

**Методические рекомендации по исследованию динамики спортивной  
формы у спортсменов в видах спорта на выносливость с применением  
методов математического моделирования**

**Москва 2013**

## Содержание

Введение.....	3
1. Использование математического моделирования для исследования динамики спортивной формы и «подводки» к соревнованиям.....	4
2. Процедуры идентификации параметров модели .....	7
3. Особенности компьютерного моделирования динамики спортивной формы .....	12
4. Исследование «подводки» при помощи математического моделирования	22
5. Рекомендации по моделированию спортивной формы элитных спортсменов в видах спорта на выносливость .....	28

## Введение

Необходимость разработки методических рекомендаций по исследованию динамики спортивной формы в видах спорта на выносливость с помощью методов математического моделирования обусловлена несколькими факторами. Во-первых, сочетание разнонаправленных тренировочных нагрузок, используемых в подготовке элитных спортсменов, запускает множество адаптационных процессов с различными срочными, кумулятивными, отсроченными и остаточными тренировочными эффектами. Учесть данные эффекты традиционными методами не всегда возможно. Во-вторых, значительное увеличение количества соревнований в международном и национальном календаре делает более сложным достижение мультипиковой подготовки. В-третьих, усиление конкуренции на международном уровне привело к уплотнению результатов элитных спортсменов в финальных состязаниях (забегах, заездах, заплывах) Олимпийских Игр и чемпионатов мира и Европы. Выход на пик формы в нужный день становится залогом успешной борьбы за медали международных соревнований.

Использование методов математического моделирования помогает решить проблему выхода на пик формы (либо построить эффективную мультипиковую подготовку). Весьма важен факт, что получение адаптационного математического профиля спортсмена позволяет осуществить проверку динамику спортивной формы в ходе реализации различных альтернативных тренировочных программ в ходе имитационного моделирования. Таким образом, систематическое использование рекомендаций по использованию математического моделирования для исследования динамики спортивной формы у спортсменов в видах спорта на выносливость позволит разрабатывать эффективные тренировочные программы, позволяющие выводить спортсмена на пик формы к главным соревнованиям сезона и успешно бороться за медали высшего достоинства.

# **1. Использование математического моделирования для исследования динамики спортивной формы и «подводки» к соревнованиям**

Под «спортивной формой» понимается способность реализовать возросшие возможности организма в ходе соревновательной деятельности (Verkhoshansky, 2011). Другая трактовка понятия «спортивная форма» заключается в том, что форма воспринимается как степень реализации потенциала спортсмена (Вотра and Haff, 2009). И на пике формы спортсмен приближается к результатам, близким к его потенциальному максимуму. Наконец, существует операциональный взгляд на спортивную форму. С этой позиции, спортивная форма представляет собой точку во времени, в которой уровень тренированности спортсмена и остаточное утомление находятся в оптимальном соотношении, позволяющем достичь лучших спортивных результатов (Mujika, 2009).

Достижение пика формы происходит в результате реализации так называемой «подводки». Подводка представляет прогрессивное снижение тренировочной нагрузки в течение определенного периода времени, предшествующего соревнованиям, для снижения физиологического и психологического стресса от ежедневных тренировок и оптимизации спортивных достижений (Inigo et al., 2004). В этом случае происходит элиминирование краткосрочных эффектов, связанных с утомлением (восстановление запасов энергии, вывод продуктов распада и т.д.). Тренированность же носит долгосрочный характер. В результате «подводки» рост возможностей организма не оттеняется сопутствующими процессами утомления. За счет этого происходит повышение уровня спортивных результатов.

Динамика адаптационных процессов может быть описана математически. Основным классом моделей являются модели доза-ответ,

разработанные группой ученых под руководством Эрика Банистера (Banister et al., 1975; Banister and Hamilton, 1985; Banister et al., 1992; Fitz-Clarke et al., 1991; Morton et al., 1990). Не зря модели подобного класса получили названия модели банистеровского типа (Chiu and Barnes, 2003). Данный подход базируется на стремлении проанализировать систему, в которой присутствует как минимум один вход и один выход с помощью так называемой передаточной функции. На сегодня наибольшее применение получили так называемые передаточные функции вида (Avalos et al., 2003):

$$p_t = p_0 + k_a \sum_{s=0}^{t-1} e^{-(t-s)/\tau_a} w_s - k_f \sum_{s=0}^{t-1} e^{-(t-s)/\tau_f} w_s$$

где в качестве слагаемых, влияющих на уровень спортивных результатов ( $p_t$ ) в момент времени  $t$ , выступают начальный уровень подготовленности  $p_0$ , прирост тренированности в результате реализации тренировочной программы и рост усталости (слагаемое со знаком минус), которая развивается параллельно разворачиванию адаптационных процессов. В свою очередь тренированность и утомление разворачиваются во времени под влиянием тренировочной нагрузки ( $w_s$ ), квантифицированной тем или иным образом (см. предыдущий параграф), коэффициентов, показывающих амплитуду реакции тренированности и утомления на тренировочные импульсы –  $k_a$  и  $k_f$ , соответственно; временные коэффициенты  $\tau_a$  и  $\tau_f$ , показывают продолжительность действия соответствующих эффектов во времени.

Одна из эффективных модификаций модели с изменяющимися во времени параметрами выглядит следующим образом (Busso, 2003):

$$\hat{p}^n = p^* + k_1 \sum_{i=1}^{n-1} w^i e^{-(n-i)/\tau_1} - \sum_{i=1}^{n-1} k_2^i w^i e^{-(n-i)/\tau_2}$$

где  $k_2$  уже не является неизменным во времени параметром, а зависит от других переменных модели:

$$k_2^i = k_3 \sum_{j=1}^i w^j e^{-(i-j)/\tau_3}$$

Модели класса доза-ответ были успешно апробированы в разных видах спорта, среди которых бег на выносливость (Banister and Hamilton, 1985; Banister et al., 1992; Morton et al., 1990; Wood et al., 2005), плавание (Hellard et al., 2006; Hellard et al., 2005; Mujika et al., 1996a), триатлон (Banister et al., 1999; Millet et al., 2002; Millet et al., 2005), спортивная гимнастика (Sanchez et al., 2013), велосипедные виды спорта (Busso, 2003; Busso et al., 2002; Busso et al., 1991; Busso et al., 1997), тяжелая атлетика (Busso et al., 1990; Busso et al., 1992), метание молота (Busso et al., 1994), лыжные гонки (Candau et al., 1992). В дальнейшем будем анализировать лишь виды спорта на выносливость.

## 2. Процедуры идентификации параметров модели

Как известно, «критическим компонентом эффективного тренировочного процесса является систематическое получение и анализ данных, которые дают представление о направлениях разработки будущего тренировочного процессе» (Kiely, 2012). В случае использования методов математического моделирования

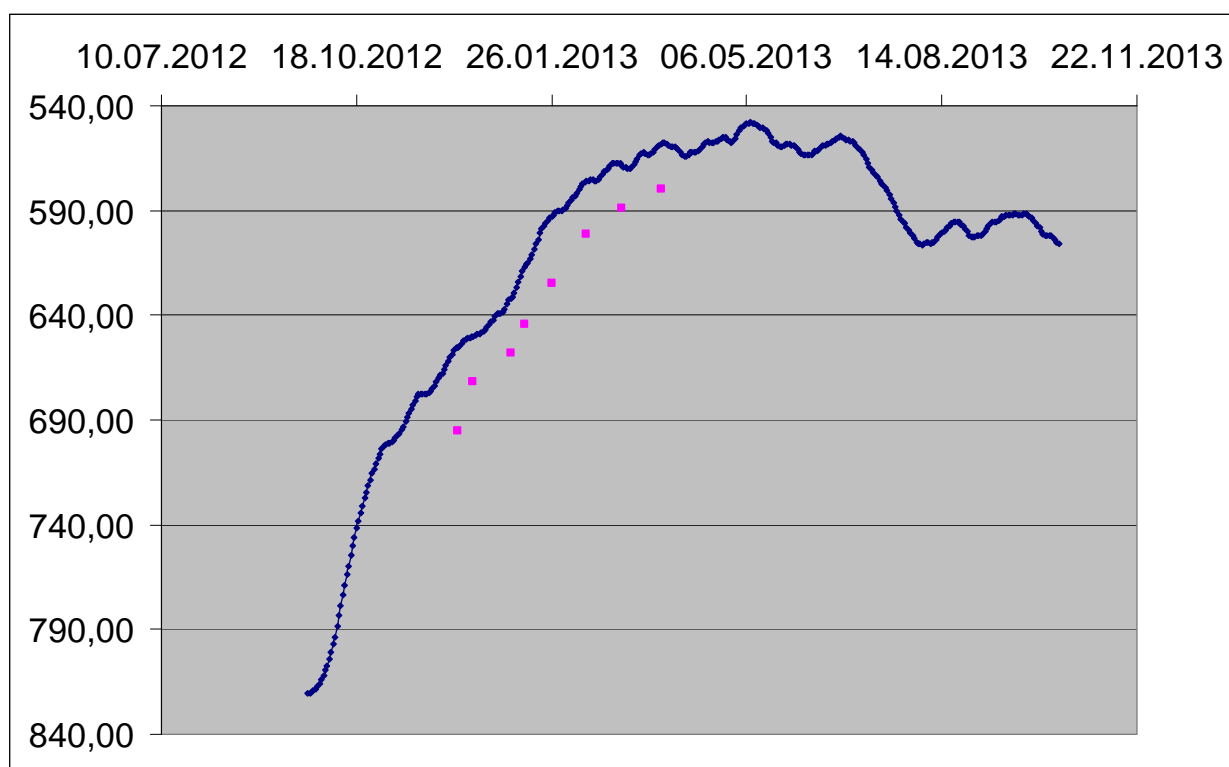


Рисунок 1 – Расчетная кривая спортивных результатов (синие точки) и отдельные точки, отражающие реальные результаты до процедуры калибровки

Индивидуальные особенности реакций организма спортсмена делают необходимым калибровку моделей, в частности адапционных профилей. С этой целью спортсмен выполняет специфические тесты (направленные на оценку уровня развития спортивного навыка или того или иного показателя подготовленности). Данные тестирования поступают в

модель с целью сопоставить исходные расчетные значения ( $\hat{p}$ ) и фактические данные ( $p$ ). В случае расхождений применяется метод наименьших квадратов для калибровки модели (см. рисунок 1 и рисунок 2). Формула сумма квадратов отклонений выглядит следующим образом (Thomas et al., 2008):

$$RSS = \sum_{n=1}^N [p^n - \hat{p}^n]^2$$

Начальная сумма квадратов отклонений расчетных от фактических данных была 6081. После процедуры калибровки сумма квадратов отклонений составила всего 313.

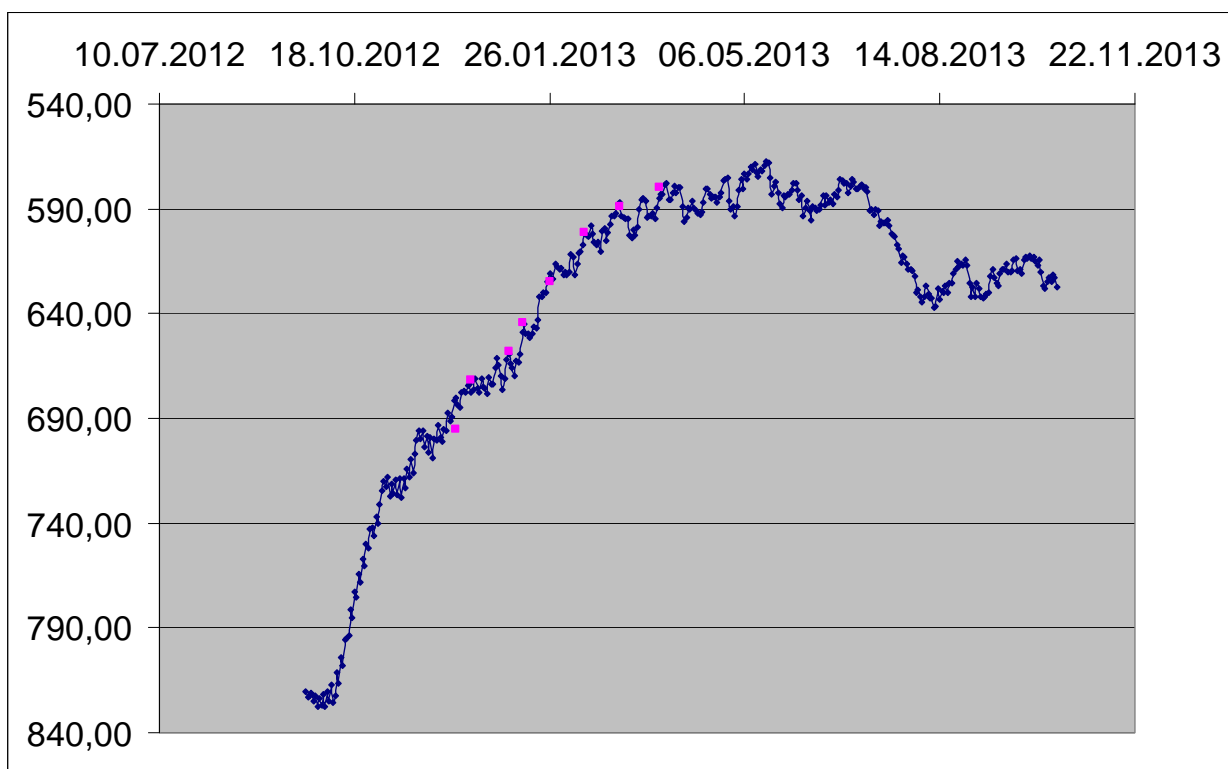


Рисунок 2 – Расчетная кривая спортивных результатов (синие точки) и отдельные точки, отражающие реальные результаты после процедуры калибровки



На рисунке 2 видим, что расчетная кривая спортивных результатов прошла через точки реальных соревнований. А это значит, что полученный адаптационный профиль довольно хорошо отражает

Обычно процедура калибровки состоит из трех шагов, каждый из которых является итеративным.

Шаг 1. Сравнение выходных распределений. Цель — оценка адекватности модели. Критерии сравнения могут быть различны. В частности, может использоваться величина разности между средними значениями откликов модели и системы.

Шаг 2. Балансировка модели. Основная задача — оценка устойчивости и чувствительности модели.

Шаг 3. Оптимизация модели. Цель этого этапа — обеспечение требуемой точности результатов. Здесь возможны три основных направления работ: дополнительная проверка качества датчиков случайных чисел; снижение влияния переходного режима; применение специальных методов понижения дисперсии.

Повторные тестирования делают необходимым изменить параметры модели. Если некоторый физиологический показатель ( $y$ ) зависит от уровня тренировочной нагрузки ( $x$ ), то эту зависимость можно исследовать, измеряя  $y$  при различных значениях  $x$ . В результате измерений получается ряд значений:

$x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n;$

$y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n.$

По данным тестирования можно построить график зависимости  $y = f(x)$ . Полученная кривая дает возможность судить о виде функции  $f(x)$ . Однако постоянные коэффициенты, которые входят в эту функцию, остаются неизвестными. Определить их позволяет метод наименьших квадратов. Экспериментальные точки, как правило, не ложатся точно на кривую. Метод наименьших квадратов требует, чтобы сумма квадратов отклонений экспериментальных точек от кривой, т.е.  $[y_i - f(x_i)]^2$  была наименьшей.

В исследовании (Banister, 1991) была сформулирована рекомендация, что для модели доза-ответ лучший период для подбора адаптационного профиля составляет 60-90 дней.

Элитные спортсмены с большим стажем тренировок имеют достаточно стабильный адаптационный профиль (Calvert et al., 1976), что, во-первых, делает возможным предсказания высокой точности на базе моделей доза-ответ, а во-вторых, дает возможность избегать частых калибровок модели при ее практическом использовании.

Рекурсивные алгоритмы стали использовать в моделях динамики спортивной формы после работы Тьерри Буссо (Busso et al., 1997). Основная идея состоит в том, что была модифицирована процедура калибровки модели следующим образом (Busso et al., 2002):

$$S_n = S_{n-1}\alpha + (\hat{p}_n - p_n)^2$$

где  $\alpha$  – это константа. Величина  $S_n$  минимизируется каждый раз, когда получают новые данные для сопоставления расчетных результатов и фактических соревновательных (тестовых) данных.

Рекурсия – фундаментальное понятие в математике и компьютерных науках. В языках программирования рекурсивной программой называется программа, которая обращается сама к себе (подобно тому, как в математике рекурсивная функция определяется через понятия самой этой функции). Рекурсивная программа не может вызывать себя до бесконечности, следовательно, вторая важная особенность рекурсивной программы – наличие условия завершения, позволяющее программе прекратить вызывать себя.

Таким образом, рекурсия в программировании может быть определена как сведение задачи к такой же задаче, но манипулирующей более простыми данными.

Как следствие, рекурсивная программа должна иметь как минимум два пути выполнения, один из которых предполагает рекурсивный вызов (случай «сложных» данных), а второй – без рекурсивного вызова (случай «простых» данных).

Рекурсия и итерация. Рекурсивную программу всегда можно преобразовать в нерекурсивную (итеративную, использующую циклы), которая выполняет те же вычисления. И наоборот, используя рекурсию, любое вычисление, предполагающее использование циклов, можно реализовать, не прибегая к циклам.

В работе (Hellard et al., 2006) было показано, что использование рекурсивных алгоритмов обеспечивает стабильность модели банистеровского типа.

Таким образом, использование процедур калибровки позволяет получить адаптационный профиль спортсмен и использовать его в математическом и компьютерном моделировании.

### 3. Особенности компьютерного моделирования динамики спортивной формы

Составленная математическая модель динамики спортивной формы может быть на том или ином программном языке введена в компьютер. Получаемая имитационная модель открывает ряд принципиально новых возможностей для тренера, работающего в спорте высших достижений (Moxnes and Hausken, 2008; Pfeiffer, 2008; Thomas et al., 2009).

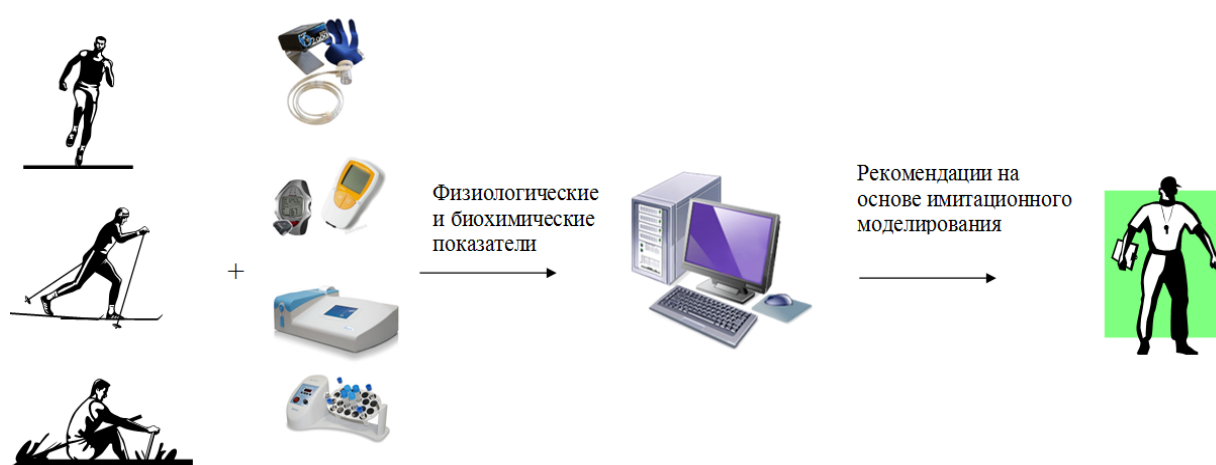


Рисунок 3 – Общая логика работы имитационной модели в видах спорта на выносливость

В частности имитационная модель помогает разрабатывать тренировочную программу (см. рисунок 4)

Кроме того, в случае использования компьютера в процессе планирования тренировочной и соревновательной деятельности в видах на выносливость становится возможным вариант проверки фактической тренировочной программы в предсоревновательный и соревновательный период с целью получить прогнозные оценки динамики спортивной формы (см. рисунок 5). Следующий параграф посвящен данной группе вопросов.

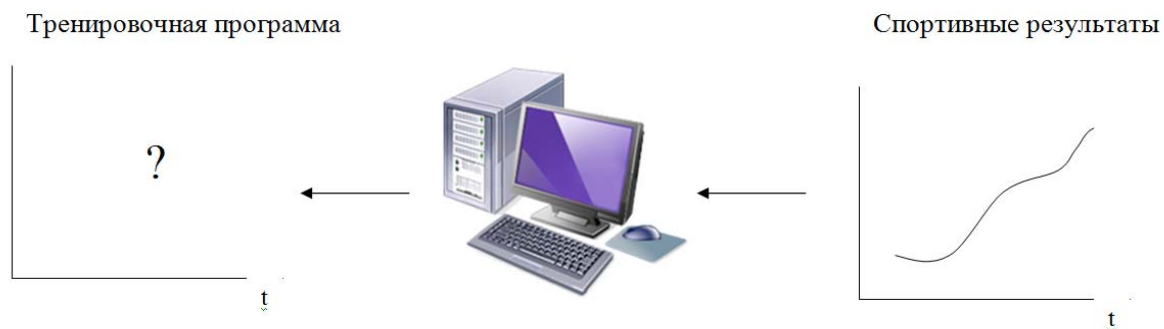


Рисунок 4 - Имитационное моделирование позволяет разрабатывать тренировочный план.



Рисунок 5 - Имитационное моделирование позволяет анализировать тренировочный план.

Один из примеров использования компьютерного моделирования в планировании тренировочной и соревновательной деятельности представлен так называемой моделью PerPot (Perl, 2001, 2002; Pfeiffer, 2008), см. рисунок 6. Данная метамодель позволяет осуществлять широкий диапазон имитационных расчетов и решать несколько задач, стоящих перед тренером. Используемая в графическом интерфейсе полоса прокрутки позволяет легко настраивать нужные параметры модели.

Важной частью любой имитационной модели является процедура калибровки параметров модели. Программа PerPot позволяет автоматизировать большую часть процедур калибровки (см. рисунок 7 и 8).

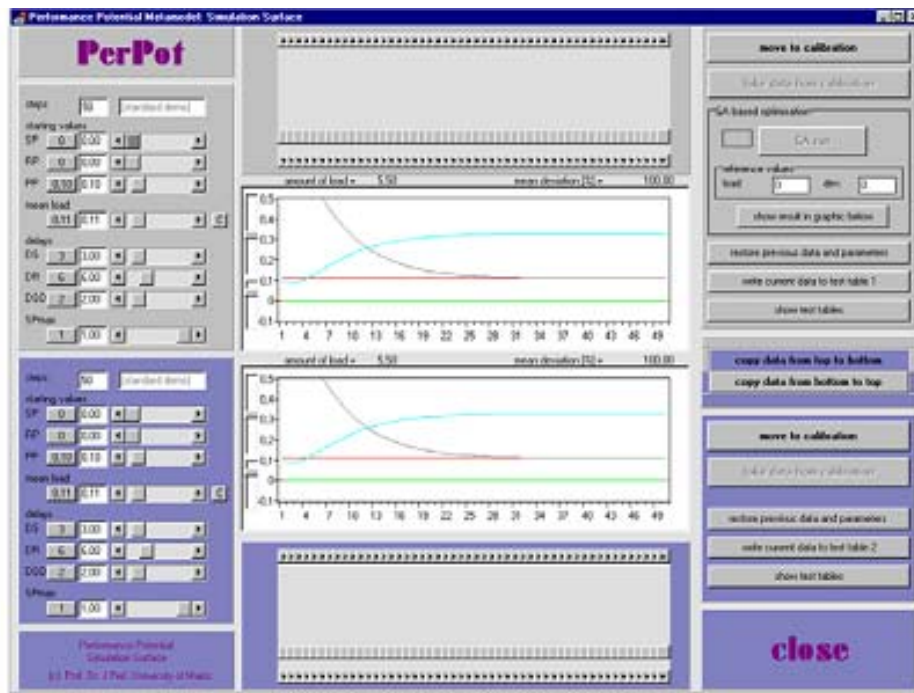


Рисунок 6 – Стартовый интерфейс программы, основанной на модели PerPot (Perl, 2001)

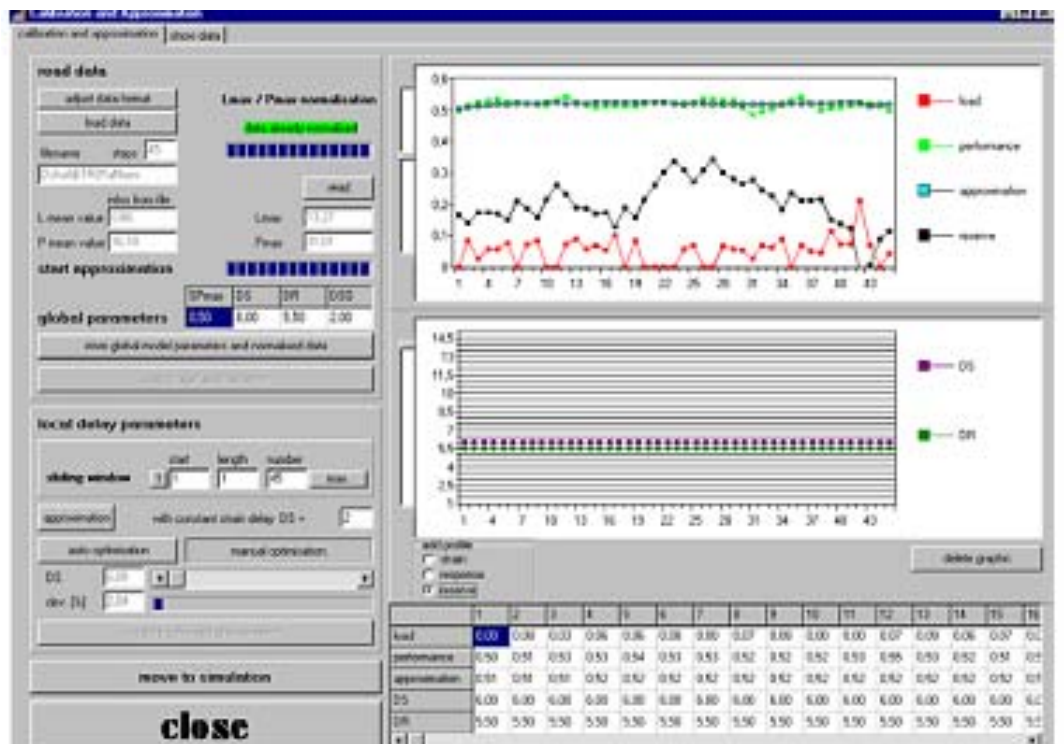


Рисунок 7 – Пользовательский интерфейс, используемый для процедур калибровки модели PerPot (Perl, 2001)

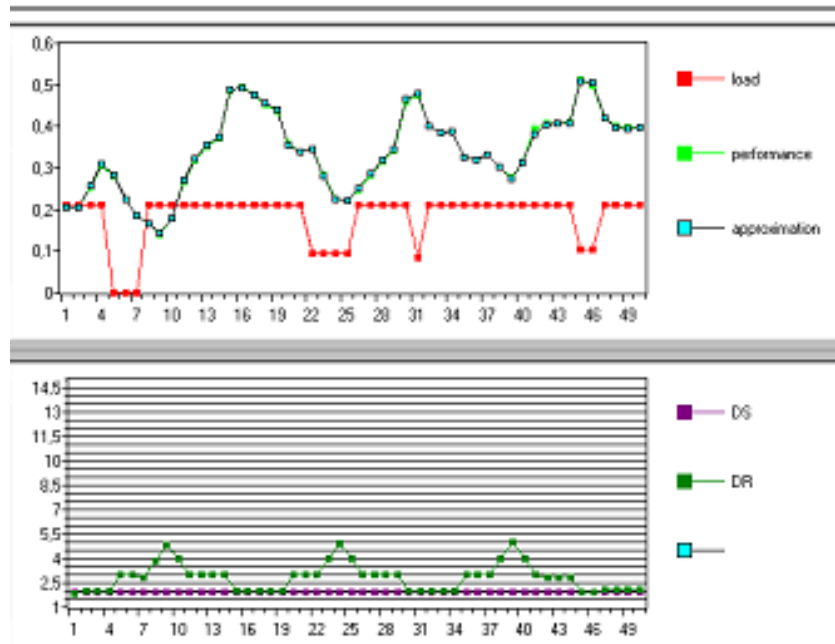


Рисунок 8 – Пример калибровочной процедуры в модели PerPot (Perl, 2001)

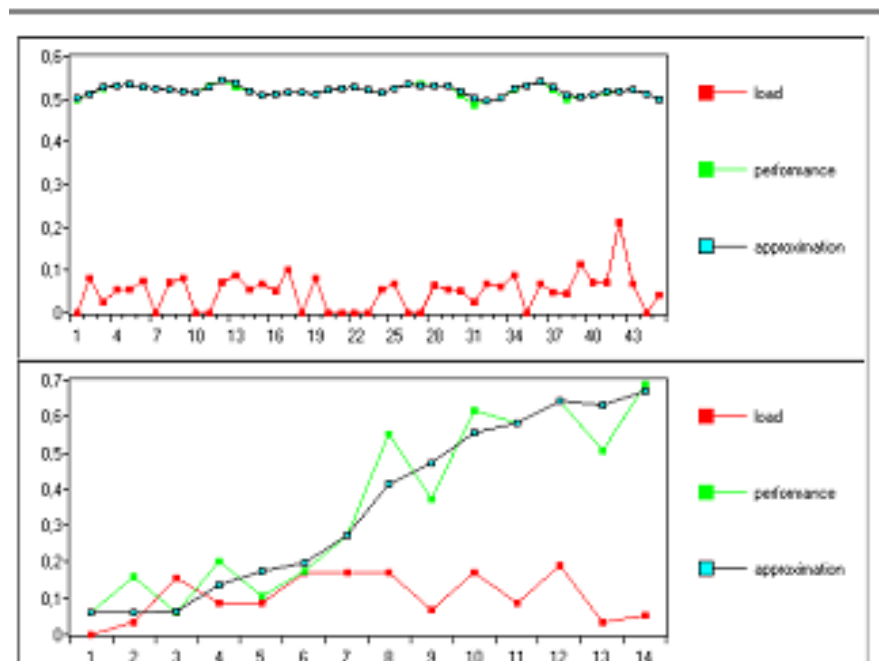


Рисунок 9 – Пример имитационных расчетов в программе PerPot (Perl, 2001)

Главное преимущество, заключающееся в использовании компьютерного моделирования заключается в осуществлении имитационных расчетов (см. рисунок 9). Тренер имеет возможность осуществить проверку разных вариантов тренировочных программ. Благодаря использованию компьютера есть возможность диагностировать наступление «коллапса», т.е.

ситуации, когда уровень тренировочной нагрузки превосходит адаптационный потенциал спортсмена. В этом случае происходит активация острых или хронических заболеваний, наступление травмы, перетренированности (см. рисунок 10).

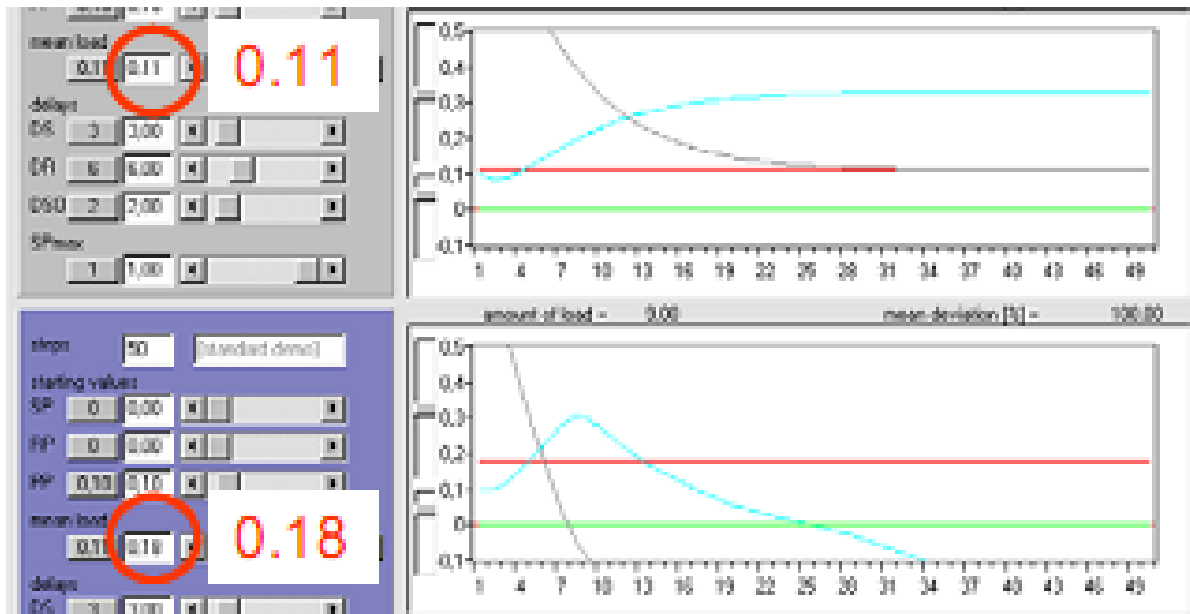


Рисунок 10 – Коллапс, смоделированный моделью PerPot, в результате чрезмерного роста тренировочной нагрузки (Perl, 2001)

Интенсивная соревновательная деятельность может приводить к долговременному спаду спортивных результатов, связанному с эффектами атрофии. Использование имитационного моделирования, также помогает спланировать соревновательную деятельность спортсмена с точки зрения оценки рисков атрофии (см. рисунок 11).

Кроме того, достижение желаемых тренировочных и соревновательных целей, по сути является разновидностью оптимизационной задачи. Использование численных алгоритмов решения задач оптимизации помогает разрабатывать (а не только проверять уже разработанные) тренировочные программы. Пример решения оптимизационной проблемы с помощью генетических алгоритмов представлен на рисунке 12)



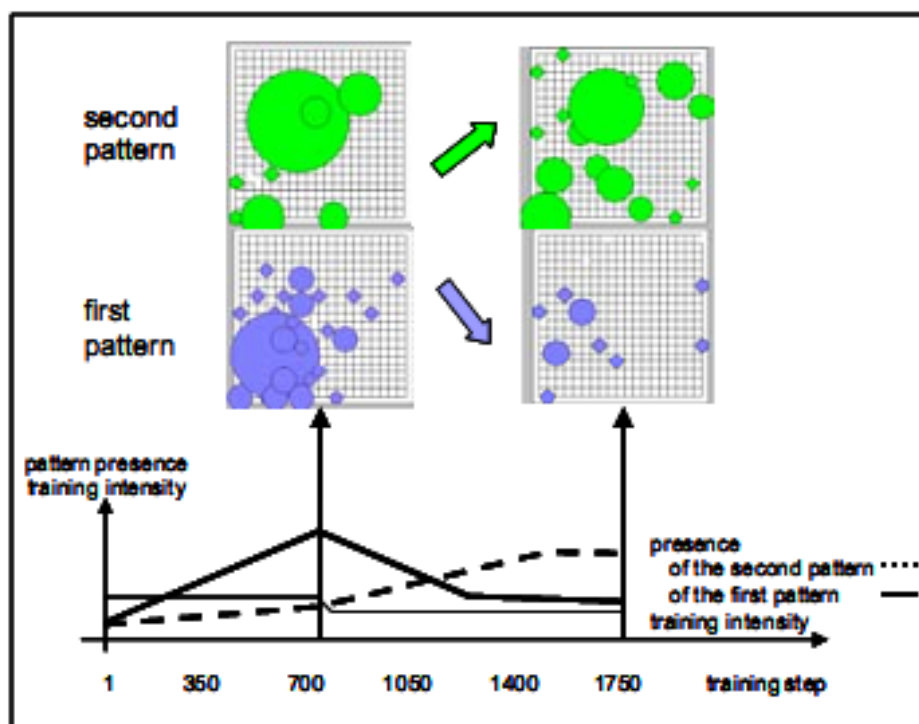


Рисунок 11 - Компьютерное моделирование эффектов атрофии в условиях интенсивной соревновательной деятельности (Perl, 2002)

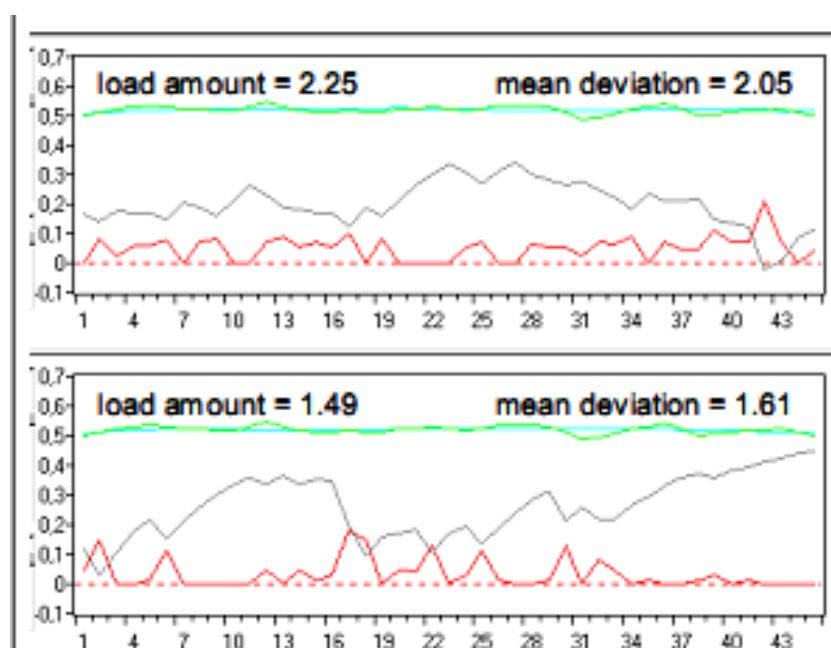


Рисунок 12 - Пример решения оптимизационной проблемы с помощью генетических алгоритмов (Perl, 2001)

Модель строится по определенным правилам. Непонимание этих правил может иногда приводить к неправильной интерпретации результатов

компьютерного моделирования. Важной частью комплексов, реализующих модельные расчеты для тренировочного процесса, является объясняющая часть, помогающая тренеру увидеть взаимодействие переменных модели, их совместное влияние на некоторые процессы (см. рисунки 13, 14, 15). В частности к объясняющей части модели относится анализ адаптационного профиля спортсмена.

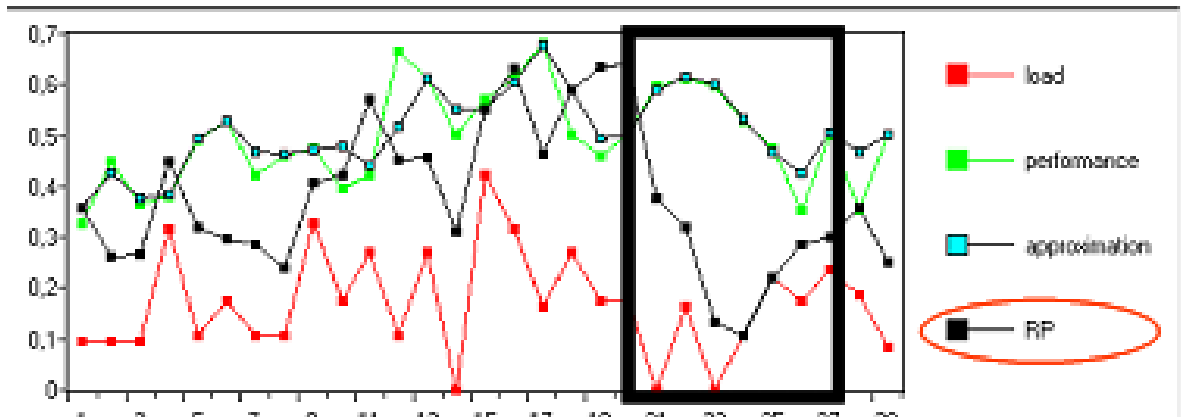


Рисунок 13 - Специфический адаптационный профиль обуславливает нижнюю границу адаптационного ответа – слишком малая нагрузка не вызывает адаптационных перестроек в организме спортсмена (Perl, 2001)

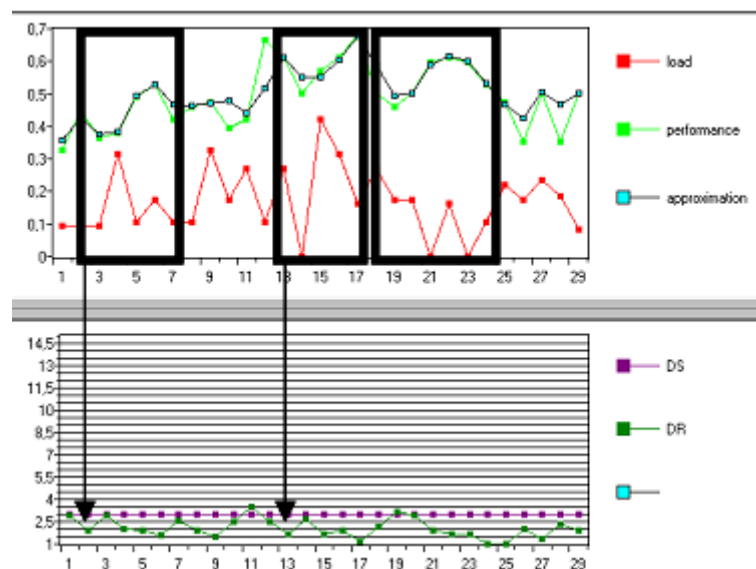


Рисунок 14 - Взаимосвязи между лагами и запаздывающими величинами в метамодели PerPot, как часть анализа адаптационного профиля спортсмена (Perl, 2001)

Наконец, компьютерный анализ позволяет увидеть и проанализировать важные характеристики самого тренировочного процесса, разворачивание во времени действия тренировочных эффектов, их закономерности (см. рисунок 16, 17).

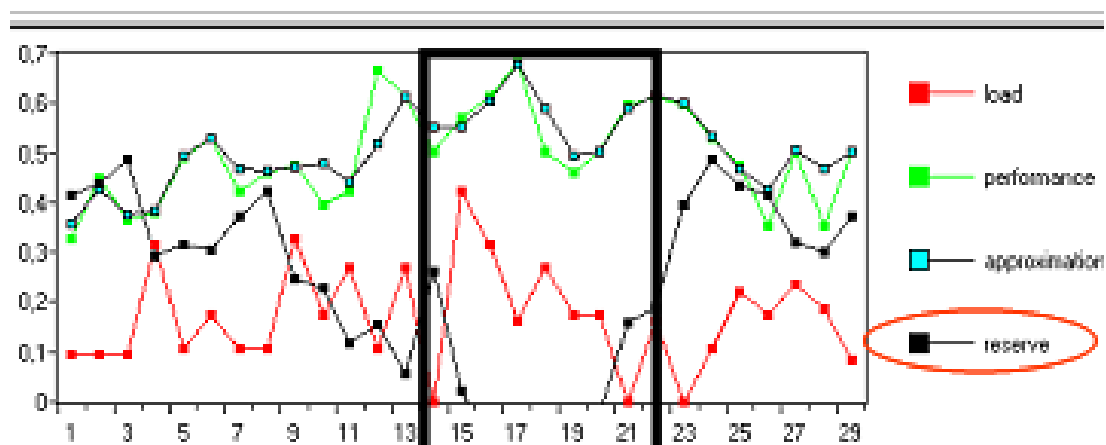


Рисунок 15 – Анализ адапционного профиля спортсмена помогает увидеть скрытый коллапс (Perl, 2001)

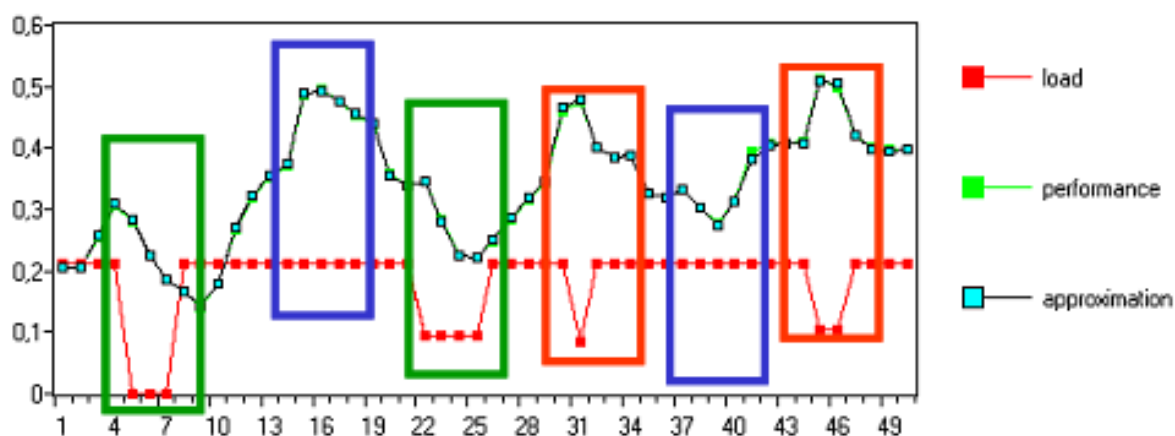


Рисунок 16 – Корреляция между тренировочной нагрузкой и спортивными результатами (Perl, 2001)

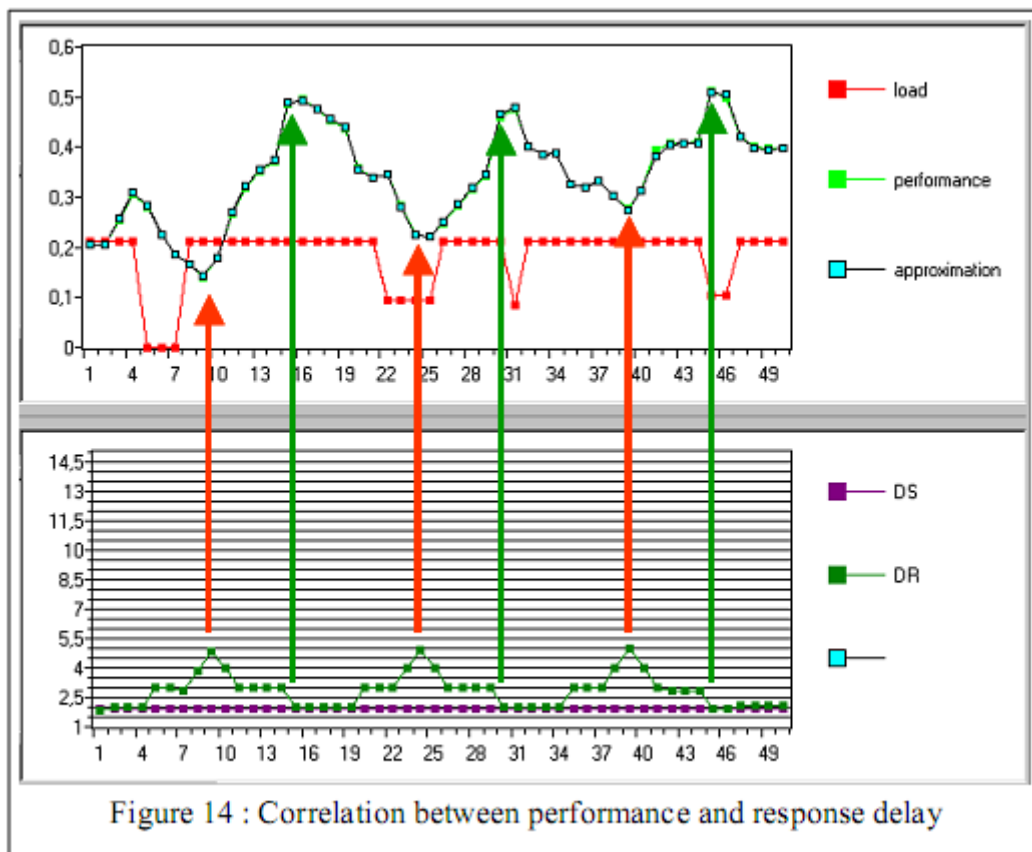


Рисунок 17 – Корреляция между спортивными результатами и отсроченным тренировочным эффектом (Perl, 2001)

Использование специализированных программных продуктов и пакетов не обязательно. Представленные в данных рекомендациях математические модели могут быть с легкостью реализованы на том или ином программном языке (C++, C#); специализированном пакете для имитационного моделирования (MatLab, AnyLogic), и даже в программе MS Excel, где также заложены возможности использования численных методов оптимизации, необходимые для процедур калибровки модели (см. рисунок 18).

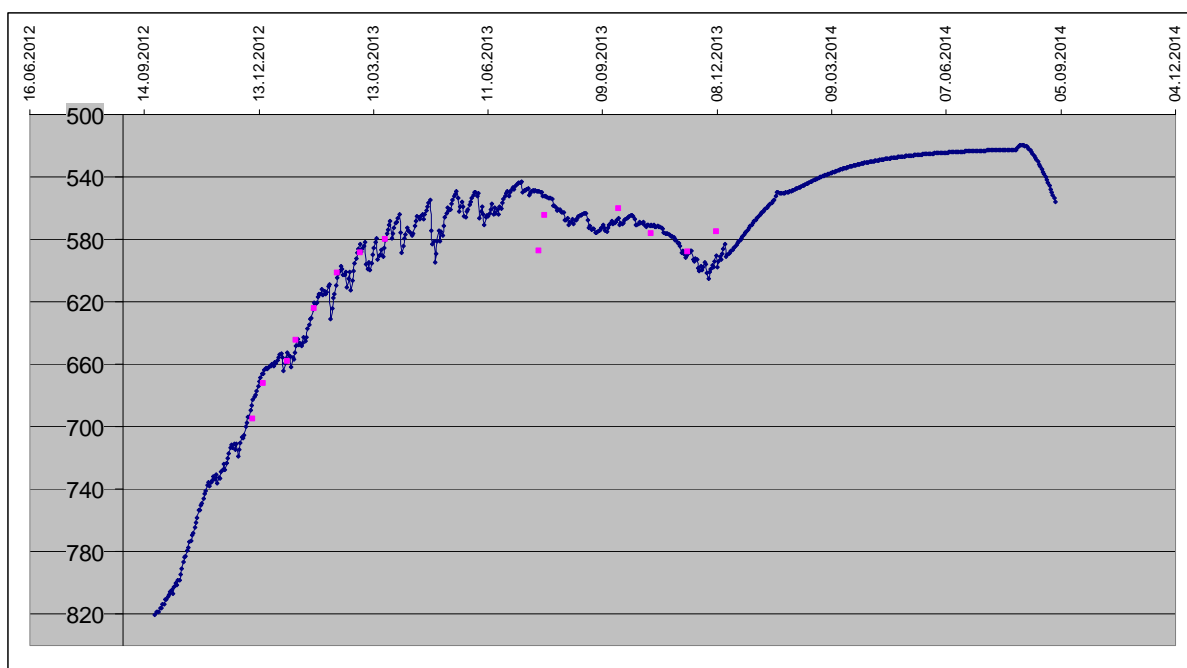


Рисунок 18 – Компьютерное моделирование динамики спортивной формы в среде MS Excel

Таким образом, использование компьютерного моделирования динамики спортивной формы помогает в исследовании тренировочной программы с точки зрения оценок рисков «коллапса», атрофии в результате слишком высокой интенсивности соревновательного периода, идентификации периодов повышенной работоспособности и т.п. Далее имитационное моделирование помогает разрабатывать тренировочные программы с точки зрения достижения некоторых желательных тренировочных и соревновательных задач. Также процедуры, используемые в компьютерном моделировании, позволяют выявить индивидуальные особенности, характеризующие адаптационный профиль спортсмена.

Кроме того, математическое и компьютерное моделирование помогает в исследовании различных вариантов заключительной части подготовки к соревнованиям («подводки»), что является предметом рассмотрения следующего параграфа.

## 4. Исследование «подводки» при помощи математического моделирования

Подготовка рекомендаций по выводу спортсмена на пик формы к моменту главного старта сезона является одной из главных задач в использовании имитационного моделирования в видах спорта ан выносливость. В частности тренер нуждается в знании определенных параметров «подводки», а именно (Le Meur et al., 2012; Mujika, 2009):

- 1) продолжительность «подводки»;
- 2) необходимость (или отсутствие необходимости) ударных микроциклов перед началом «подводки»;
- 3) форма «подводки» (ступенчатая, линейная и др.);
- 4) величина сброса нагрузка в течение «подводки», а также за счет каких именно компонент можно снижать тренировочную нагрузку в течении «подводки» (объем, интенсивность, частота).

Хотя на сегодня и существует конвенциональное знание ответов на эти вопросы, но тренер, работающий с элитным спортсменом, нуждается не просто в информации, что подводка должна длиться от 7 до 30 дней. Тренеру нужна информация о том, как достичь пика формы на Олимпийских Играх для конкретного спортсмена имярек. Такую возможность дает математическое моделирование.

Основная методика исследования подводки была изложена в работе (Thomas and Busso, 2005). Была использована модель доза-ответ с изменяющимися параметрами во времени.

На рисунке 19, 20, 21 представлен пример исследования, которое пыталось дать ответ на вопрос о влиянии продолжительности подводки и размера снижения нагрузки, а также влияние предшествующего ударного микроцикла для ступенчатого характера заключительной части подготовки к соревнованиям.

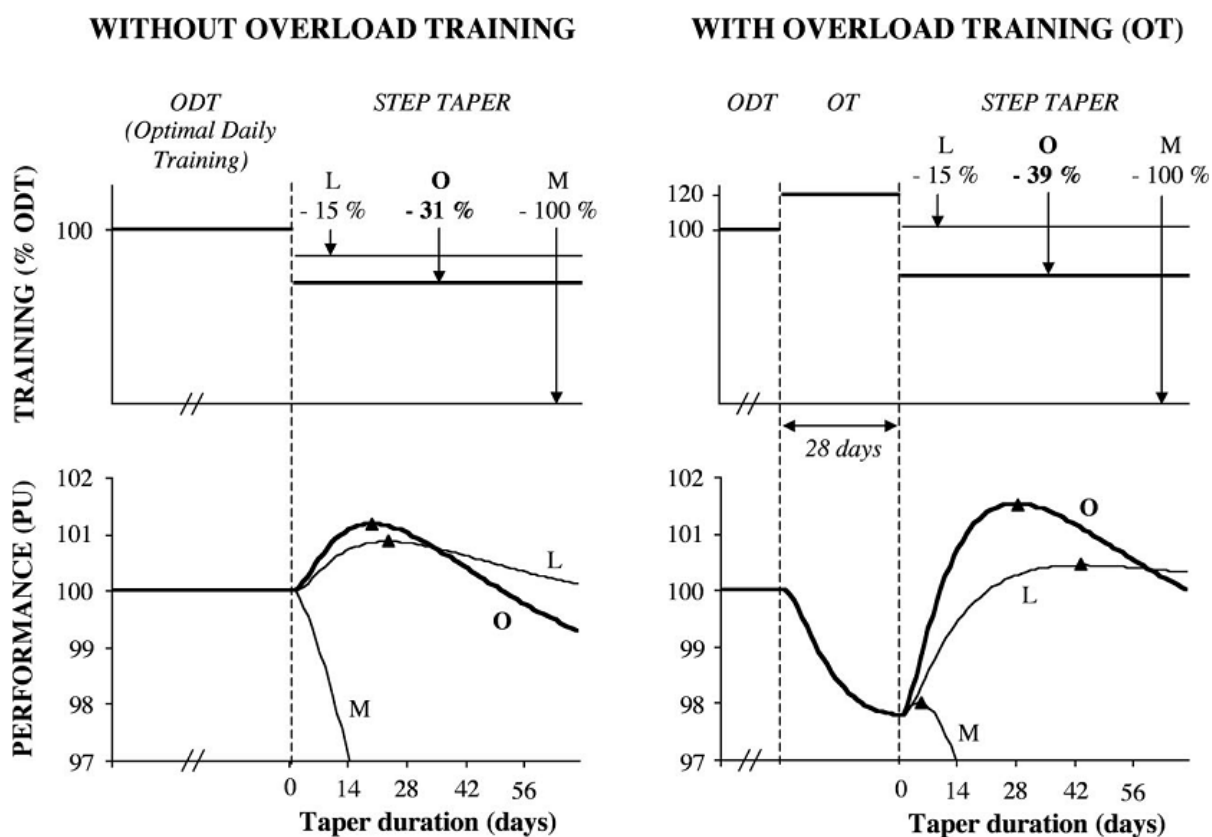


Рисунок 19 – Эффект снижения тренировочной нагрузки L – низкое (-15%), O – оптимальное (-31 или -39%), M – максимальное (100%, т.е. без тренировок) (Thomas and Busso, 2005); taper duration – продолжительность подводки; ODT – оптимальная дневная тренировочная нагрузка, Step taper – ступенчатая подводка, performance – спортивные результаты.

Левая часть графика описывает тренировочную программу без ударного микроцикла перед началом подводки, а правая часть – с ударным блоком в 28 дней перед началом подводки. На рисунке можно видеть, что наличие ударного блока тренировок перед началом подводки повышает уровень спортивных результатов, но требует большей величины сброса нагрузки. Кроме того, блока повышенных тренировок требует более продолжительной подводки. Наконец, полное прекращение тренировок является худшей стратегией подводки.

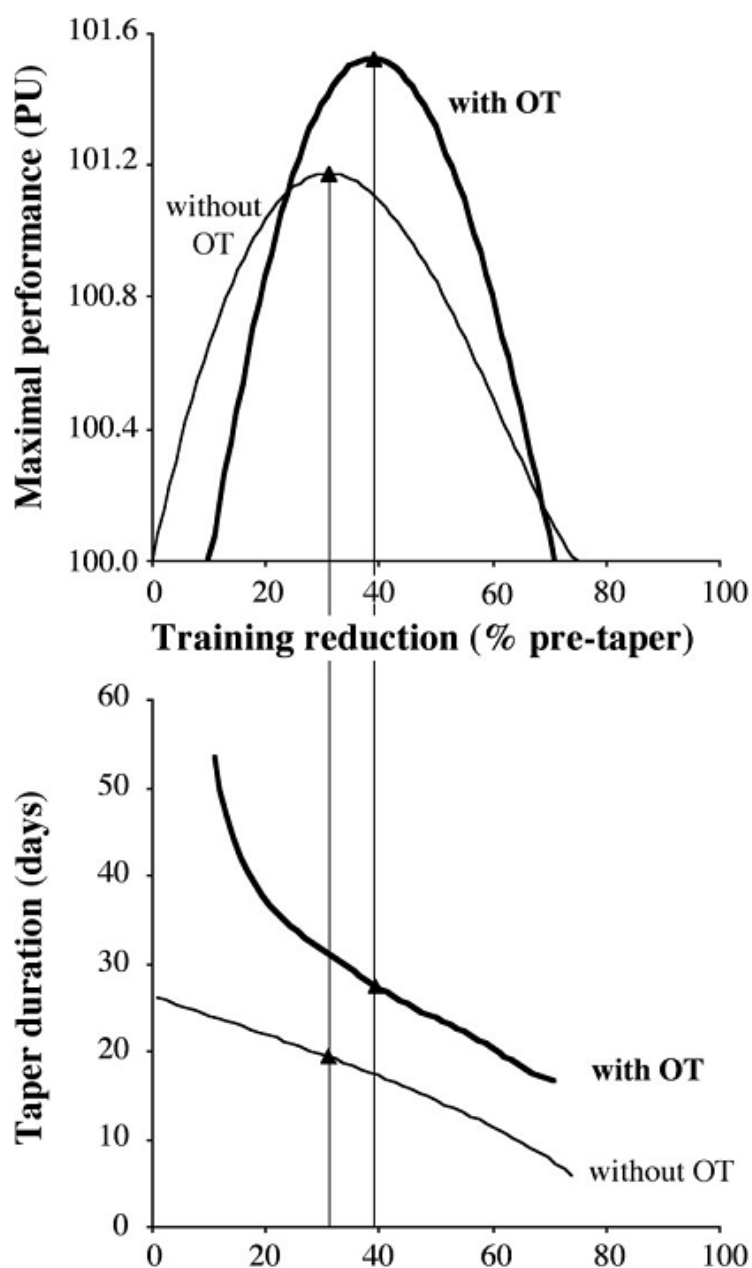


Рисунок 20 – Эффект величины сброса нагрузки (верхний график) и продолжительности ступенчатой подводки (нижний график) (Thomas and Busso, 2005)

Данный рисунок позволяет оценить величину наилучшего сброса нагрузки и продолжительности (в днях) подводки (taper duration).

Для расчетов, по которым составлены рисунки 19, 20 использовался спортсмен с адаптационным профилем  $\tau_1=31$  дней,  $\tau_2=17$  дней,  $\tau_3=2,5$  дня,  $k_1=0,026$ ,  $k_3=0,000021$ .



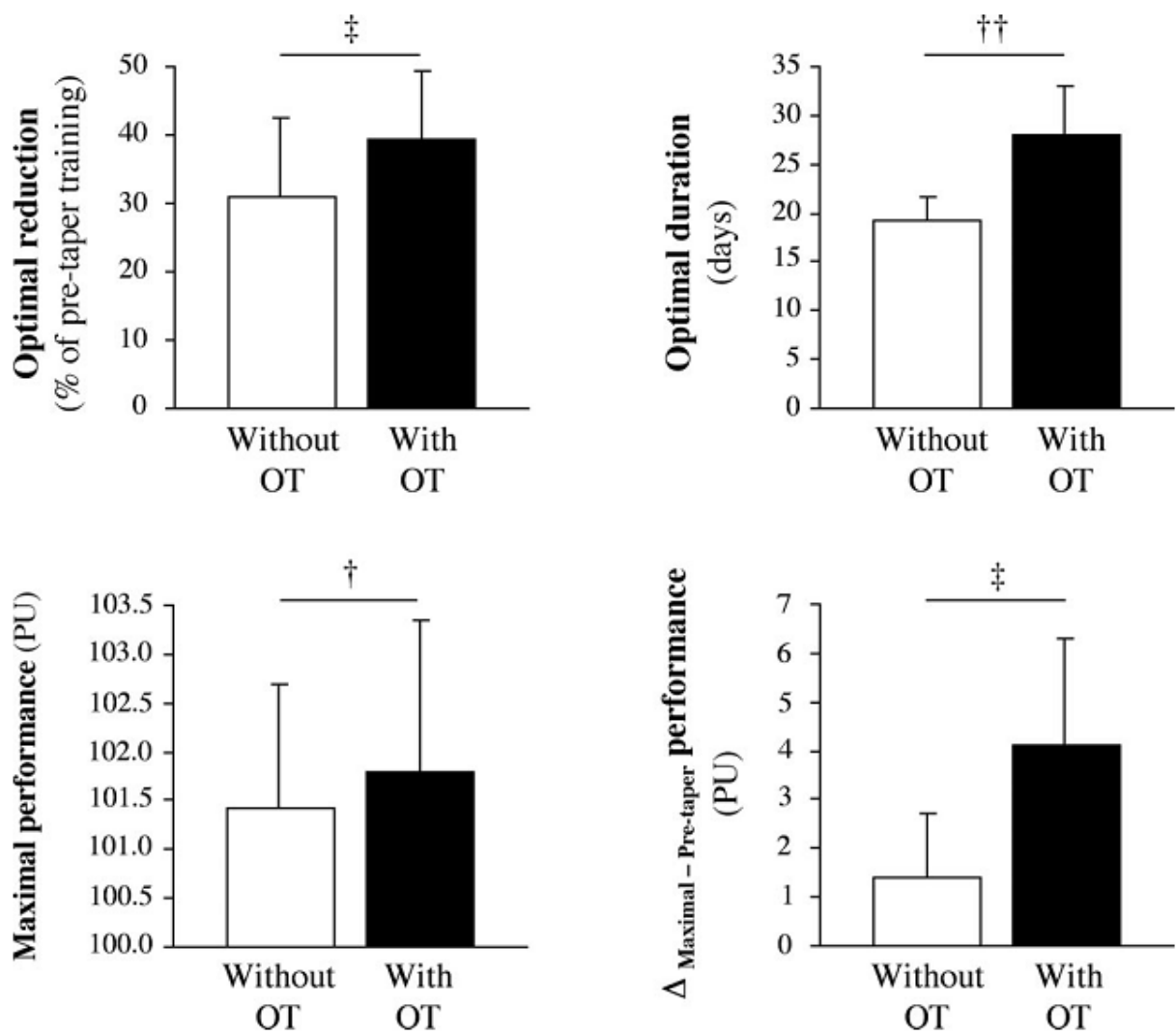


Рисунок 21 - Эффекты тренировок до начала подводки (наличие (with OT) или отсутствие (without OT) предварительного ударного блока тренировок на оптимальные характеристики ступенчатой подводки (Thomas and Busso, 2005), +p < 0.05, ++ p < 0.001

На рисунке 6.3 данные выводы получили свое подтверждение на основе использования методов математического моделирования для группы спортсменов. Величины оптимального снижения (optimal reduction), оптимальной продолжительности (optimal duration) представлены на графике.

Кроме того, данное исследование (Thomas and Busso, 2005) не выявило статистически значимых различий между ступенчатой и прогрессивной подводкой.

Одна из последних работ в данном направлении представлена работой (Thomas et al., 2009). Авторы попытались охарактеризовать двухэтапную подводку с небольшим увеличением нагрузки в конце подводки (3 дня до главного старта). Такая ситуация характерна для многих видов спорта на выносливость, ведь часто финальные забеги (заплывы, заезды) предваряют квалификационные раунды соревнований.

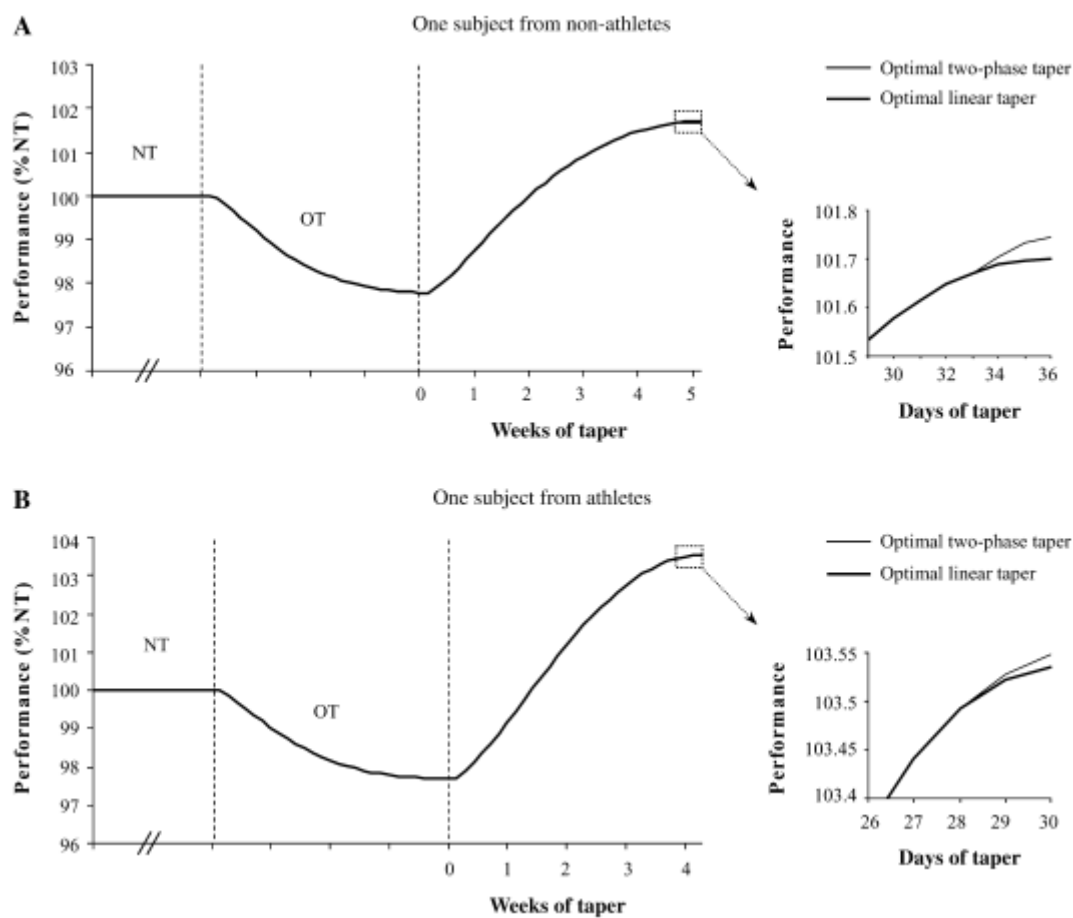


Рисунок 22 – Изменения в спортивных результатах в случае линейной (optimal linear taper) и двухэтапной подводки (optimal two-phase taper) для двух субъектов (Thomas et al., 2009)

Ценность проанализированных в данной работе данных значима, но не велика применительно к элитным спортсменам, ведь каждый из них имеет свой адаптационный профиль. Следовательно, для расчета параметров

идеальной подводки требуется создать индивидуальную модель спортсмена и исследовать ее аналогичным образом.

В случае, если прогнозная динамика спортивной формы в результате реализации предложенного варианта выглядит не удачной, есть возможность проверить идеи по модификации указанной тренировочной программы до тех пор, пока не будет найден удовлетворительный вариант.

## 5. Рекомендации по моделированию спортивной формы элитных спортсменов в видах спорта на выносливость

Анализ спортивной практики элитных спортсменов, а также существующих познаний в области спортивной физиологии позволяет сформулировать несколько важных положений (Kiely, 2012):

- 1) Спортсмены реагируют различно на одно и то же тренировочное занятие.
- 2) Идентичные тренировочные занятия, всегда запускают уникальный адаптационный ответ для данного спортсмена, зависящего от изменяющегося функционального состояния соответствующих подсистем.
- 3) Наблюдения и обобщения, сделанные на основе групп спортсменов, могут приводит к серьезным тренерским ошибкам в случае применения к индивидуальному спортсмену.
- 4) Довольно маловероятно существование «лучших» образцов, временных рамок, схем нагрузок, независимых от тренировочного контекста.

Отсюда вытекает важный вывод о том, что модели динамики спортивной формы позволяют учесть данные нюансы в процессе калибровки.

В данном разделе резюмируются основные практические приложения существующих математических моделей спортивной формы, а также производится оценка сфер их применения.

В рамках традиционной модели банистеровского типа суммарный эффект тренированности и усталости проявляется в состоянии готовности спортсмена на момент времени  $t$ :

$$p(t) = k_1g(t) - k_2h(t)$$

где  $k_1$  и  $k_2$  – показывают влияние текущего состояния тренированности и усталости на спортивные результаты.

Если принять  $i = 1$ ,  $w(t) = \Gamma$  - константа, то получим:

$$p(t) = k_1 \Gamma \left[ \frac{1 - e^{-t/\tau_1}}{1 - e^{-1/\tau_1}} \right] - k_2 \Gamma \left[ \frac{1 - e^{-t/\tau_2}}{1 - e^{-1/\tau_2}} \right]$$

После некоторого начального тренировочного импульса достаточной силы спортивные результаты спортсмена снижаются. С некоторого момента  $t_n$  позитивные перестройки, запущенные данной тренировочной программой начинают превалировать над отрицательными сдвигами, ассоциирующимися с остаточной усталостью. Использование представленного выше подхода к моделированию позволяет получить важную формулу для вычисления момента, когда негативное воздействие тренировки станет достаточно малым и начнется рост спортивных результатов (Morton et al., 1990):

$$t_n = \frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_1 - \tau_2} \ln \left[ \frac{\tau_1 k_2 (1 - e^{-1/\tau_1})}{\tau_2 k_1 (1 - e^{-1/\tau_2})} \right]$$

Так для значений  $\tau_1=49$  дней,  $\tau_2=4$  дня,  $k_1=1$ ,  $k_2=2$ , период  $t_n$  составит 3 дня. Знание данной величины дает тренеру информацию о том, на каком интервале времени для данного спортсмена будет иметь место доминирующее влияние усталости после отдельного тренировочного занятия.

В случае постоянной нагрузки на протяжении достаточно продолжительного времени  $t$  спортивные результаты будут приближаться к следующему расчетному уровню:

$$p(t) = \frac{k_1 T}{1 - e^{-t/\tau_1}} - \frac{k_2 T}{1 - e^{-t/\tau_2}}$$

Если с некоторого периода времени  $t_s$  тренировочные воздействия прекращаются, то динамика спортивных результатов начинает описываться следующей формулой:

$$p(t) = k_1 g(t_s) e^{-t/\tau_1} - k_2 h(t_s) e^{-t/\tau_2}$$

В этом случае прогнозная динамика спортивной формы может быть проиллюстрирована на рисунке 23. Нижняя кривая показывает динамику спортивной формы при непрерывной нагрузке в 100 ТРИМП. Пунктирная линия на графике с числом 2121 показывает максимальный уровень результатов, на который спортсмен может выйти, поддерживая заданный уровень спортивных результатов. Точки с числами (10, 20, 40 и т.д.) показывают момент времени  $t_s$ , в который тренировочные воздействия прекращаются. Кривая линия восходящая от данных точек, а затем стремящаяся к нулю показывает динамику спортивной формы в случае прекращения тренировочных нагрузок в момент времени  $t_s$ .

Дальнейшее развитие данного направления моделирования привело к возникновению так называемых кривых влияния (influence curves) (Fitz-Clarke et al., 1991). Данные кривые обеспечивают ясное понимание того, как определенное тренировочное занятие воздействует на спортивные результаты в будущем. Через так называемые «кривые влияния» можно вычислить параметры оптимального тренировочного плана (Fitz-Clarke et al., 1991). Этот подход ближе к задачам оптимального управления.

Для вывода функциональной зависимости, описывающей кривую влияния, воспользуемся следующей формулой (система нотации аналогична используемой ранее для базовой модели доза-ответ):

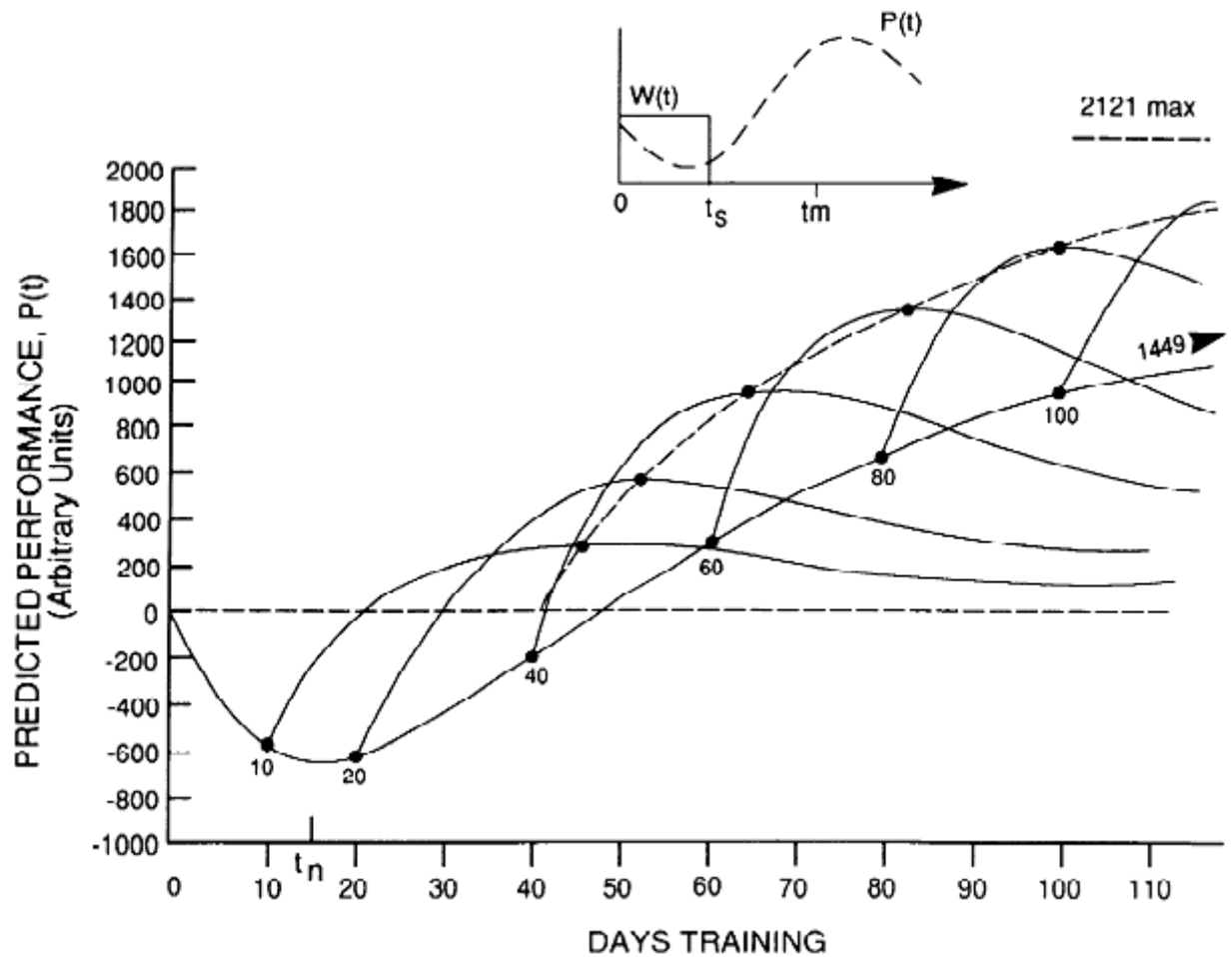


Рисунок 23 – Иллюстративная динамика спортивной формы в условных единицах (predicted performance, arbitrary units) при поддержании тренировочной нагрузки на уровне 100 ТРИМП и последующем ее прекращении в момент времени  $t_s$  (Morton et al., 1990)

$$\begin{aligned}
 p(t_p) &= k_1 g(t_p) - k_2 h(t_p) \\
 &= \int_0^{t_p} [k_1 e^{-(t_p-t)/\tau_1} - k_2 e^{-(t_p-t)/\tau_2}] w(t) dt \\
 &= \int_0^{t_p} L(\mu) w(t) dt
 \end{aligned}$$

где  $p(t_p)$  – спортивный результат в момент времени  $t_p$ ; а  $L$  описывает кривую влияния:

$$L(\mu) = k_1 e^{-\mu/\tau_1} - k_2 e^{-\mu/\tau_2}$$

где  $\mu = t_p - t$  – период времени между прогнозными спортивным результатом в момент времени  $t_p$  и моментом времени  $t$ , когда тренировочная нагрузка началась.

Для соревнований в момент времени  $t_p$  вклад в спортивный результат от тренировочного импульса, полученного в момент времени  $t$ , рассчитывается по формуле кривой влияний.

В практике тренировочные импульсы рассматриваются не как непрерывно распределенная величина, а как серия ежедневных импульсов. В этом случае указанные выше формулы модифицируются для дискретного времени (Fitz-Clarke et al., 1991) и соревновательный результат  $p(t_p)$  будет рассчитываться по одной из следующих формул:

$$= \sum_{i=1}^j [k_1 e^{-(j-i)/\tau_1} - k_2 e^{-(j-i)/\tau_2}] w_i \Delta t$$

$$\sum_{i=1}^j L(\mu_i) w_i \Delta t$$

где  $\Delta t = 1$  день.

Рисунок 24 показывает пример  $p(t_p)$ , определяемого кривой влияния.



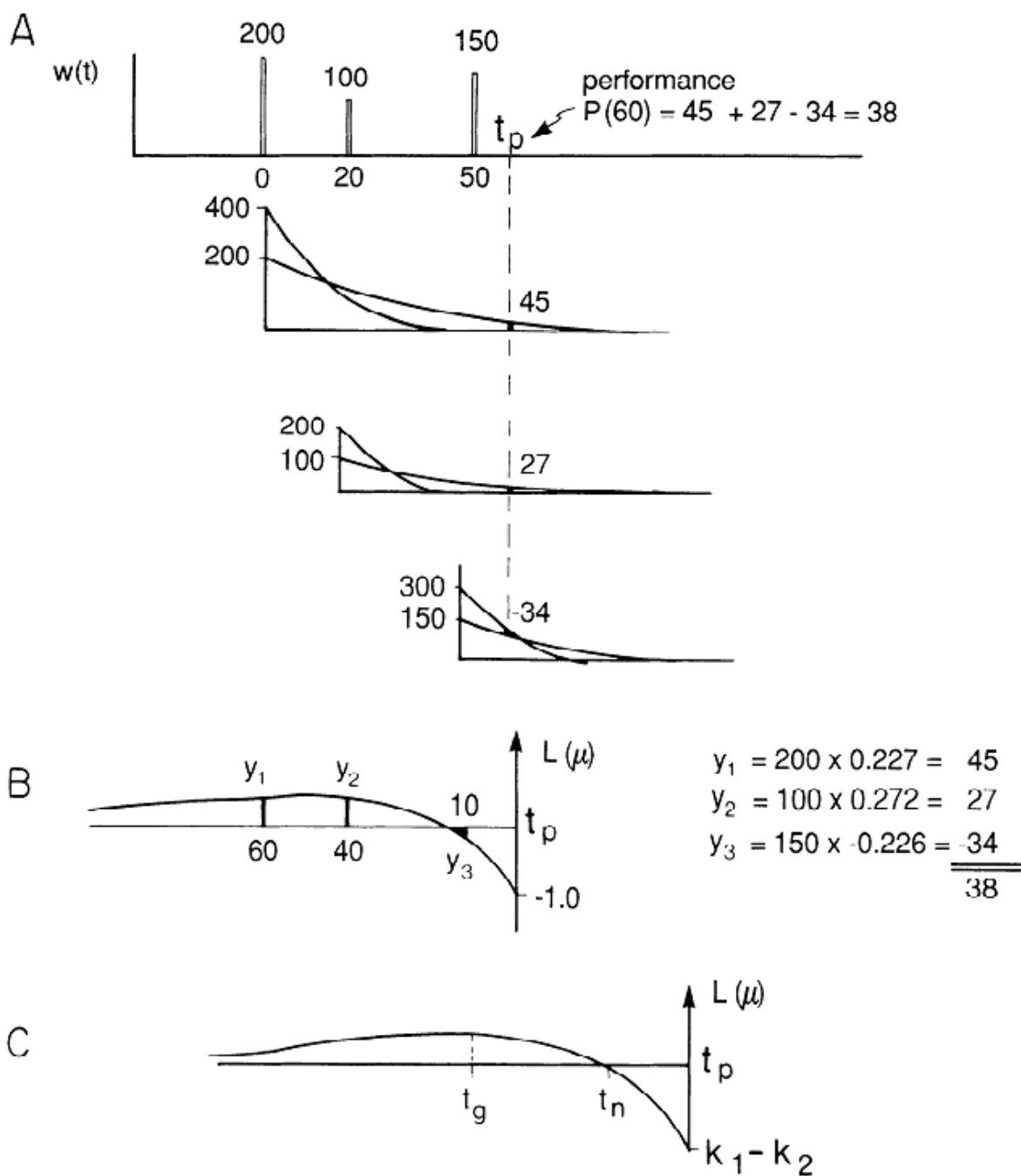


Рисунок 24 – Спортивный результат  $p(t)$  может быть рассмотрен как сумма остаточных эффектов от каждодневных тренировок, предшествующих соревнованиям (Fitz-Clarke et al., 1991)

На рисунке верхний график показывает распределение тренировочной нагрузки по времени. Было осуществлено три тренировочных импульса, величинами 200, 100 и 150 соответственно. От первых двух тренировочных воздействий спортивные результаты в момент времени  $t_p$

испытывают положительное воздействие, расчетное значение которого равно 45 и 27 единиц, соответственно. Однако выполненная нагрузка в момент времени, непосредственно предшествующий соревнованиям, оказывает негативное влияние на спортивный результат -34. Магнитуа непосредственного воздействия на результаты данных тренировочных воздействий определяется величинами  $k_1$  и  $k_2$ . Данные переменные распределяются во времени экспоненциальным образом, как показано на графиках ниже в панели А. Черные области на данных трех графиках обозначают вклад от соответствующей тренировки на спортивный результат в исследуемый момент времени.

Панель В показывает те же эффекты, но взятые применительно к отдельной кривой влияния. Она показывает относительный вклад каждого тренировочного импульса в тренировочные результаты в некоторый специфический момент времени в будущем. Отрицательная область кривой влияния связана с отрицательным воздействием тренировки, предшествующей непосредственному моменту соревнований.

Панель С показывает, что тренировка в момент времени  $t_g$  имеет наилучшее воздействие на будущий соревновательный результат. Соревнования же предпринятые между моментами  $t_p$  и  $t_n$  будут подвержены наибольшему негативному влиянию от предшествующей тренировочной нагрузки (в момент  $t_p$ ). Вид этих кривых влияния зависит от адаптационного профиля спортсмена.

Расчет важных переменных, определяющих оптимальные и негативные моменты для участия в соревнованиях осуществляется по следующим формулам.

Для критического момента  $t_n$  функция  $L = 0$  (Fitz-Clarke et al., 1991):

$$L(\mu) = k_1 e^{-\mu/\tau_1} - k_2 e^{-\mu/\tau_2}$$

$$\frac{k_2}{k_1} = e^{-\mu(1/\tau_1 - 1/\tau_2)}$$

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{\mu(\tau_1 - \tau_2)}{\tau_1 \tau_2}$$

$$\mu = \frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_1 - \tau_2} \ln \frac{k_2}{k_1}$$

Для адаптационного профиля спортсмена, описываемого параметрами  $\tau_1=45$  дней,  $\tau_2=15$  дней,  $k_1=1$ ,  $k_2=2$ , данная величина составит:

$$\mu = \frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_1 - \tau_2} \ln \frac{k_2}{k_1} = 16 \text{ days}$$

В тоже время исчисленный момент наибольшего благоприятствования соревновательному результату от выполненной ранее тренировочной нагрузки будет вычисляться следующим образом (Fitz-Clarke et al., 1991),  $dL/d\mu = 0$  отсюда:

$$\frac{dL}{d\mu} = -\frac{k_1 e^{-\mu/\tau_1}}{\tau_1} + \frac{k_2 e^{-\mu/\tau_2}}{\tau_2} = 0$$

$$\frac{k_2 \tau_1}{k_1 \tau_2} = e^{-\mu(1/\tau_1 - 1/\tau_2)}$$

$$\mu = \frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_1 - \tau_2} \ln \frac{k_2 \tau_1}{k_1 \tau_2}$$

Приведем пример расчета для аналогичного адаптационного профиля:

$$\mu = \frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_1 - \tau_2} \ln \left( \frac{k_2 \tau_1}{k_1 \tau_2} \right) = 40 \text{ days}$$

Таким образом, осуществив необходимые калибровочные процедуры и вычислив адаптационный профиль спортсмена, тренер получает возможность рассчитать по указанным выше формулам два числа – время за которое определенная тренировка будет оказывать негативное влияние на спортивные результаты ( $t_n = 16$  дней в приведенном выше примере), и момент времени, который ассоциируется с максимальным вкладом данной тренировки в спортивный результат ( $t_g = 45$  дней в приведенном выше примере). Для элитных спортсменов эти величины, как правило, меньше и могут составить, например, 1-2 дня негативного воздействия, и 11 дней, через который максимальный эффект определенной тренировки для соревновательного результата достигнет своего пика.

На примере базовой модели банистеровского типа рассмотрим, как указанный аппарат может быть использован для планирования тренировочных стратегий.

Предположим, что спортсмен выполняет некоторую нагрузку до момента времени  $t_s$ , после чего данная нагрузка прекращается (снижается в общем случае), см. рисунок 25.

Кривая влияния показывает, как должна быть расположен момент прекращения нагрузки относительно момента будущего старта. Длина плато прекращения нагрузки относительно момента будущего старта. Длина плато показывает продолжительность периода «успешных» дней  $t_s$ . На рисунке видно, что длина плато зависит от продолжительности периода предыдущих тренировок.

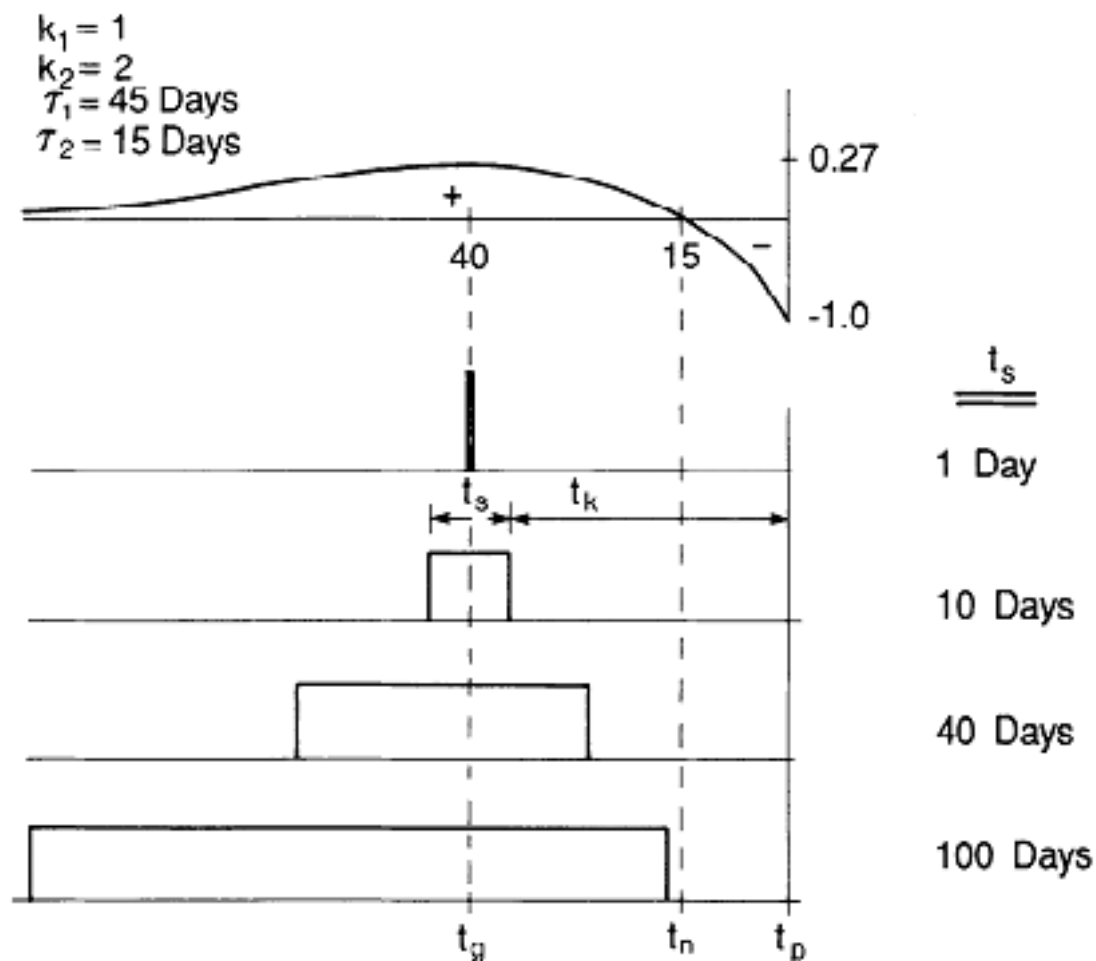


Рисунок 25 – Пиковые спортивные результаты, полученные при выполнении равномерной тренировочной программы, и ее последующем прекращении при разной продолжительности предшествующей тренировочной программы (1, 10, 40, 100 дней) (Fitz-Clarke et al., 1991)

Однако потенциал кривых влияния не исчерпан приведенными выше примерами и расчетами.

Сформулированные в рамках данного подхода переменные «положительное влияние» и «отрицательное влияние» (Busso et al., 1994; Mujika et al., 1996a) показали высокую эффективность в моделировании тренировочного процесса и объяснении временных характеристик тренировочных нагрузок.

Функция влияния определенной тренировки на будущие результаты выглядит следующим образом:

$$I(i/n) = k_1 w_i e^{-(n-i)/\tau_1} - k_2 w_i e^{-(n-i)/\tau_2}$$

где  $i$  – индекс, показывающий день, в который была выполнена тренировка,  $n$  – день спортивные результаты которого измеряются с точки зрения нагрузки в день  $i$ . Сама функция  $I(i/n)$ , таким образом, измеряет воздействие тренировки в день  $i$  на результаты в день  $n$ .

Любая тренировка, превосходящая нижний порог интенсивности спортсмена, вызывает некоторый начальный спад результатов (он может исчисляться часами или днями в зависимости от силы стрессового воздействия тренировки на организм спортсмена). Спустя некоторое время негативное влияние утомления элиминируется, а позитивный ответ спортсмена на биологический сигнал позволяет, начиная с момента времени  $t_n$ , приводить к росту результатов. Функция «негативного влияния»,  $NI$ , вычисляется следующим образом (Busso et al., 1994):

$$NI_n = \sum_{i=1}^{n-1} |I(i/n)|, \quad I(i/n) < 0$$

Позитивное влияние тренировок в день  $n$  также может быть вычислено. Из прогнозного значения спортивного результата в день  $n$  вычитается  $NI$ :

$$PI_n = \hat{p}_n + NI_n$$

Пример расчета величин влияния для профиля спортсмена  $\tau_1=45$  дней,  $\tau_2=15$  дней,  $k_1=1$ ,  $k_2=2$ ; продолжительность предшествующих тренировок 60 дней, а тренировочная нагрузка поддерживалась на уровне 100 единиц, после чего последовал период отдыха в 20 дней. В итоге, позитивное

влияние составило 2095 условных единиц, негативное влияние 746 единиц, а расчетный результат  $p = 2095 - 746 = 1349$  условных единиц.

Графическая иллюстрация PI и NI представлена на рисунках 26 и 28. NI показывает начальное снижение результатов, а PI – фазу суперкомпенсации.

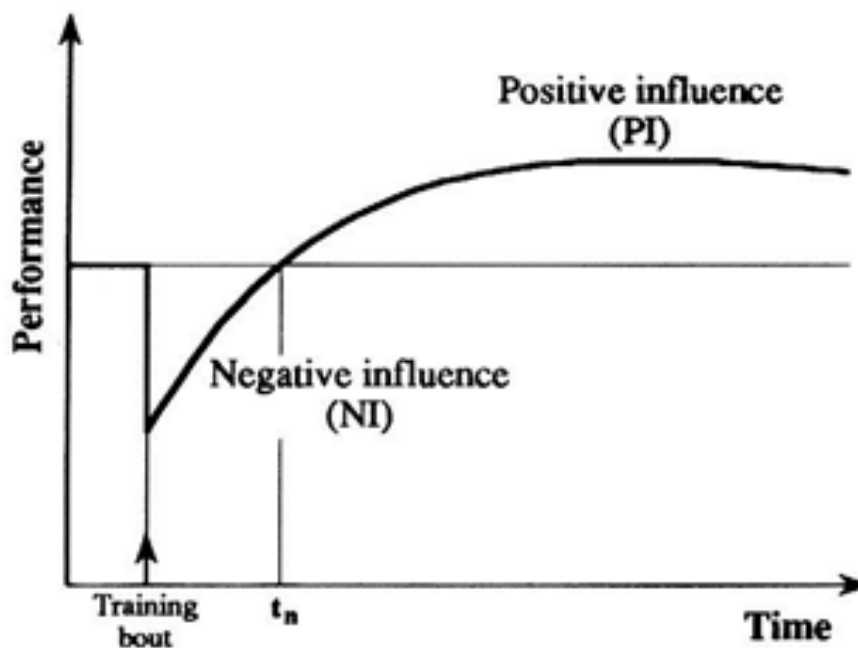


Рисунок 26 – Схематическое представление негативного влияния (NI) и положительного влияния (PI) после тренировочного занятия (training bout) (Mujika et al., 1996a); performance обозначает спортивные результаты, time – время

При этом NI и PI лучше объясняют происходящие вариации в спортивных результатах, нежели динамика традиционные слагаемые в передаточной функции - функций утомления (NF) и тренированности (PF), см. рисунок 27. На рисунке конфигурация PI практически совпадает с конфигурацией кривой спортивных результатов. То есть NF и PF отражают немедленный ответ со стороны различных систем организма, отвечающих или за процессы утомления (накопление метаболитов, падение уровня pH, истощение энергетических запасов, разрушение физиологических структур и

т.д.), или за процессы прироста тренированности (адаптации в сердечнососудистой системе, нейромышечные, метаболические, морфологические перестройки). А переменные NI и PI представляют цельную картину динамики тренированности с учетом эффектов запаздывания (см. рисунок 28). На рисунке: model functions – модельные функции, training influences – влияние тренировок (негативные или позитивное).

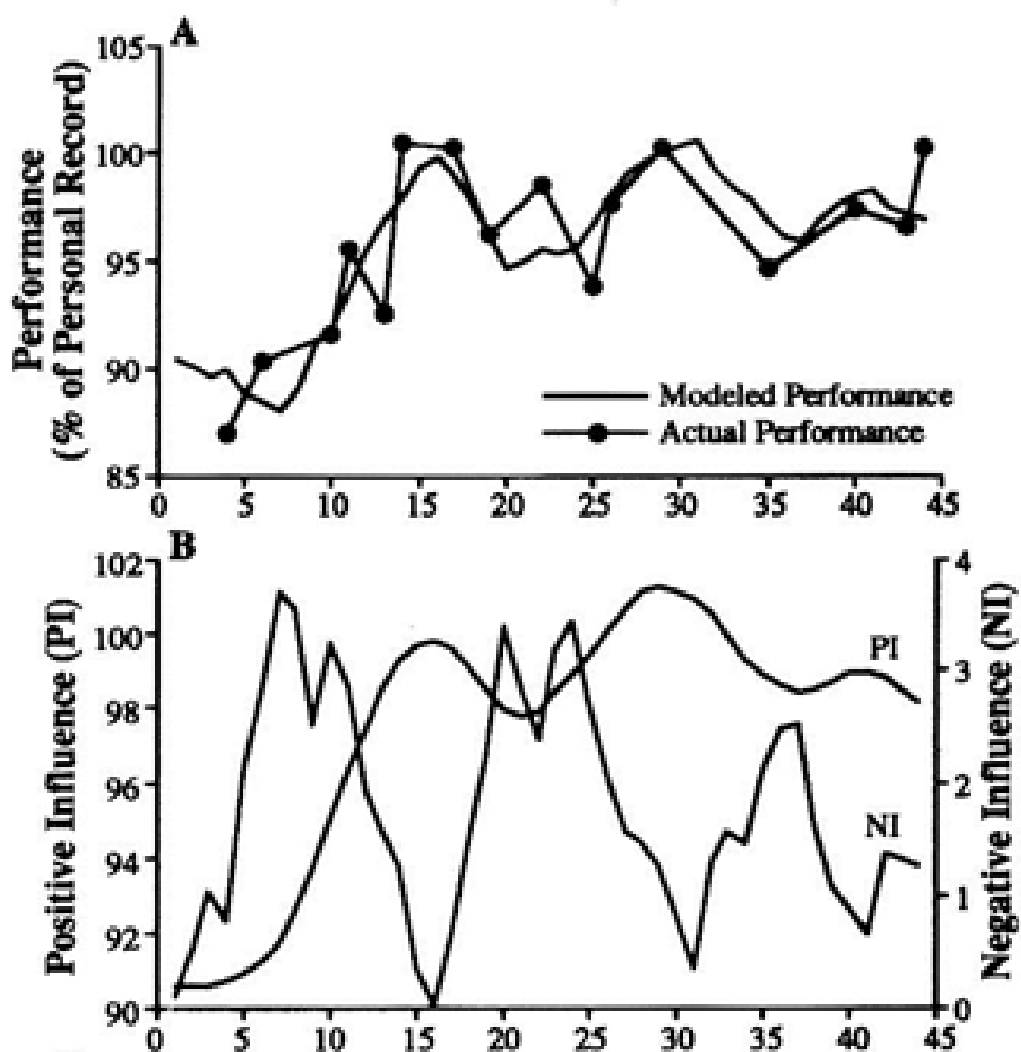


Рисунок 27 - Пример использования аппарата положительного и отрицательного влияния (positive и negative influence) на спортивные результаты (performance) (Mujika et al., 1996a); modeled performance – смоделированные прогнозные спортивные результаты, actual performance – фактические спортивные результаты



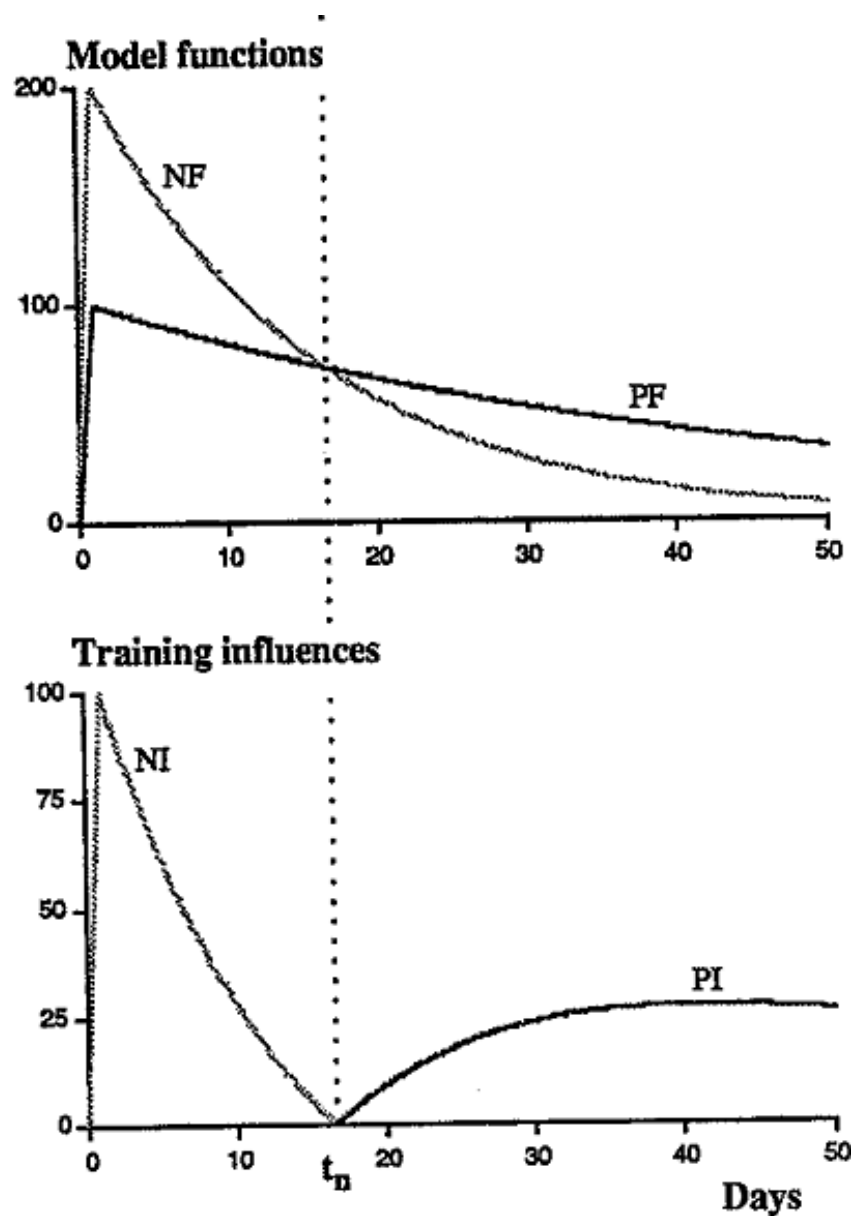


Рисунок 28 – Ответ на тренировочный импульс в 100 ТРИМП в день  $t = 0$  в рамках базовой модели «доза-ответ» (профиль спортсмена  $k_1 = 1$ ,  $k_2 = 2$ ,  $\tau_1 = 45$ ,  $\tau_2 = 15$ ) (Busso et al., 1994)

Как еще можно использовать рассмотренный аппарат кривых влияния? См. рисунок 29.

На рисунке показано, что кривая влияния может сдвигаться во времени и служить своеобразным шаблоном мониторинга спортивных результатов в разные моменты времени.

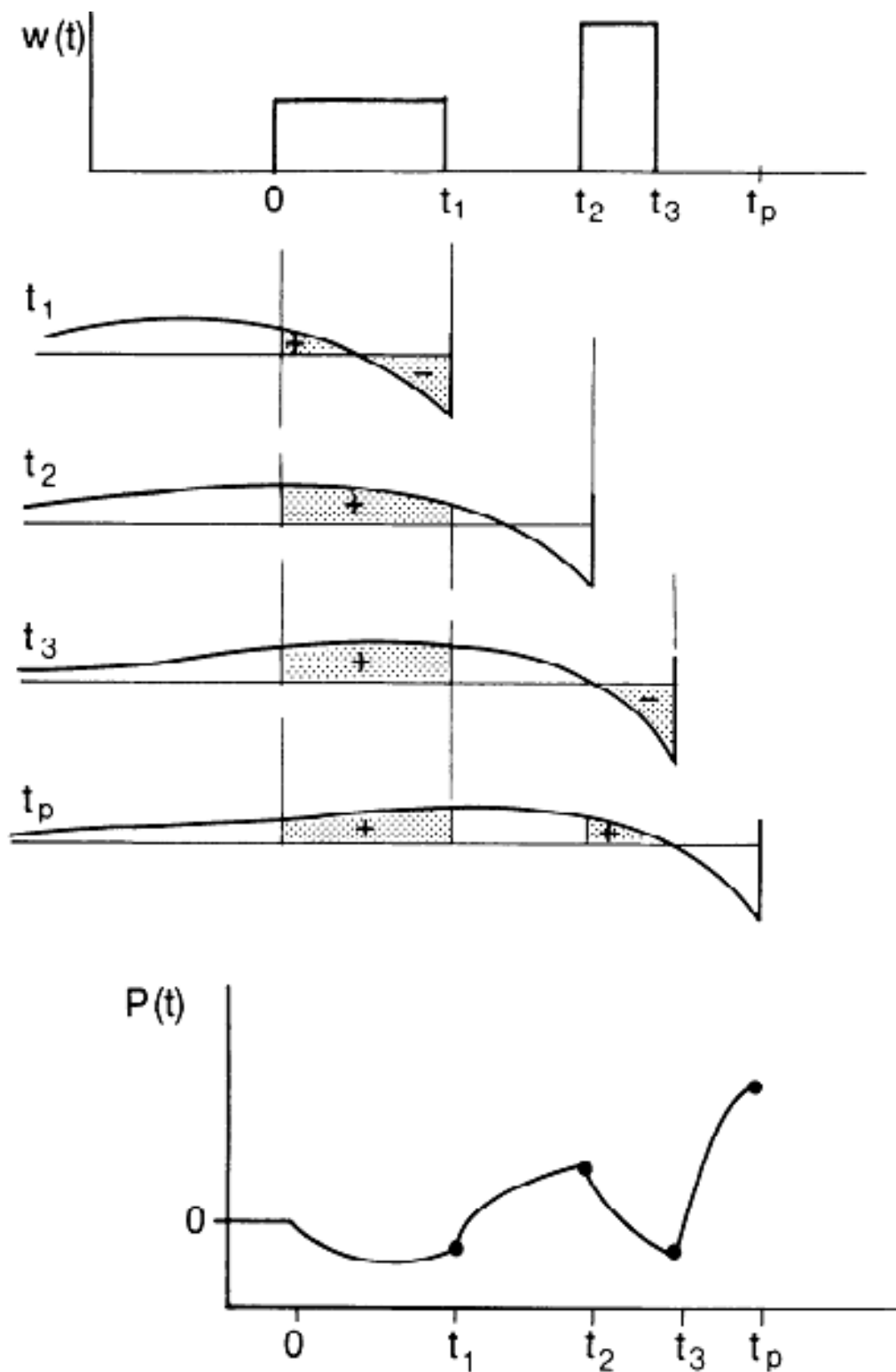


Рисунок 29 – Использование кривых влияния как шаблона мониторинга спортивных результатов в моменты времени  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_p$  (Fitz-Clarke et al., 1991)

В приведенном выше графическом примере тренировочная нагрузка осуществляется в два периода времени от 0 до  $t_1$  и от  $t_2$  до  $t_3$ .

Указанные тренировочные импульсы сложным образом суммируются, накладываясь друг на друга. Кривые влияния позволяют оценить характер этого кумулятивного воздействия на спортивные результаты.

Наконец, кривые влияния могут быть использованы для оценки влияния тренировочных нагрузок на несколько соревнований (см. рисунок 30).

Предсказания базовой модели таковы, что глобальный пик идеальной спортивной формы может быть достигнут однажды, так как требует некоторого периода отдыха (сниженной нагрузки). Значит, поиск вариантов тренировочных программ с несколькими пиками формы является сложной задачей, требующей некоторых компромиссов. Кривые влияния показывают направление в поисках лучшего компромисса. На рисунке мы видим два равноценных соревнования P1 и P2. Две кривые влияния ниже показывают идеальной ситуации для отдельно соревнования P1 и соревнования P2. Однако в случае оптимизации тренировочной программы для P1 ряд позитивных адаптаций, необходимых для успешной соревновательной деятельности в P2 уже будет утрачен. В тоже время выход на глобальный пик P2 также не подходит с точки зрения того, что сброс нагрузки должен произойти лишь незадолго до начала соревнований P1, что не позволит выступить на высоком уровне. В общих терминах лучшая стратегия заключается в тренировках в негативной зоне первой кривой влияния (обозначена в панели В пунктиром), что принесет некоторое снижение результата в соревнованиях P1, но позволит выступить на высоком уровне и на соревнованиях P2. Знание конкретного адаптационного профиля дает возможность от общих рассуждений перейти к численным расчетам даже более сложных соревновательных периодов (см. рисунок 31).

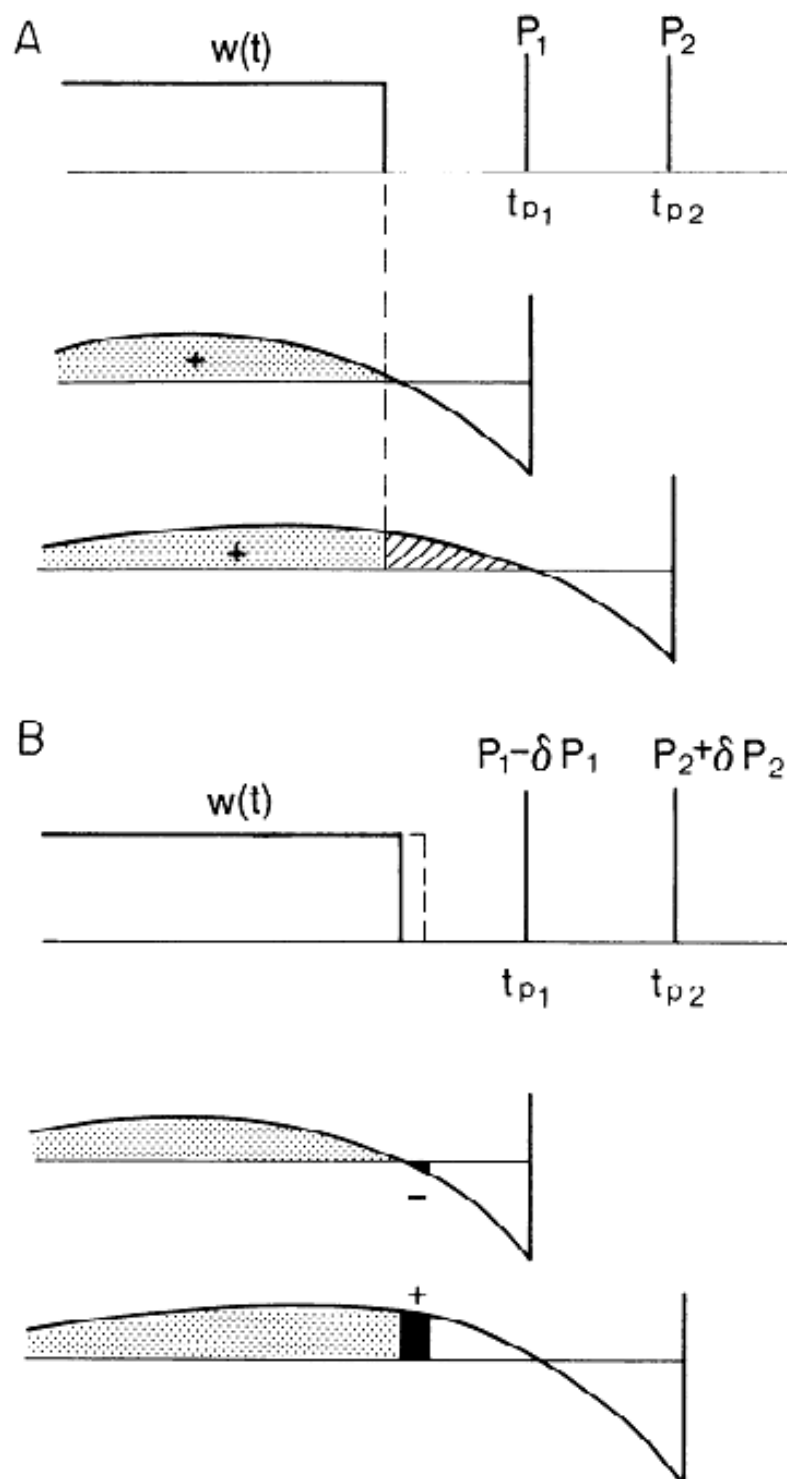


Рисунок 30 – Использование кривых влияния для расчетов тренировочных стратегий, направленных на оптимизацию соревновательных результатов в случае двух состязаний  $P_1$  и  $P_2$  (Fitz-Clarke et al., 1991)

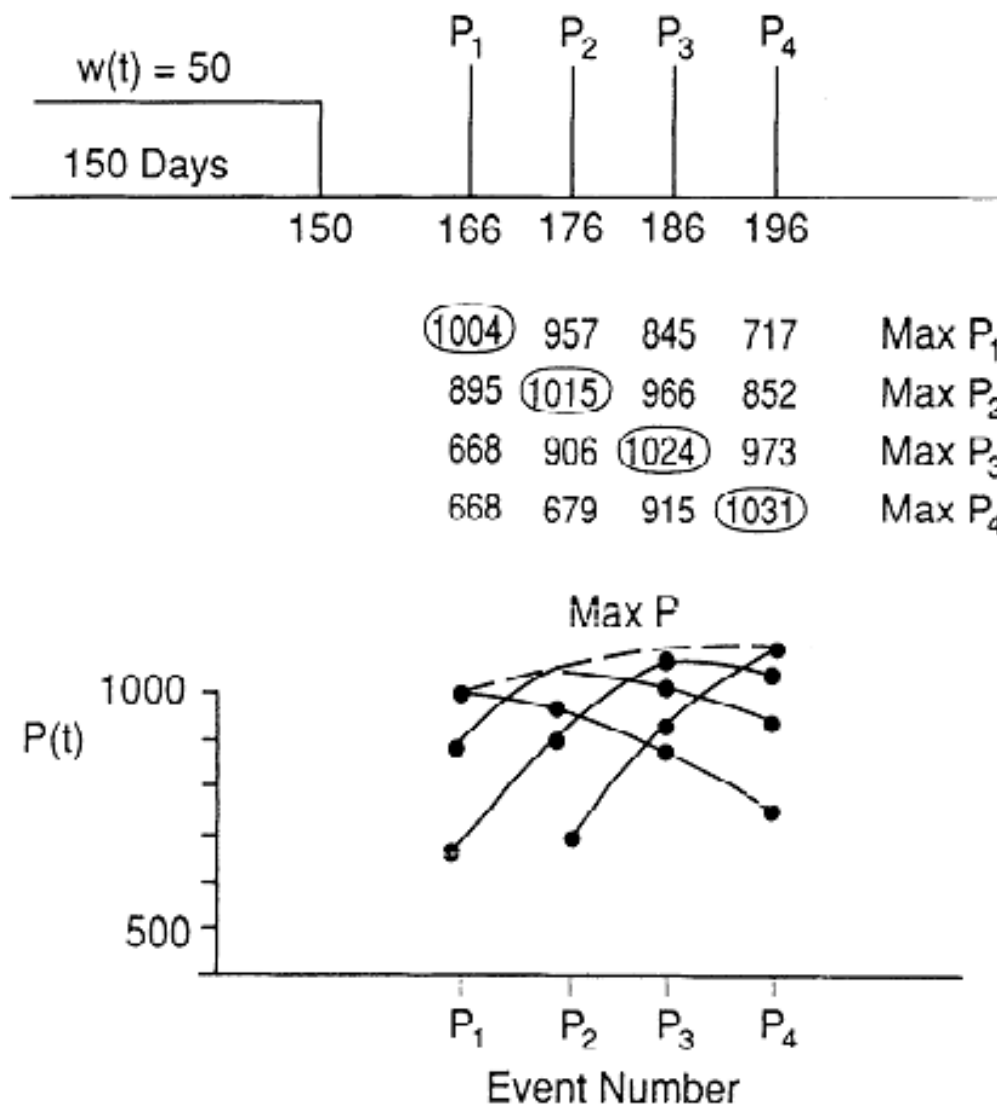


Рисунок 31 – Эффект тренировок на последовательные гипотетические соревнования, выполняемые в ограниченном периоде времени (Fitz-Clarke et al., 1991)

На данном рисунке мы видим, что выполняемая нагрузка в течение 150 предшествующих дней (на уровне ТРИМП = 50) может быть снижена таким образом, чтобы получить максимальные результаты для P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub> или же P<sub>4</sub>. Шестнадцатидневная подводка для отдельного соревнования, означает потери в результатах для других соревнований (см. числовые значения). В данном числовом примере, если целью спортсмена является установить личный рекорд, то должен быть выбран вариант подводки к последним соревнованиям. Если же стоит задача пройти максимально стабильно и

сильно на протяжении всех соревнований, то выбирается вариант 2, дающий в совокупность (сумма результатов со всех соревнований), больше, чем 3 другие варианта.

Следует заметить, что данные выводы по кривым влияния сделаны на основе базовой, наиболее изученной модели класса доза-ответ, однако и более продвинутые и совершенные модели допускают прозрачную интерпретацию и применение в тренировочном процессе. Одним из недостатков проанализированной базовой модели является вывод о том, что расчетные спортивные результаты могут продолжать расти после полного прекращения тренировок. Для малотренированных спортсменов, а также для периода в несколько дней (и в случае элитных спортсменов) это может быть справедливо, однако в последующем начинаются процессы детренированности, которые описываются иными переменными. Хотя ряд адаптационных перестроек сохраняется на относительно неизменном уровне достаточно долго, но большая часть физиологических переменных довольно быстро стремится к дотренировочному уровню после прекращения тренировочных воздействий.

Экономичность спортивного передвижения представляет собой довольно устойчивый к детренированности (и к тренированности) детерминант спортивных достижений в видах на выносливость (Bosquet and Mujika, 2012). Лишь некоторые потери в биомеханическом компоненте ассоциируются с ростом массы тела вследствие сокращения (или прекращения) двигательной активности (преимущественно у спортсменок).

Довольно быстро происходит снижение максимального потребления кислорода (МПК). Можно выделить две фазы процессов детренированности в этом аспекте (Mujika and Padilla, 2001). На первой фазе, длящейся 21-28 дней снижение МПК происходит преимущественно за счет центральных компонентов, таких как максимальный сердечный выброс. Вторая фаза уже характеризуется потерей периферических (т.е. в специфических тренируемых мышцах) компонентов. Например, возросшая в процессе тренировок

капилляризация сохраняется в течение 84 дней после прекращения тренировочных воздействий (Bosquet and Mujika, 2012).

Аэробная выносливость, выражаемая как способность поддерживать усилия на высоком уровне (в процентах от МПК) (Bosquet et al., 2002) отличается еще большей реакцией на прекращение тренировок, видимо, в силу действия преимущественно метаболических факторов. Аэробная выносливость, характеризуется несколькими составляющими, каждая из которых подвержена своим временным рамкам детренированности. Так снижение доли жирных кислот, как источника энергоснабжения, происходит довольно быстро и за 14 дней бездействия выходит на плато (Bosquet and Mujika, 2012).

Концентрация лактата на заданном уровне интенсивности традиционно используется как один из основных методов определения аэробной выносливости (Bosquet et al., 2002). Возрастание концентрации лактата для нагрузки с разными уровнями интенсивности после прекращения тренировок идет по экспоненте с выходом на стационарные значения после 21-28 дней (Bosquet and Mujika, 2012).

Сокращение митохондриальной массы, как и активности аэробных ферментов является важным объясняющим фактором в процессах детренированности. Coyle E. и др. (Coyle et al., 1985; Coyle et al., 1984) обнаружили, что у тренированных спортсменов группы выносливости активность цитрат синтазы снижается на 23% в течение первых 3 недель прекращения тренировок и еще на 23% с 4 по 8 неделю, после чего происходит стабилизация. Сукцинат дегидрогеназа и малат дегидрогеназа следуют той же схеме дизадаптации (Coyle et al., 1985; Coyle et al., 1984).

Показатель снижения производства энергии в митохондриях использовался для оценки временных рамок детренированности у подготовленных спортсменов в работе (Wibom et al., 1992). За трехнедельный период отсутствия тренировочной нагрузки, было зарегистрировано 12-28% снижение уровень производства энергии митохондриями, что стало

возможным из-за 4-17% снижения активности митохондриальных ферментов.

По митохондриальным ферментам, вовлеченным в цикл трикарбоновых кислот и элетрон-транспортную цепь были получены оценки в 1-3 недели (Mujika et al., 2009). А период полураспада митохондрий был оценен более пессимистично в 7-8 дней.

Таким образом, наличие сложных, комплексных и многофакторных процессов детринированности является ограничительным фактором, влияющим на применение базовых моделей банистеровского типа.

Однако нелинейные модели с меняющимися во времени адаптационными профилями (Busso et al., 2002) позволяют получать прогнозные оценки высокой точности и учитывают описанные выше процессы детринированности (см. рисунок 32). На графике можно видеть, что прекращение тренировок 1 января приводит к отрицательной динамике результатов уже начиная с 3 января.

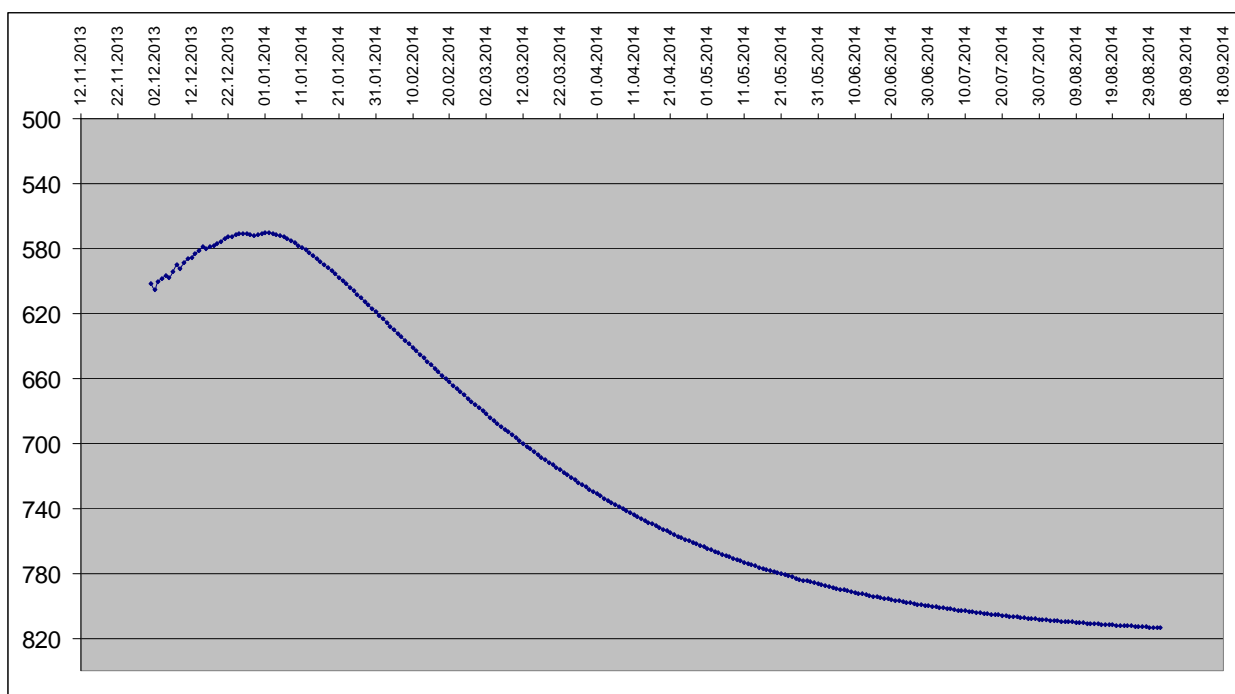


Рисунок 32 – Расчет последствий детринированности после прекращения тренировок 1.01.2014 с использованием нелинейной модели с меняющимся во времени адаптационным профилем



Использование подобных модельных расчетов позволяет тренеру разработать стратегию снижения последствий перетренированности (выполнение альтернативной нагрузки, приносит некоторый уровень физиологического стресса и поддерживает системы организма от стремительной утраты потенциала). Оценка последствий подобной альтернативной программы тренировок может быть дана в рамках данной модели. Следует лишь заметить, что выводы не будут на 100% достоверными, если применяемые методы альтернативной тренировки (акваджоггинг, велоэргометрия, лыжи и т.п.) ранее спортсменом не использовались, а следовательно, не влияли на формирование адаптационного профиля.

Если же период бездействия (травма или военные сборы) спортсмена не позволяет вообще выполнять целенаправленные тренировочные нагрузки, то спортсмен имеет возможность оценить разворачивание во времени процессов детренированности и прогнозный уровень спортсмена после возвращения к нормальной тренировочной программе. В указанном выше примере, спортсменка показывала результаты по состоянию на 1 января результаты, близкие к мастеру спорта России по легкой атлетике (9,30 на 3000 м). После гипотетического прекращения нагрузки 1 января уже 22 января результаты падают ниже планки кандидата в мастера спорта, 13 февраля уровень спортсменки падает ниже первого разряда, и далее 8 марта ниже второго разряда, и 19 апреля идет переход результатов в безразрядную зону.

Другой важный плюс для тренера заключается в использовании модели для расчета выхода спортсмена из состояния детренированности, обоснованности надежд на своевременно восстановление спортивной формы к моменту главных соревнований; достаточности формы для выполнения олимпийский нормативов и т.д.

Представляется, что подобный инструмент чрезвычайно полезен для тренеров, работающих с элитными спортсменами.

С точки зрения оптимизации тренировочных программ представляет интерес на вопрос, какой уровень тренировочной нагрузки является оптимальным для спортсмена. Модель с переменными параметрами дает ответ на этот вопрос (Thomas et al., 2009):

$$ODT = \frac{k_1 \times e^{-1/\tau^1} \times (1 - e^{-1/\tau^2}) \times (1 - e^{-1/\tau^3})}{2 \times k_3 \times (1 - e^{-1/\tau^1}) \times e^{-1/\tau^2}}$$

где ODT – оптимальный уровень тренировочной нагрузки, а остальные буквенные обозначения характеризуют адаптационный профиль спортсмена.

Одно из перспективных направлений моделей класса доза-ответ заключается в исследовании эффектов переноса в видах спорта, где спортсмен чувствует в нескольких видах физической активности (триатлон, полиатлон, многоборье в легкой атлетике, северное двоеборье и т.п.).

В работе (Millet et al., 2002) была предложена методика оценки подобных эффектов. Исследователи составили четыре блока переменных на входе (плавание, бег, велосипед, прочие виды тренировок), а также использовали три переменных, описывающих спортивные результаты. Для оценки эффектов переноса скажем, плавания на бег, в субмодель плавания в качестве переменных результатов вводились результаты бега. Модель калибровалась, а затем оценивались необъясненные остатки. Авторам удалось выяснить, что для элитного триатлона существует положительный эффект переноса между велосипедными нагрузками и беговыми видами ( $r = 0.56, p < 0,001$ ), а вот плавание и прочие виды тренировок стоят обособленно, не имея ни положительных, ни отрицательных эффектов переноса. Авторами не исследовалась переменная «результаты» в велогонке, поэтому оценить эффекты переноса плавательных и беговых нагрузок на велосипед в исследовании не было возможно. Однако удалось выяснить, что наибольший

вклад в результаты соревнований по триатлону вносит беговая тренировочная нагрузка.

В работе (Hellard et al., 2005) была предложена методика оценки порога насыщения для элитных пловцов, участников Олимпийских игр. Данные регрессионного анализа использовались в сочетании с моделью банистеровского типа. Дело в том, что каждый спортсмен имеет верхний предел нагрузки, к которому он может адаптироваться. На практике не многие подозревают о существованию подобного потолка. Однако он существует и поддается измерению (см. рисунок 33).

Математически лучшее мультирегрессионное решение ( $r^2 = 0.30$ ,  $F = 8.73$ ,  $p < 0.01$ ) выглядит следующим образом (Hellard et al., 2005):

$$p_t = 0.97 - 0.46(STE w_t^{LIT})^2 + 0.28(LTE w_t^{LIT}) + 0.25(ITE w_t^{HIT}).$$

где результаты ставятся в соответствие с разными переменными, характеризующими тренировочный процесс (STE LIT – краткосрочная низкоинтенсивная нагрузка, LTE LIT – долгосрочная низкоинтенсивная нагрузка, ITE HIT – среднесрочная высокоинтенсивная нагрузка). Однако только переменная STE LIT является статистически значимой ( $p < 0.01$ ).

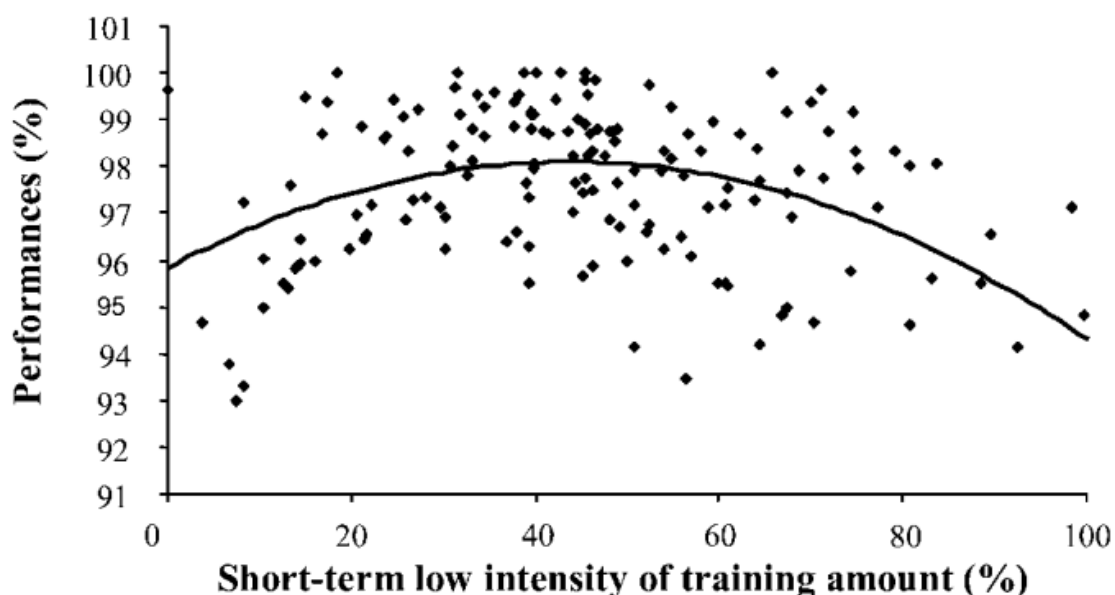


Рисунок 33 - Параболическая зависимость между краткосрочной низкоинтенсивной тренировочной нагрузкой и спортивными результатами (Hellard et al., 2005); вертикальная ось – спортивные результаты (performance), выраженные в процентах от личного рекорда; по горизонтальной оси отложена тренировочная нагрузка в процентах от максимально выполненной спортсменом в период исследования

Таким образом, методы математического и компьютерного моделирования динамики спортивной формы позволяют произвести расчеты «подводки», проверить эффективности определенных (а также альтернативных) тренировочных программ с позиций динамики спортивной формы в видах на выносливость, рассчитать верхние и нижние пределы эффективной тренировочной нагрузки, численно оценить эффекты переноса в комплексных видах спорта (триатлон и т.п.), а также количественно оценить эффекты детренированности и способы выхода из нее.

На сегодня данные методы могут быть использованы как соответствующими специалистами, консультирующими тренера элитных спортсменов, так и на уровне экспертных систем, которые обрабатывают большую часть данных в автоматическом режиме (Brzostowski et al., 2013).

По всей видимости, интеграция специалиста и подобных программных комплексов представляет собой будущее в обработке тренировочных данных на современном этапе.