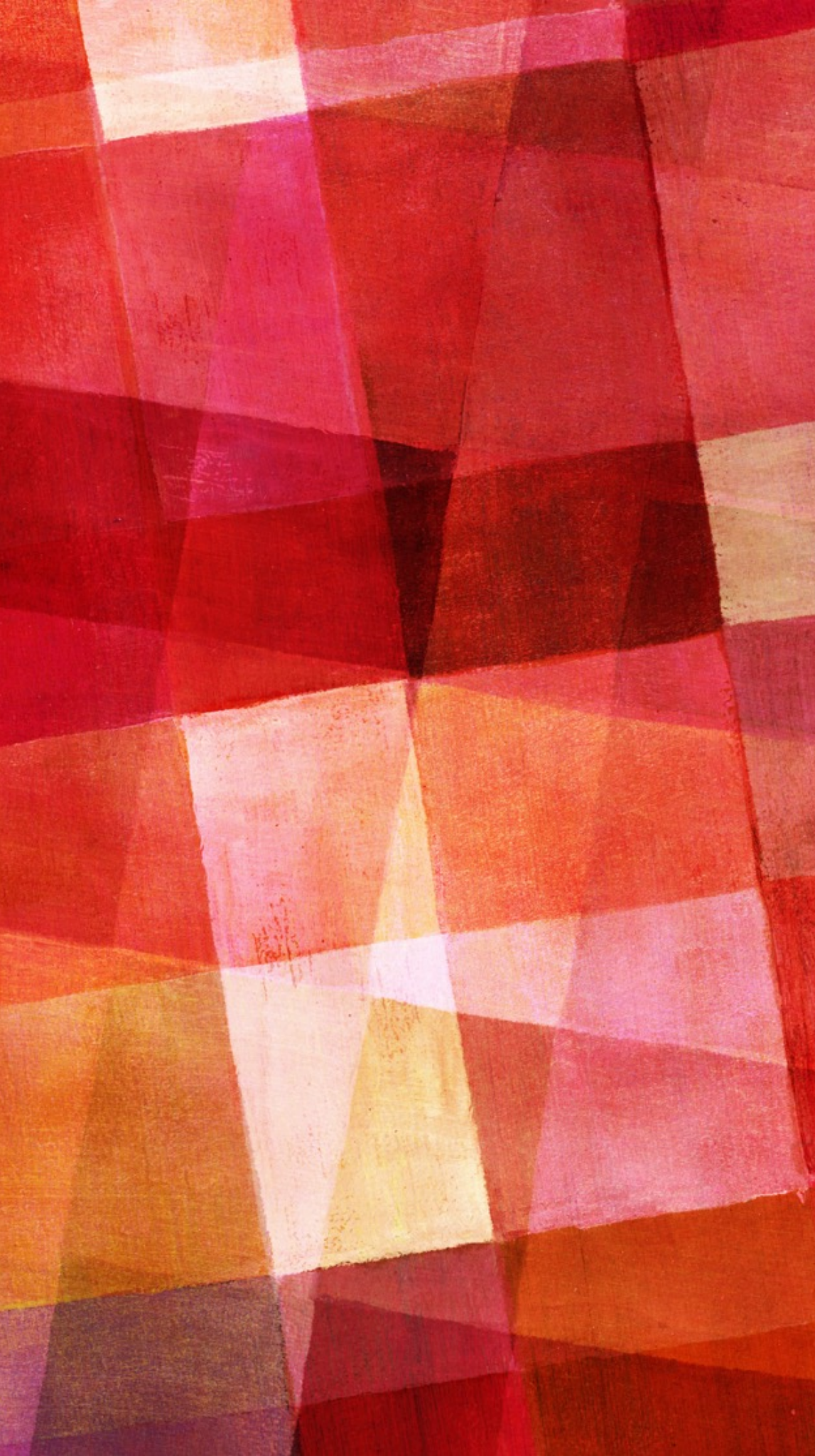




АНАЛИЗ ВИРТУАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ В АЛГОРИТМАХ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИСКРЕТНЫХ СОБЫТИЙ

.....
Зиганурова Лилия, научный руководитель Щур Л.Н.

Аспирантский семинар, ФКН, 21 апреля 2016



ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНЫХ СОБЫТИЙ

*Fujimoto R.M. Parallel Discrete
Event Simulation // Commun.
ACM. 1990.V. 33. P. 31–53.*

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНЫХ СОБЫТИЙ

.....

Система

Моделируемая система

Подсистемы

#1

#2

#3

...

#N-1

#N

Логические
процессы

#1

#2

#3

...

#N-1

#N

Процессорные
элементы

#1

#2

#3

...

#N-1

#N



ВРЕМЯ В МОДЕЛИРОВАНИИ

Системы с асинхронной динамикой



ТИПЫ ВРЕМЕНИ В МОДЕЛИРОВАНИИ

- Физическое (physical time)
- Модельное (виртуальное) (simulation time)
- Реальное время (wall-clock time)

КОНЦЕПТ ВИРТУАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Логические
процессы



Jefferson D.R. Virtual Time // ACM Trans. on Programming Languages and Systems (TOPLAS). 1985.V. 7. P. 404—425.

КОНЦЕПТ ВИРТУАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Логические
процессы



Local Virtual
Time (LVT)

t_1 t_2 t_3 ... t_{N-1} t_N

Jefferson D.R. Virtual Time // ACM Trans. on Programming Languages and Systems (TOPLAS). 1985.V. 7. P. 404—425.

КОНЦЕПТ ВИРТУАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

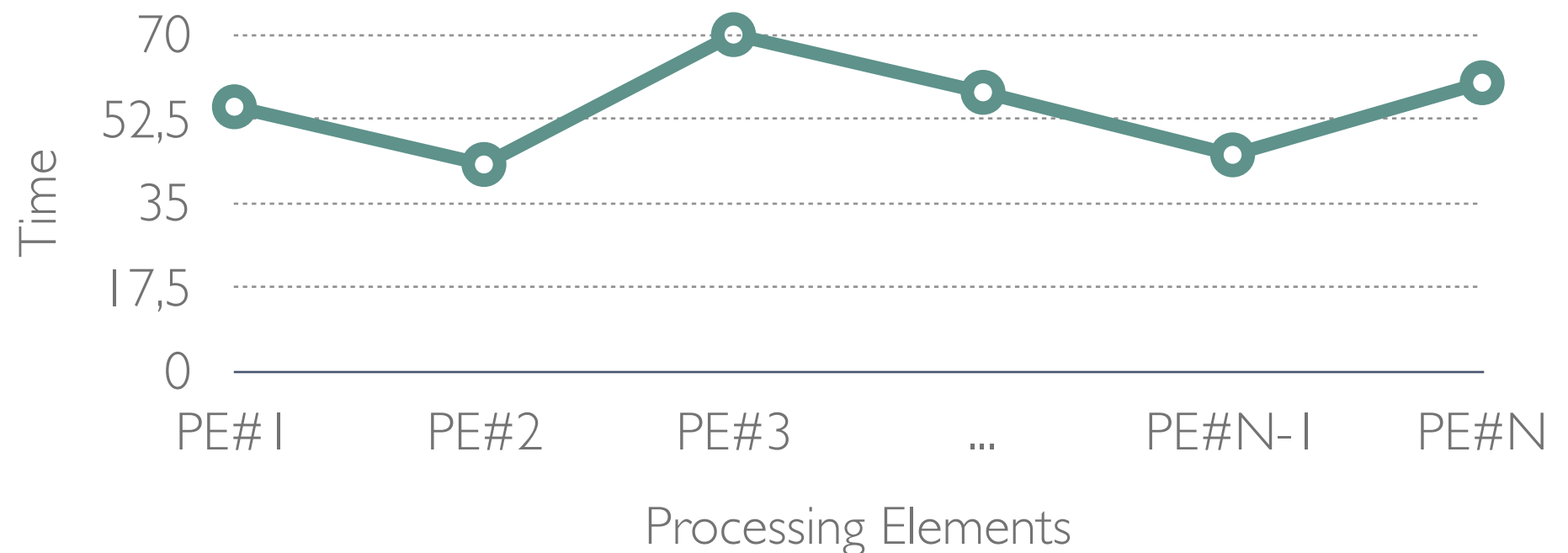
Логические
процессы



Local Virtual
Time (LVT)

t_1 t_2 t_3 ... t_{N-1} t_N

LVT Profile



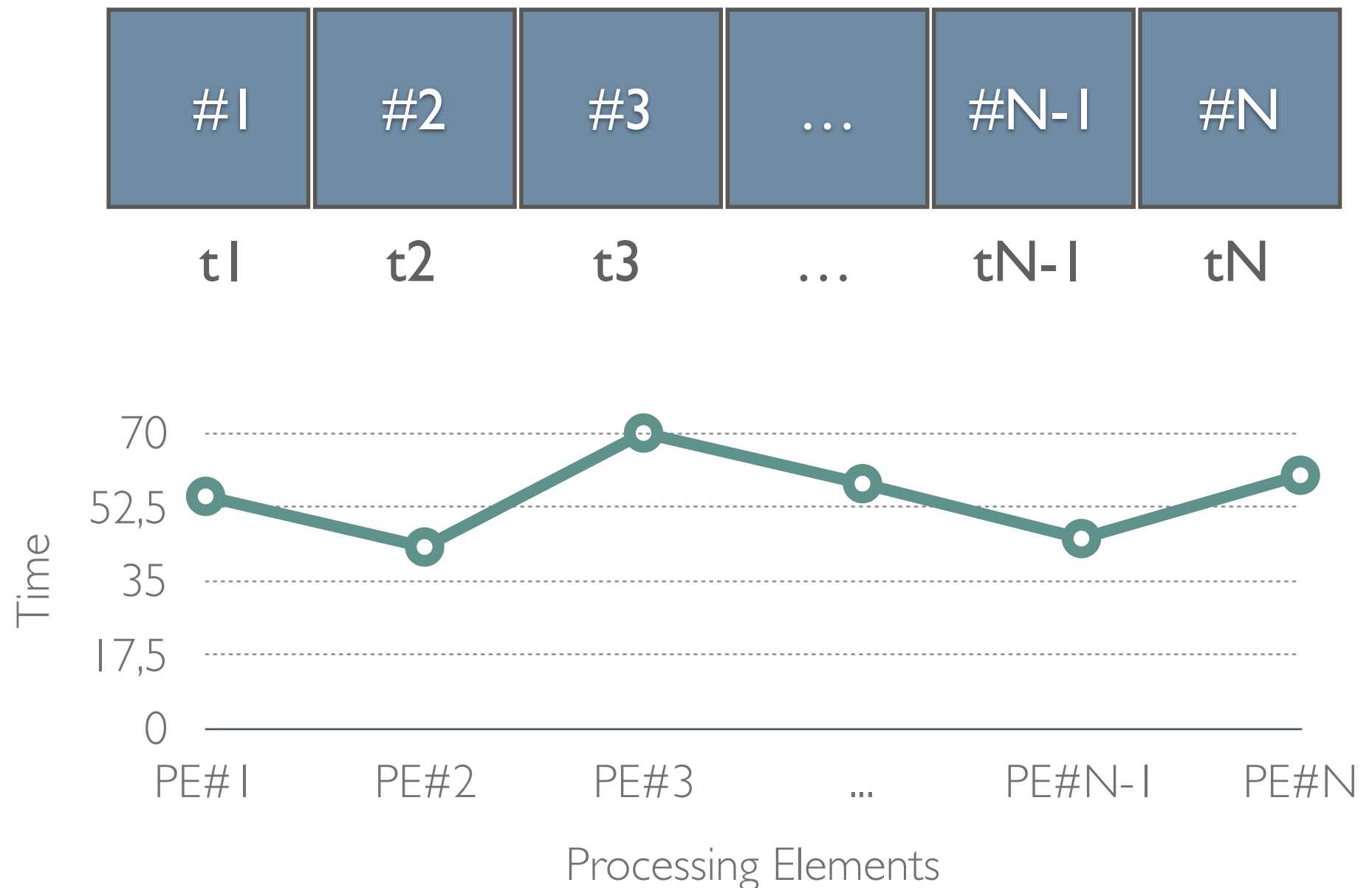
Jefferson D.R. Virtual Time // ACM Trans. on Programming Languages and Systems (TOPLAS). 1985.V. 7. P. 404—425.

КОНЦЕПТ ВИРТУАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Логические
процессы

Local Virtual
Time (LVT)

LVT Profile



Jefferson D.R. Virtual Time // ACM Trans. on Programming Languages and Systems (TOPLAS). 1985.V. 7. P. 404—425.

КОНЦЕПТ ВИРТУАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

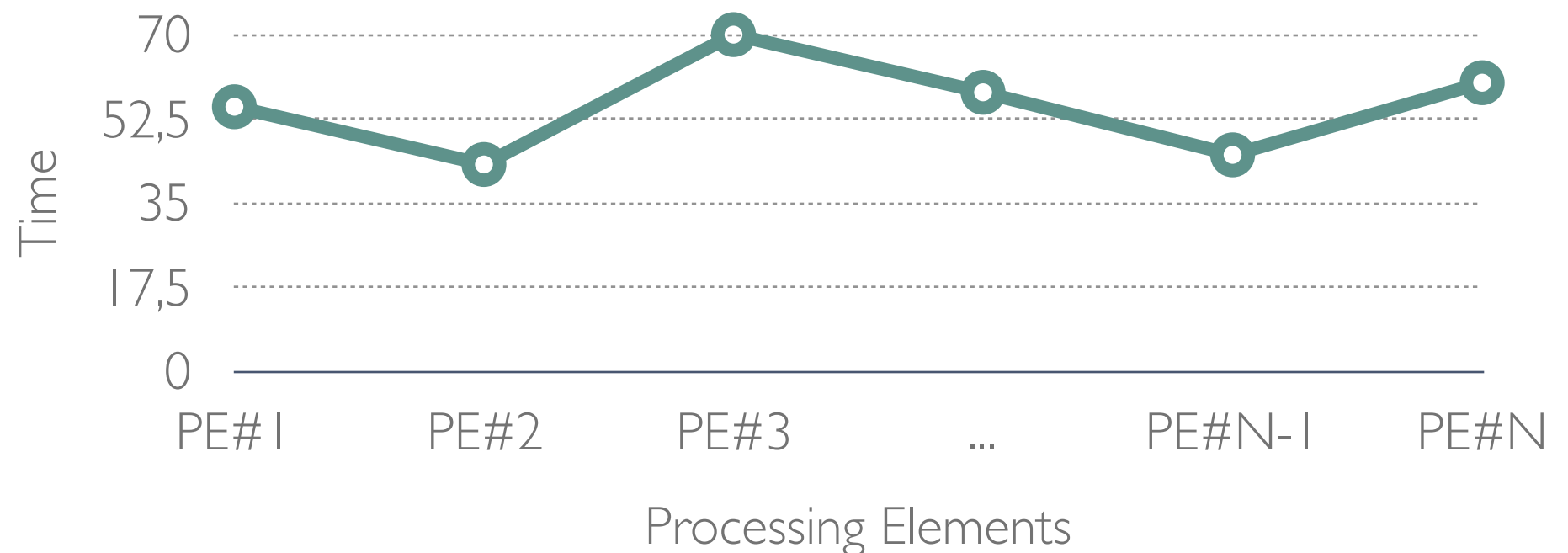
Логические
процессы



Local Virtual
Time (LVT)

t1 t2 t3 ... tN-1 tN

LVT Profile



Global Virtual Time
(GVT) = $\min\{LVT_i\}$

DEPARTURES

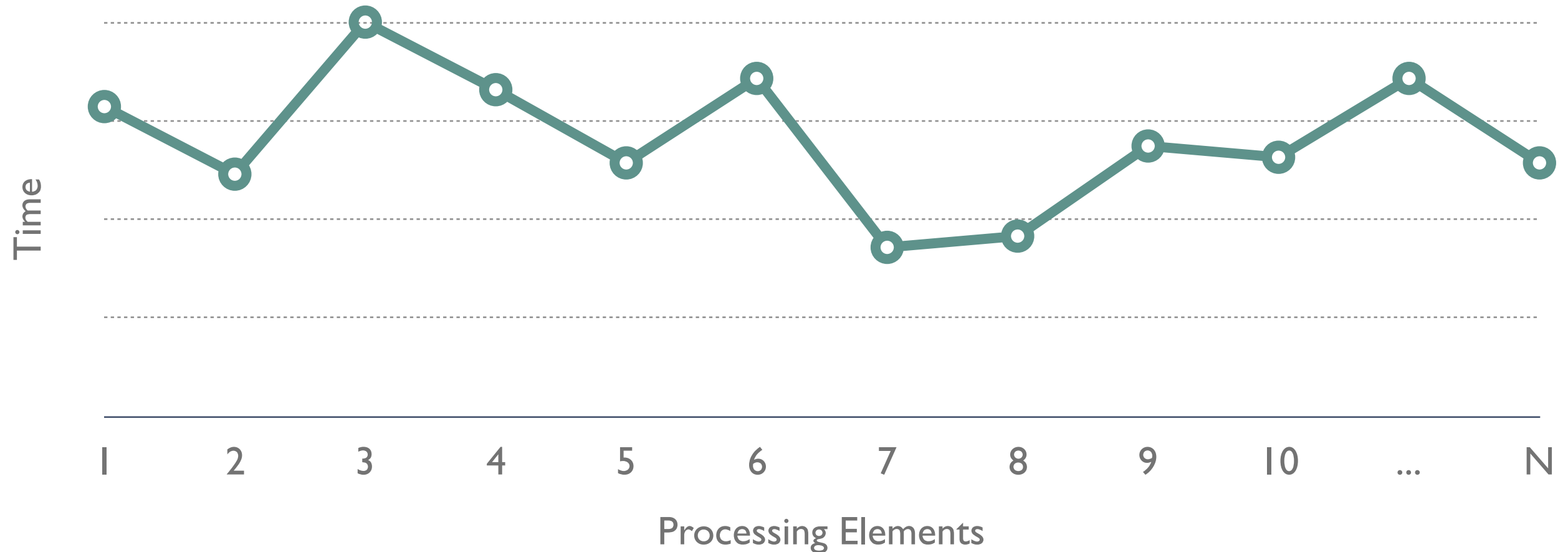
TIME		DESTINATION	FLIGHT	GATE	REMARKS
09 ²⁰	●●	NEW YORK	AA343	A12	BOARDING
09 ³⁰	●●	LOS ANGELES	UA882	A34	
11 ⁴⁰	●●	LAS VEGAS	RF453	B45	DELAY
12 ¹⁵	●●	MIAMI	SA125	C90	
13 ¹⁰	●●	PARIS	KL722	C23	
13 ⁵⁵	●●	ROMA	AI512	A78	CANCELLED
14 ²⁰	●●	LONDON	BA211	B89	
14 ⁵⁰	●●	HONULULO	LH231	B37	
15 ¹⁵	●●	SYDNEY	QA313	C52	NEW TIME
15 ³⁵	●●	TOKIO	JA251	C38	
16 ¹⁰	●●	BANGKOK	TG125	C35	
17 ⁰⁰	●●	RIO DE JANEIRO	FP893	B72	

Воздушное сообщение

Пример



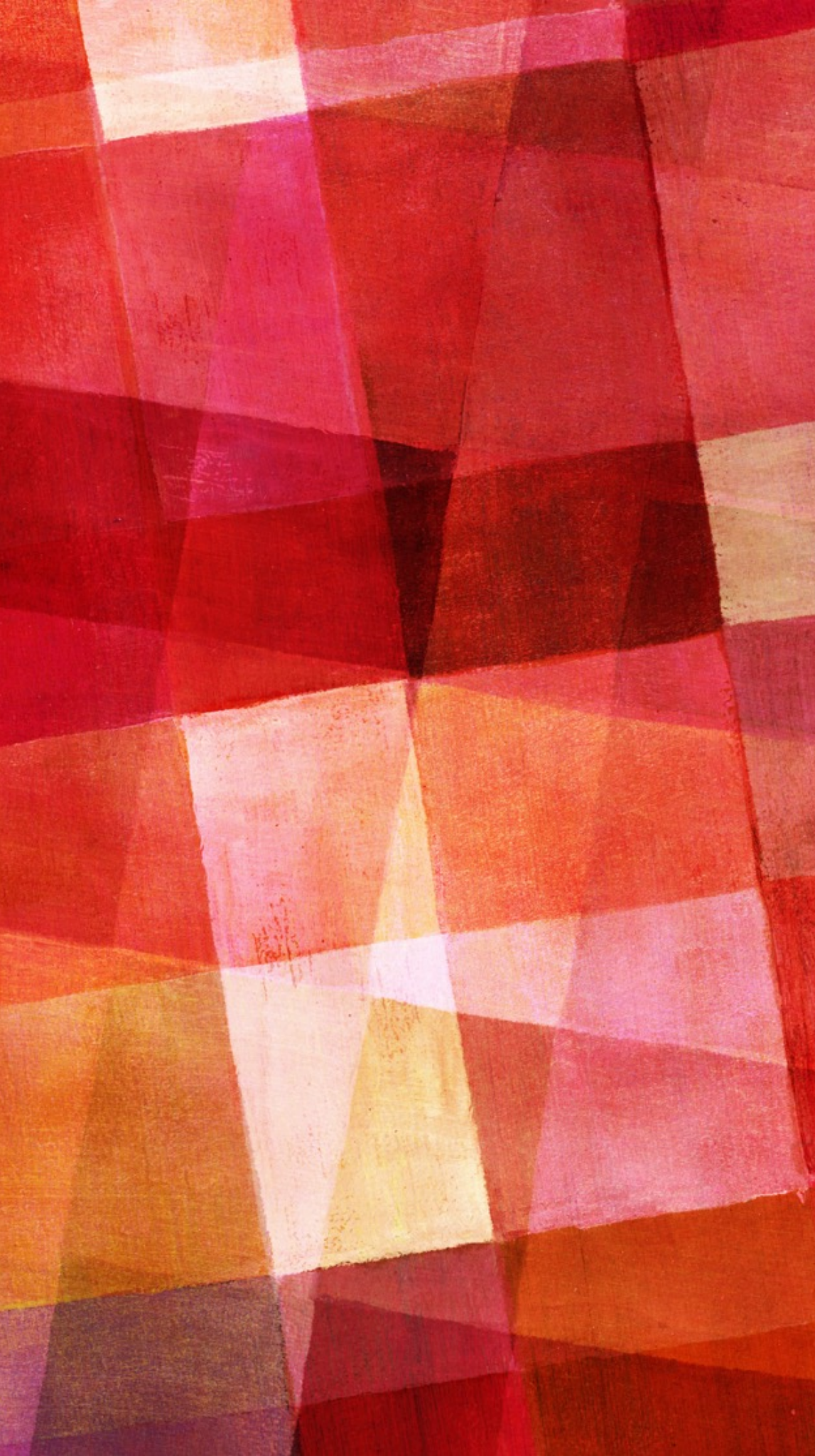
ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ



Эволюция профиля локальных виртуальных времен в различных алгоритмах ПМДС

ЧТО МЫ МОЖЕМ УЗНАТЬ, ИЗУЧАЯ ПРОФИЛЬ ЛВВ?

- Прогресс моделирования (скорость, мертвые состояния)
- Синхронизация процессов
- Масштабируемость



Алгоритмы ПМДС

АЛГОРИТМЫ ПМДС

- Консервативные
- Оптимистические
- FaS (Freeze-and-Shift)

КОНСЕРВАТИВНЫЙ АЛГОРИТМ

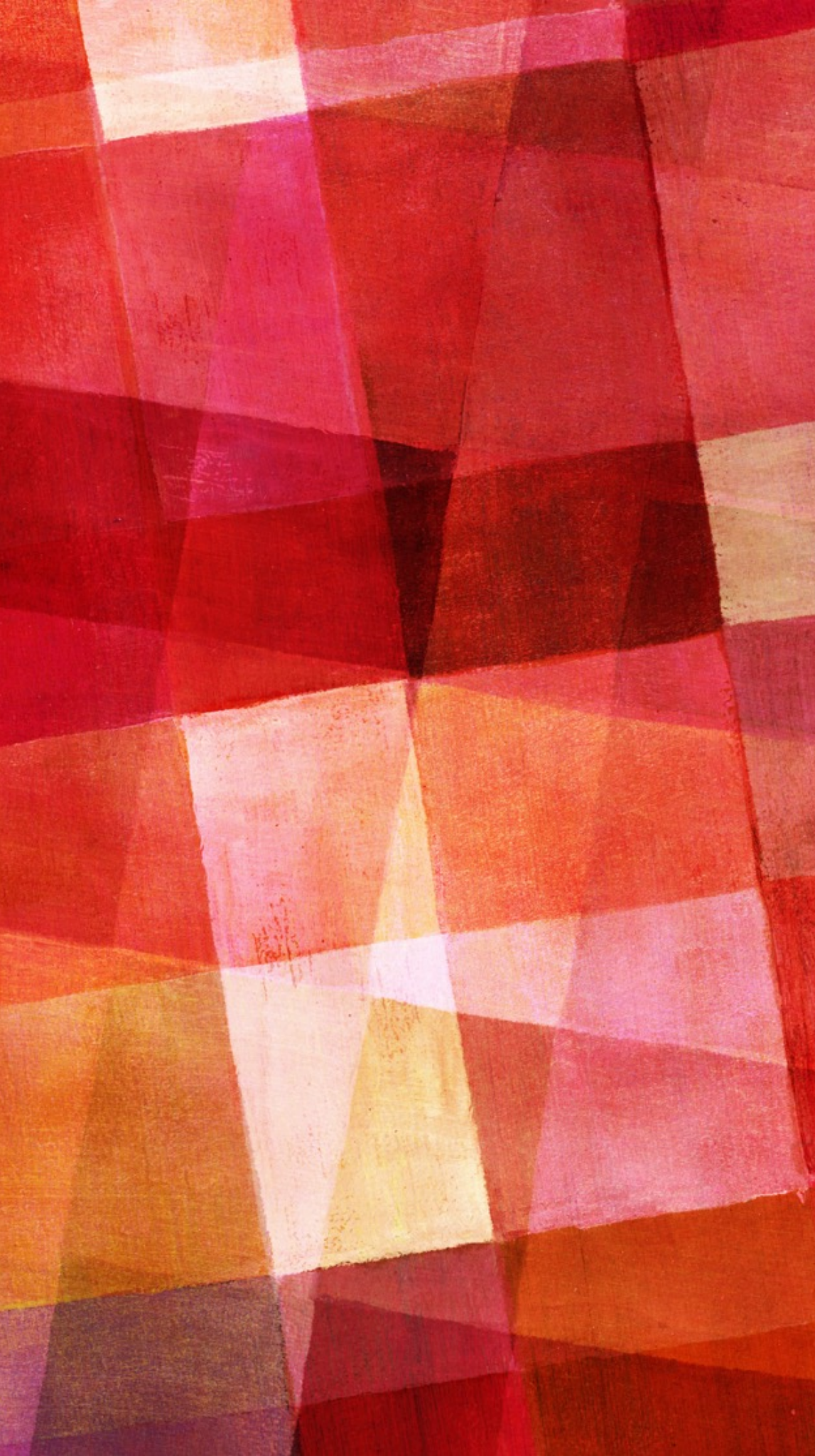
Избегает возможные ошибки причинности, проверяя причинно-следственные отношения между потенциально взаимосвязанными события на каждом шаге моделирования

ОПТИМИСТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ

Разрешает некоторые ошибки причинности, а затем запускает механизм исправления неверных вычислений

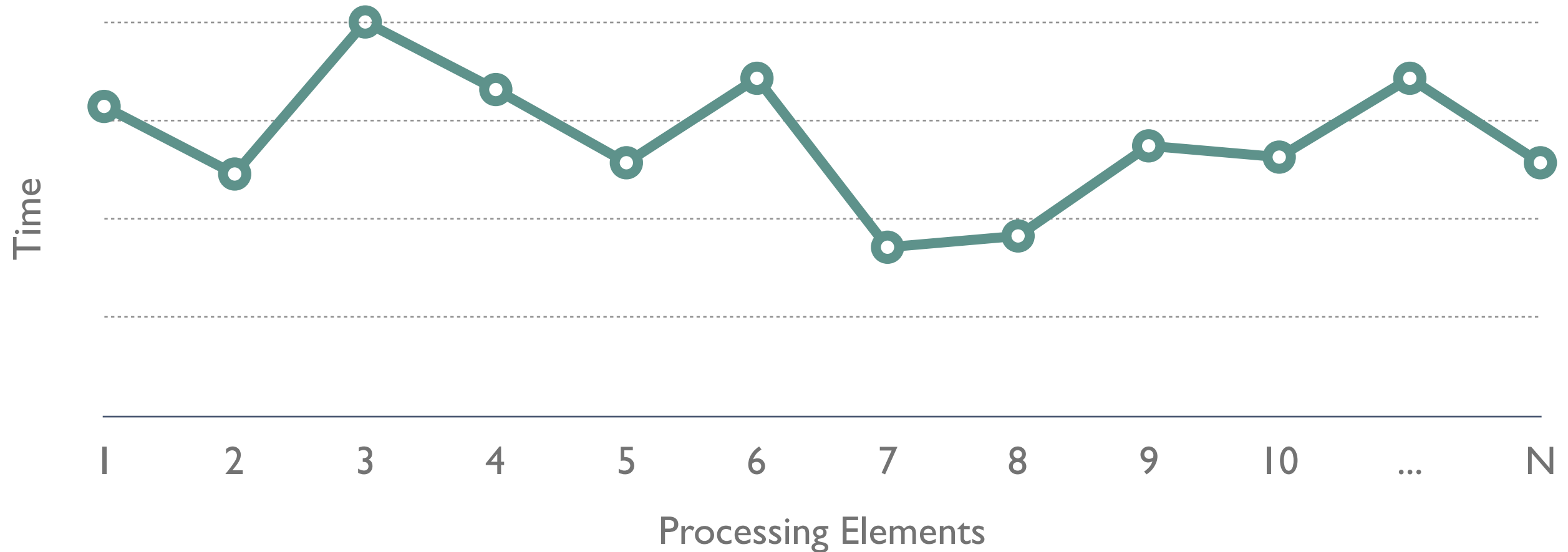
АЛГОРИТМ FREEZE-AND-SHIFT

Совмещение консервативного и оптимистического алгоритмов



Подход к изучению

ЭВОЛЮЦИЯ ПРОФИЛЯ ЛВВ



Korniss G., Toroczka Z., Novotny M.A., Rikvold P.A. From Massively Parallel Algorithms and Fluctuating Time Horizons to Nonequilibrium Surface Growth // Physical Rev. Letters. 2000.V. 84. P. 1351–1354.

КЛАСС УНИВЕРСАЛЬНОСТИ КПЖ

Уравнение Кардара-Паризи-Жанга

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \nu \nabla^2 h + \lambda (\nabla h)^2 + \eta,$$

$h = h(x, t)$ - высота поверхности

ν, λ - параметры

η - гауссовский шум

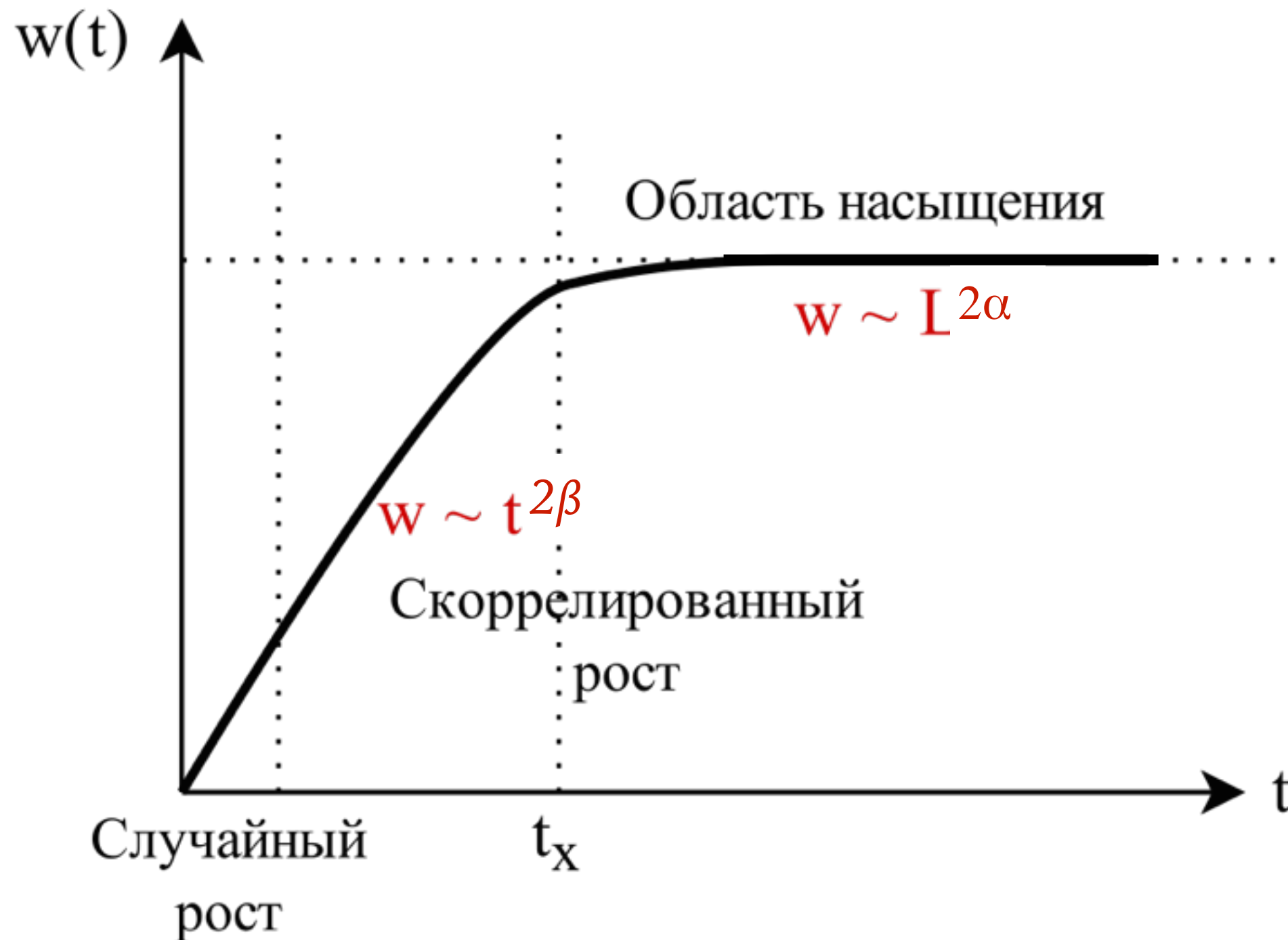
Kardar M., Parisi G., Zhang Y.-C. Dynamic Scaling of Growing Interfaces // Physical Rev. Letters. 1986. V. 56. P. 889–892.

ШИРИНА ФРОНТА ПОВЕРХНОСТИ

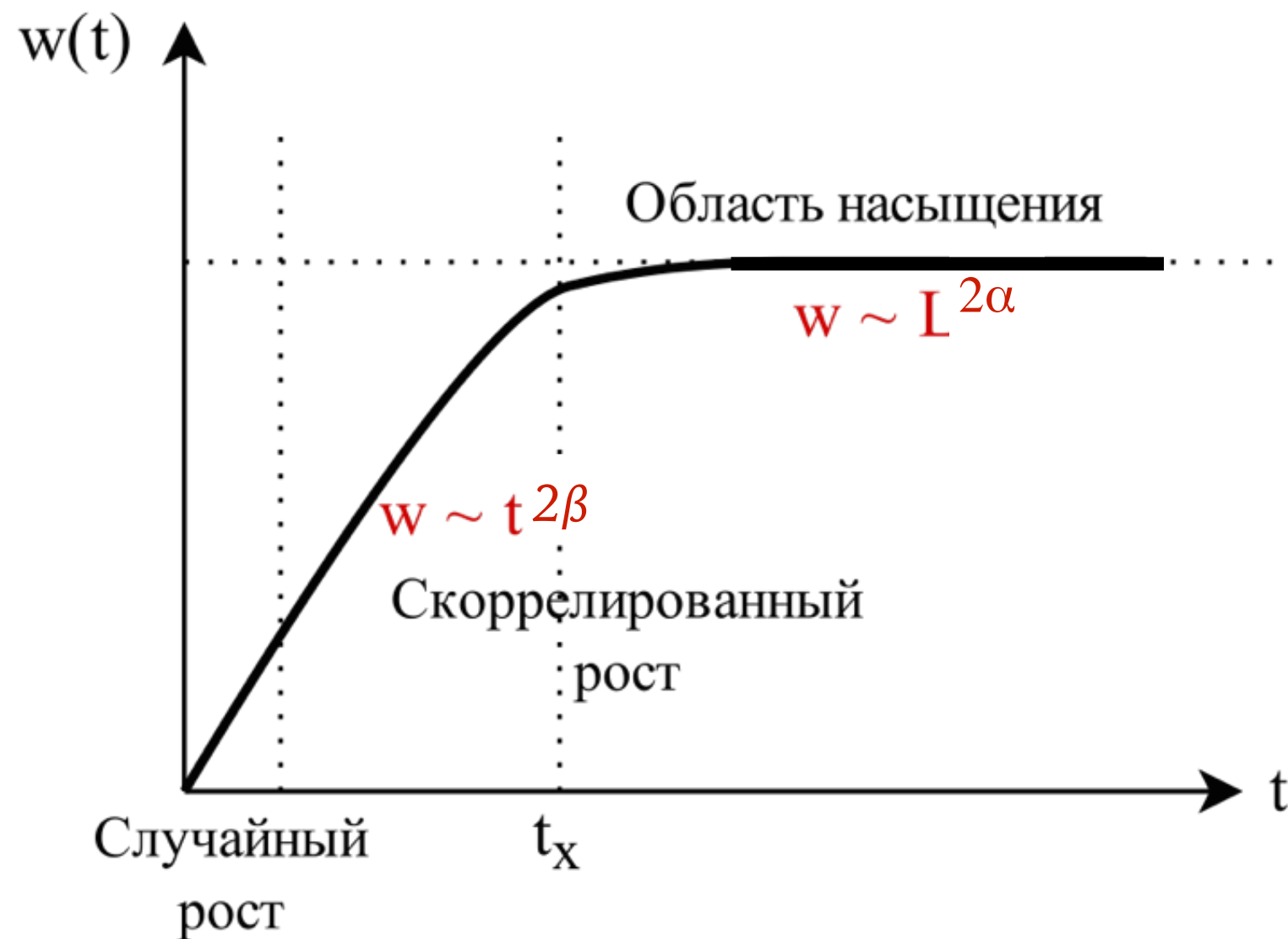
$$w(L, t) = \left\langle \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (h_i - \bar{h})^2 \right\rangle \sim L^{2\alpha} g\left(\frac{t}{L^{\alpha/\beta}}\right),$$

$$g(x) \sim \begin{cases} x^{2\beta} & x \ll 1 \\ \text{const} & x \gg 1 \end{cases}$$

ШИРИНА ФРОНТА ПОВЕРХНОСТИ



УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ



$\alpha = 1/2$ (экспонента шероховатости)

$\beta = 1/3$ (экспонента роста)

$z = \alpha / \beta$.
(динамическая экспонента)

-
- Как определить, что процесс относится к универсальному классу?
 - Что нам дает знание того, что изучаемое явление описывается данным уравнением?

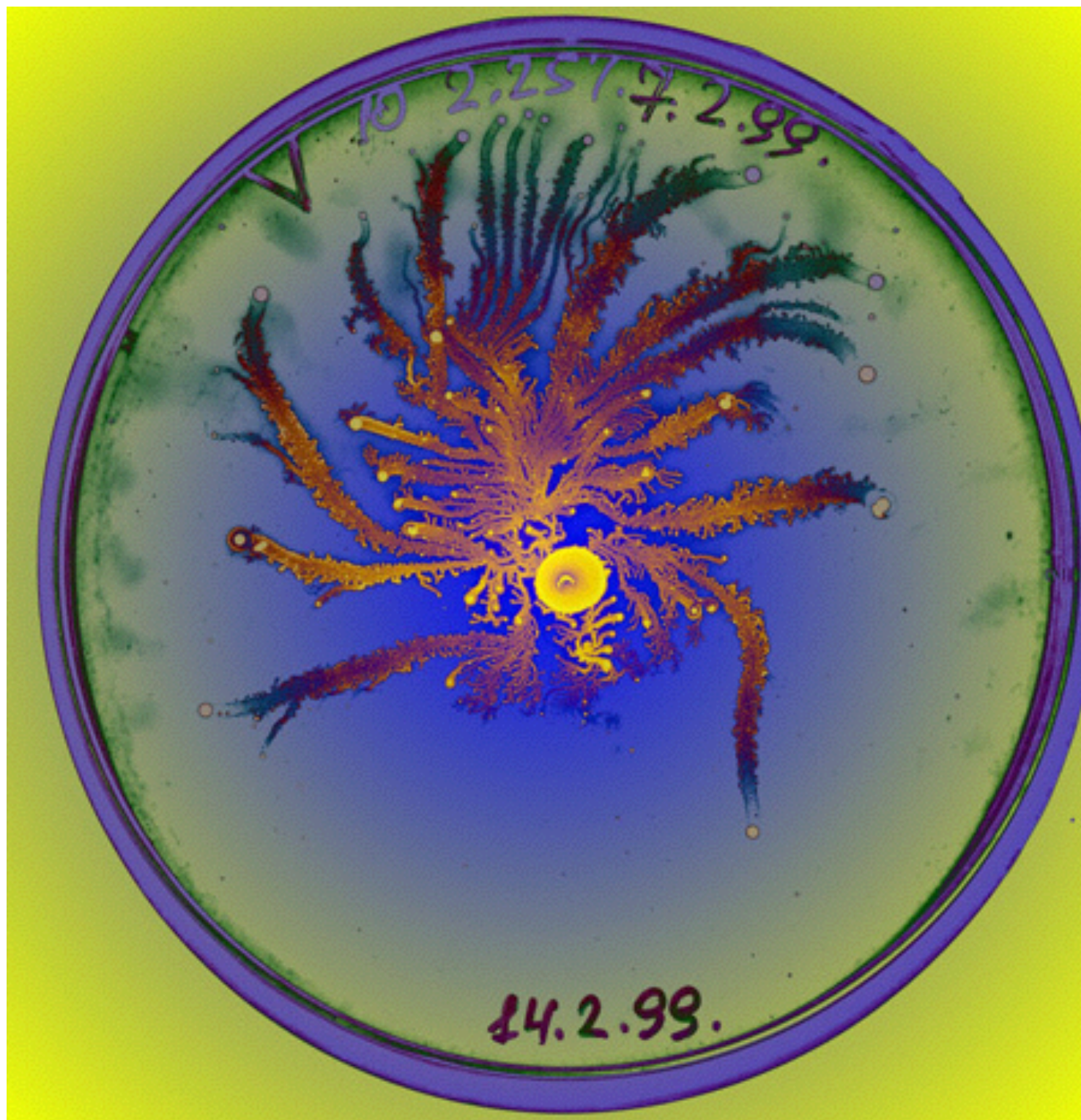
-
- Как определить, что процесс относится к универсальному классу?
 - *Найти и сравнить универсальные показатели*
 - Что нам дает знание того, что изучаемое явление описывается данным уравнением?

➤ Как определить, что процесс относится к универсальному классу?

➤ *Найти и сравнить универсальные показатели*

➤ Что нам дает знание того, что изучаемое явление описывается данным уравнением?

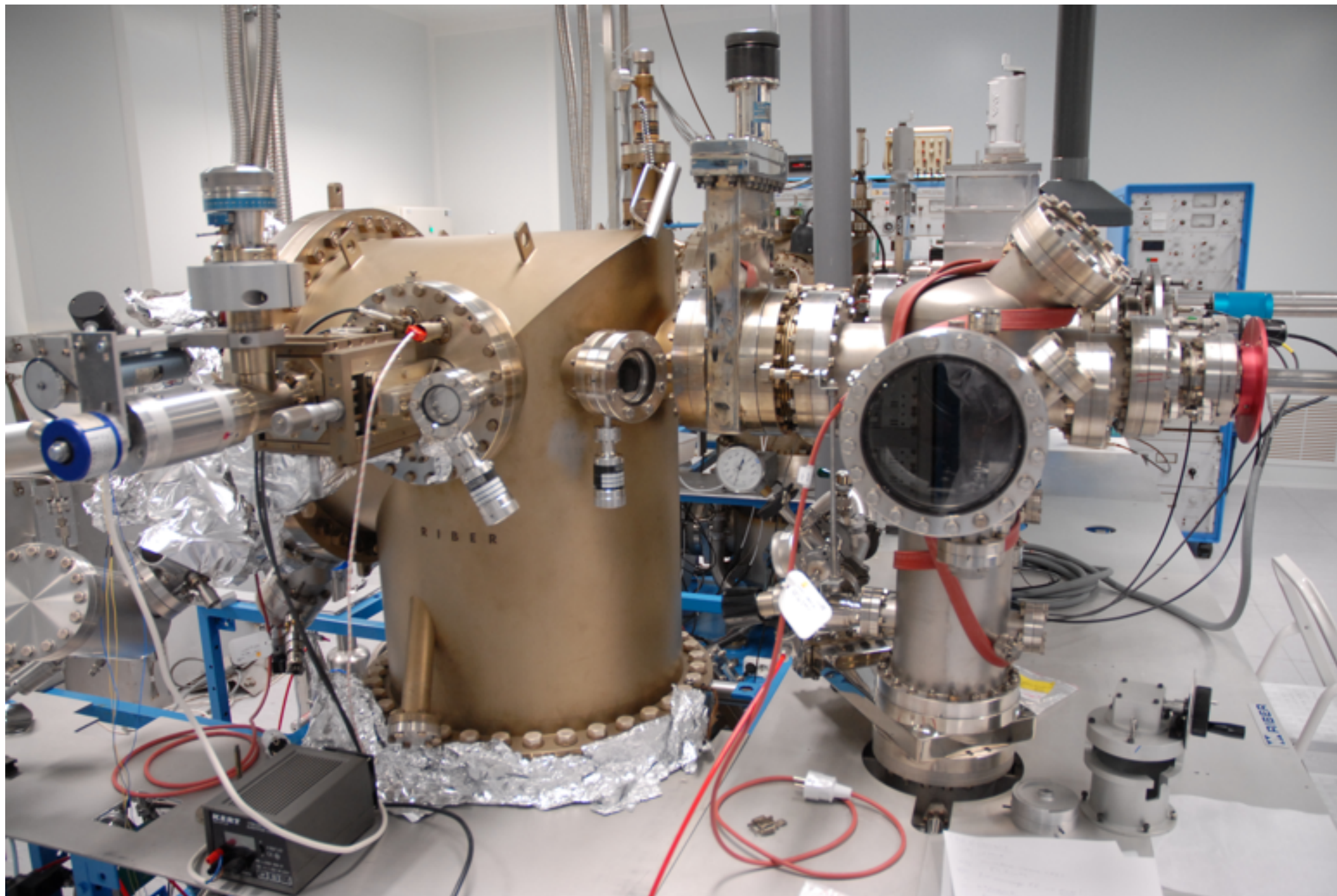
➤ *Предсказательные свойства*



Рост колониальных бактерий (источник: <http://medportal.ru/mednovosti/main/2010/01/22/art/>)



Край жженной бумаги и образование кофейных колец



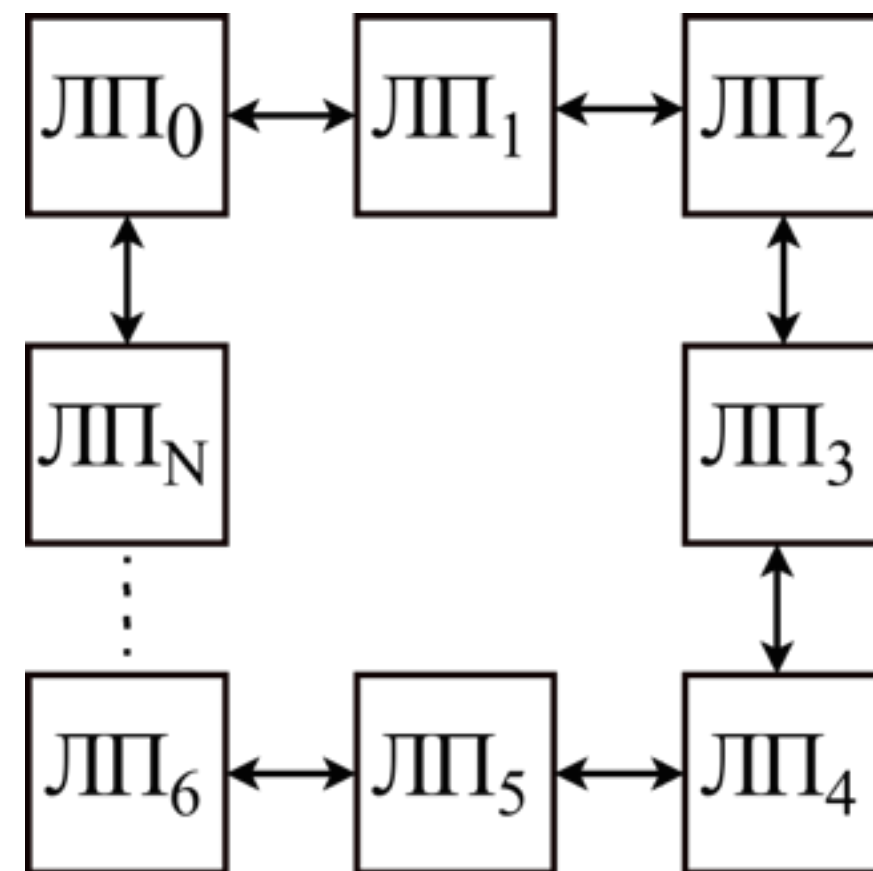
Молекулярно-пучковая эпитаксия (МЛЭ / МВЕ) — метод выращивания тонких кристаллических пленок в условиях сверхвысокого вакуума (до 10^{-8} Па), при котором молекулярные или атомарные пучки направляются на монокристаллическую нагретую подложку.

ДРУГИЕ УНИВЕРСАЛЬНЫЕ КЛАССЫ

- Класс KPZ (Кардара-Паризи-Жанга): $\alpha=1/2$, $\nu=1/3$, $z=2/3$
- Класс EW (Edwards-Wilkinson)
- Класс направленной перколяции (DP)
- Класс динамической перколяции
- и др.

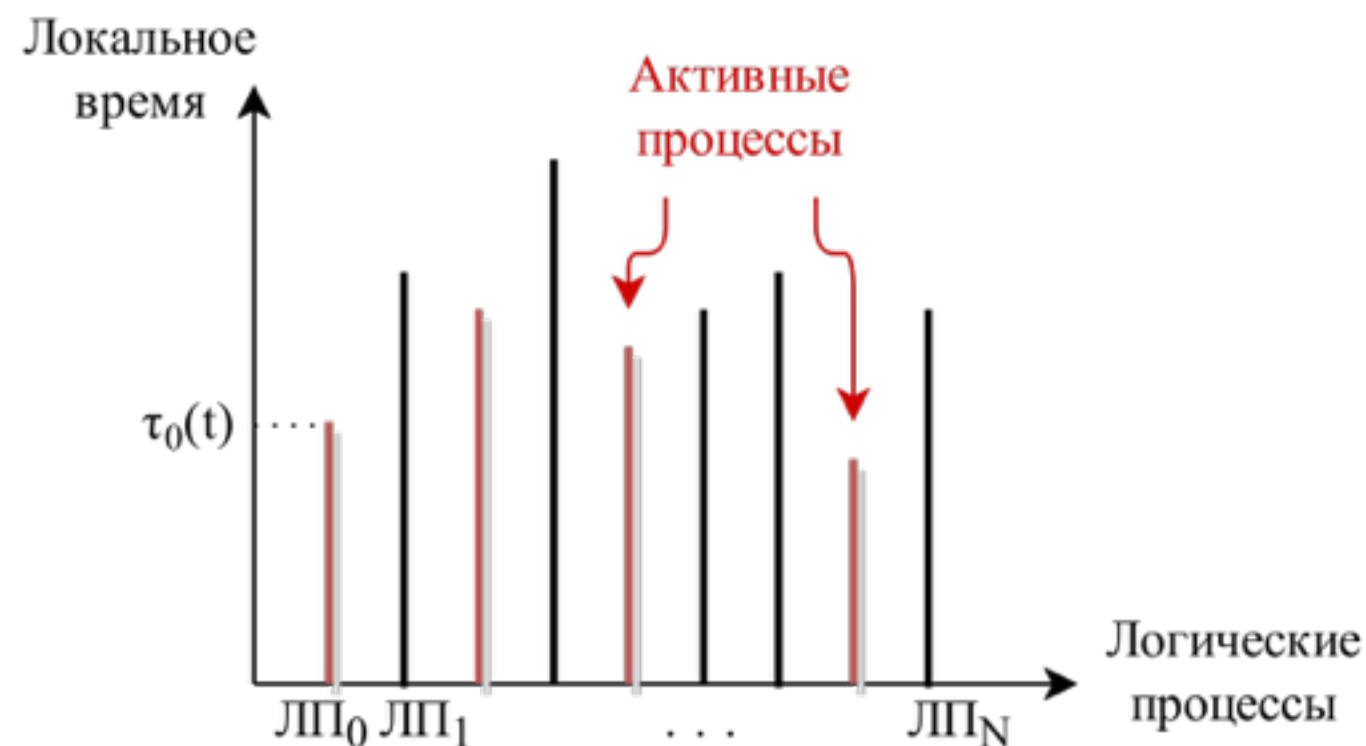
Консервативная схема

Одномерная регулярная топология



УПРОЩЕННАЯ КОНСЕРВАТИВНАЯ СХЕМА

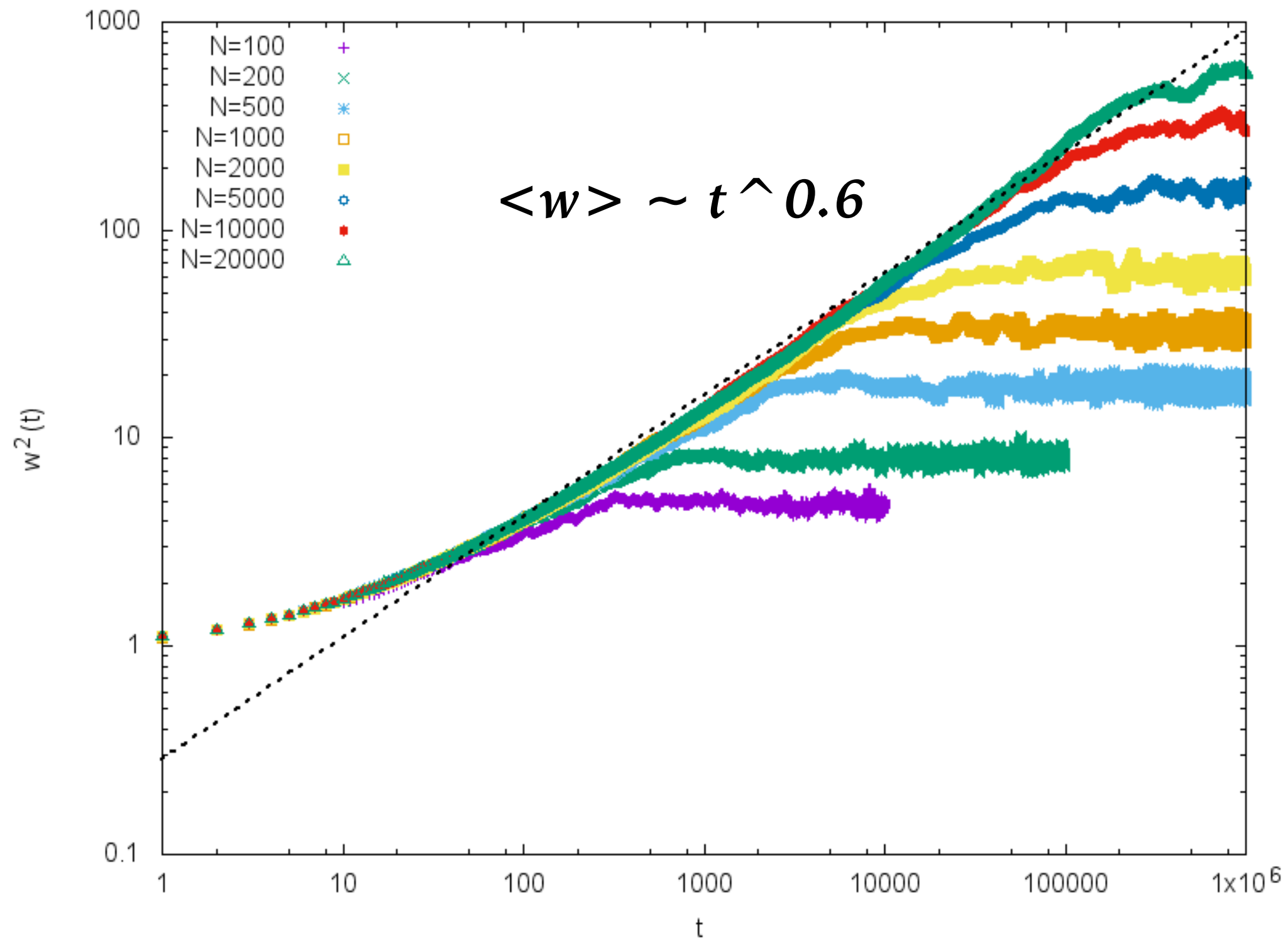
1. Инициализируется массив ЛВВ $\tau_i(t)$ из N элементов; $\tau_i(0) = 0$.
2. Задается количество шагов по времени $M = 1000000$.
3. На каждом дискретном шаге моделирования проверяется **условие активности ЛП**. Значение локальных времен активных процессов увеличивается на случайную величину η .



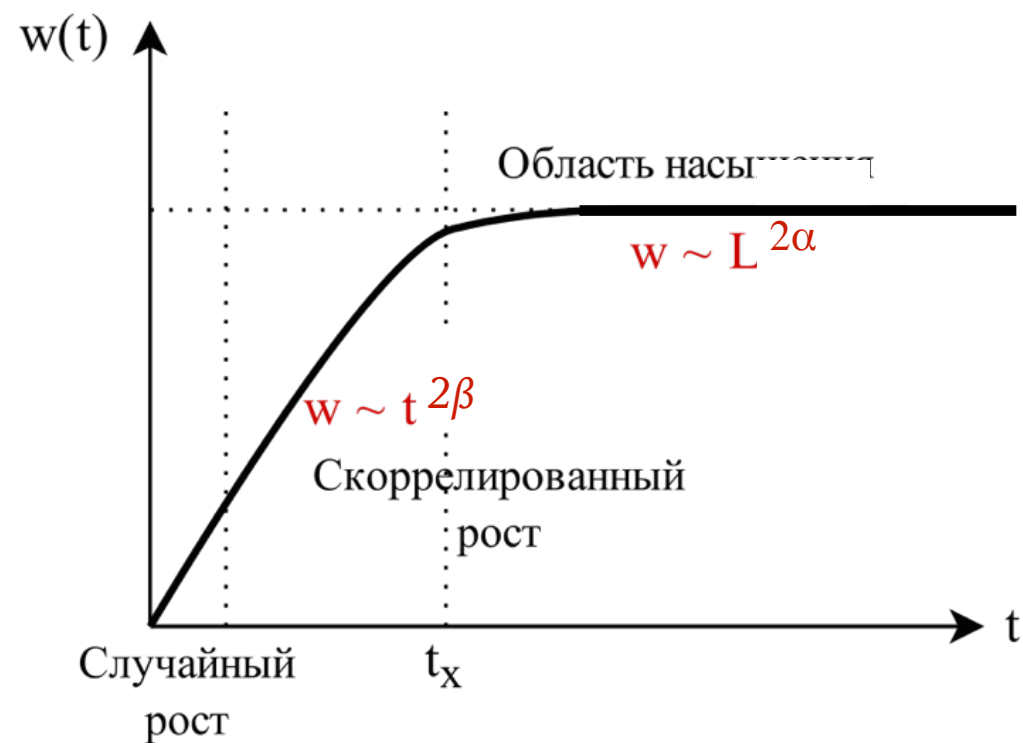
УПРОЩЕННАЯ КОНСЕРВАТИВНАЯ СХЕМА

1. Инициализируется массив $\Delta V \tau_i(t)$ из N элементов; $\tau_i(0) = 0$.
2. Задается количество шагов по времени $M = 1000000$.
3. На каждом дискретном шаге моделирования проверяется **условие активности ЛП**. Значение локальных времен активных процессов увеличивается на случайную величину η .
4. Рассчитываются такие показатели, как средняя высота и ширина профиля и средняя скорость эволюции профиля времен.
5. Поскольку в работе программы используются случайные величины, производится несколько циклов вычислений для последующего усреднения результатов.

КОНСЕРВАТИВНАЯ СХЕМА. РЕЗУЛЬТАТЫ



УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ



$\alpha = 1/2$ (экспонента шероховатости)

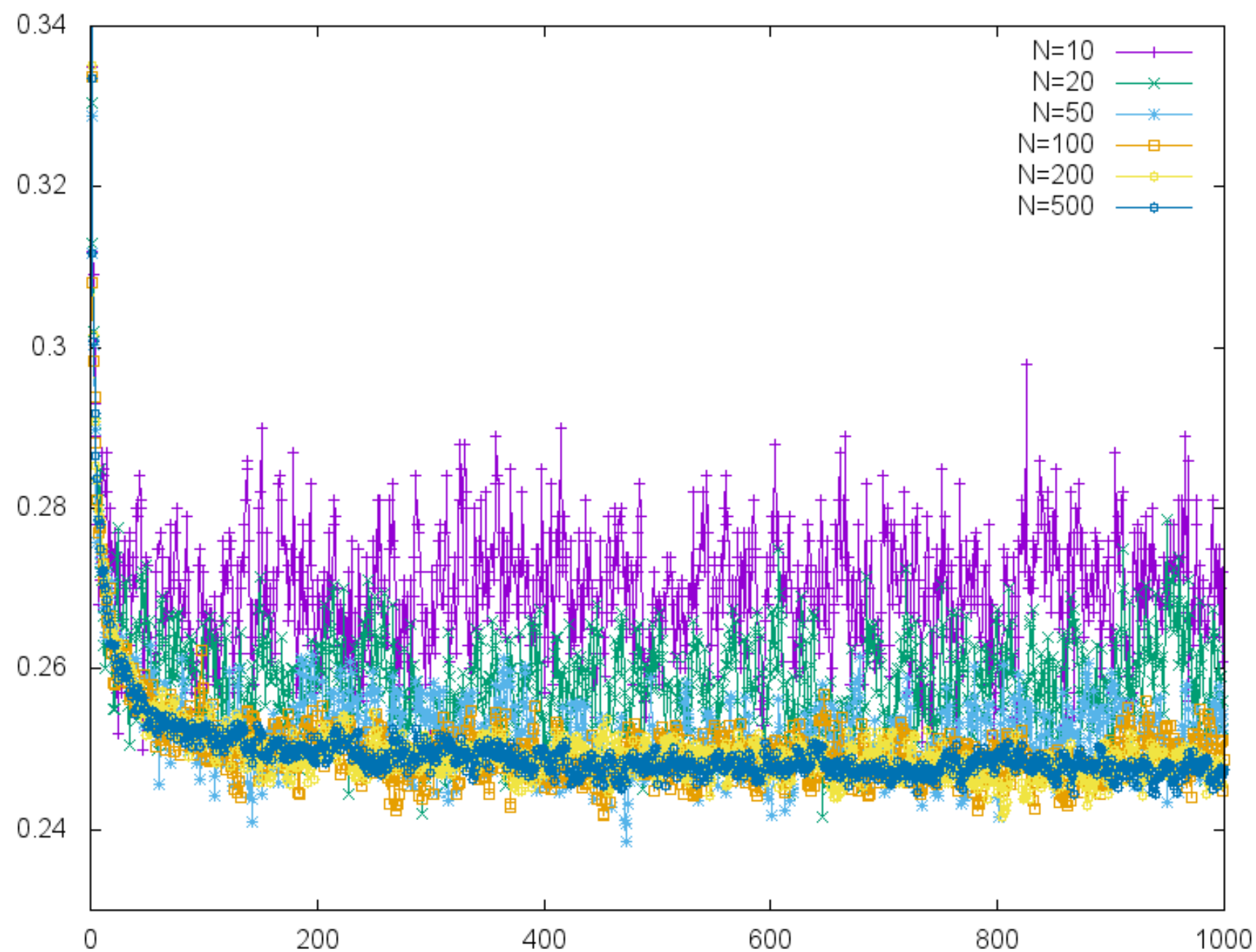
$\beta = 1/3$ (экспонента роста)

$$w(L, t) = \left\langle \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (h_i - \bar{h})^2 \right\rangle \sim L^{2\alpha} g\left(\frac{t}{L^{\alpha/\beta}}\right),$$

$$g(x) \sim \begin{cases} x^{2\beta} & x \ll 1 \\ const & x \gg 1 \end{cases}$$

$z = \alpha / \beta$.
(динамическая экспонента)

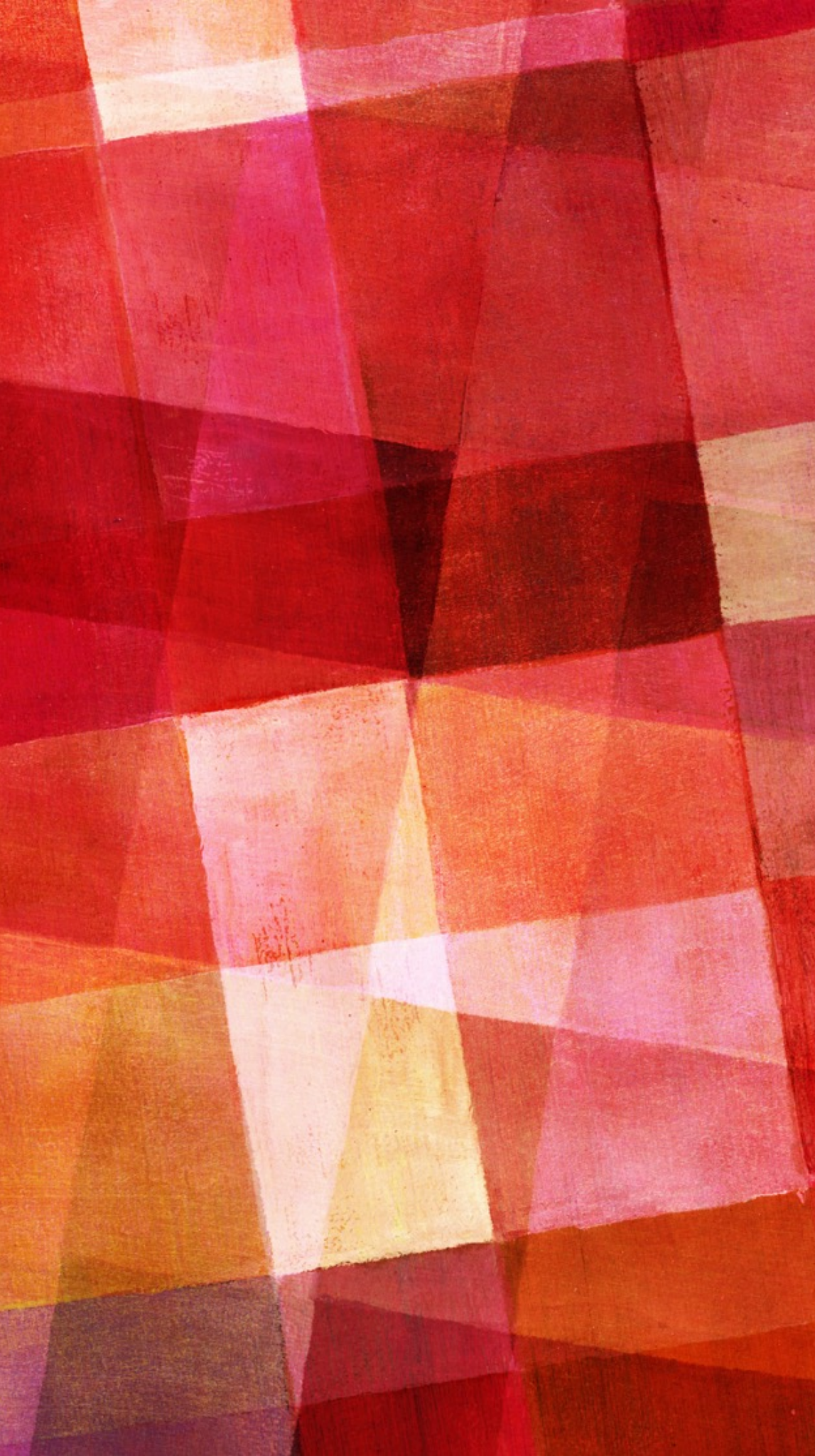
КОНСЕРВАТИВНАЯ СХЕМА. РЕЗУЛЬТАТЫ



*Средняя
скорость
 $\sim 0.247(2)$*

ВЫВОДЫ

- Модель роста профиля ЛВВ в консервативном алгоритме принадлежит классу универсальности KРZ
- Скорость роста = $0,247(2) > 0$
- В модели нет мертвых состояний
- Ширина профиля растет со временем, а затем выходит на насыщение - **хорошая новость**
- Ширина профиля увеличивается с размером системы - **плохая новость**



Оптимистическая схема. Алгоритм Time Warp

Одномерная регулярная ТОПОЛОГИЯ

.....

*Ziganurova L.F., Shchur L.N.,
Novotny M.A.* Model for the
evolution of the time profile in
optimistic parallel discrete event
simulations // Journal of Physics:
Conference Series **681** (2016)
012047

Current State

4	12
---	----

LYT

162

Input Message Queue

110	105	120	125	130	146	175	176
112	119	121	141	156	162	181	182
E	C	B	E	B	D	B	B
A	A	A	A	A	A	A	A
+	+	+	+	+	+	+	+

Sending time
Receiving time
Sender
Receiver
Sign
Text

Output Message Queue

119	121	141	141	156	156	162
141	122	142	196	180	157	163
A	A	A	A	A	A	A
A	B	B	C	C	D	C
—	—	—	—	—	—	—

Sending time
Receiving time
Sender
Receiver
Sign
Text

State Queue

82		90		106		119		141	
3	12	7	12	-2	12	8	12	0	12

LYT of State
Saved State

АЛГОРИТМ TIME WARP

.....
(ПО ДЖЕФФЕРСОНУ [1])

Current State

5	12
---	----

LVT

135

Input Message Queue

110	105	120	132	125	130	146	175	176
112	119	121	135	141	156	162	181	182
E	C	B	E	E	B	D	B	B
A	A	A	A	A	A	A	A	A
+	+	+	+	+	+	+	+	+

Sending time

Receiving time

Sender

Receiver

Sign

Text

Output Message Queue

119	121
141	122
A	A
A	B
—	—

Sending time

Receiving time

Sender

Receiver

Sign

Text

State Queue

82	90	106	119
3	12	7	12
-2	12	8	12

LVT of State

Saved State

ROLL-BACK МЕХАНИЗМ

.....
(ПО ДЖЕФФЕРСОНУ [1])

ОПТИМИСТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ

1. Инициализируется массив локальных времен длиной $N = 1000$, $\tau_i(0) = 0$, число шагов по времени $M = 10000$.
2. N раз время случайно выбранного логического процесса τ_i увеличивает свое значение на случайную величину $J = P(\mathbf{r})$.
3. $K \cdot N$ раз выбирается случайный ЛП $_i$ (где $K = P(\mathbf{b})$). Его локальное время τ_i с вероятностью $1/2$ принимает значение $\min(\tau_i, \tau_{i+1})$ или $\min(\tau_{i-1}, \tau_i)$.
4. Рассчитывается средняя скорость эволюции профиля и средняя скорость отстающего логического процесса.
5. Шаг 2-5 повторяются M раз. Вся программа выполняется $K=100$ раз для последующего усреднения результатов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ДЛЯ ОПТИМИСТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Скорость моделирования

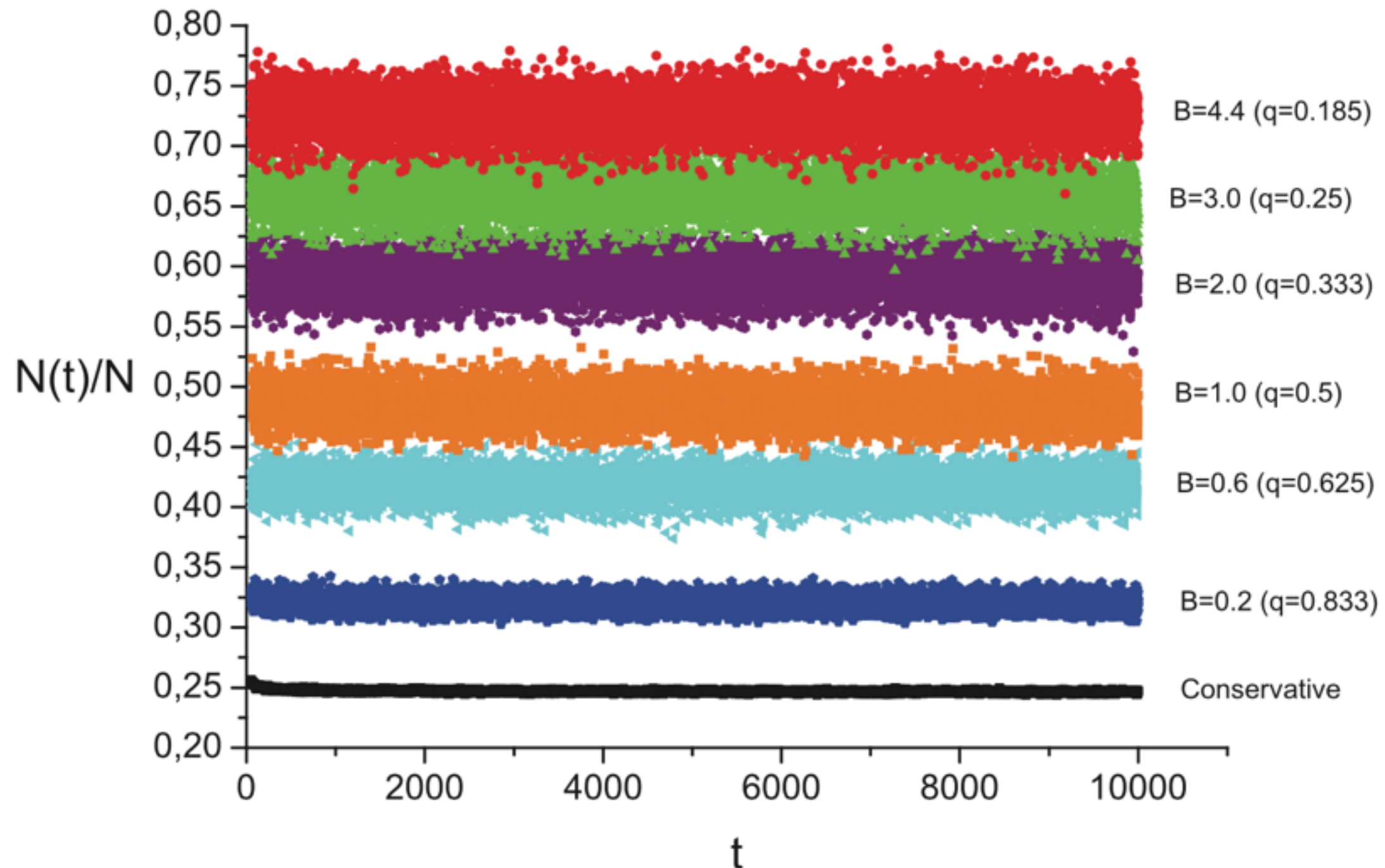
$$\langle u \rangle = \langle \tau(t+1) - \tau(t) \rangle$$

Скорость минимального элемента и средняя совпадают

$$\frac{\langle u_{min} \rangle}{r} = \frac{\langle u_{avg} \rangle}{r}$$

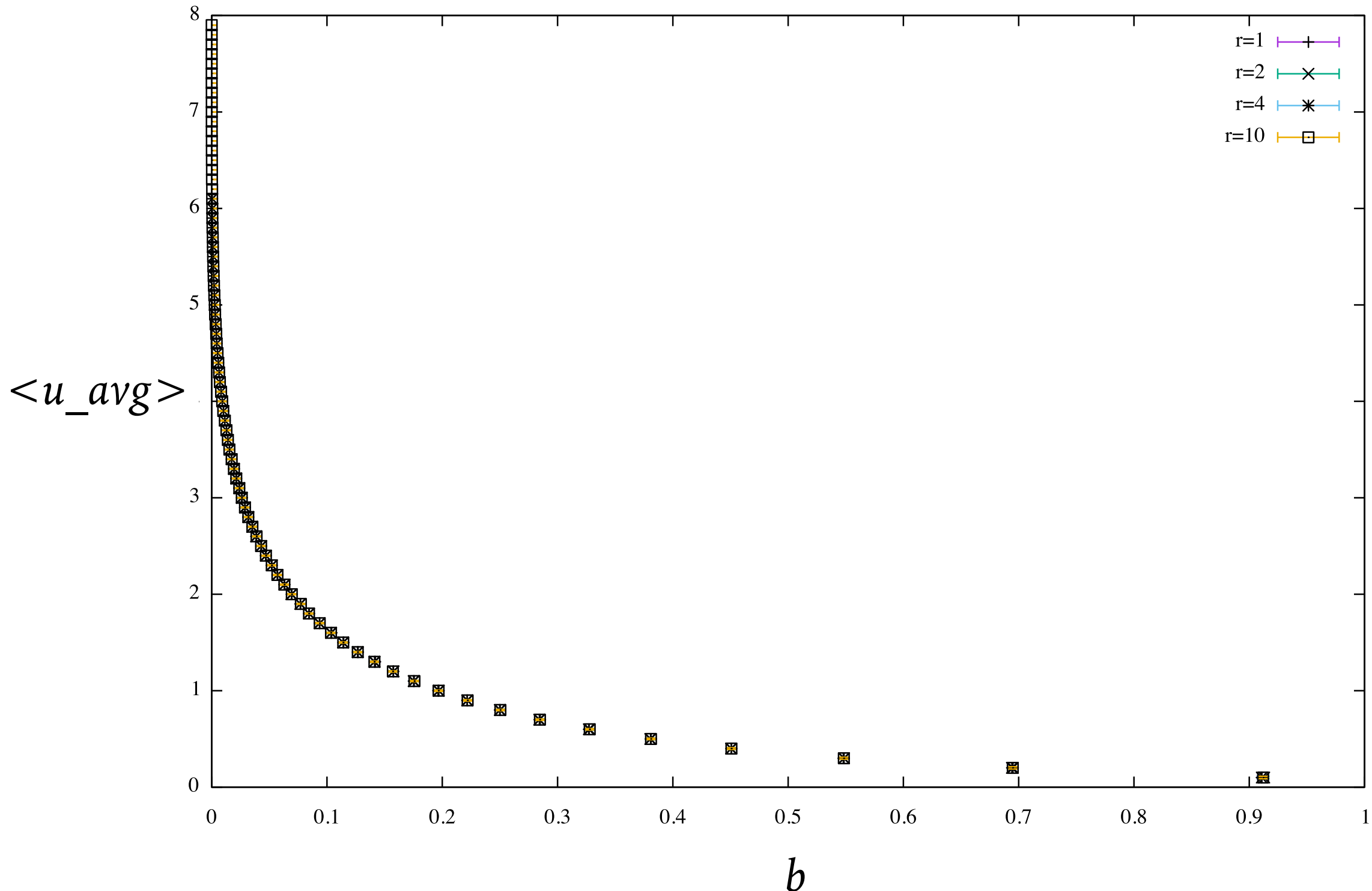
РЕЗУЛЬТАТЫ ДЛЯ ОПТИМИСТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Скорость моделирования



РЕЗУЛЬТАТЫ ДЛЯ ОПТИМИСТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Скорость моделирования



РЕЗУЛЬТАТЫ ДЛЯ ОПТИМИСТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Введем параметр $q = l/l+b$

Изменение скорости эволюции профиля ЛВВ в зависимости от параметра q происходит по такому закону:

$$u = u_0(q - q_c)^\nu$$

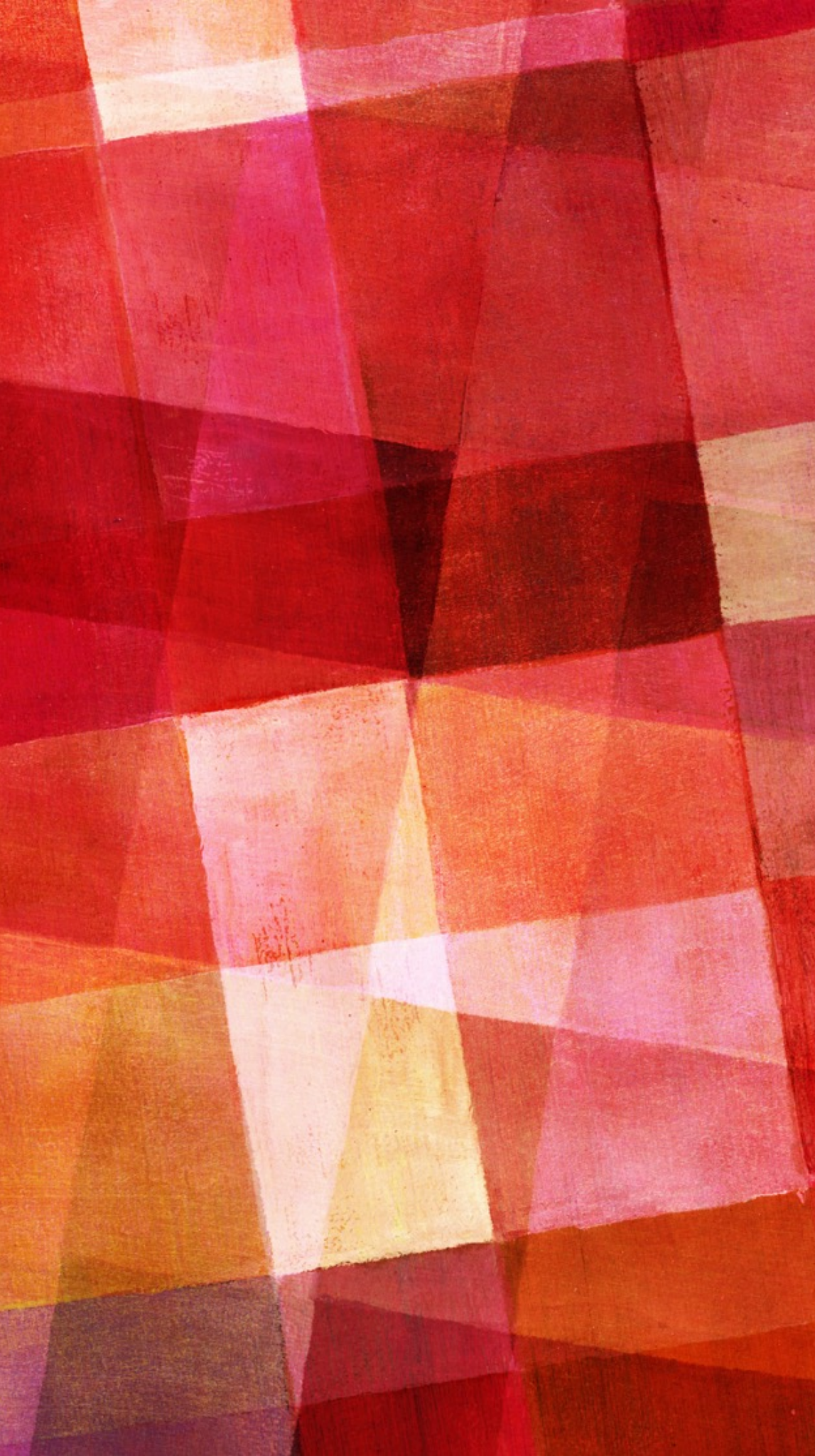
где $\nu \approx 1.71(6)$ $q_c \approx 0.143(5)$

Этот степенной показатель совпадает с показателем класса направленной перколяции.

КЛАСС НАПРАВЛЕННОЙ ПЕРКОЛЯЦИИ

Теория перколяции - это наука о формировании областей связности элементов с определенными свойствами (кластеров) при условии, что связь каждого элемента со своими соседями носит случайный характер (но осуществляется вполне определенным способом)





Консервативная схема

Топология Small-World, 1-мерный случай

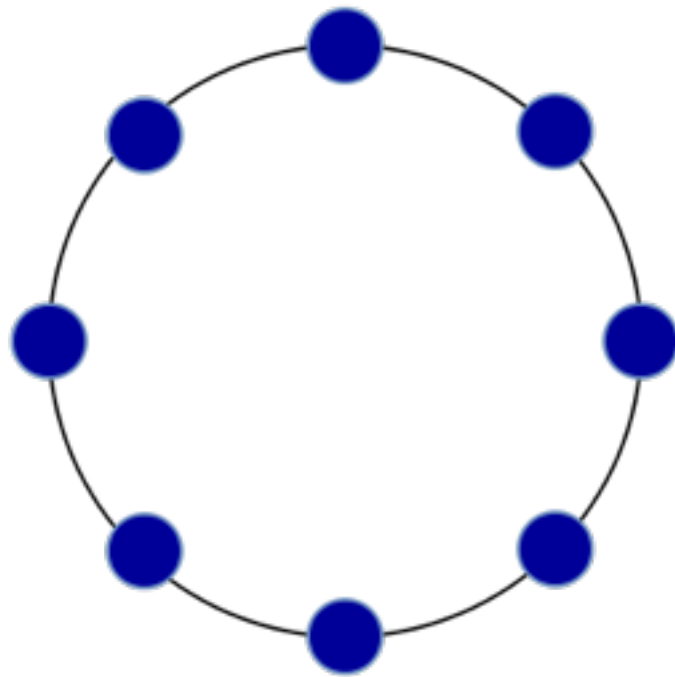
.....

Guclu H., Korniss G., et al.
Synchronization landscapes in
small-world-connected
computer networks // Physical
Review E 73, 066115, 2006

ТОПОЛОГИИ СЕТЕЙ

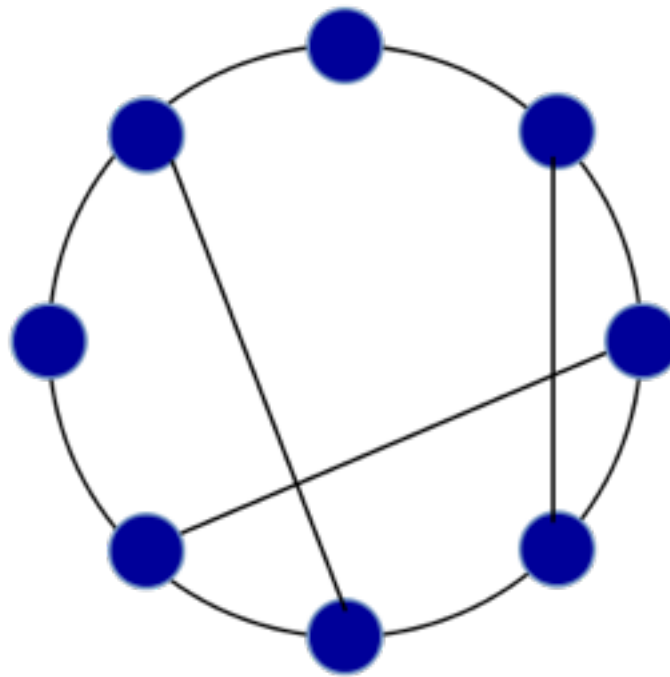
.....

Регулярная

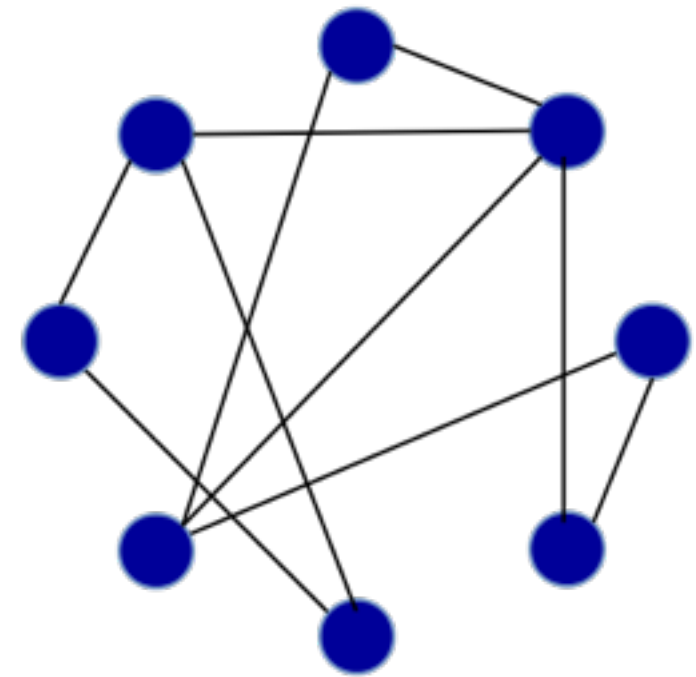


$p = 0$

Сеть малого мира



Случайная



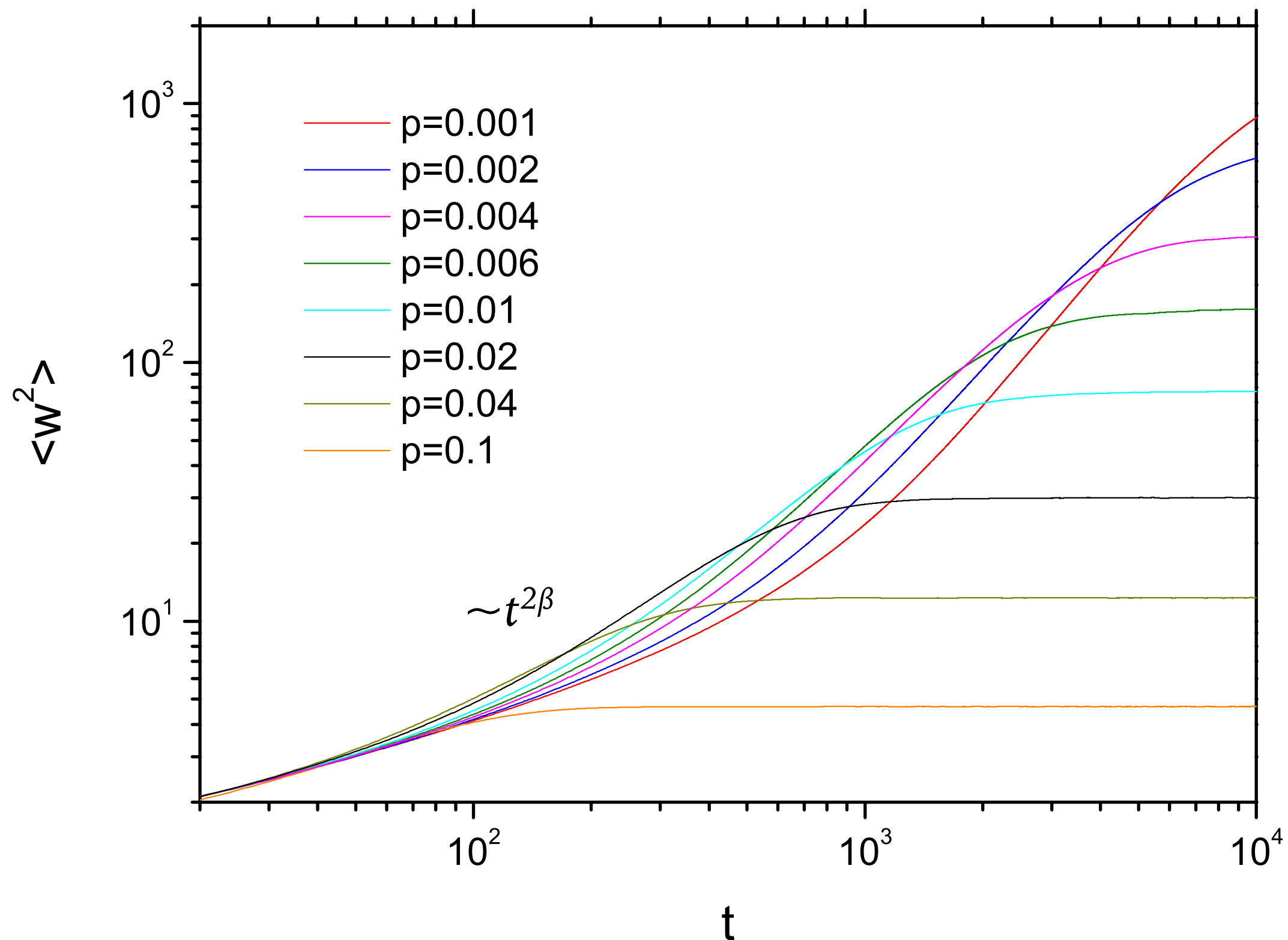
$p = 1$

Увеличение вероятности случайных связей

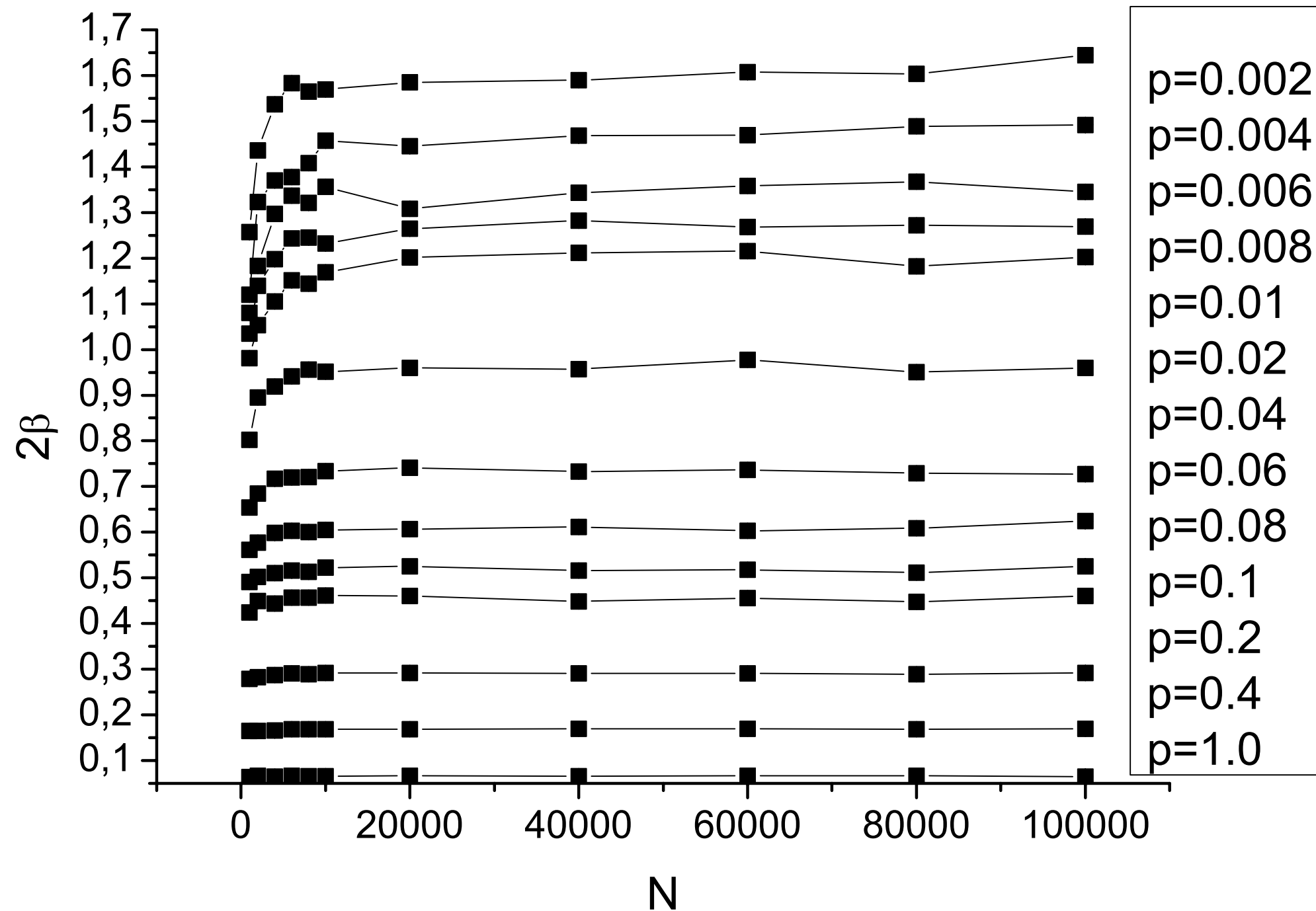
СПОСОБ КОНСТРУКЦИИ СЕТИ SMALL-WORLD

1. Строим регулярную решетку размера N
2. Задаем параметр p - процент случайных связей
3. Добавляем ровно pN связей между двумя случайно выбранными узлами, избегая образования кратных связей и петель

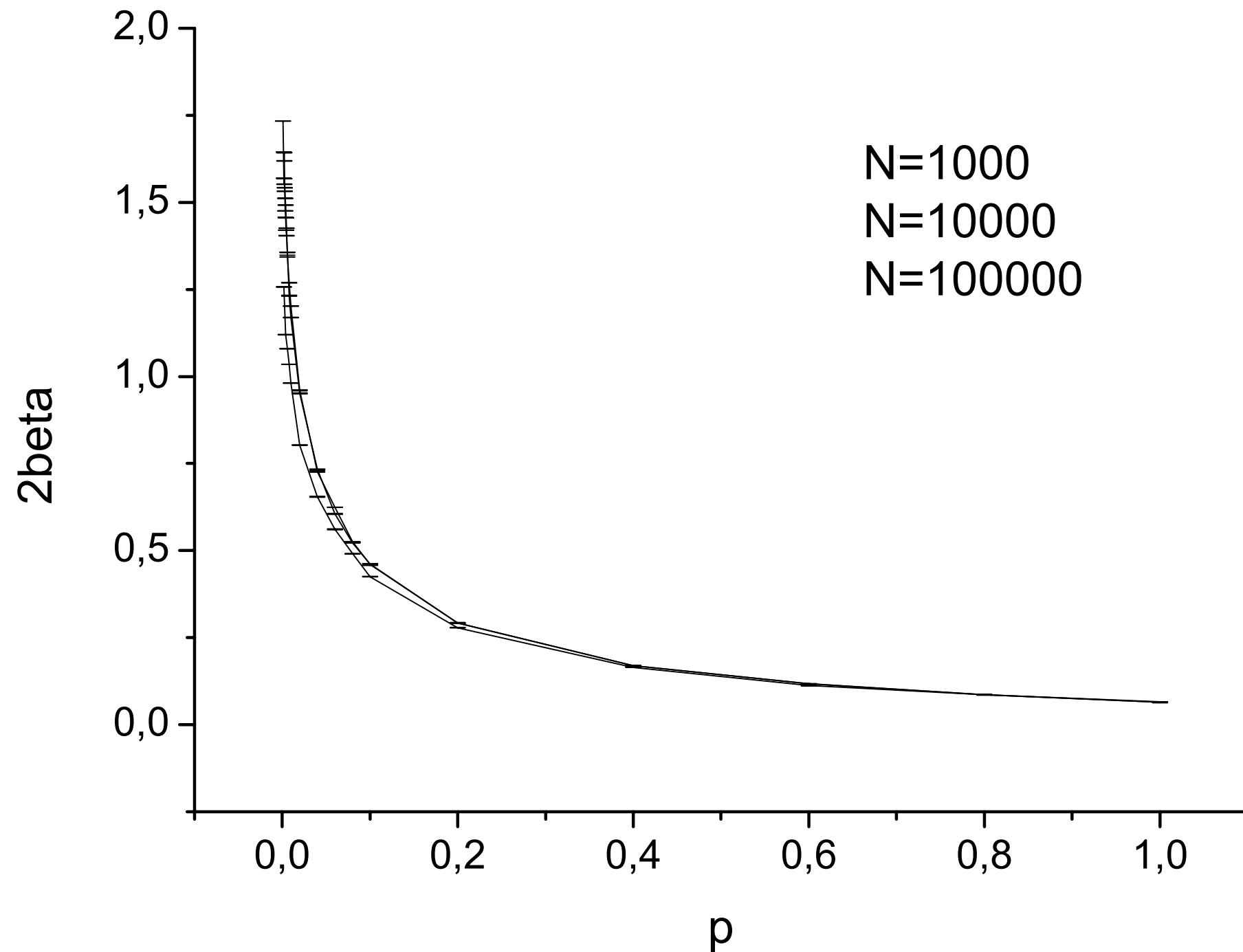
КОНСЕРВАТИВНАЯ СХЕМА В СЕТИ SW



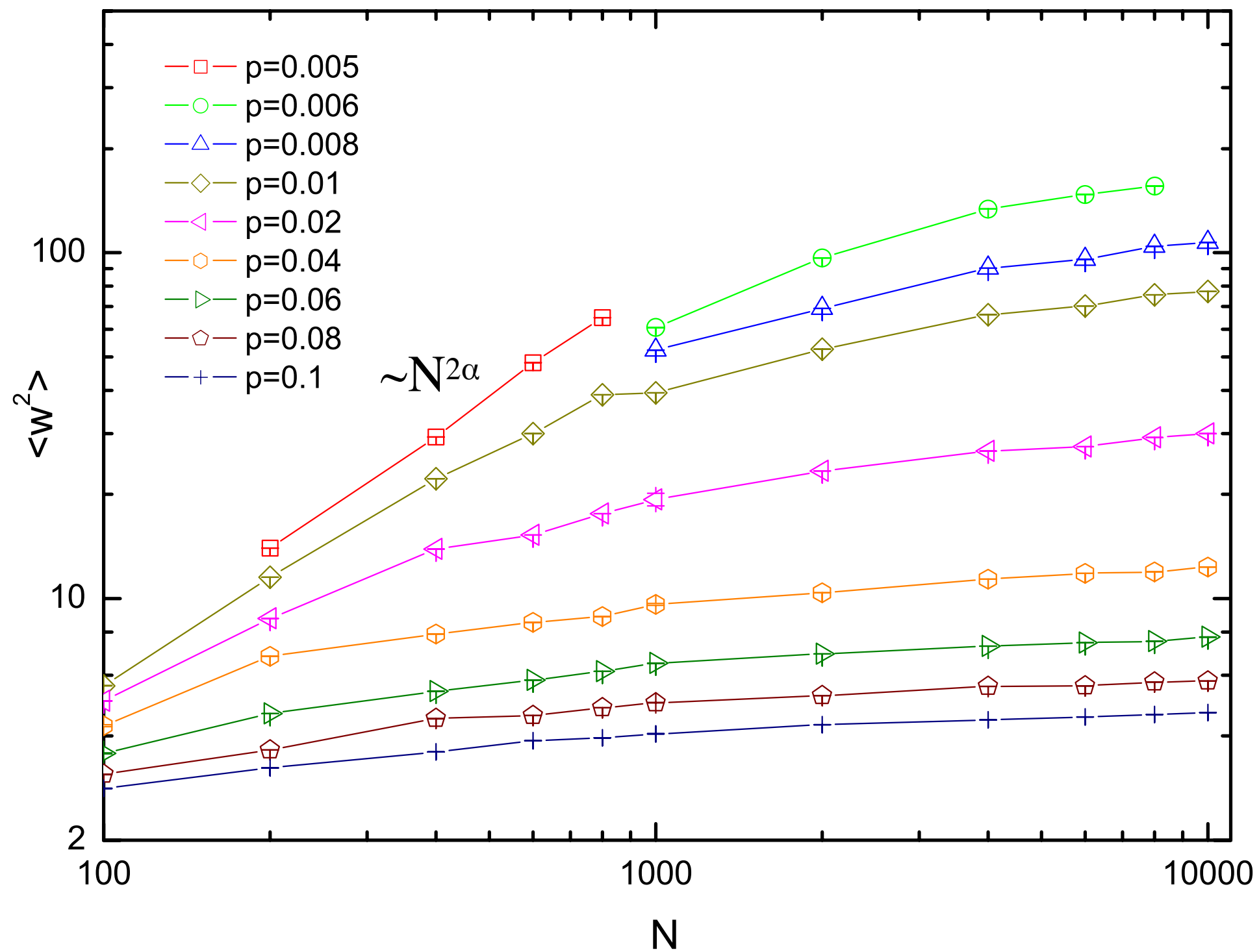
КОНСЕРВАТИВНАЯ СХЕМА В СЕТИ SW



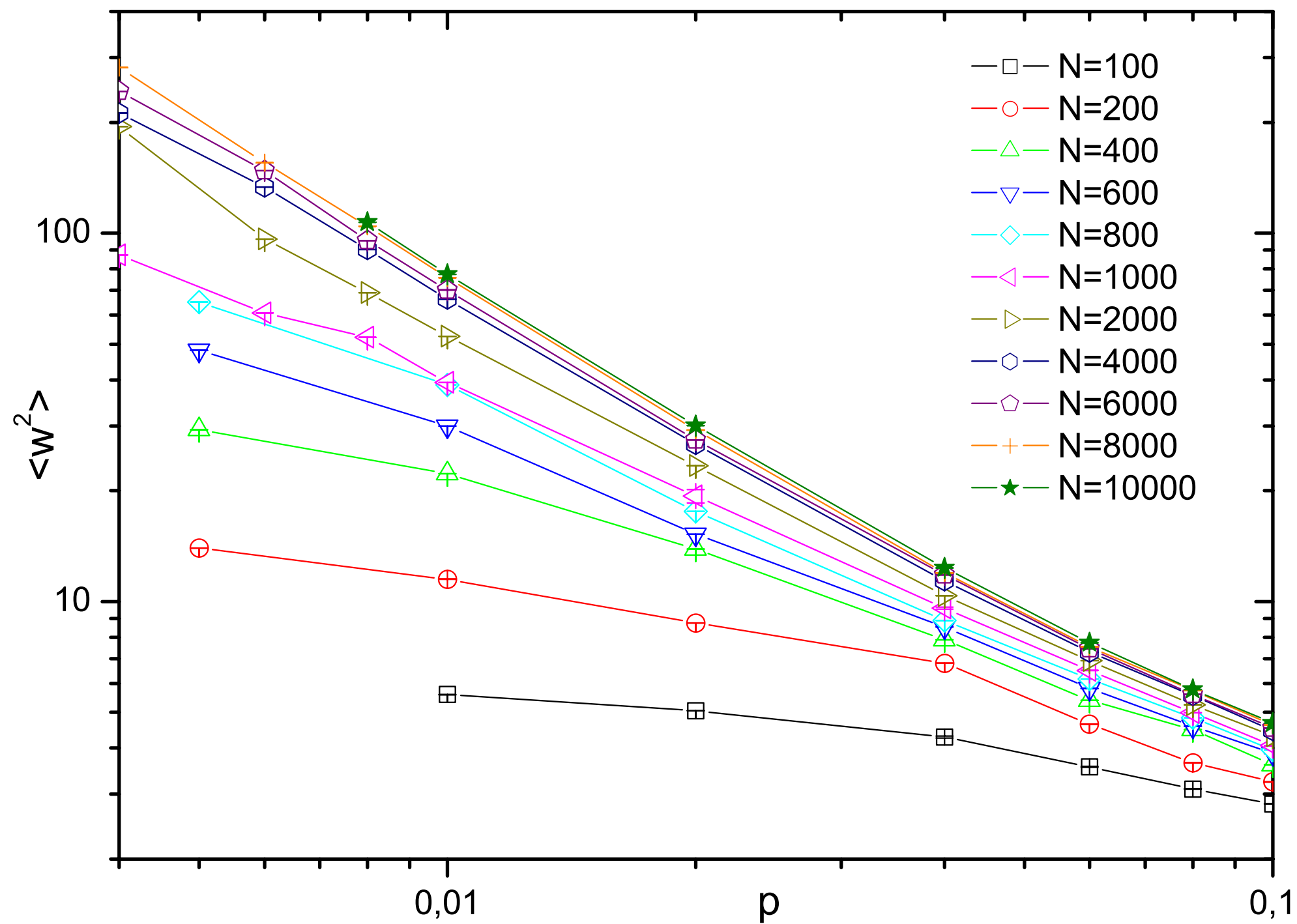
КОНСЕРВАТИВНАЯ СХЕМА В СЕТИ SW



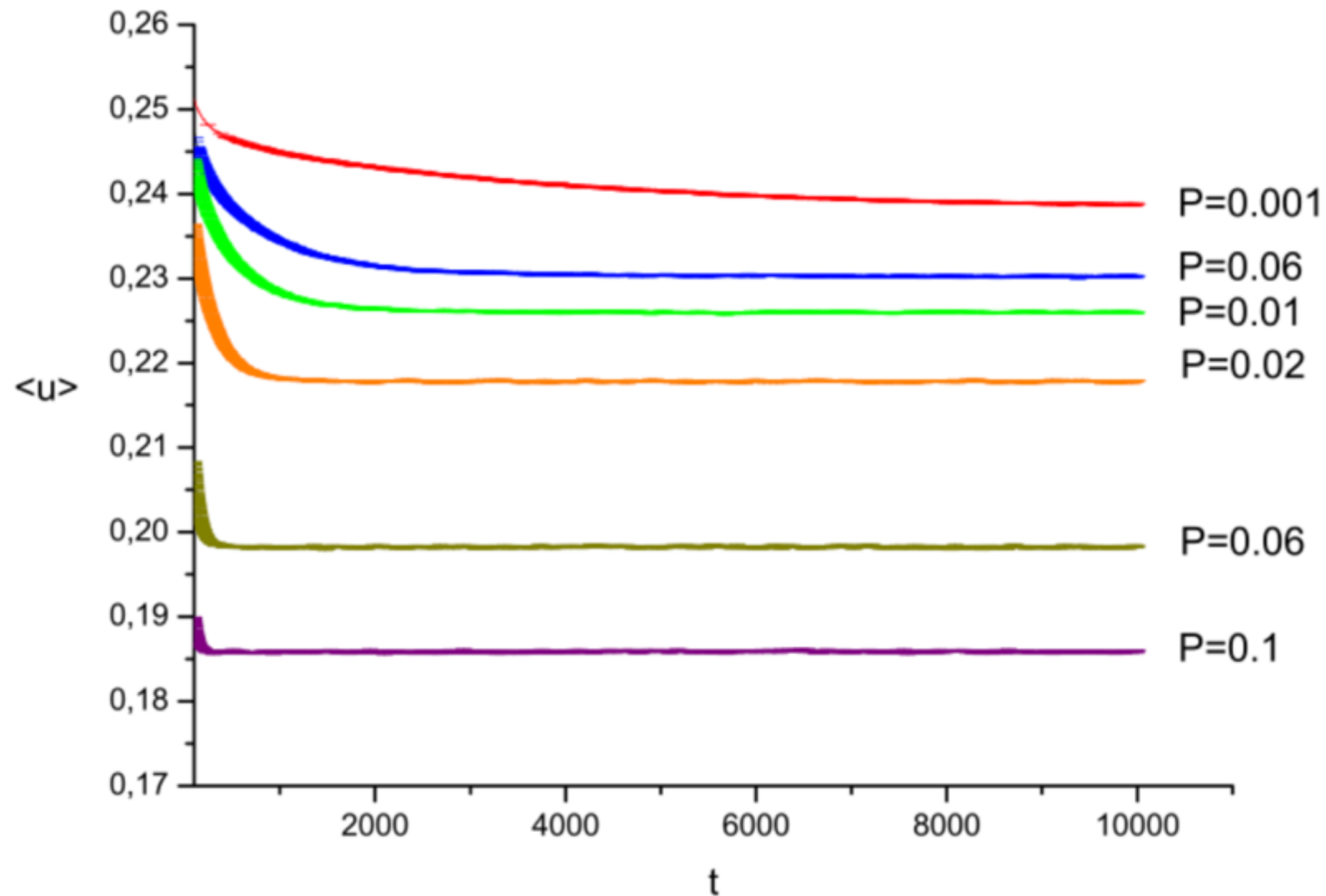
КОНСЕРВАТИВНАЯ СХЕМА В СЕТИ SW

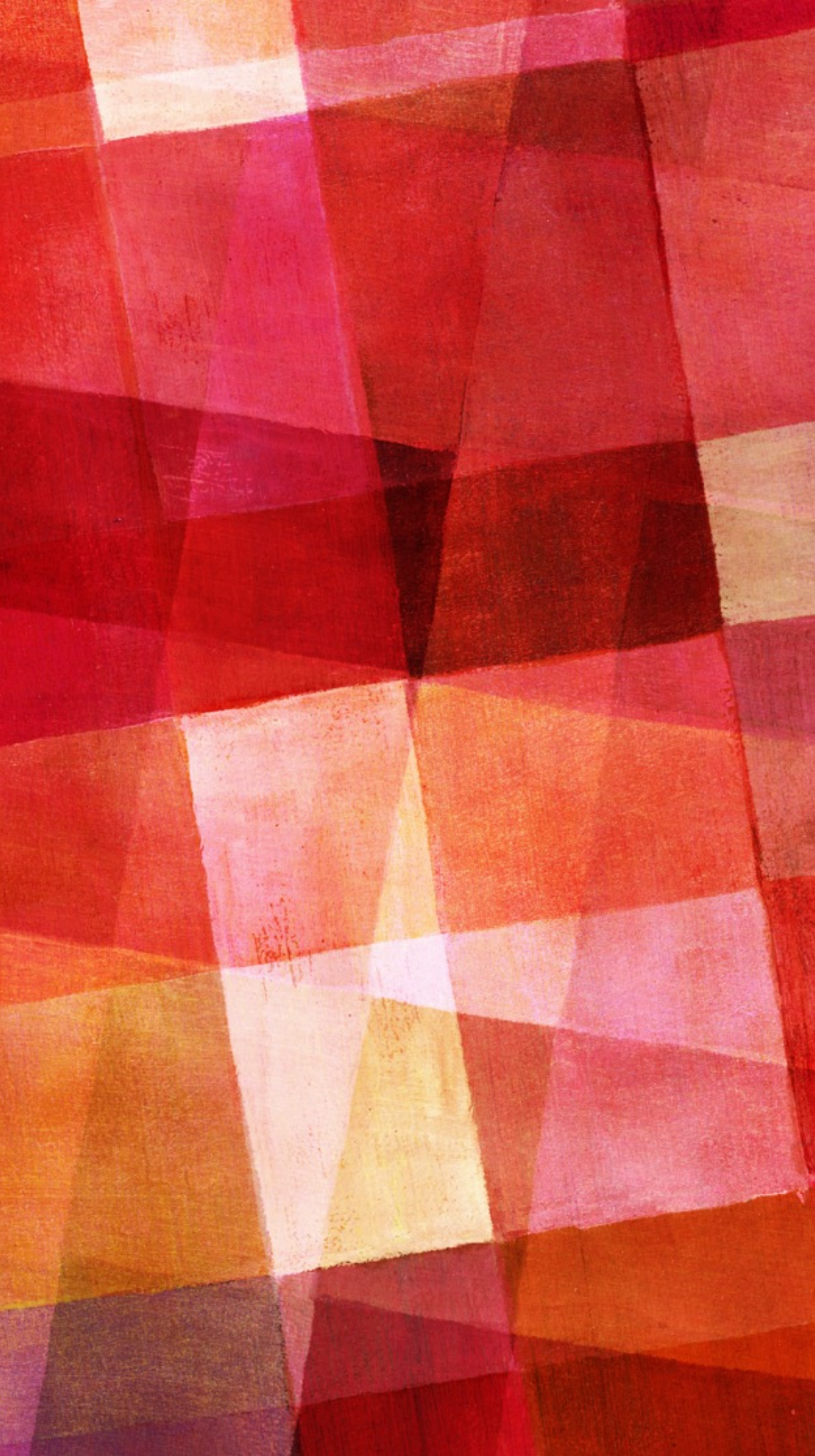


КОНСЕРВАТИВНАЯ СХЕМА В СЕТИ SW



КОНСЕРВАТИВНАЯ СХЕМА В СЕТИ SW

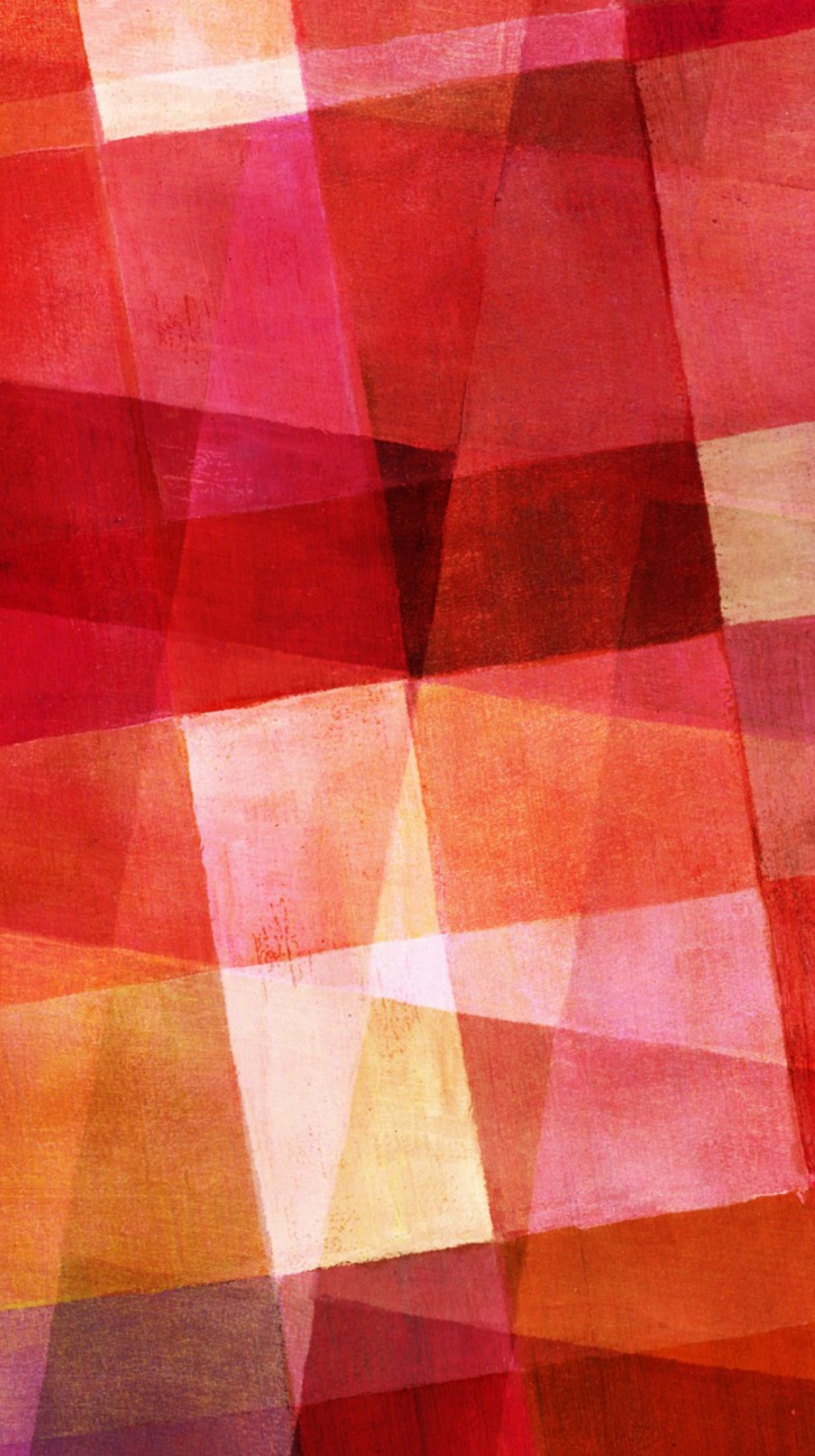




Что
дальше?

ЧТО ДАЛЬШЕ?

- Провести анализ модели оптимистического алгоритма в сети Small-World
- Провести моделирование реальных систем методом ПМДС
- Сравнить построенные модели алгоритмов с результатами моделирования реальных систем



Спасибо за
внимание!

ziganurova@gmail.com