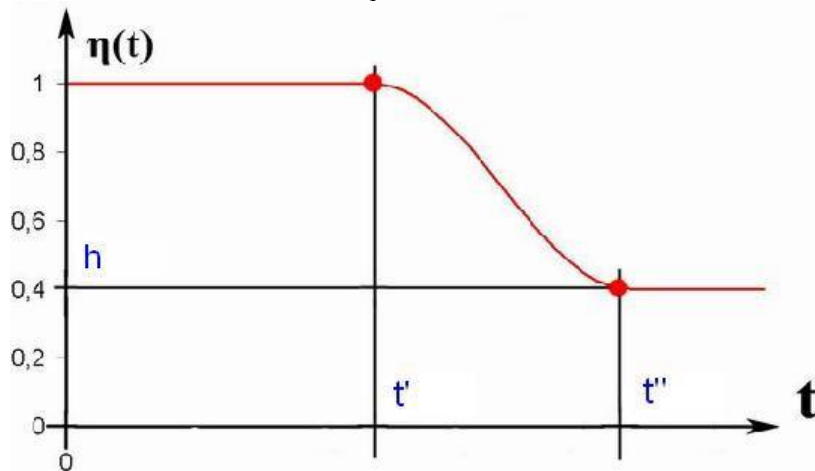
Правило №3:

Вероятности принятия и отторжения инновации ее потенциальным потребителем напрямую зависят от степени новизны этого продукта.

Правило №3:

Функция новизны продукта:

$$\eta(t) = \begin{cases} 1, & t \leq t' \\ \frac{1}{2} \left(\cos \left(\pi \frac{t-t'}{t''-t'} \right) + 1 \right) \times (1-h) + h, & t \in (t', t'') \\ h, & t \geq t'' \end{cases}$$



t' - время начала снижения степени новизны
 t'' - время, после которого снижение степени новизны продукта прекращается
 h - значение степени новизны, до которого она падает

Правило №3:

Матрица перехода:

$$F = \begin{bmatrix} P_{0 \leftarrow 0} & P_{0 \leftarrow 1} \\ P_{1 \leftarrow 0} & P_{1 \leftarrow 1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - q \cdot \eta(t) \cdot \sigma(i, j, t) & (1 - \eta(t)) \cdot p \\ q \cdot \eta(t) \cdot \sigma(i, j, t) & 1 - (1 - \eta(t)) \cdot p \end{bmatrix}$$

Правило №4:

Потенциальный потребитель, приобретший инновацию, по истечению заданного периода времени перестает быть ее обладателем, так как она приходит в негодное состояние, либо перестает отвечать его интересам.

Новизна

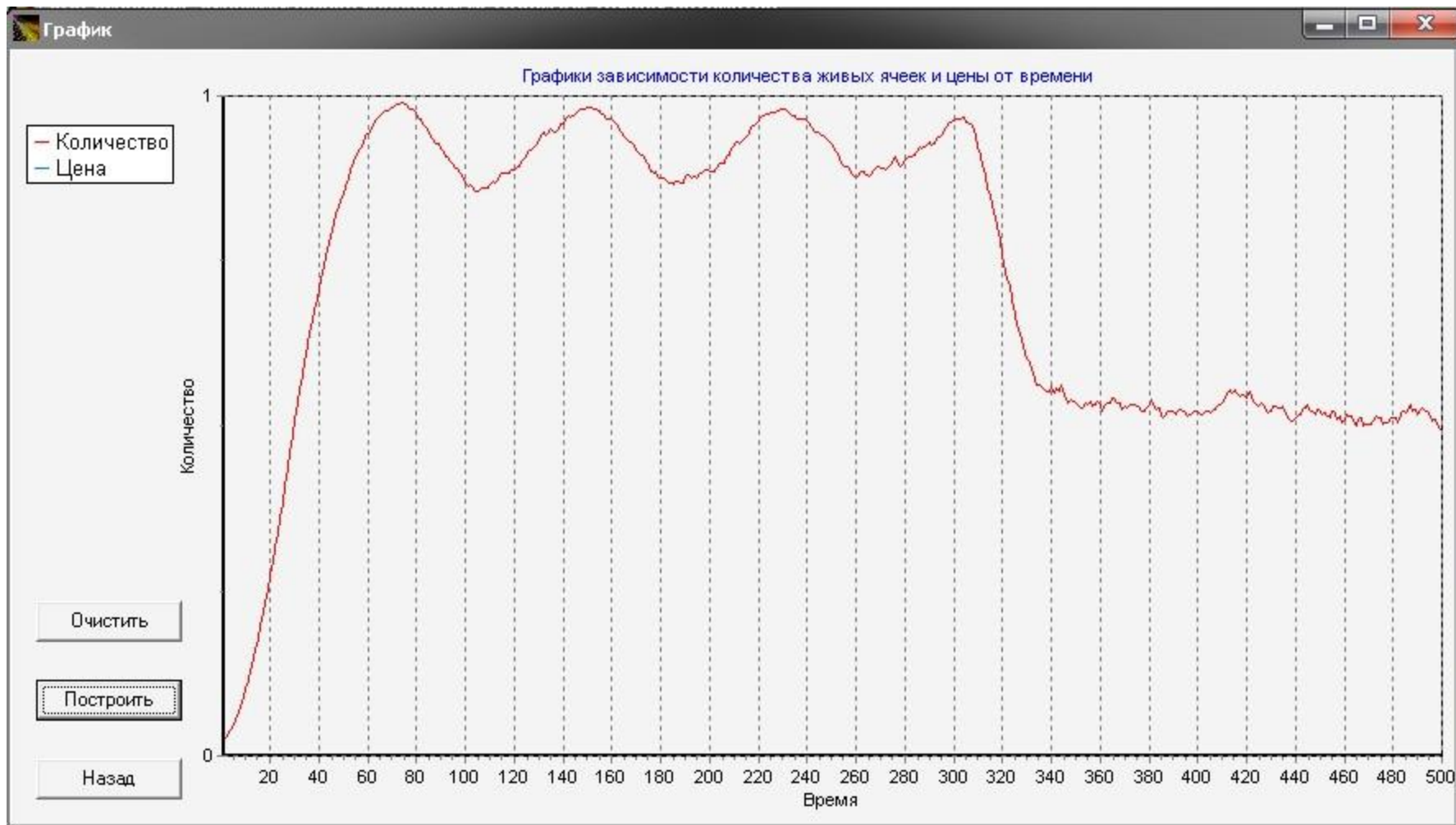
H' 300

H'' 330

H 0,85

Срок годности

75



Правило №5:

Спрос на инновацию обратно пропорционален цене на нее.

Правило №5:

Функция $y(t)$ определяет цену в момент времени t :

$$y(t) = \begin{cases} \omega, & t \leq p1 \\ \omega / 1 + e^{-2 \cdot e \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot (t-p1)}{p2-p1}\right)}, & t \in (p1, p2) \\ 0, & t \geq p2 \end{cases}$$

$p1$ и $p2$ – моменты времени, когда изменение цены начинается и прекращается,
 ω – коэффициент спроса при минимальной цене.

$\beta(t)$ – коэффициент вероятности приобретения инновации:

$$\beta(t) = \alpha \cdot (\omega - y(t)) + (1 - \alpha)$$

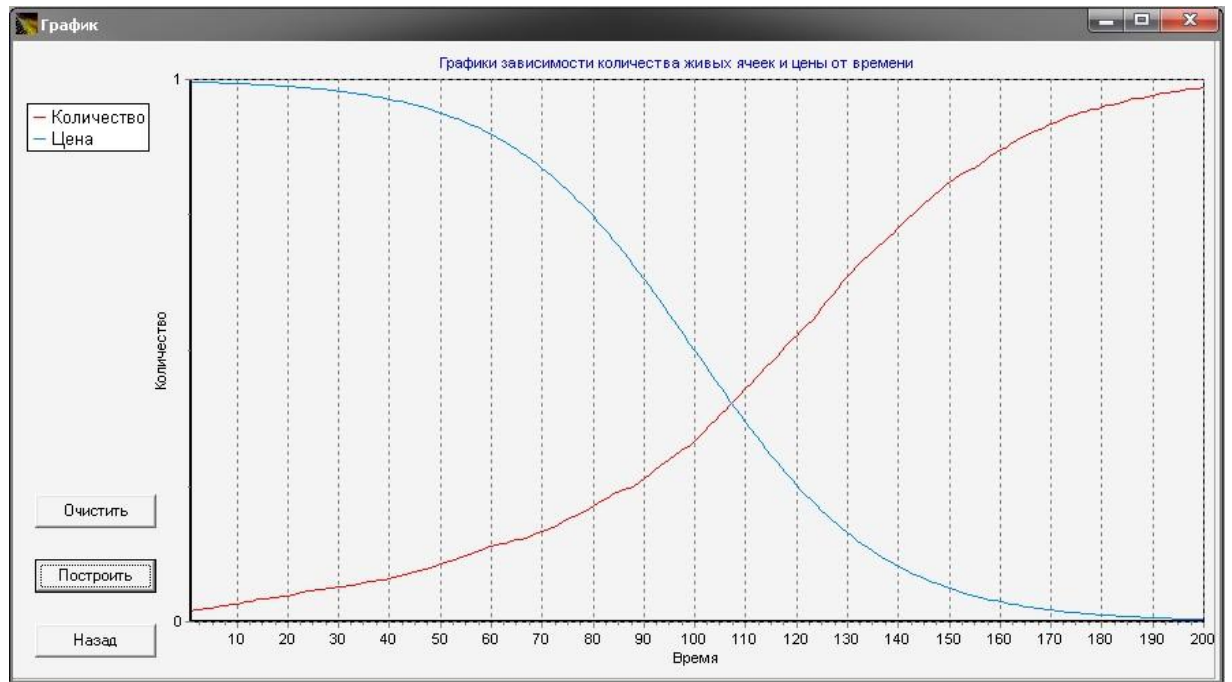
α – степень влияния цены на спрос

Правило №5:

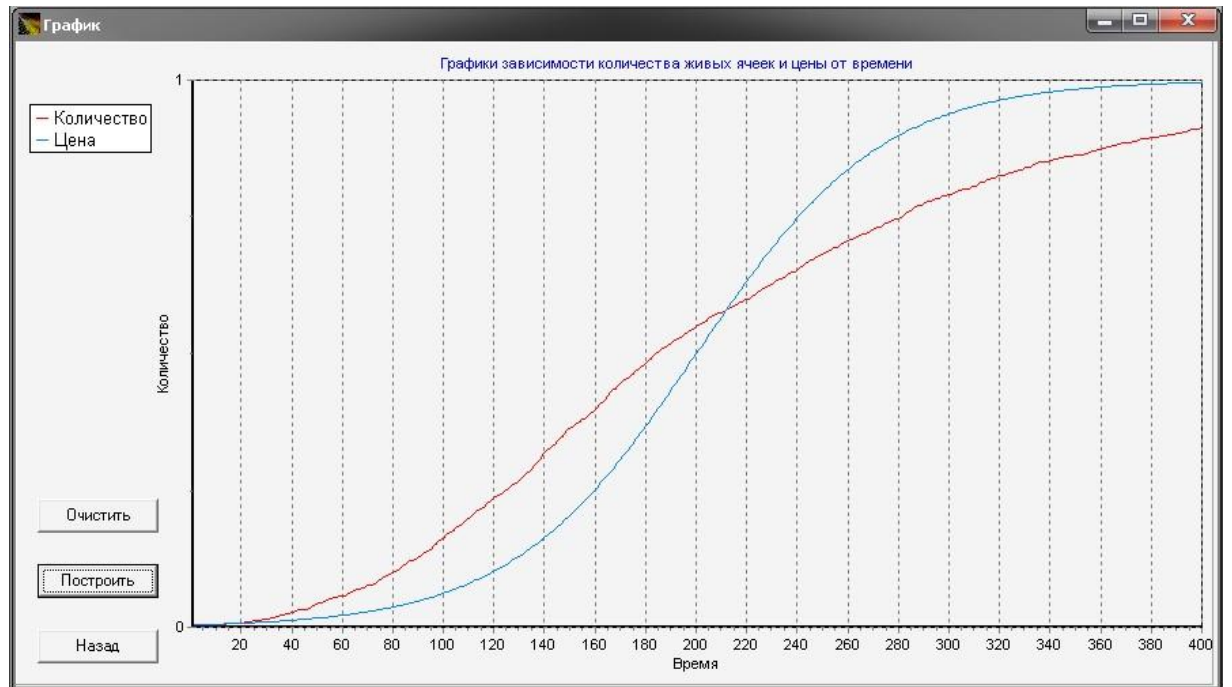
Матрица перехода:

$$F = \begin{bmatrix} P_{0 \leftarrow 0} & P_{0 \leftarrow 1} \\ P_{1 \leftarrow 0} & P_{1 \leftarrow 1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - q \cdot \eta(t) \cdot \sigma(i, j, t) \cdot \beta(t) & (1 - \eta(t)) \cdot p \\ q \cdot \eta(t) \cdot \sigma(i, j, t) \cdot \beta(t) & 1 - (1 - \eta(t)) \cdot p \end{bmatrix}$$

Цена убывает



Цена растет



Правило №6:

Большинство товаров и услуг обладают сезонной актуальностью, что подразумевает неоднородность спроса на товар в течение определенных периодов времени.

Правило №6:

$$m(t) = \frac{1}{4} \sin t \frac{\pi}{SN} + 1$$

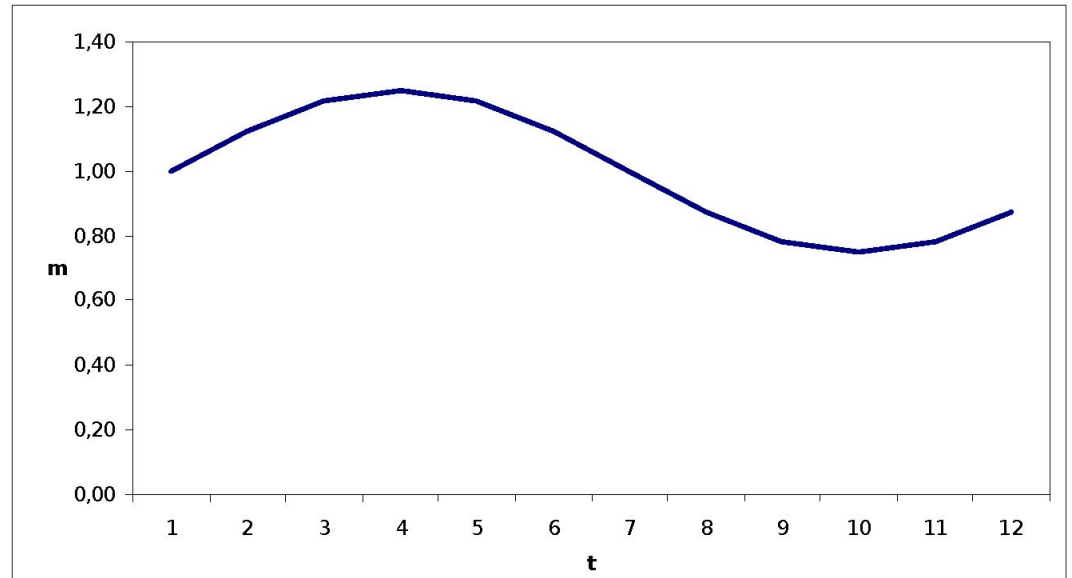


График функции $m(t)$

Правило №6:

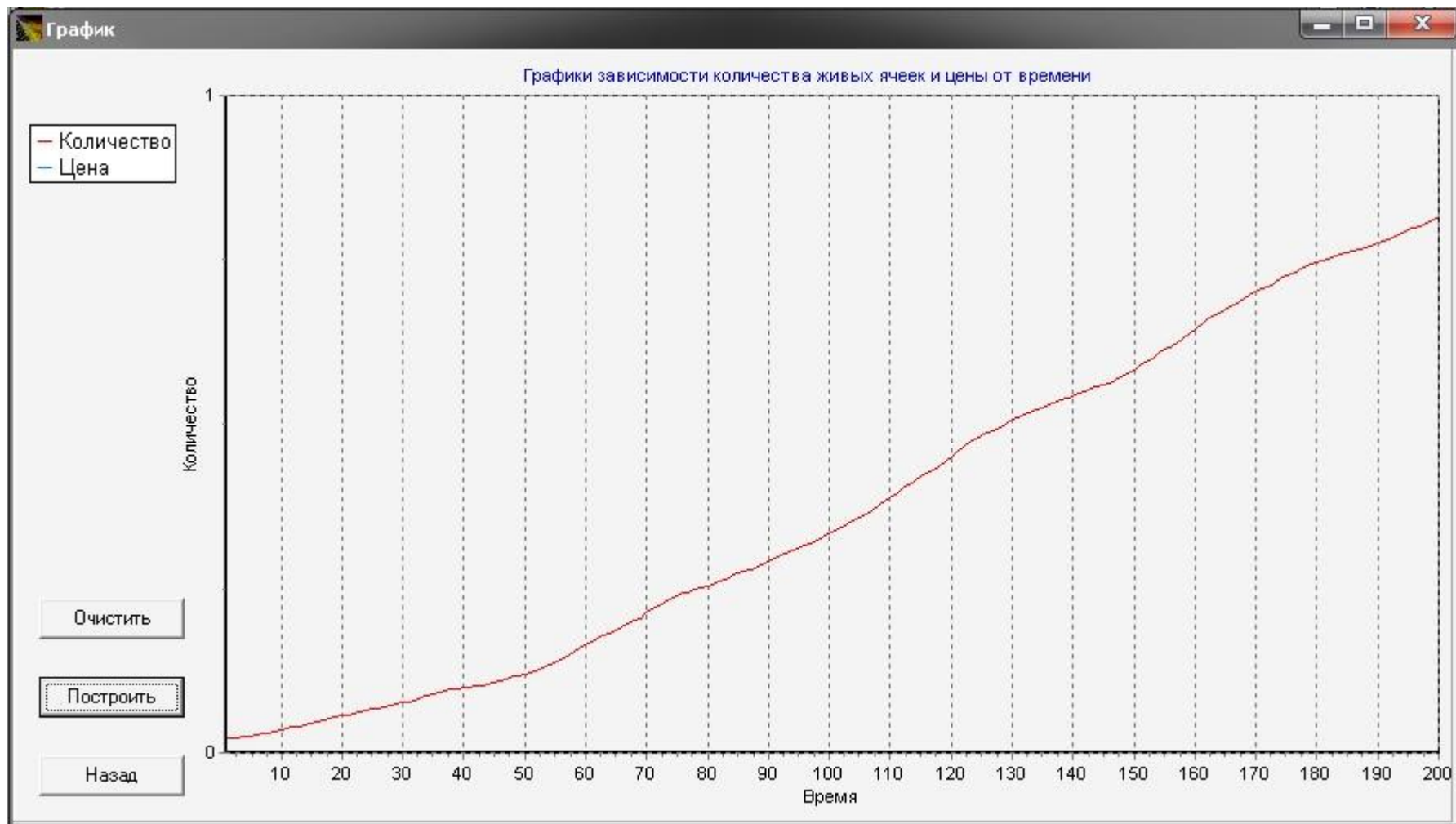
Матрица перехода:

$$T = \begin{bmatrix} P_{0 \leftarrow 0} & P_{0 \leftarrow 1} \\ P_{1 \leftarrow 0} & P_{1 \leftarrow 1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - q \cdot m(t) \cdot \eta(t) \cdot \sigma(i, t) & (1 - m(t) \cdot \eta(t)) \cdot p \\ q \cdot m(t) \cdot \eta(t) \cdot \sigma(i, t) & 1 - (1 - m(t) \cdot \eta(t)) \cdot p \end{bmatrix}$$

$$F = \begin{bmatrix} P_{0 \leftarrow 0} & P_{0 \leftarrow 1} \\ P_{1 \leftarrow 0} & P_{1 \leftarrow 1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - q \cdot \eta(t) \cdot \sigma(i, j, t) \cdot \beta(t) \cdot m(t) & (1 - \eta(t) \cdot m(t)) \cdot p \\ q \cdot \eta(t) \cdot \sigma(i, j, t) \cdot \beta(t) \cdot m(t) & 1 - (1 - \eta(t) \cdot m(t)) \cdot p \end{bmatrix}$$

Период сезона

50



Правило №7:

Правило 7: Спрос на инновацию растет за счет рекламы компанией инновации.

Правило №7:

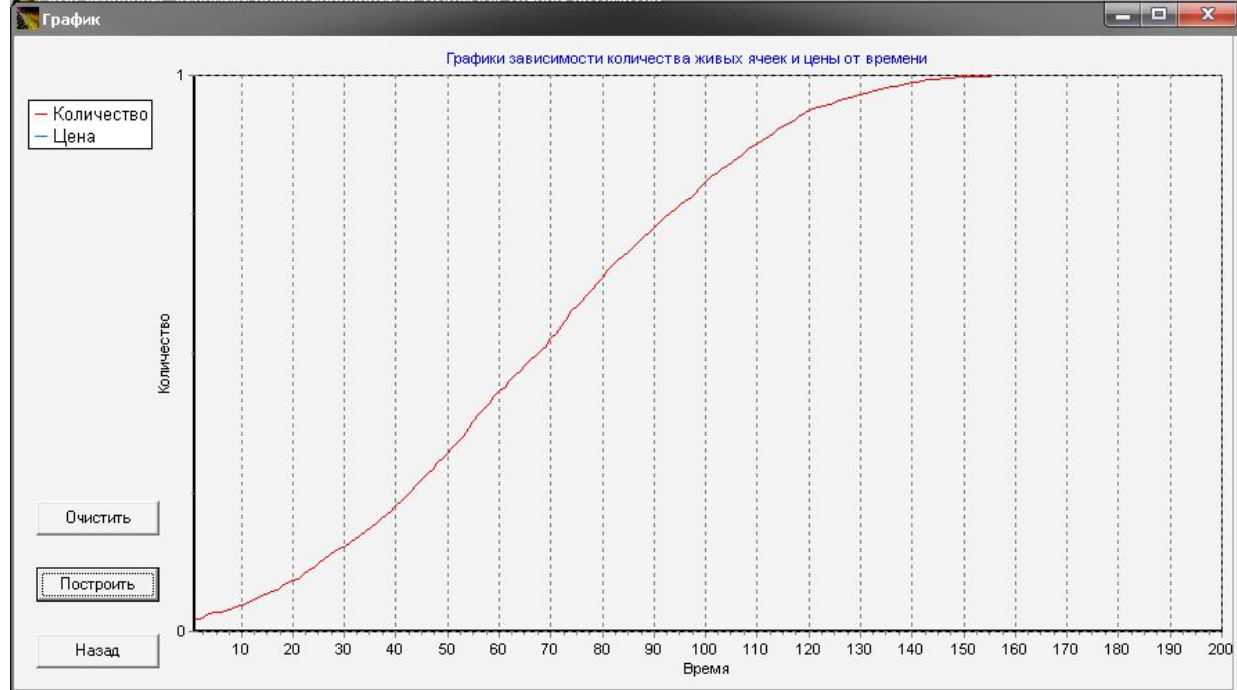
φ - коэффициент рекламы инновации, при увеличении которого спрос на инновацию повышается

Матрица перехода:

$$F = \begin{bmatrix} P_{0 \leftarrow 0} & P_{0 \leftarrow 1} \\ P_{1 \leftarrow 0} & P_{1 \leftarrow 1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - q \cdot \eta(t) \cdot \sigma(i, j, t) \cdot \beta(t) \cdot m(t) \cdot \varphi & (1 - \eta(t) \cdot m(t)) \cdot p \\ q \cdot \eta(t) \cdot \sigma(i, j, t) \cdot \beta(t) \cdot m(t) \cdot \varphi & 1 - (1 - \eta(t) \cdot m(t)) \cdot p \end{bmatrix}$$

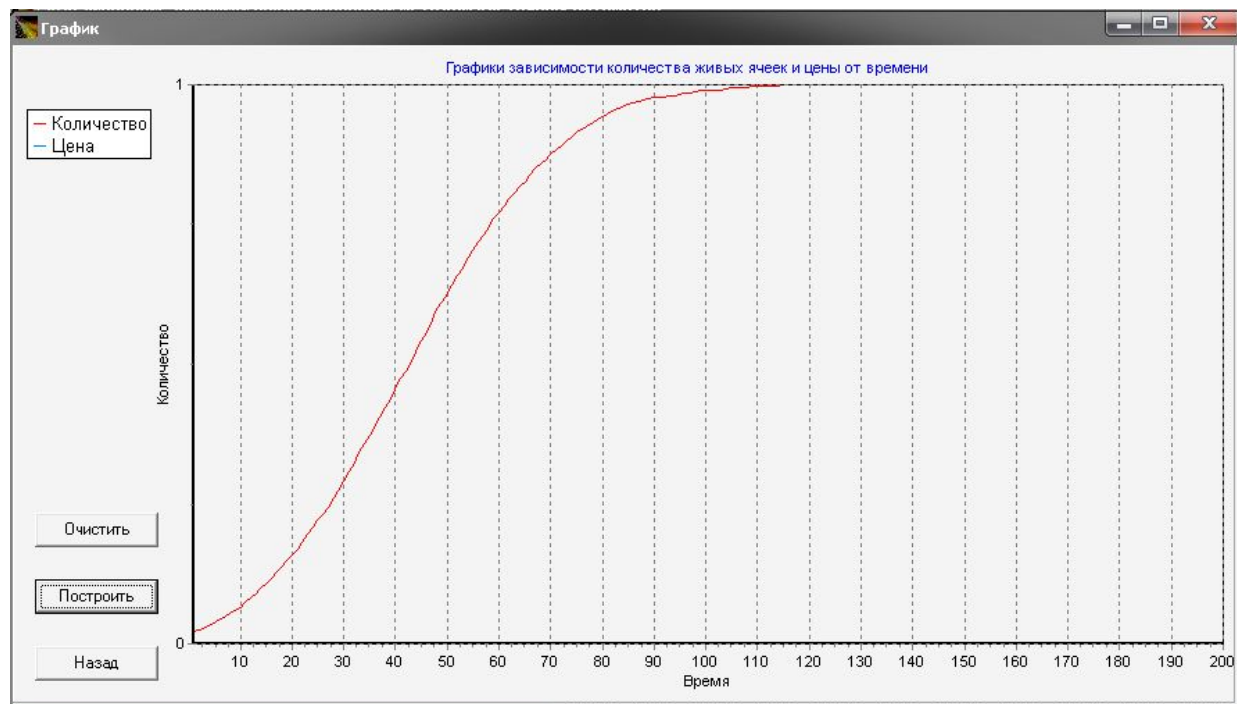
Коэффициент рекламы

1,5



Коэффициент рекламы

1,5



Правило №8:

Правило 8: Согласно исследованиям в области социальной психологии, в случае наличия дефекта одного из продуктов, доверие к торговой марке, под которой он был выпущен, а значит и желание потребителя пользоваться товарами и услугами, выходящими под ней, снижается на 90%.

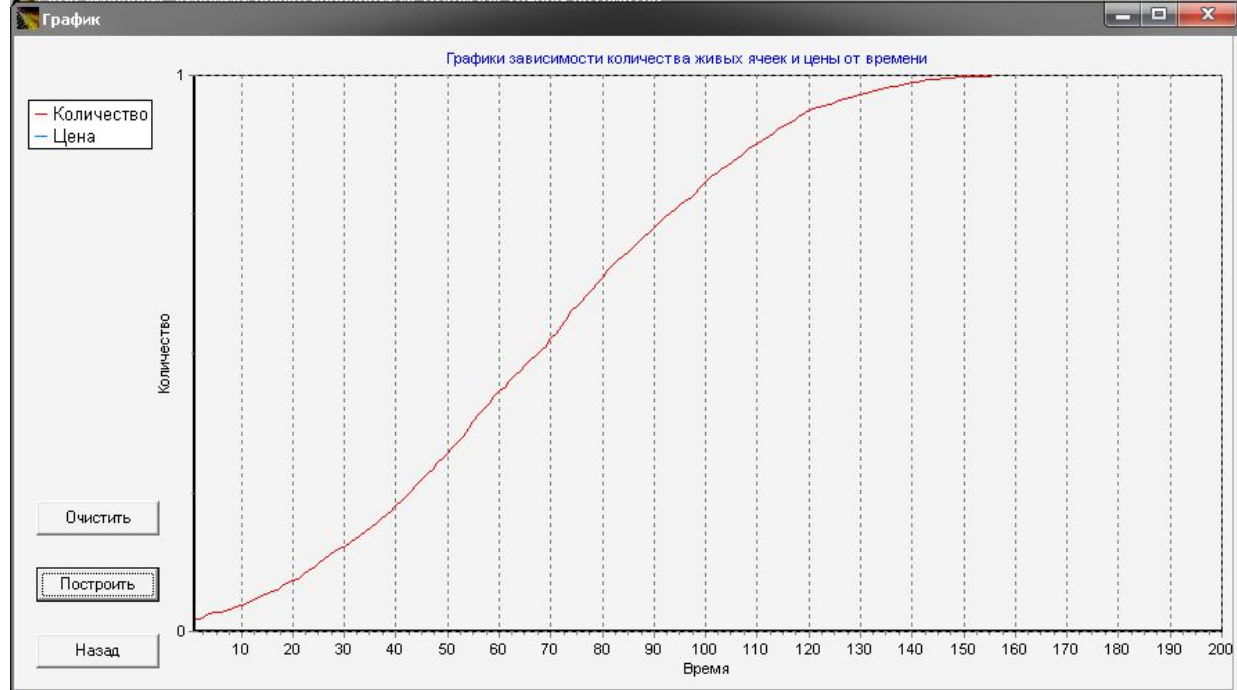
Правило №8:

Матрица перехода:

$$F = \begin{bmatrix} P_{0 \leftarrow 0} & P_{0 \leftarrow 1} \\ P_{1 \leftarrow 0} & P_{1 \leftarrow 1} \end{bmatrix} =$$
$$= \begin{bmatrix} 1 - q \cdot \eta(t) \cdot \sigma(i, j, t) \cdot \beta(t) \cdot m(t) \cdot \varphi \cdot u(v) & (1 - \eta(t) \cdot m(t)) \cdot p \\ q \cdot \eta(t) \cdot \sigma(i, j, t) \cdot \beta(t) \cdot m(t) \cdot \varphi \cdot u(v) & 1 - (1 - \eta(t) \cdot m(t)) \cdot p \end{bmatrix}$$

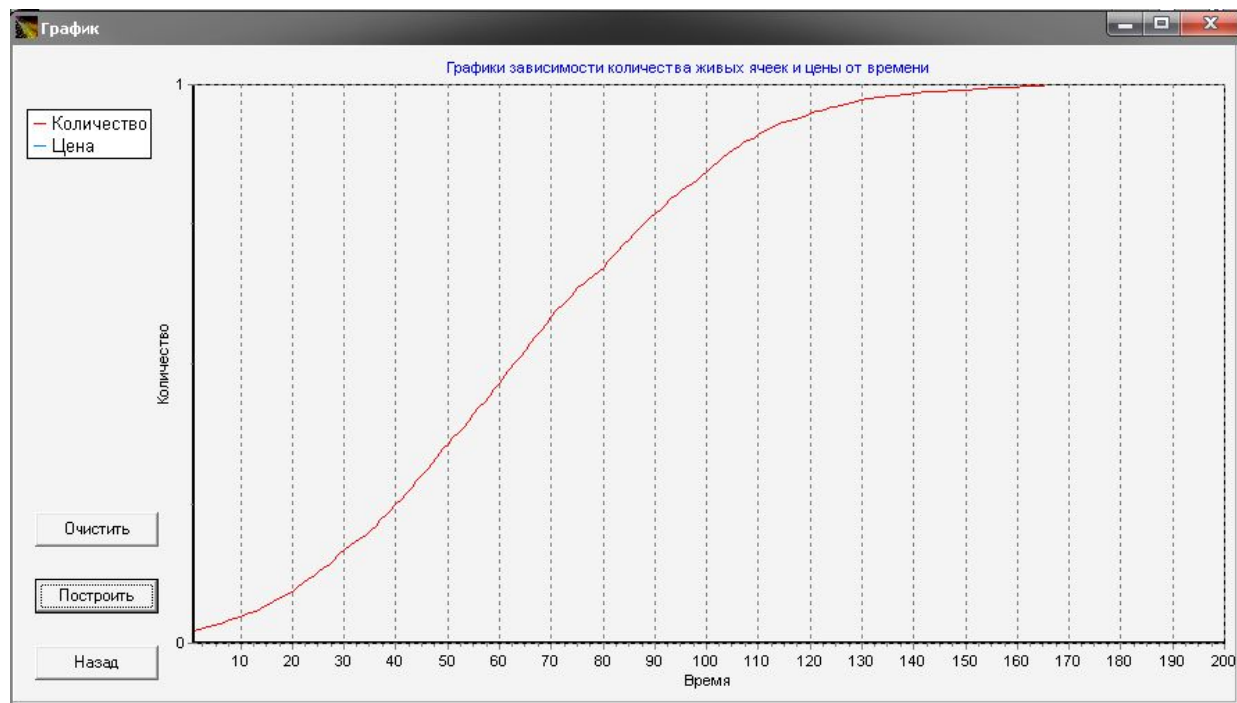
Вероятность брака

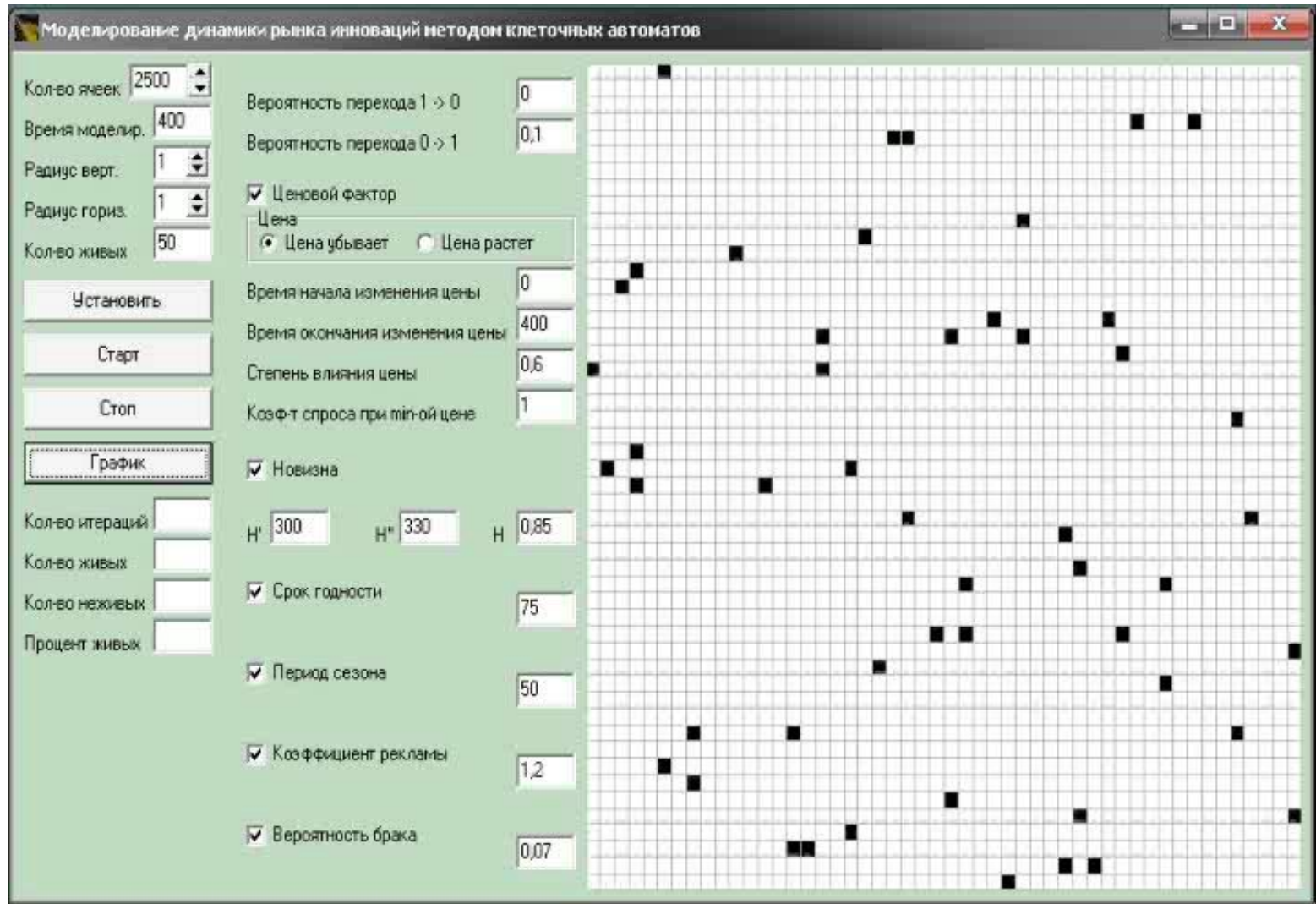
0,07



Вероятность брака

0,07





Выводы

- разработана нелинейная динамическая модель диффузии инноваций;
- разработана программа, реализующая данную модель;
- выполнен анализ полученных результатов на основе графиков;
- произведена оценка эффективности метода клеточных автоматов как способа моделирования динамики рынка инноваций.

Спасибо за внимание

Саранск 2018

Г.