

«Нет ничего практичней хорошей теории»

Г.П. Щедровицкий

«Математика – тоже язык»

В. Гиббс

*«Наука только тогда достигает совершенства,
когда ей удастся пользоваться математикой»*

К. Маркс

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СПОРТИВНОЙ ПОДГОТОВКИ

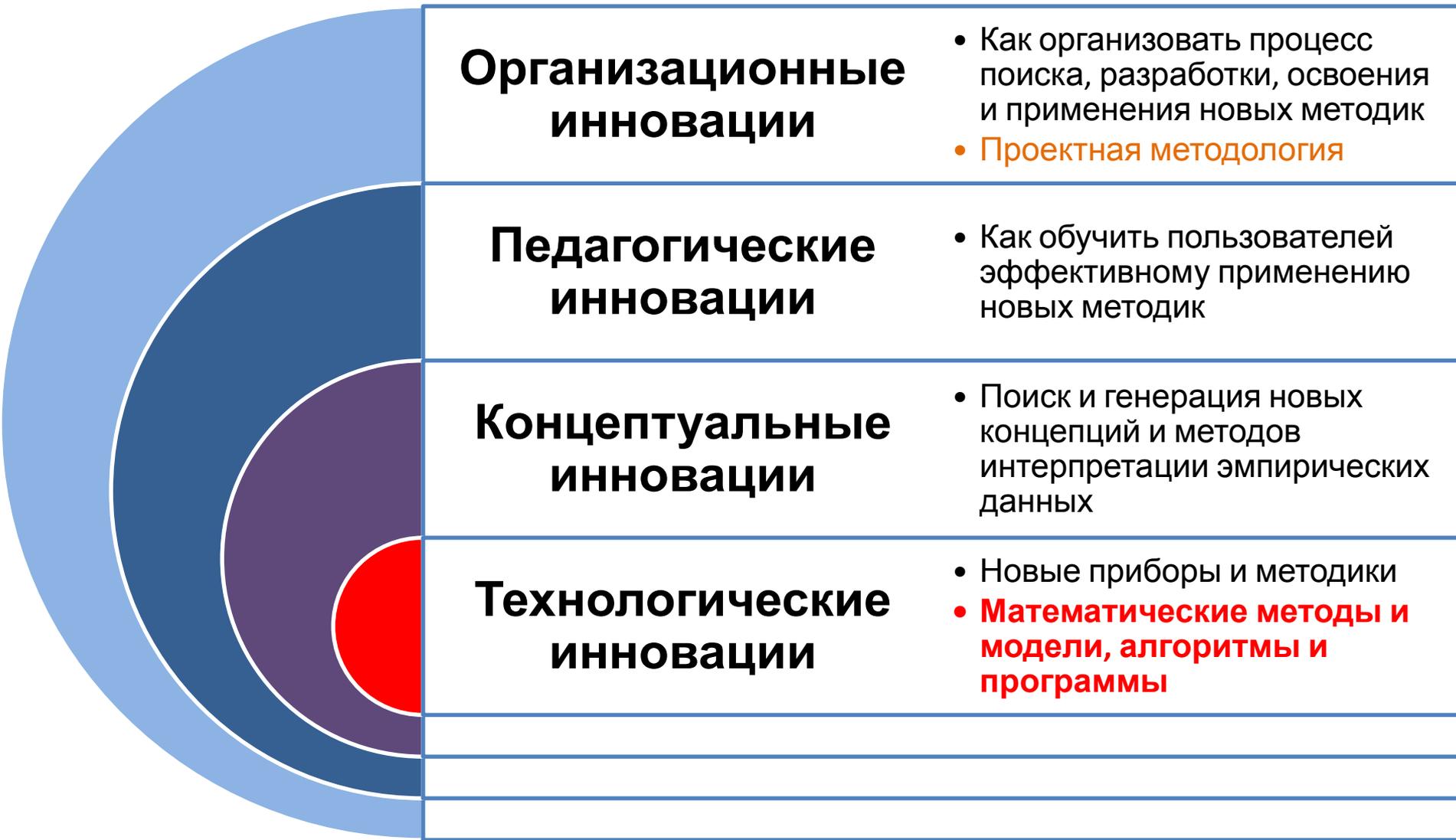
Е.А.Тимме

Проблемы современного спорта, на решение которых ориентированы прикладные исследования

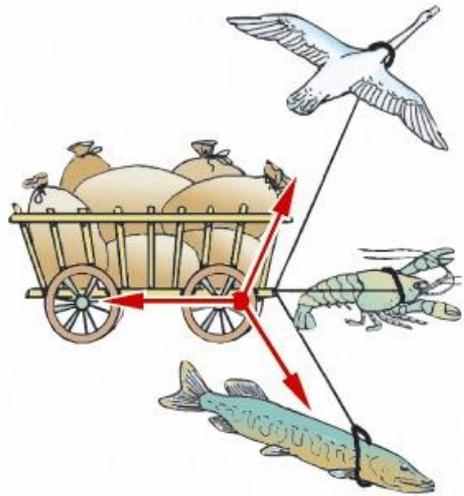
- Что лимитирует уровень достижений в избранном виде спорта (*проблема факторной структуры спортивной работоспособности*);
- Какие средства и методы тренировки оказывают наибольшее воздействие на лимитирующие факторы спортивной работоспособности (*проблема наиболее эффективных средств и методов тренировки*);
- **Как лучше всего построить тренировку, чтобы достичь наибольшего прироста спортивного результата (*проблема оптимального построения тренировочного процесса*)**;
- Как можно корректировать и видоизменить воздействие традиционных тренировочных средств за счет применения дополнительных диетарных, фармакологических, физиотерапевтических и биоклиматических средств (*проблема эргогенических средств в спорте*).

Н.И.Волков

Структура инновационного процесса



Проблемы внедрения инноваций



- трудно воспринимаются и осваиваются;
- подвергаются необоснованной критике;
- вызывают недоверие и сопротивление;
- создают иллюзии решения всех проблем;
- трудоемки в применении;
- требуют высокой квалификации;
- требуют регулярности применения;
- вызывают трудности интерпретации результатов.



Технологический цикл НМО



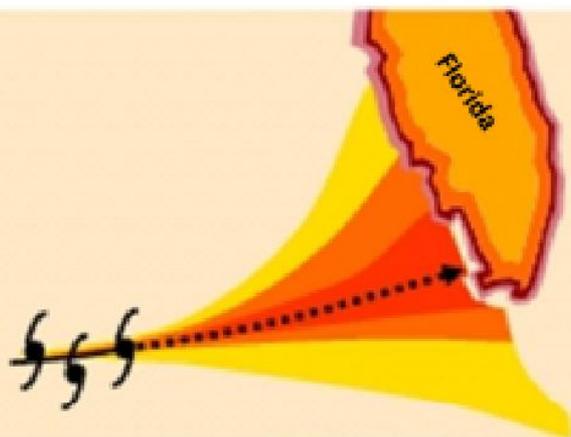
Причины обуславливающие необходимость использования математических методов в спорте

- Развитие средств мониторинга тренировочного процесса
- Стремительный рост объема данных
- Рост размерности данных (проклятие размерности)
- Низкая эффективность существующих методов анализа
- Отсутствию интеграционной модели, обобщающей разрозненные достижения в разных сферах мониторинга тренировочного процесса
- Развитие компьютерных технологий

Использование математических моделей для принятия решений в различных областях

Радары Спутники Метеозонды

Метеорологическая модель

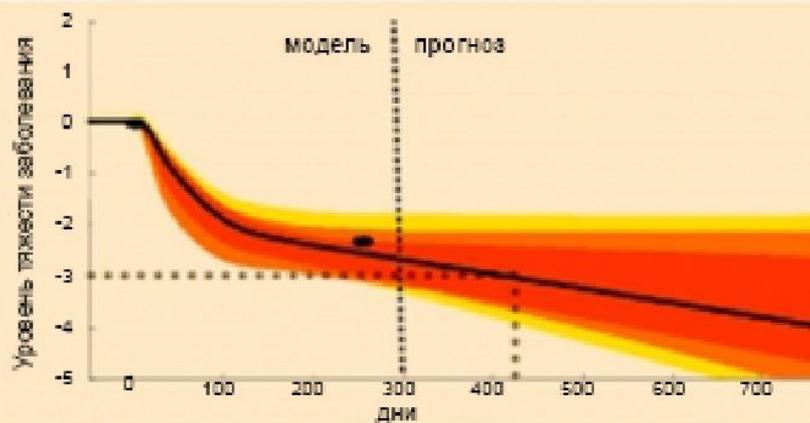


Принятие обоснованного решения

- Состояние повышенной готовности
- Оценка ситуации через 12 часов
- Защита окон
- Эвакуация

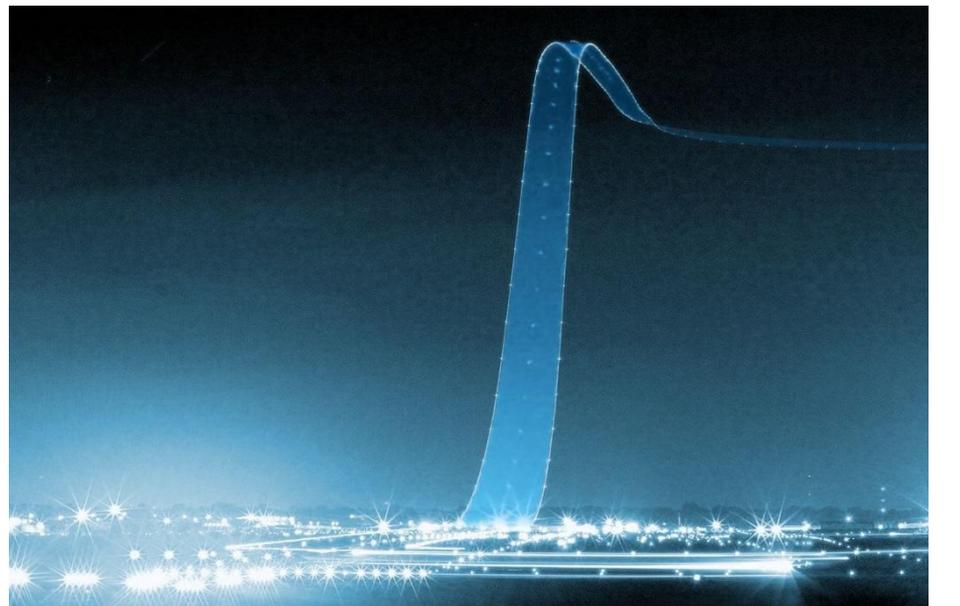
Клеточные Молекулярные Клинические

Фармакологическая модель



Принятие обоснованного решения

- Не менять дозировку
- Дополнительные наблюдения
- Увеличить дозировку
- Изменить терапию



Где

Важным разделом **специальной теории спорта** будет разработка **математических моделей** развития адаптации в процессе спортивной тренировки и создание автоматизированной системы управления физическим состоянием спортсменов

Н.И.Волков

«Биология спорта на пороге XXI века»



Направления разработок и применения математических методов и моделей в спорте

- Моделирование органов и систем организма спортсмена в покое и при разнообразных нагрузках;
- Анализ и интерпретация данных, полученных с измерительных приборов;
- Моделирование адаптации организма и функциональных систем спортсмена при воздействии различных стресс-факторов;
- Моделирование динамики спортивной формы и энергообеспечения спортсмена;
- Моделирование и оптимизация спортивных движений;
- Моделирование тактических действий;
- Подходы к созданию интеллектуальных систем поддержки принятия тренерских решений.

Тренерская и соревновательная практика



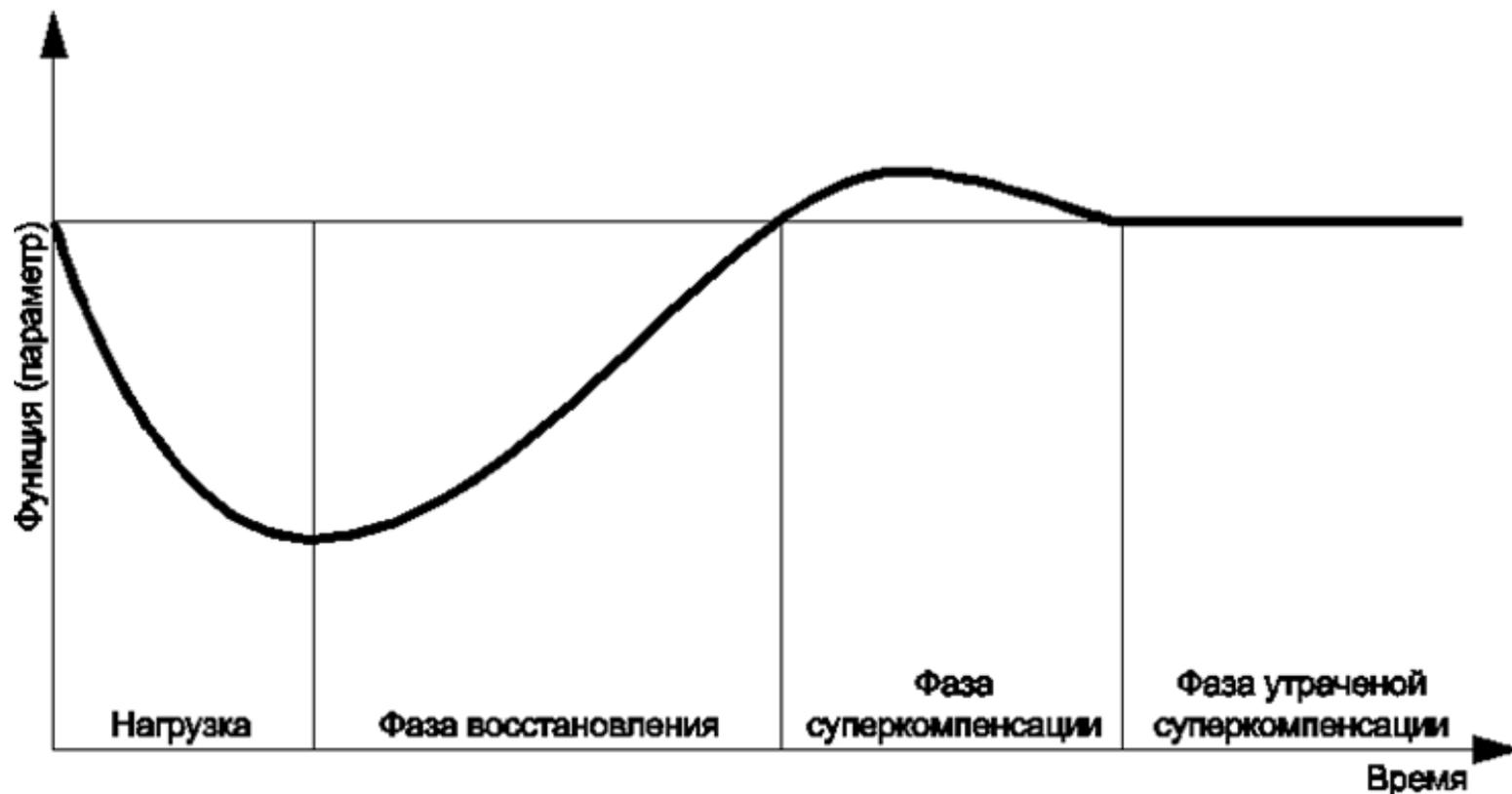
Оценка
План
Прогноз
Рекомендации
Управление

«БОЕВЫЕ» рабочие модели



Системно-биологические модели

Гипотетическая кривая, описывающая явления утомления после нагрузки, последующего восстановления и суперкомпенсации



Математические модели, разработанные научными коллективами из Франции и Канады, открыли новые горизонты в спортивной физиологии



Thierry Busso

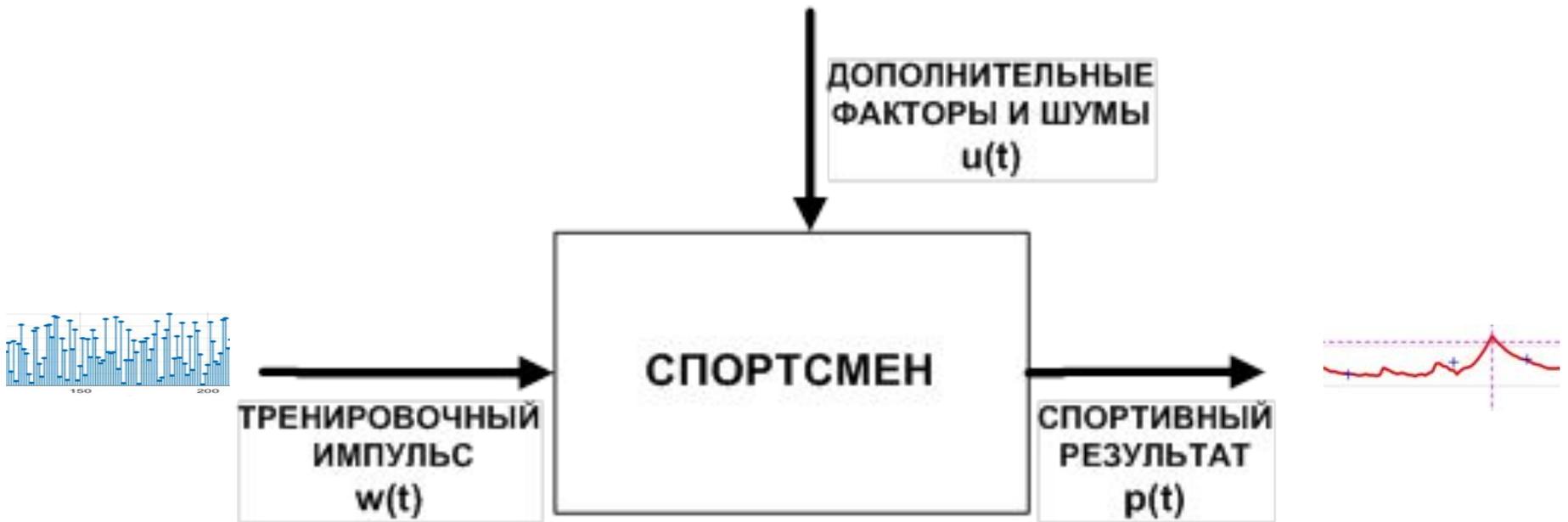


John R. Fitz-Clarke



Eric Banister

Модель «черного ящика»

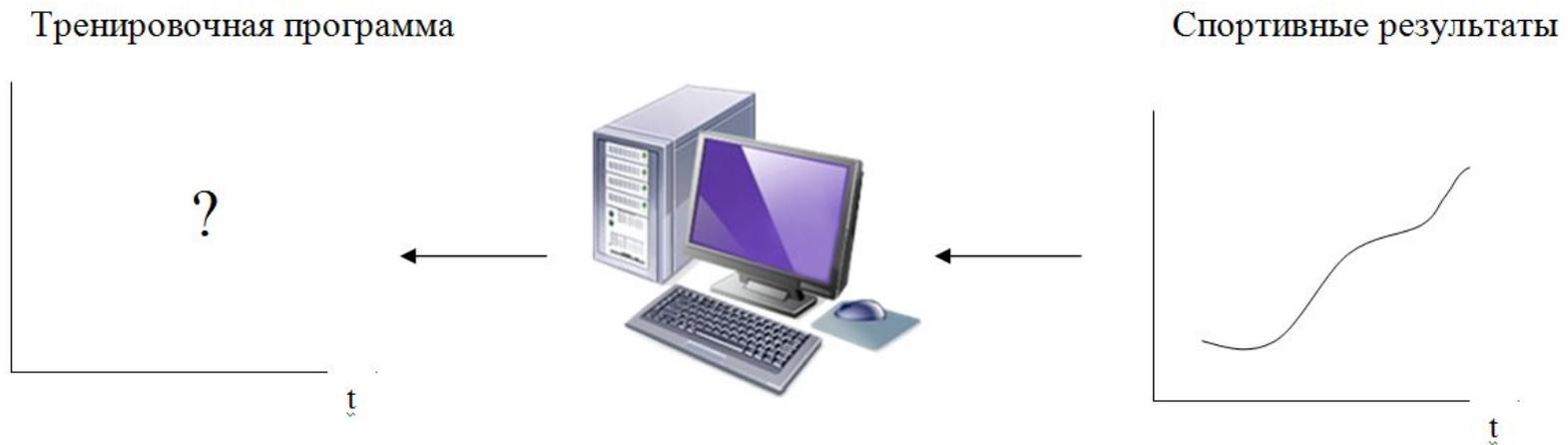


$$p(t) = p(0) + \sum_{s=0}^{t-1} f(t-s)w(s)$$

Моделирование позволяет анализировать и разрабатывать тренировочный план



Прямая задача



Обратная задача

Задача вывода на пик спортивной формы к заданному дню

t2 = 24

t1 = 36

k2 = 0.28

k1 = 0.18

p0 = 230

T = 365

ЗАКРЫТЬ

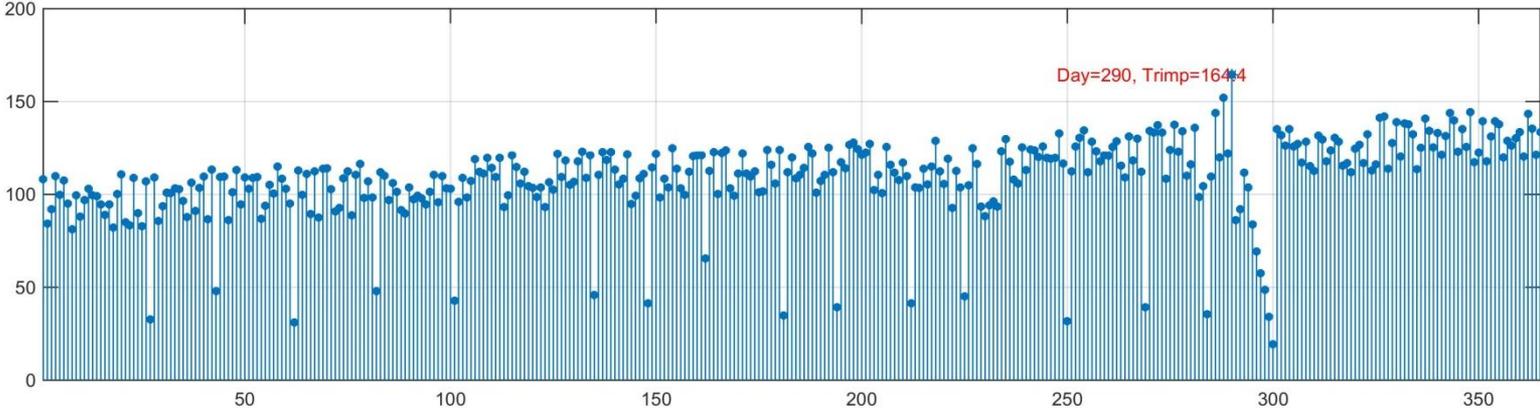
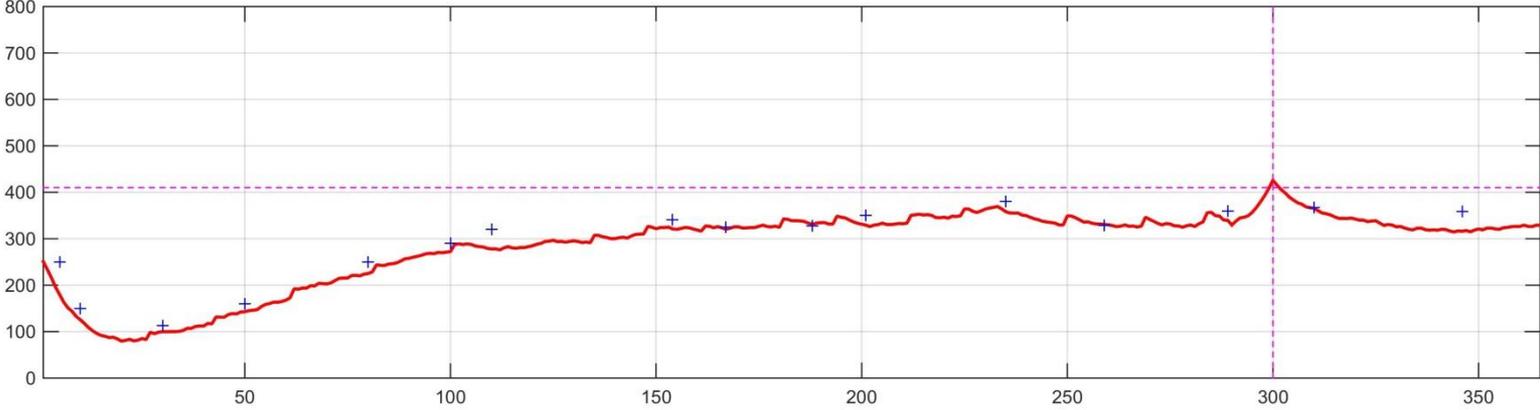
ОЧИСТИТЬ

ЗАПИСАТЬ

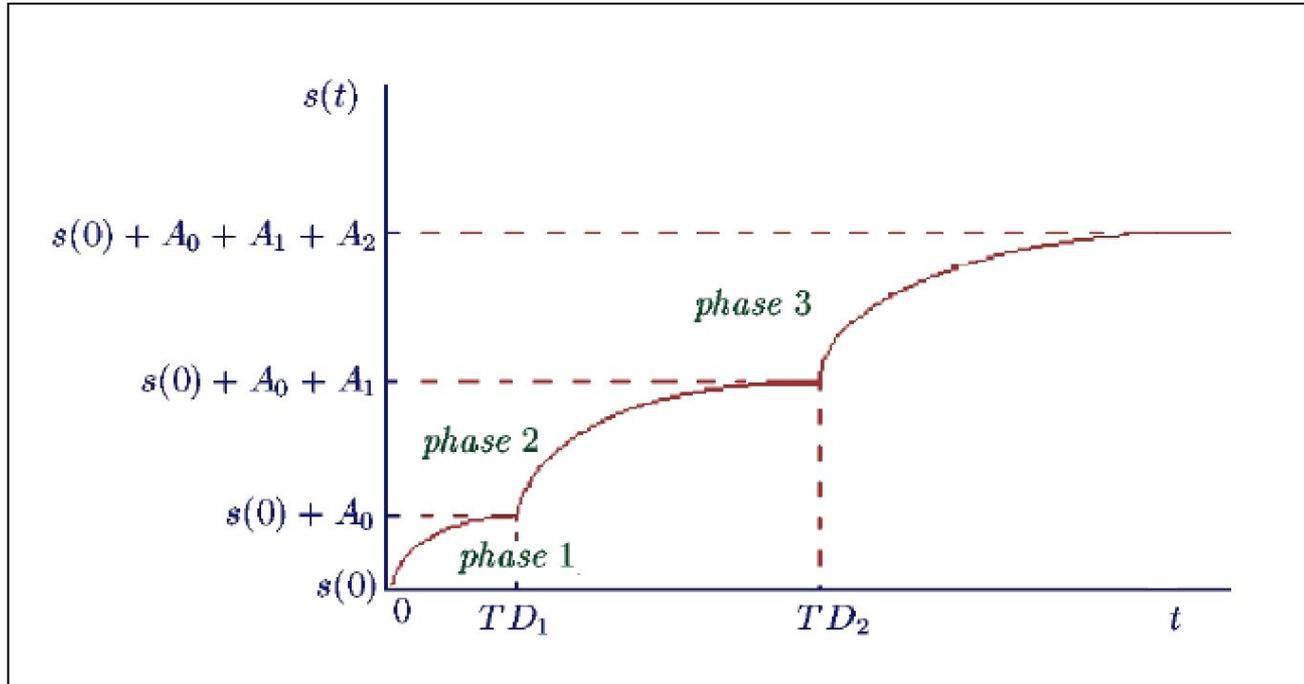
ГРАФИК

СТОП

СТАРТ



Трехфазная модель кинетики потребления кислорода

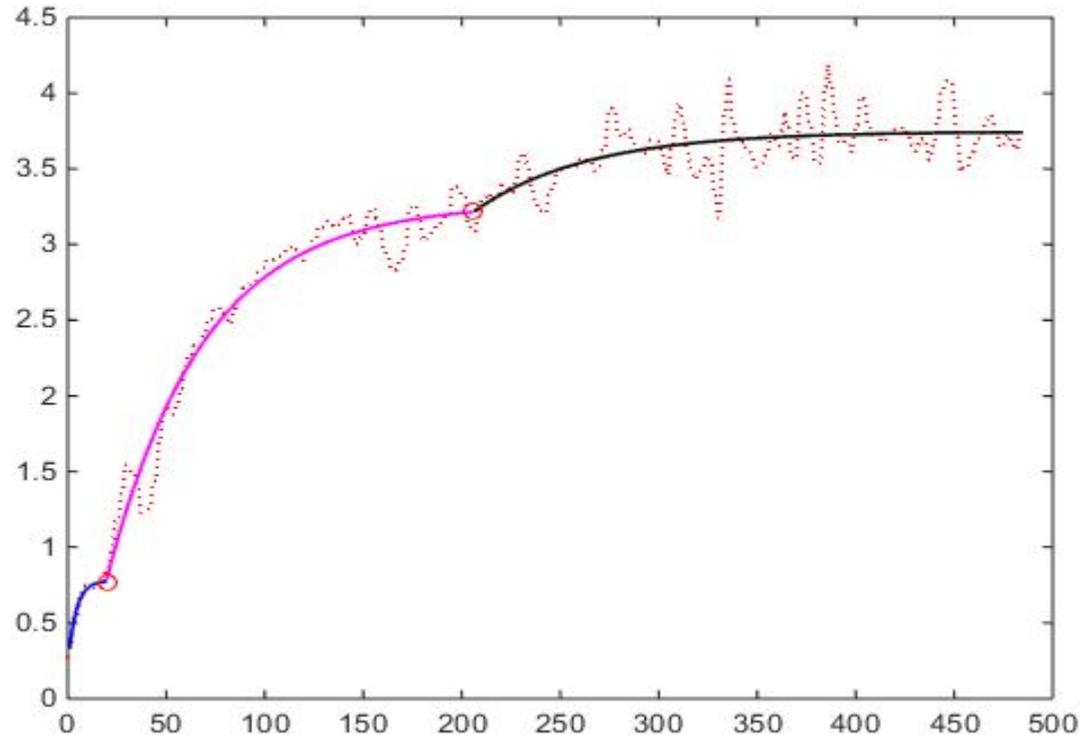


$$s(t) = s(0) + \begin{cases} A_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_0}}\right), & \text{for } 0 \leq t < TD_1 \\ A_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_0}}\right) + A_1 \left(1 - e^{-\frac{(t-TD_1)}{\tau_1}}\right), & \text{for } TD_1 \leq t < TD_2 \\ A_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_0}}\right) + A_1 \left(1 - e^{-\frac{(t-TD_1)}{\tau_1}}\right) + A_2 \left(1 - e^{-\frac{(t-TD_2)}{\tau_2}}\right), & \text{for } t \geq TD_2 \end{cases}$$

1 – Кардиологическая фаза
2 – Аэробная фаза
3 – Анаэробная фаза

Результаты работы алгоритма определения параметров кинетики потребления кислорода

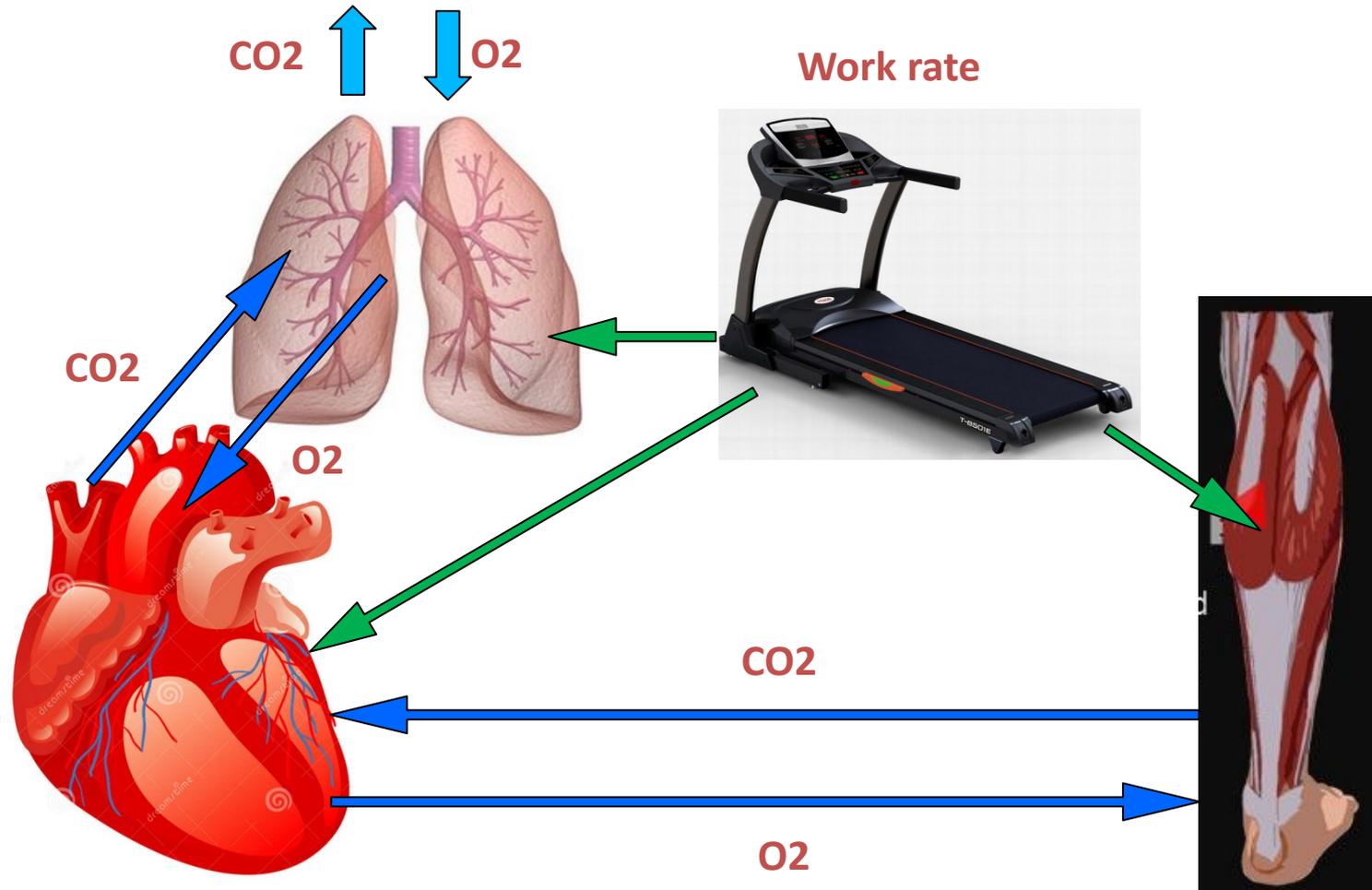
VO_2 , л/мин



t, c

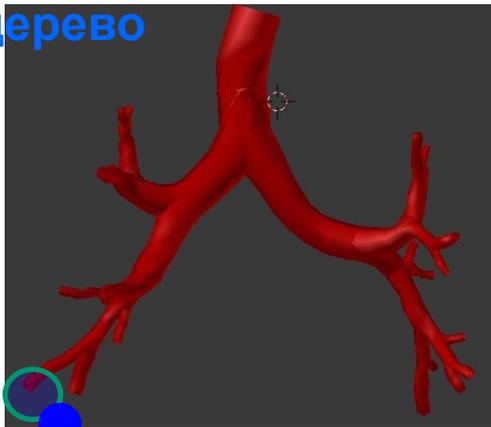
- A** - общая амплитуда потребления кислорода
- A0** - уровень потребления кислорода в покое
- A1** - амплитуда кардиологического компонента потребления кислорода
- t1** - временной параметр крутизны кардиофазы
- A2** - амплитуда основной фазы потребления кислорода
- t2** - временной параметр крутизны основной фазы
- A3** - амплитуда медленного компонента потребления кислорода
- t3** - временной параметр крутизны медленного компонента
- TD1** - временная точка перехода кардиофазы в основную фазу
- TD2** - временная точка перехода основной фазы в медленный компонент

Общая модель потребления кислорода

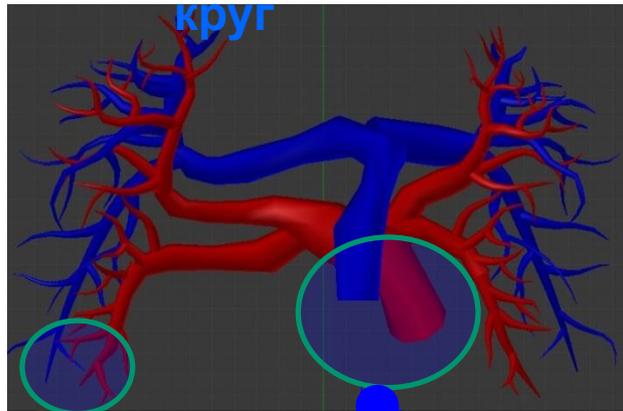


Глобальная модель массопереноса

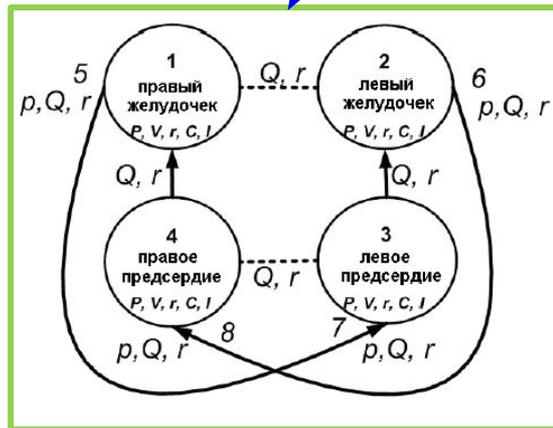
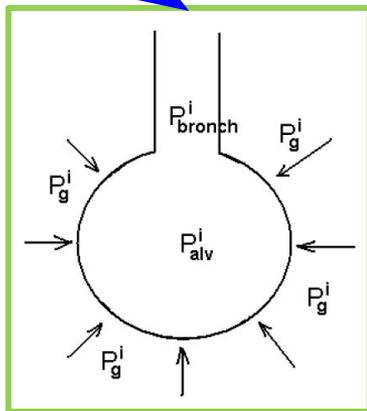
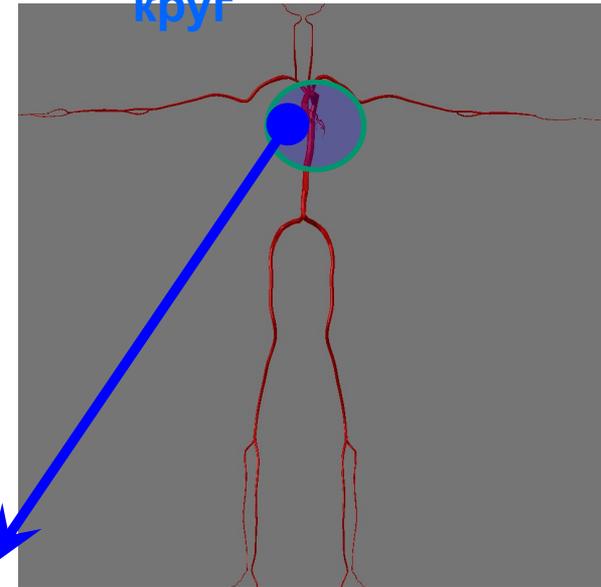
Бронхиальное
дерево



Легочный
круг



Большой
круг



Сердце

Модель потребления кислорода в мышцах

$$\begin{aligned} [\lambda \cdot \tau_f + (1 - \lambda) \cdot \tau_s] \cdot \frac{dQ_m(t)}{dt} + Q_m(t) = \\ = Q_{ss} + G_f \cdot WR + (1 - \lambda) \cdot \lambda_s G_s \cdot WR \end{aligned}$$

$Q_m(t)$ – Объем потребления O₂

Q_{ss} – Объем потребления O₂ в состоянии покоя

WR – Физическая нагрузка

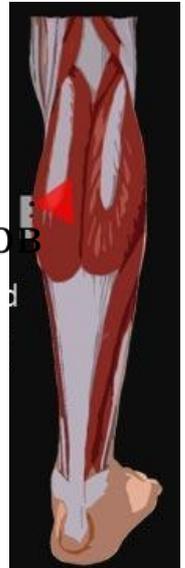
τ_f – Скорость разворачивания аэробных процессов

τ_s – Скорость разворачивания анаэробных процессов

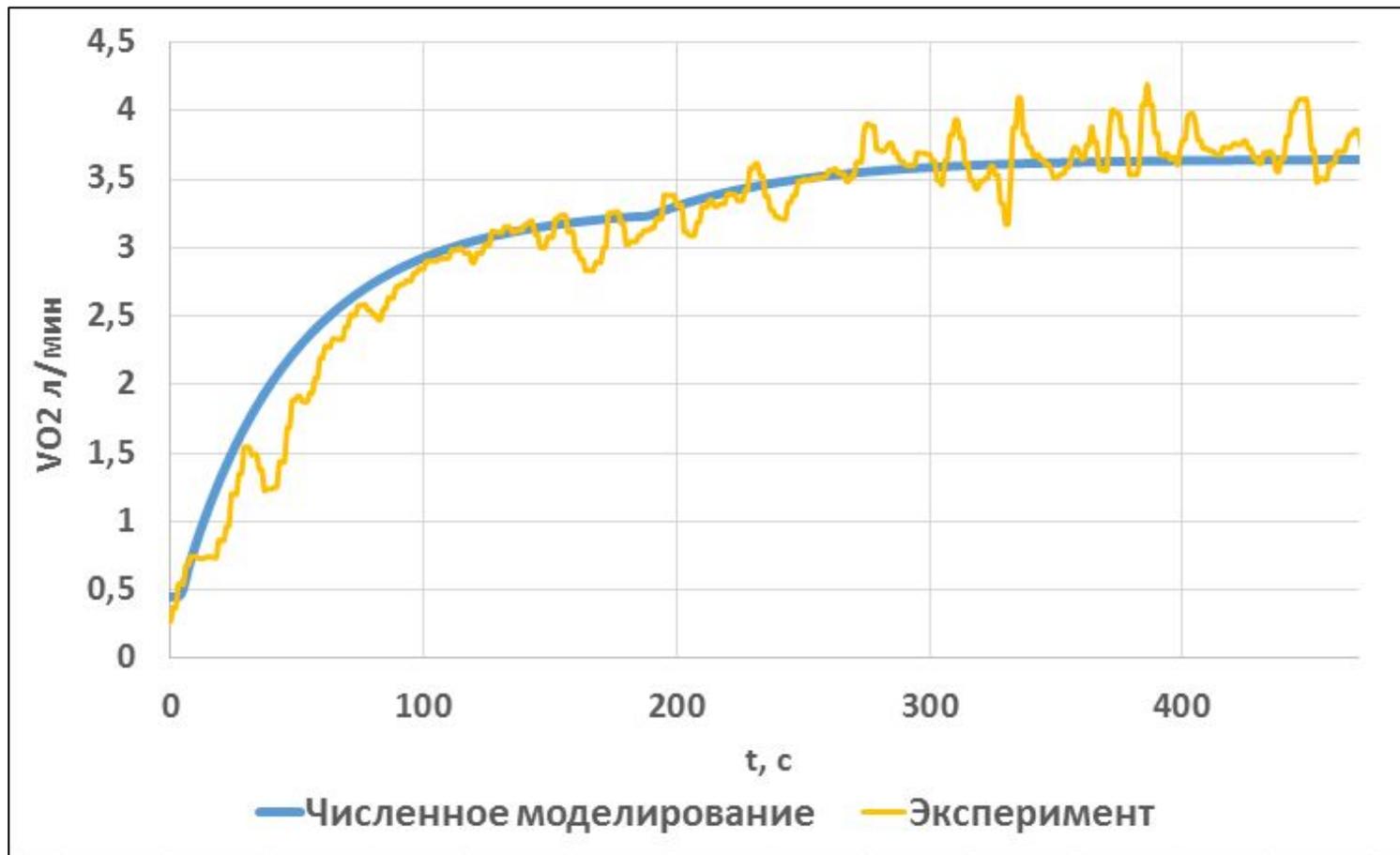
LT – Анаэробный порог

$$\lambda_s = \begin{cases} 1; WR > LT \\ 0; WR \leq LT \end{cases}$$

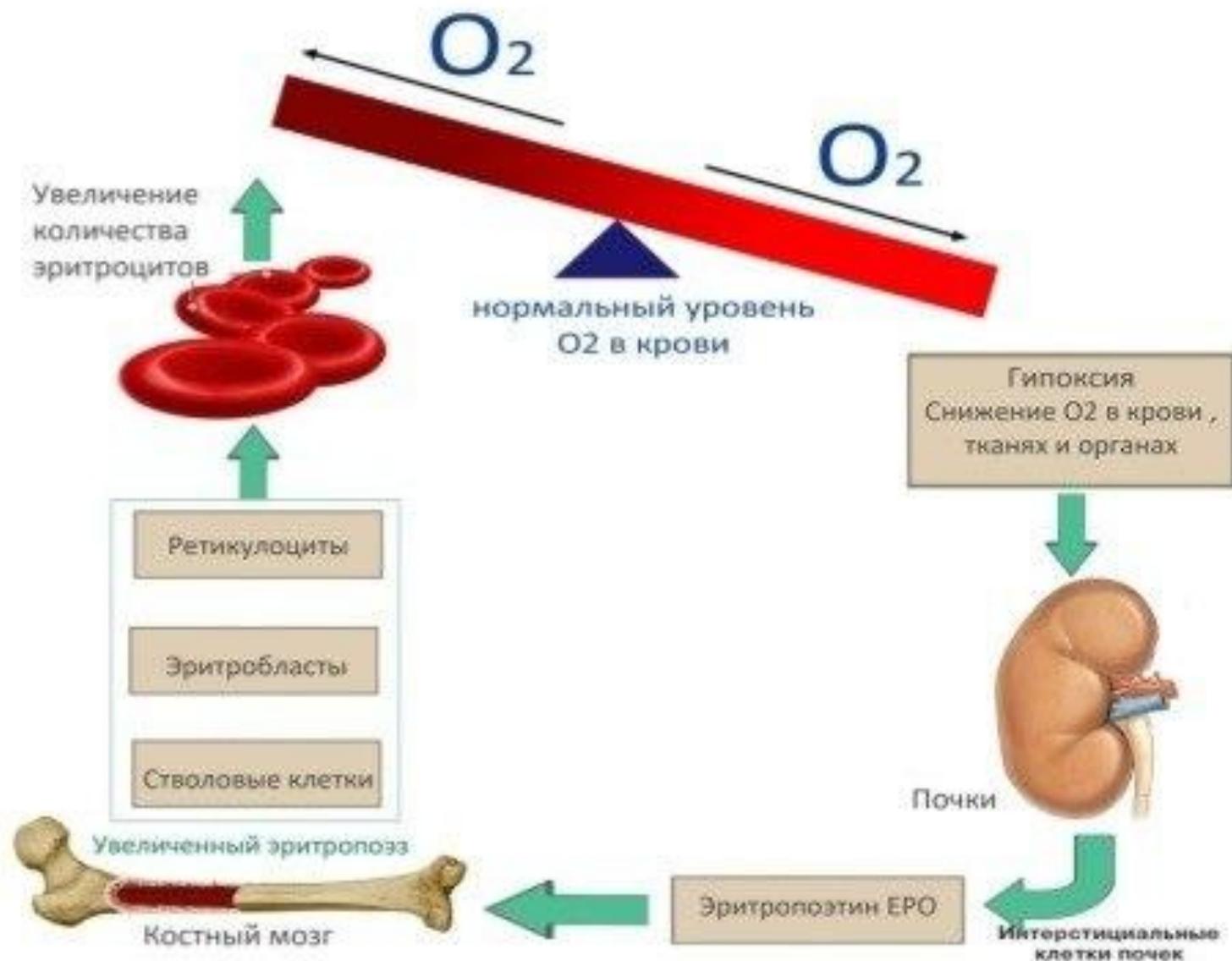
$$\lambda = \begin{cases} 0; Q_m > Q_{ss} + G_f \cdot WR \\ 1; Q_m \leq Q_{ss} + G_f \cdot WR \end{cases}$$



Численное моделирование кинетики потребления кислорода



Гипоксическое воздействие на организм



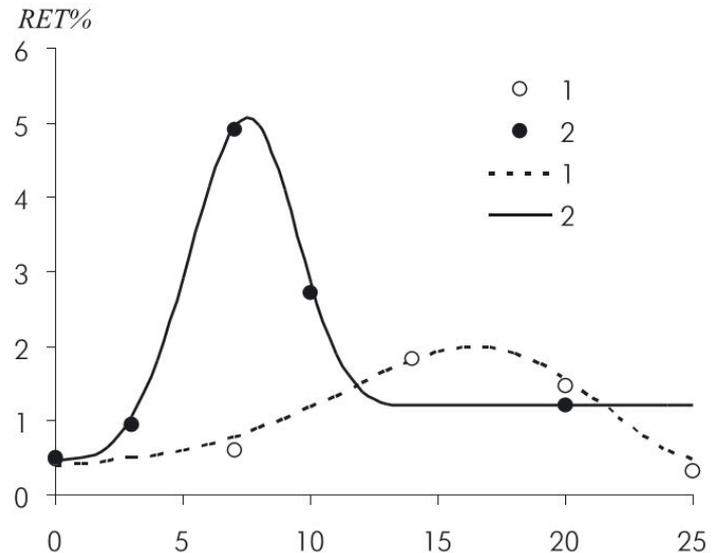
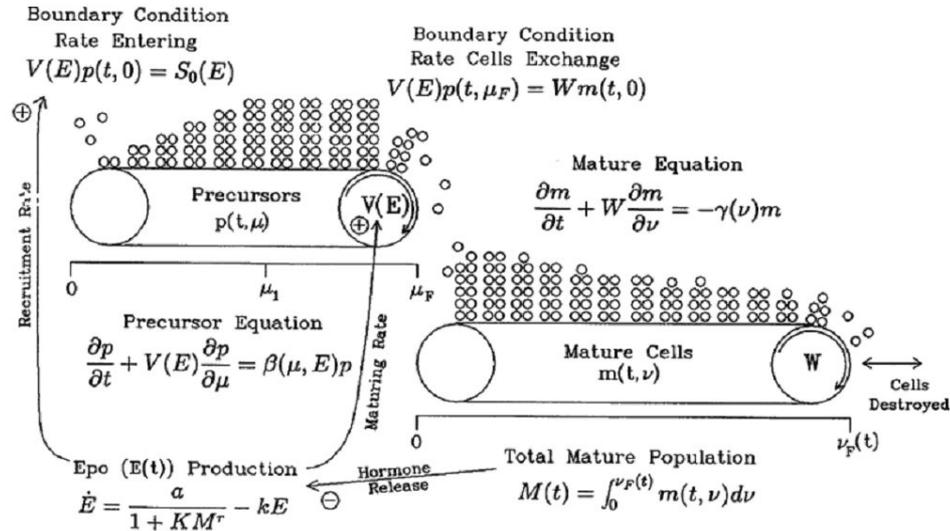
(Wilber, 2004)

Математическая модель эритропоэза позволит провести расчет дозы и режима

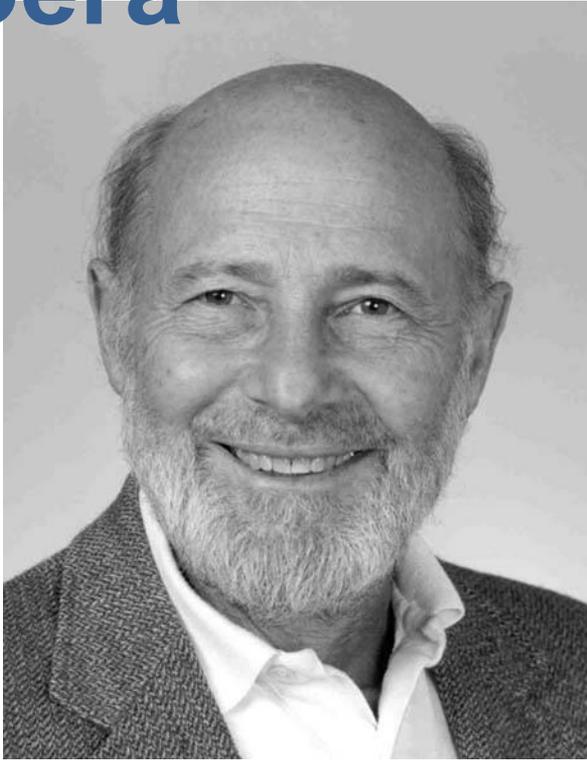


**Академик
Гурий Иванович Марчук**

Марчук Г.И., Перцев Н.В.
Математическая модель процесса
кроветворения. Новосибирск, 1980



Модель оптимальной скорости бега



“We wish to determine how a runner should vary his speed $v(t)$ during a race of distance D in order to run it in the shortest time.”

$$\begin{cases} \dot{v}(t) = f(t) - \frac{v(t)}{\tau} & v(0) = 0, \quad x(0) = 0, \quad x(T) = D \\ \dot{e}(t) = \sigma - f(t)v(t) & e(0) = e^0. \end{cases}$$

Joseph Bishop Keller

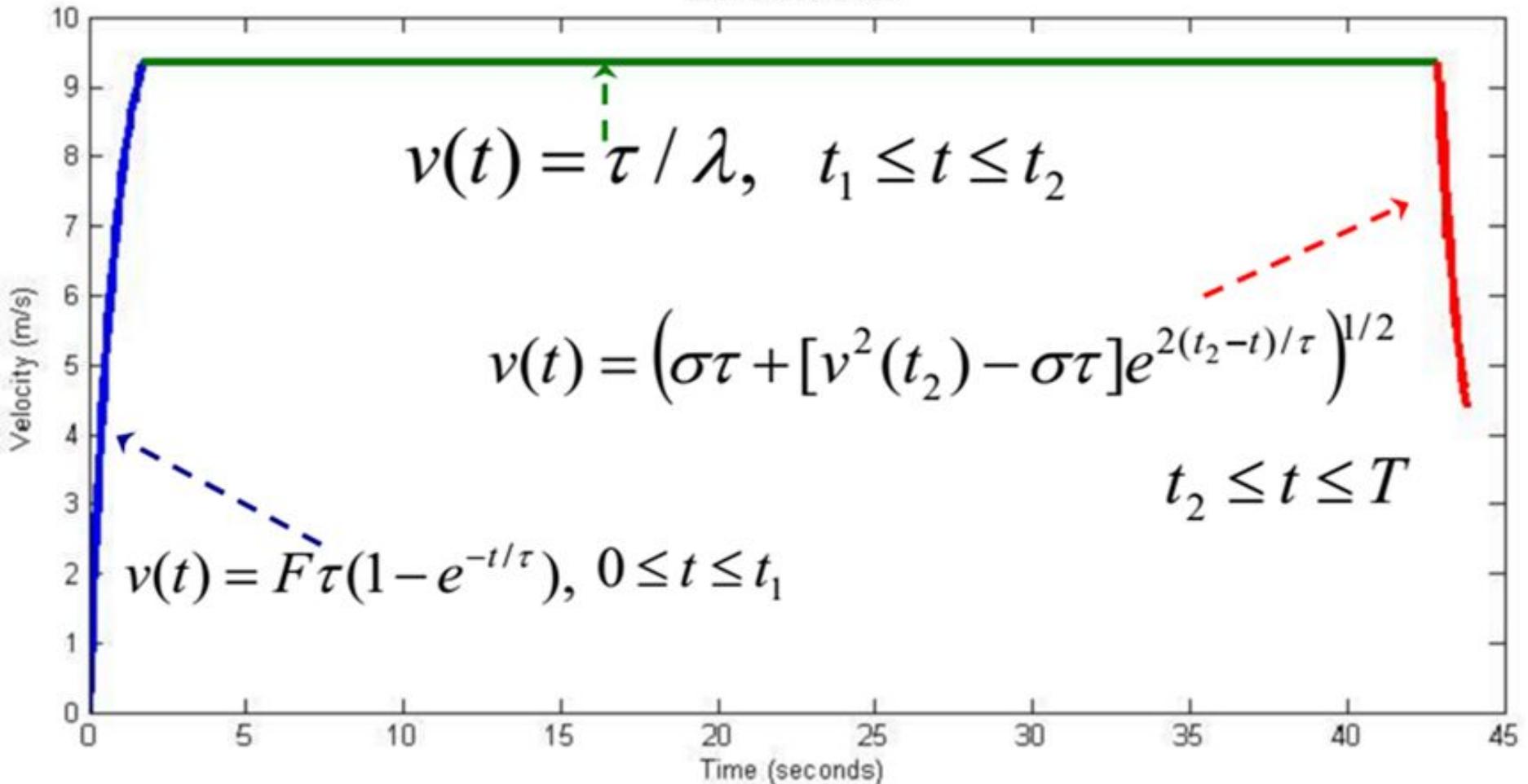
Keller J. B. A theory of competitive running // Physics today. -- 1973. - p. 43.

Keller J. B. Optimal velocity in a race // American Mathematical Monthly. -- 1974. - p. 474-480.

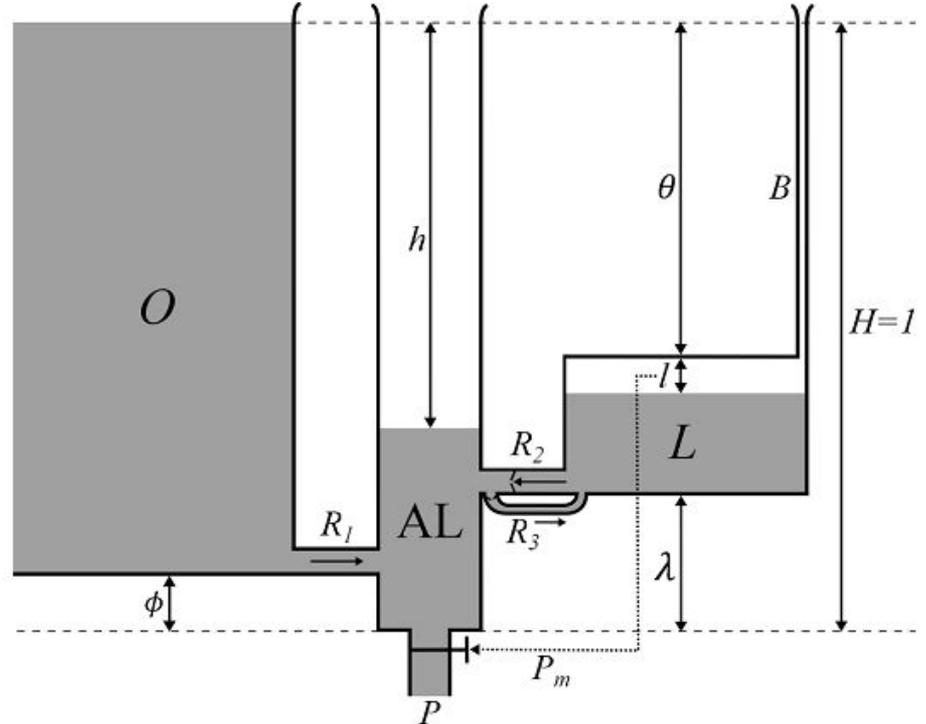
Оптимальная скорость бега



400m Race Model



Модель биоэнергетики бега



Hugh Morton

Morton R. H. A mathematical and computer simulation model of the running athlete // Bulletin of the Australian Mathematical Society. -- 1985. -- T. 32, № June. - p. 469-472.

Morton R. H. On a model of human bioenergetics // European journal of applied physiology and occupational physiology. -- 1985. -- T. 54, № 3. - p. 285-90.

Математические модели оптимальных стратегий соревновательного бега



Amandine Aftalion



Frederic Bonnans

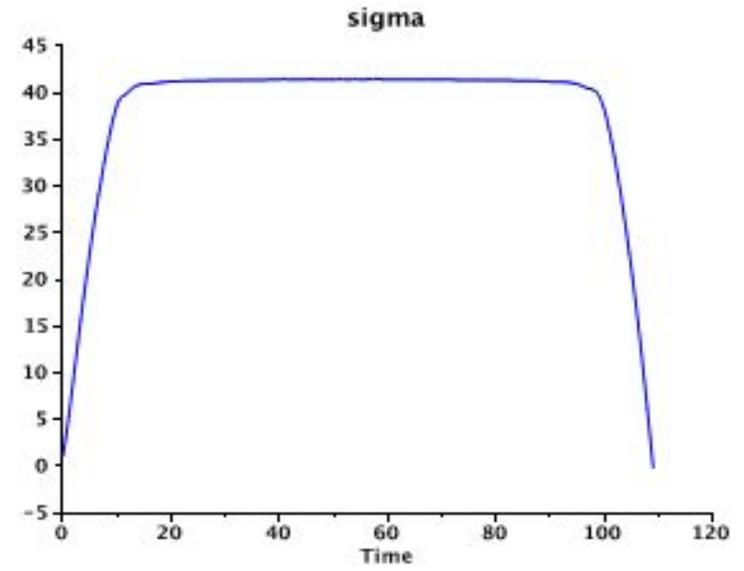
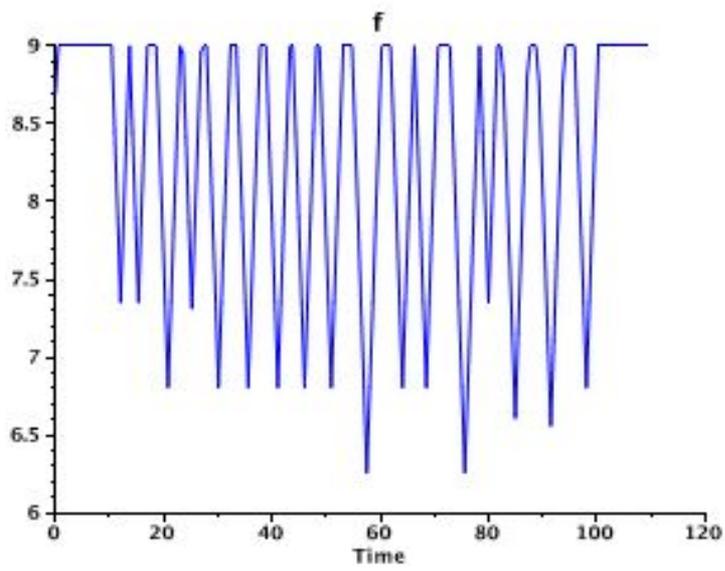
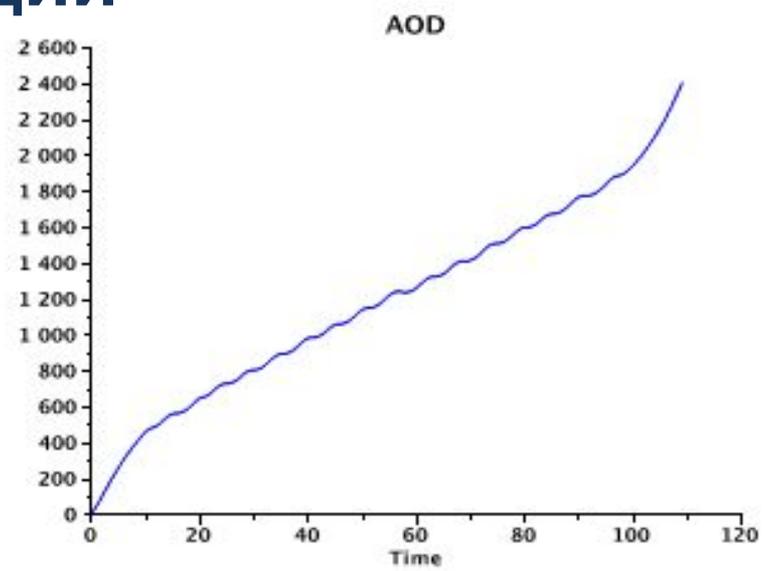
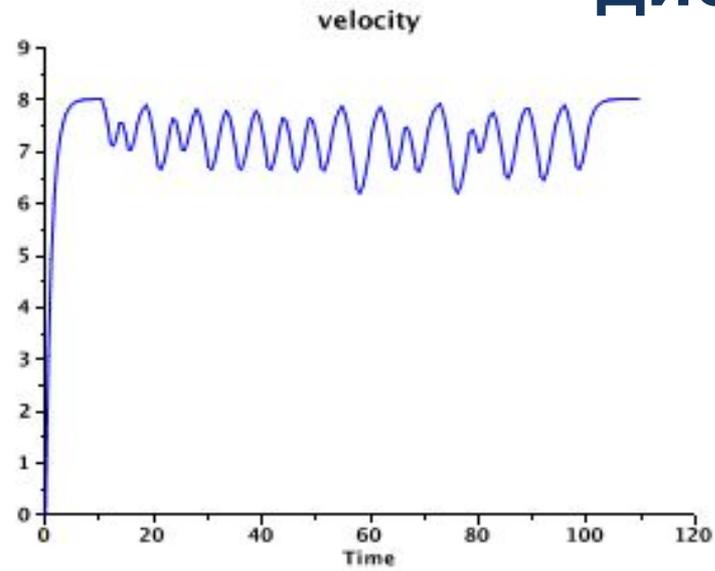


Camilla Fiorini

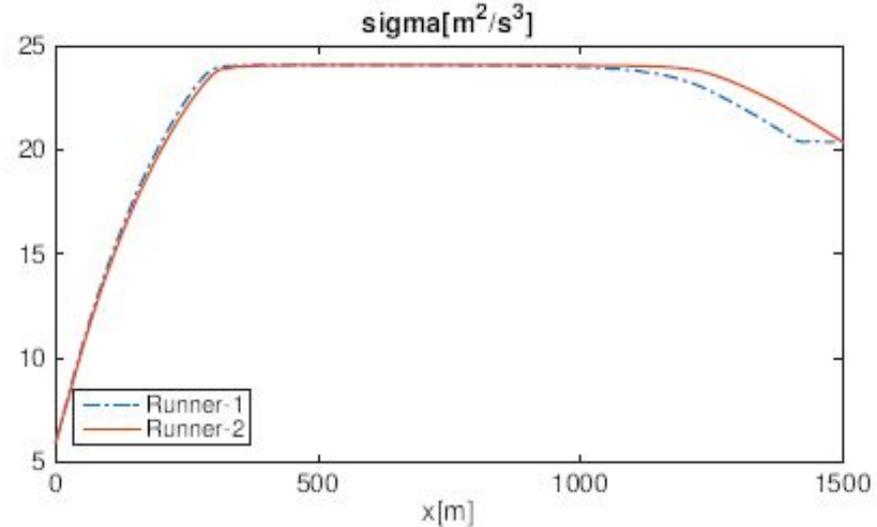
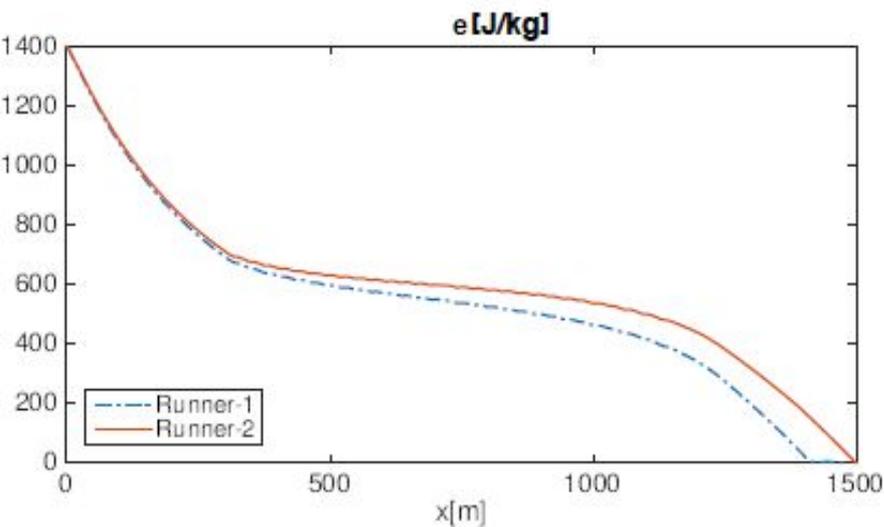
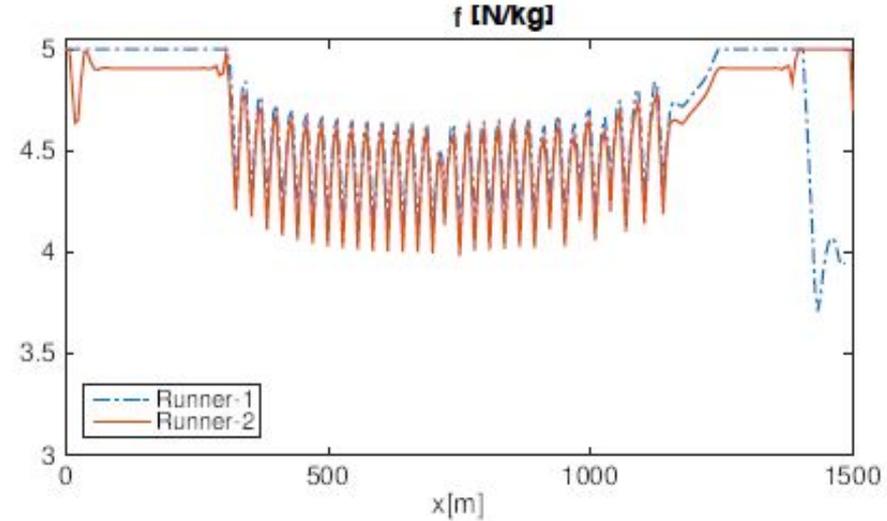
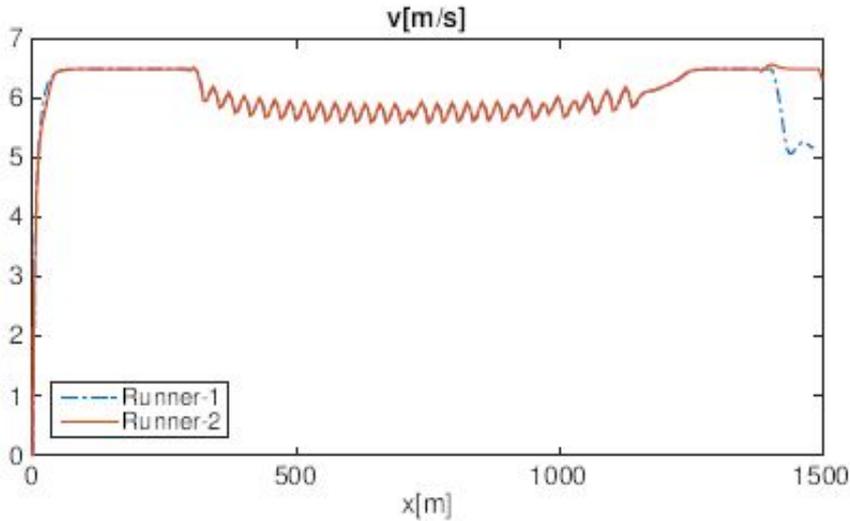
Aftalion A., Bonnans J. F. Optimization of running strategies based on anaerobic energy and variations of velocity // SIAM Journal on Applied Mathematics. -- 2014. -- T. 74, № 5. - p. 1615-1636.

Aftalion A., Fiorini C. A two-runners model: optimization of running strategies according to the physiological parameters // arXiv preprint arXiv:1508.00523. - 2015.

Оптимальная стратегия передвижения по дистанции

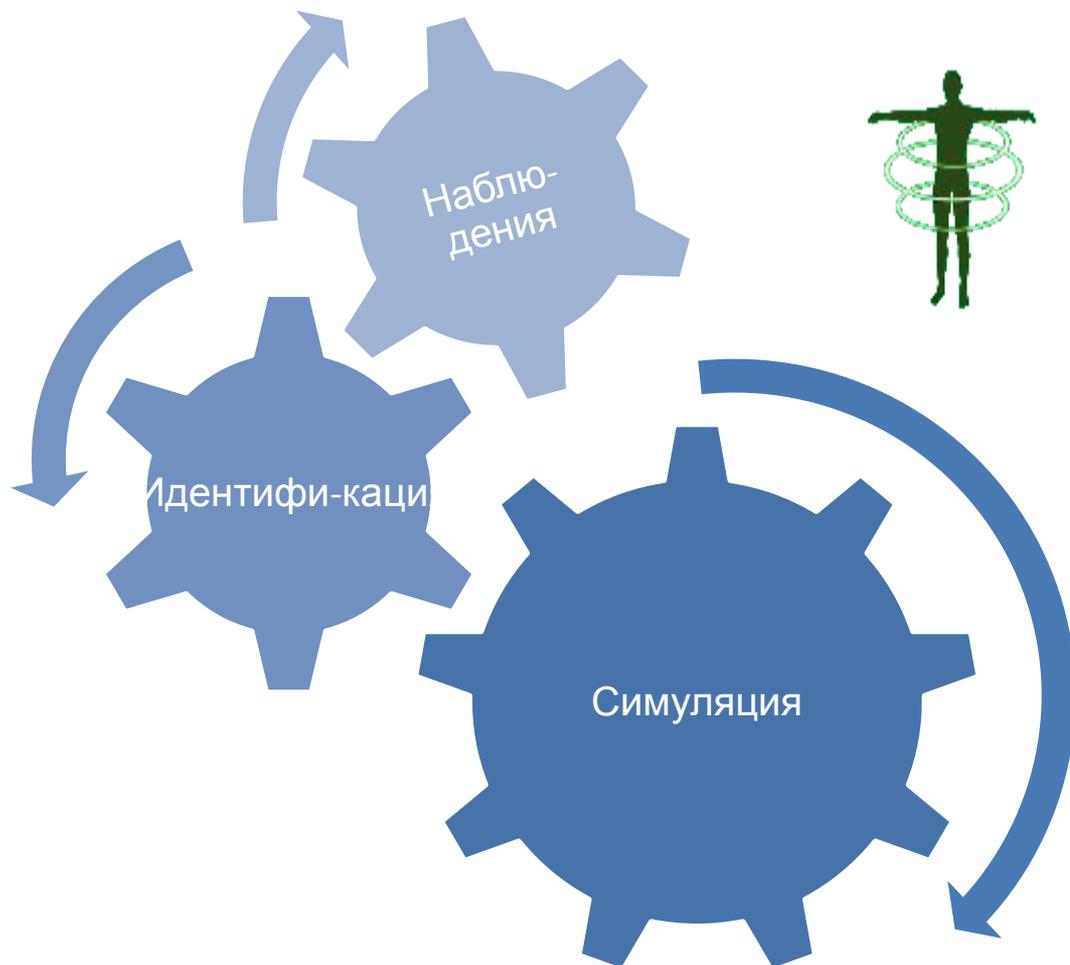


Оптимальная стратегия соперничества между двумя бегунами с учетом биоэнергетики бега



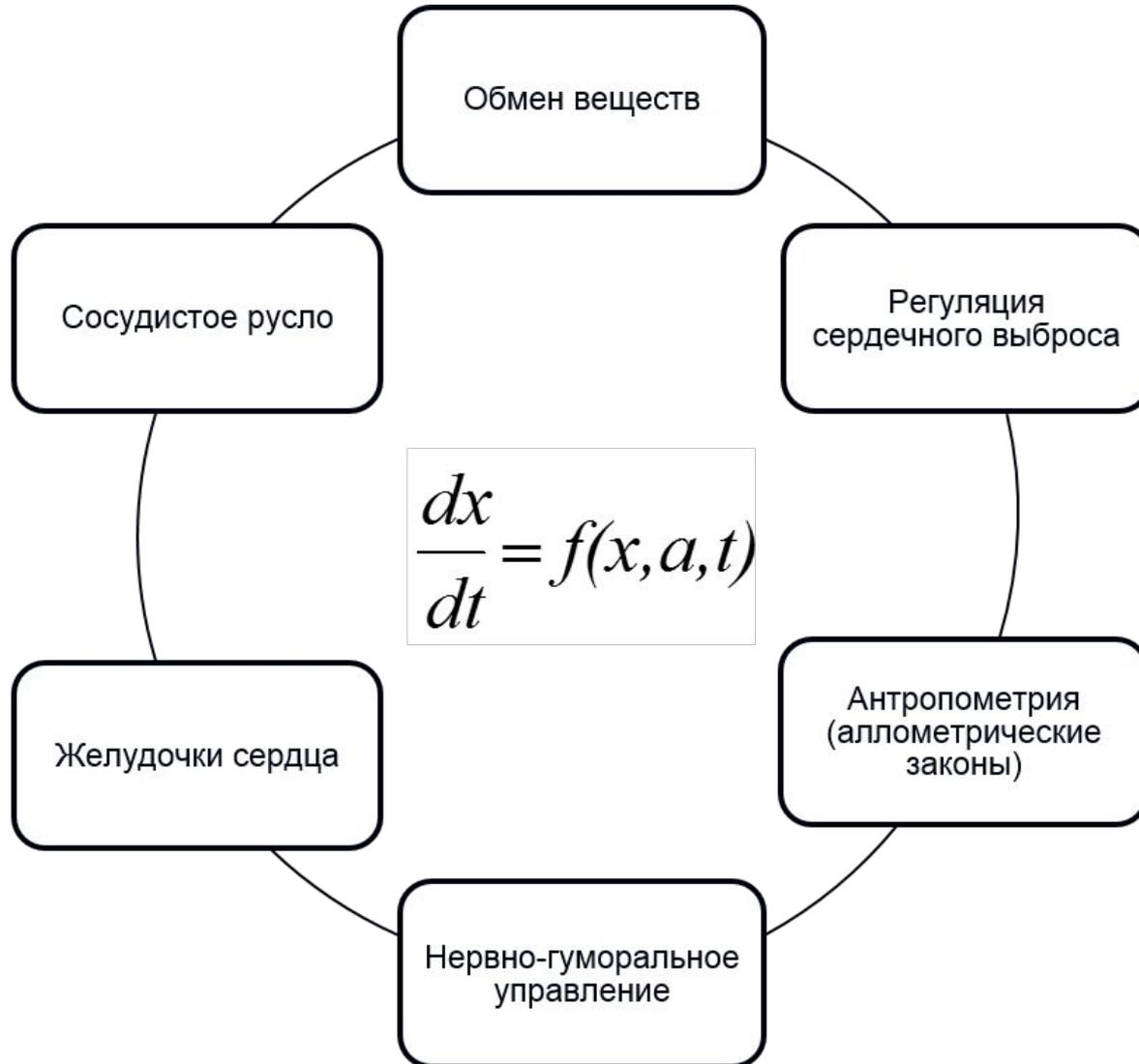
Проект «Физиологический аватар»

Солодянников Ю. В., Прошин А. П.

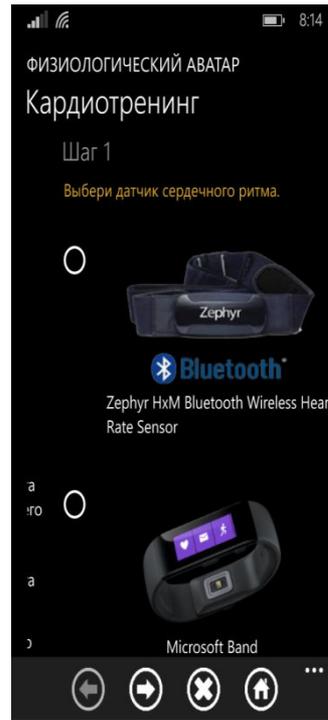
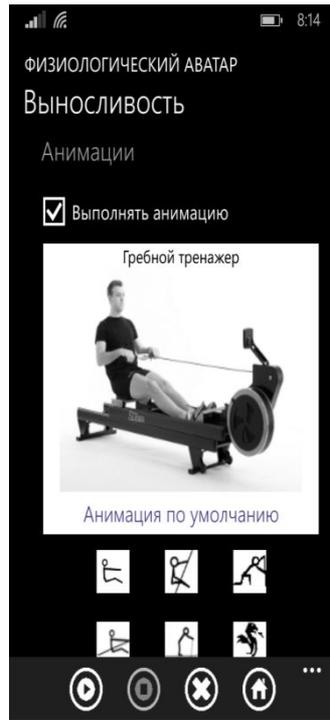
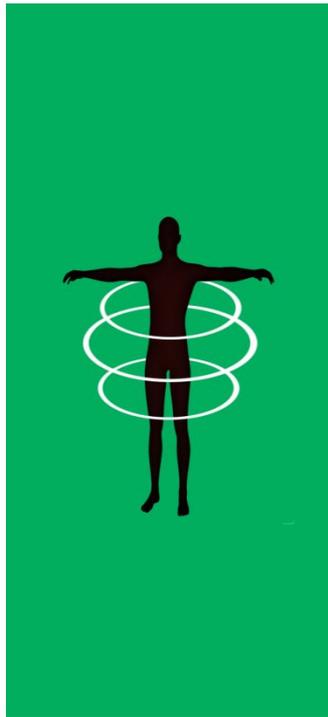


Все приложения технологии строятся в соответствии с жизненным циклом ФА начиная от наблюдений через идентификацию к использованию в качестве индивидуальной модели физиологии организма (симуляции).

Математическая модель физиологических систем организма человека



Клиентское приложение для Windows Phone



СОФТ

Клиентские приложения реализуют пользовательский доступ к компонентам технологии ФА. В зависимости от области применения, вида деятельности пользователя и программной платформы разработано и разрабатывается несколько релизов клиентских приложений.

Мобильное приложение "Физиологический аватар" является первым релизом клиентского приложения технологии ФА, которое предназначено для индивидуального использования. Основными областями применения этого приложения являются профессиональный спорт и фитнес. Его целевой аудиторией являются спортсмены и тренеры, имеющие доступ к современной лаборатории спортивной медицины.

Проблемы разработки и применения математических методов и моделей в спорте

- **Нет понимания** (считается что математика слишком трудна и не может быть полезна спорту)
- **Долго** (много усилий - постановка задачи, разработка моделей, алгоритмов, программ, отладка, тестирование)
- **Дорого** (математики и программисты предпочитают более перспективные области приложения сил)
- **Результат не гарантирован** (что в модель заложишь, то и получишь)
- **Нет взаимопонимания** (специалисты в области спорта не знают математики, а математики – физиологии спорта)
- **Сложность объекта и методов** – используется довольно сложный математический аппарат даже для самих математиков

Позитивные моменты, дающие надежду, что направление будет развиваться

- Поддержка руководства
- Энтузиазм коллектива
- Благоприятные условия для работы
- Проектная методология
- Междисциплинарный подход
- Партнерство с ведущими научными центрами

Изменения в новую редакцию

Устава

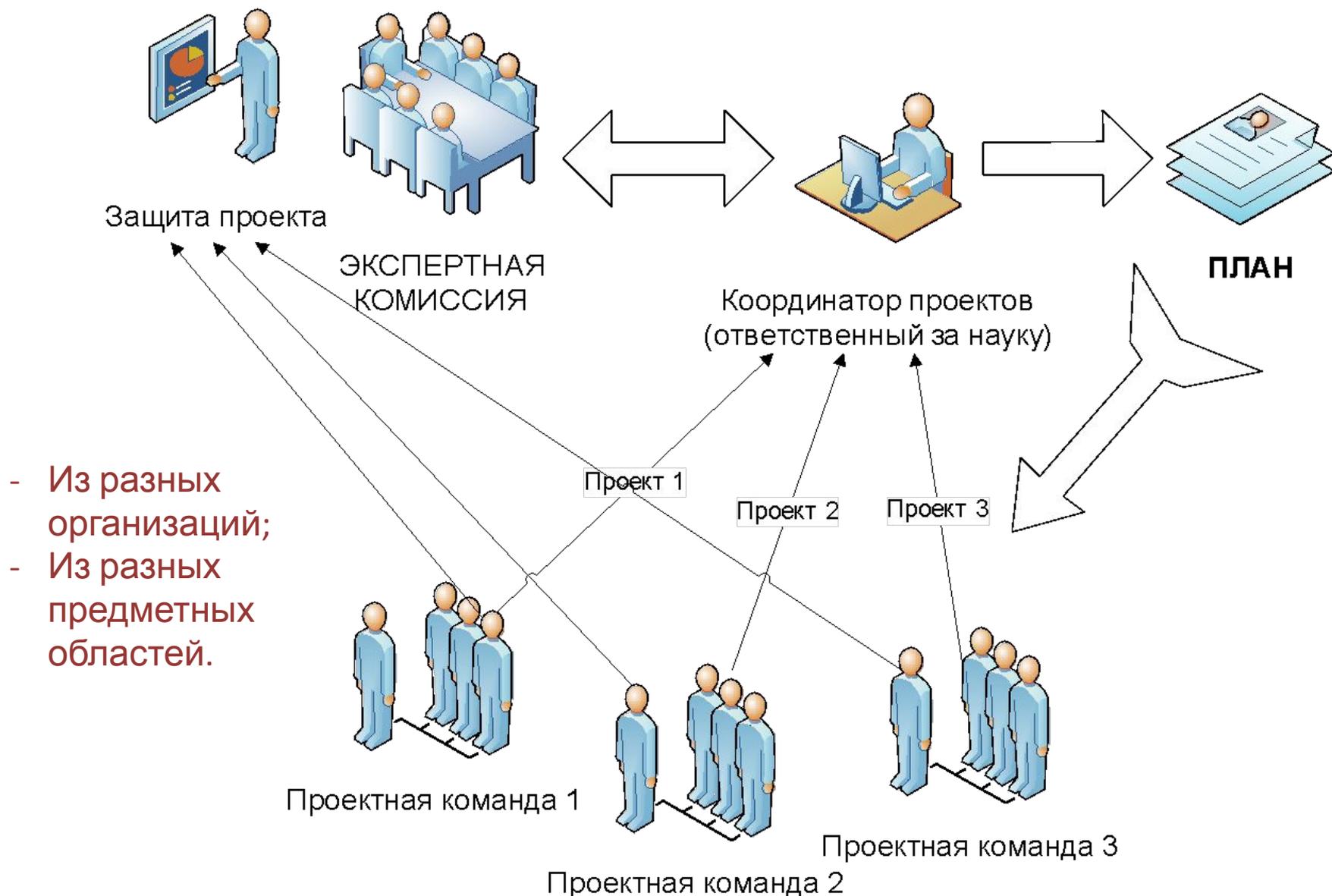
Научно-методическое (включая психологическое) обеспечение

2.3.22. Сбор и анализ данных динамики роста профессионального мастерства московских спортсменов, разработка и внедрение инновационных технологий в процесс подготовки спортсменов различного уровня.

2.3.33.1. **Организация и проведение научных исследований и разработка:**

- новых методов и средств оценки функционального состояния, резервов адаптации спортсмена, повышения работоспособности и восстановления, планирования тренировочного процесса и прогнозирования спортивного результата;
- **математических моделей процессов адаптации спортсменов к тренировочным нагрузкам, динамики спортивной формы;**
- информационных, интеллектуальных и экспертных систем поддержки принятия решения тренера и спортивного врача, снижения риска перетренированности и спортивной травмы, допингового контроля;

Проектная модель (наука и инновации)



ПРОЕКТЫ

основным методом реализации которых является математическое и компьютерное моделирование

- Разработка методики нахождения оптимальных гипоксических и тренировочных воздействий на основе имитационного моделирования газообмена при адаптации человека к условиям гипоксической гипоксии и физической нагрузки (научный руководитель – академик И.Б.Ушаков)
- Разработка методики виртуального мониторинга тренировочного процесса на основе создания математической модели физиологических систем организма спортсмена, ее идентификации и симуляции спортивной тренировки (научный руководитель – д.т.н. профессор Ю.В.Солодянников)
- Разработка методики нахождения наилучших стратегий прохождения спортсменом соревновательных дистанций на основе создания программного комплекса анализа данных функционального тестирования и имитационного моделирования дыхательной, мышечной и кровеносной систем (научный руководитель - к.т.н. Е.А.Тимме)

Междисциплинарный научно-практический семинар "Математические методы и модели в задачах спорта"

создан с целью обмена идеями в области применения математических подходов к анализу спортивной деятельности

<http://www.sportmedicine.ru/math-mod.php>

http://vk.com/math_modeling

sportmath@yandex.ru

Наши партнеры

- **МФТИ** (Кафедра информатики и вычислительной математики, лаборатория физиологии)
- **Институт вычислительной математики РАН** (рабочая группа по математическим моделям в биоматематике)
- **Научно-исследовательский испытательный центр авиационно-космической медицины и военной эргономики ЦНИИ ВВС МО РФ**
- **Институт медико-биологических проблем РАН**
- **Инновационный Центр ОКР**

Благодарю за внимание!

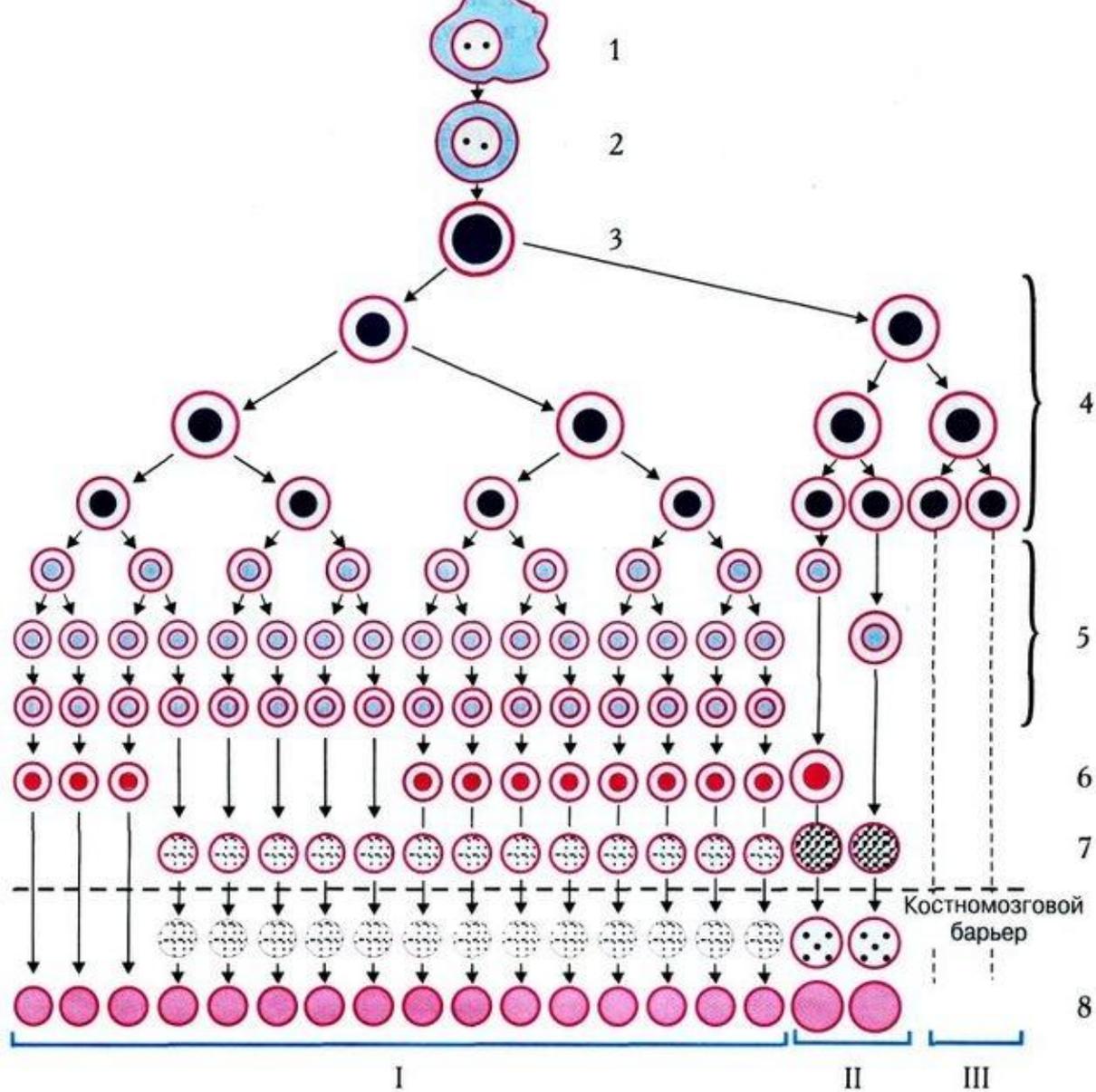


Рис. 2. Схема эритропоэза по С.И. Рябову [9]: I – нормальный тип эритропоэза; II – терминальный тип, III – неэффективный эритропоэз; 1 – стволовой предшественник; 2 – эритробласт; 3 – пронормобласт; 4 – базофильные нормобласты; 5 – полихроматофильные нормобласты; 6 – оксифильные нормобласты; 7 – ретикулоциты; 8 – зрелые эритроциты.