

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ТРЕНИРОВОЧНЫХ НАГРУЗОК У СПОРТСМЕНОВ И ЛИЦ ОПАСНЫХ ПРОФЕССИЙ

Е.А. Тимме (Москва)

Введение

Оптимальное построение тренировочного процесса для достижения наибольшего прироста спортивного результата при наименьшей физиологической «цене» является одной из фундаментальных проблем спорта. В настоящий момент эта задача решается на основе знаний, опыта и интуиции тренера. При этом динамика роста спортивных результатов определяется особенностями индивидуальных адаптационных реакций организма спортсмена на физическую нагрузку, чувствительностью к тренировочным стимулам, персональными параметрами острых, срочных, кумулятивных, остаточных и отставленных тренировочных эффектов [7].

В решении этой задачи на помощь тренеру может прийти метод имитационного моделирования - мощный, но пока недооцененный инструмент исследования адаптации организма спортсмена к тренировочным нагрузкам. С его помощью можно проводить анализ тренировочного процесса, осуществлять прогноз спортивного результата, моделировать тактические схемы и оптимизировать различные процессы спортивной подготовки. Использование имитационного моделирования позволяет свести к минимуму тренерскую практику проб и ошибок и дает возможность проводить эксперименты не на самом спортсмене, а на его математической модели, просчитывая последствия различных тренировочных программ и выбирая среди них наилучшие [1].

Для лиц опасных профессий, таких как летчики, космонавты, спасатели, некоторые категории военнослужащих, организм которых подвергается воздействию неблагоприятных факторов деятельности, физическая подготовка является наиважнейшим компонентом профессиональной готовности [3]. Соответствие уровня развития определенных физических качеств сложности выполняемых задач является необходимым условием профессиональной надежности. Для этой категории встает задача развития физических качеств до требуемого уровня и его поддержание в определенном коридоре значений.

Детерминанты спортивного результата

Спортивную результативность, в широком ее понимании, определяют ряд факторов (по убыванию их значимости) [8]:

1. Спортивный талант.
2. Мотивация.
3. Построение тренировочного процесса.
4. Риска перетренированности и спортивной травмы.
5. Питание.

Если на факторы 1-2 мы повлиять никак не можем, то факторы 3-5 поддаются корректировке и могут быть объектом управления. Открывается возможность влияния на спортивный результат и снижения риска перетренированности и спортивной травмы посредством управления параметрами тренировочного процесса. В данной работе мы остановимся на факторе 3 – оптимальном построении тренировочного процесса, приводящем к наивысшему спортивному результату к определенному соревновательному дню (пик спортивной формы) при наименьшей «физиологической

цене» и при минимальном риске ущерба здоровью спортсмена (срыв адаптации, спортивная травма, перенапряжение, перетренированность).

Тренировочный процесс - это длительный процесс адаптации спортсмена к физическим нагрузкам различной интенсивности, длительности, частоты и направленности, при наличии внешних воздействий и помех (например, климатогеографических факторов).

Параметрами тренировочного процесса являются интенсивность, продолжительность, частота и компонентный состав по направленности тренировок. Адаптация к тренировочной нагрузке происходит путем сдвига физиологических параметров и может быть охарактеризована при помощи показателей, регистрируемых в ходе функционального нагрузочного тестирования.

Имитационное моделирование дает возможность проводить эксперименты не на живом спортсмене, а используя его адаптационный профиль проверить огромное количество вариантов построения тренировочных программ. При этом ставится как прямая задача – прогноз спортивного результата по готовой тренировочной программе, так и обратная задача построение оптимальной тренировочной программы в зависимости от планируемого целевого результата.

Общая логика принципов адаптации по отношению к тренировочному процессу может быть представлена в следующей последовательности:

- тренировка с адекватной рабочей нагрузкой вызывает желаемые реакции в организме спортсменов (принцип величины воздействия);
- эти реакции вызывают процесс приспособления, который приводит к увеличению работоспособности и более экономному реагированию на стандартные рабочие нагрузки (принцип аккомодации);
- увеличенный уровень работоспособности отражается на выполнении соревновательного упражнения в соответствии с тренировочными результатами, перенесенными с различных упражнений на главное соревновательное (принцип специфичности).

Повторное выполнение мышечной работы: физических упражнений в течение продолжительного времени, обуславливает суммацию этих следовых реакций в организме, что приводит к возникновению и нарастанию тренированности, но с определенным запаздыванием. При этом фиксируются функциональные изменения в органах и тканях, и в морфологических - структурных изменениях функциональных систем. В то же время нарастают явления утомления и усталости, которые противоположным образом влияют на спортивный результат.

Постановка задачи

Одним из действенных методов управления подготовкой спортсменов является моделирование различных звеньев этого процесса [9], или моделирование его в целом как «черного ящика», где входом является тренировочные нагрузки, а выходом – спортивный результат.

Для каждого вида спорта можно выделить физические качества-мишени, на развитие которых направлен тренировочный процесс и которые определяют спортивный результат. Такими мишенями, например для видов спорта на выносливость могут быть:

- максимальная скорость;
- анаэробная гликолитическая мощность;
- анаэробная алактатная мощность;

- анаэробная гликолитическая ёмкость
- аэробная мощность;
- аэробная выносливость (к длительным тренировкам);
- максимальная сила (нервный механизм);
- максимальная сила (гипертрофия);
- взрывная сила;
- силовая выносливость (аэробная);
- силовая выносливость (анаэробная);
- окисление жиров.

Уровень развития качества может быть определен в шкале отношений или порядковой шкале в результате специального тестирования. Для развития качества-мишеней используется целый спектр тренировочных средств и воздействий на организм спортсмена. Уровень развития качества-мишеней определяют спортивный результат.

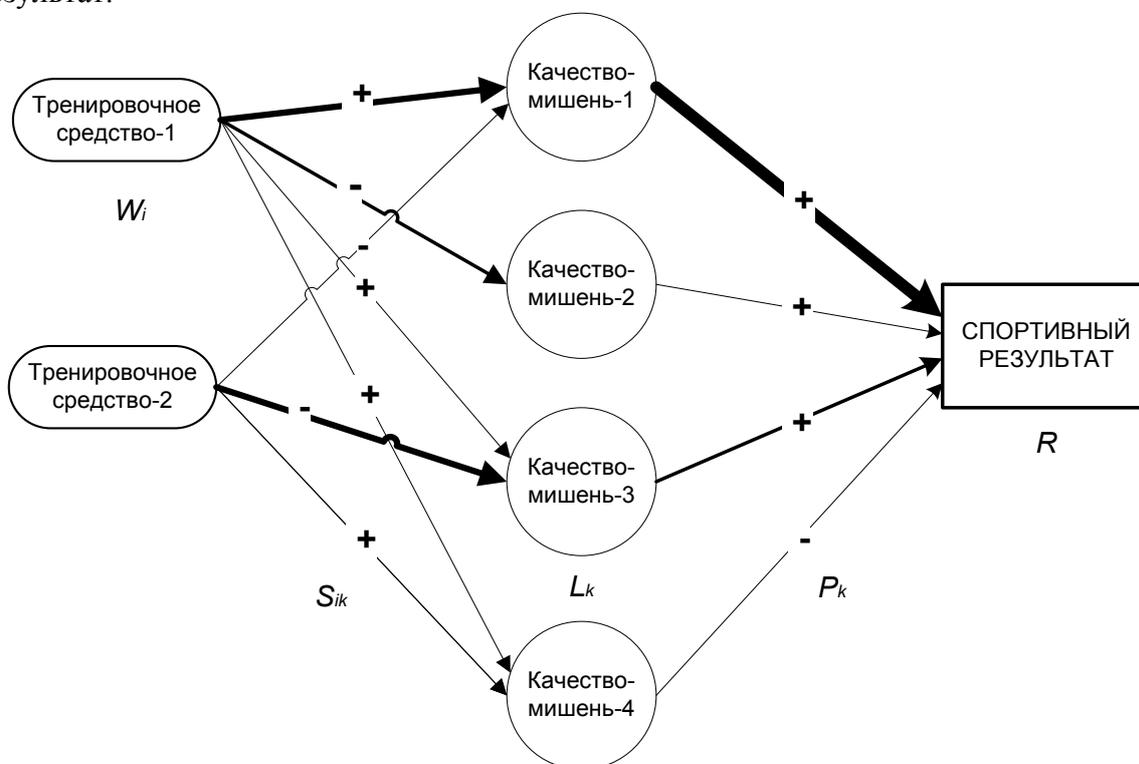


Рис.1. Направленное влияние тренировочных средств на развитие качеств-мишеней, которые дают вклад в итоговый спортивный результат (+/- означает знак влияния а толщина линий его интенсивность)

Как показано на рисунке 1, совокупность используемых тренировочных средств используется для развития целевых физических качеств-мишеней, каждое из которых может быть измерено и дает соразмерный вклад в спортивный результат.

Воздействие каждого i -го тренировочного средства на организм спортсмена может быть измерено (значение тренировочного импульса) и обозначается как W_i . Уровень развития физического качества-мишени обозначим L_k , влияние i -го тренировочного средства на k -е физическое качество-мишень описывается матрицей S_{ik} , в свою очередь вклад k -го качества-мишени в спортивный результат R описывается вектором p_k .

Совместимость различных тренировочных средств, выполняемых при развитии различных качеств-мишеней, в пределах отдельной тренировки и в пределах серии тренировок является чрезвычайно важным фактором, определяющим острые и срочные тренировочные эффекты.

Моделирование может проводиться как по отдельным звеньям «тренировочное средство – качество-мишень», так и в целом «тренировочные нагрузки – спортивный результат».

Квантификация тренировочных импульсов

Но прежде чем применять модель, нужно найти способ измерить и перевести в числовой вид (квантифицировать) вход и выход модели. Одним из методов решения этой задачи для тренировочной нагрузки является метод вычисления так называемых тренировочных импульсов (W), которые выражают в числовом виде совокупный эффект от тренировочного стимула. Используя данные о частоте сердечных сокращений (HR) во время тренировки полученные с пульсометра тренировочный импульс вычисляется [3]:

$$W = T \int_0^T R_{HR} e^{B(t)R_{HR}} dt \quad (1),$$

где:

W – значение тренировочного импульса, ед.;

T – время тренировки, с;

$R_{HR}(t)$ – резерв частоты сердечных сокращений (ЧСС);

$B(t)$ – индивидуальный лактатный профиль.

Резерв ЧСС отражает мгновенный уровень напряжения и вычисляется по формуле по данным пульсометра.

$$R_{HR} = \frac{HR(t) - HR_{\min}}{HR_{\max} - HR_{\min}} \quad (2),$$

где:

$HR(t)$ – мгновенное значение ЧСС во время тренировки;

HR_{\max} , HR_{\min} – максимальное и минимальное значение ЧСС соответственно.

Квантификация результата

Также можно квантифицировать и выход модели (уровня развития качества-мишени или спортивного результата). Поскольку кривая рекордов имеет экспоненциальный характер, для преобразования спортивного результата из абсолютных единиц в линейную шкалу целесообразно использовать выражение [5]:

$$x = b \ln \frac{a}{y - L} \quad (3),$$

где:

y – результат (в абсолютных единицах);

x – результат (в очках);

L – предельный результат в популяции;

a, b – нормировочные коэффициенты.

Основные соотношения модели

Что касается формы самой модели, хорошо показал себя класс моделей в дискретном времени, представляющих собой свертку:

$$p(t) = p(0) + \sum_{s=0}^{t-1} f(t-s)w(s) \quad (4),$$

где:

$f(t-s)$ – функция, описывающая влияние тренировочного импульса $w(s)$ в момент времени s на результат в момент времени t .

Наиболее распространенной и простой математической моделью данного класса для описания тренировочного процесса является предложенная в [4] модель.

$$p(t) = p(0) + \sum_{s=0}^{t-1} (k_1 e^{-\frac{t-s}{\tau_1}} - k_2 e^{-\frac{t-s}{\tau_2}}) w(s) \quad (5),$$

где:

$p(0), p(t)$ – значение спортивного результата в начальный момент и в момент времени t , соответственно;

τ_1, τ_2 – характерное время запаздывания тренировочного эффекта и усталости соответственно;

k_1, k_2 – коэффициенты линейной суперпозиции эффектов тренировки и усталости соответственно.

$w(t)$ – значение тренировочного импульса в момент времени t .

Здесь функция $f(t-s)$ представлена в виде взвешенной разности двух экспонент и хорошо описывает наблюдаемые на рисунке 1 явления усталости, тренированности и суперкомпенсации (рис. 2).

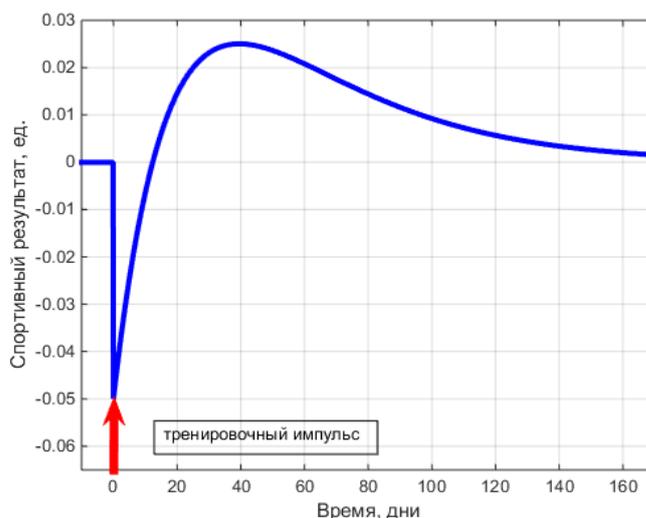


Рис. 2. График функции $f(t)$ от одного тренировочного импульса

Каждая тренировка запускает два процесса – увеличивает уровень физической нагрузки спортсмена и запускает положительные адаптационные перестройки. С некоторыми временными лагами данные процессы приводят к изменениям в потенциале спортсмена демонстрировать спортивные результаты.

Построение модели и ее применение

Идентификация и оценка параметров системы производится на основании измерения текущих входных (тренировочные импульсы) и выходных (спортивные результаты) данных, причем качество идентификации повышается с увеличением числа и точности измерений [2].

Излагаемый подход носит универсальный характер и может быть применен не только к модели системы «тренировочная нагрузка – спортивный результат», но и к другим подсистемам «тренировочный стимул – физическое качество-мишень» на которые разбивается система при ее декомпозиции (например, к подсистеме «силовая тренировка - мышечная сила»). Разумеется, значения входов и выходов подсистемы должны квантифицироваться соответствующим образом.

На систему влияют шумы, обусловленные факторами, дополнительно воздействующими на организм спортсмена, которые вносят погрешности в как в результаты, так и в значение тренировочных импульсов. Они приводят к погрешностям в определении параметров модели. В этой связи большую роль начинает играть чувствительность модели, т.е. совокупность реакций на малые изменения параметров и начального состояния. Исследование модели на чувствительность и устойчивость является необходимой процедурой, которая позволит определить влияние возмущений различных параметров на результат моделирования (рис. 3).

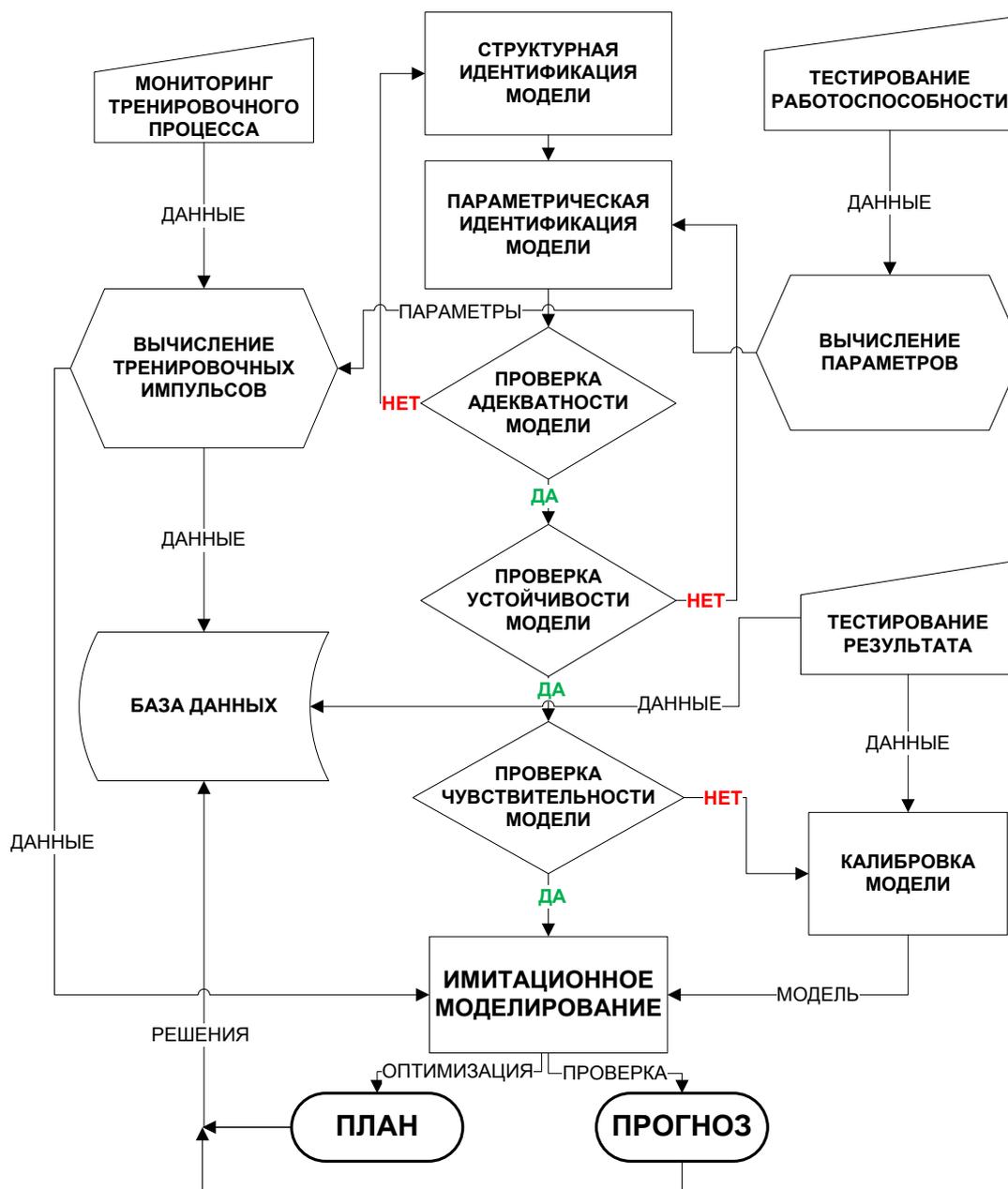


Рис. 3. Структурная схема прогнозирования спортивного результата и разработки оптимального тренировочного плана.

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. Имитационное моделирование позволяет увидеть и проанализировать важные характеристики самого тренировочного процесса, разворачивание во времени действия тренировочных эффектов и усталости, их закономерности. Кроме того, имитационное моделирование помогает в исследовании различных вариантов заключительной части подготовки к соревнованиям, так называемой «подводки» (рис. 4).

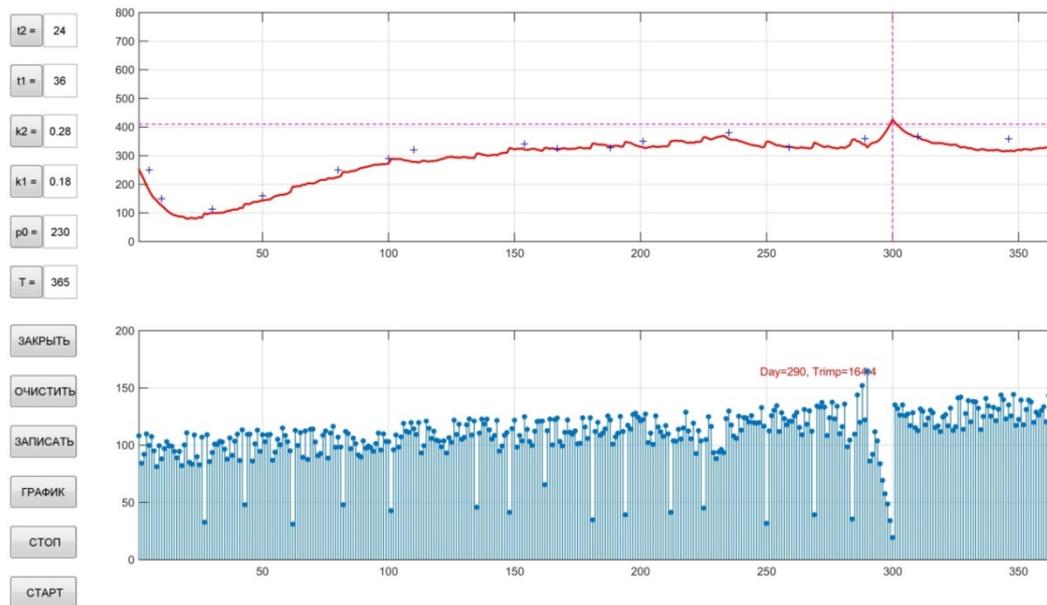


Рис. 4. Решение задачи вывода на пик спортивной формы к заданному дню

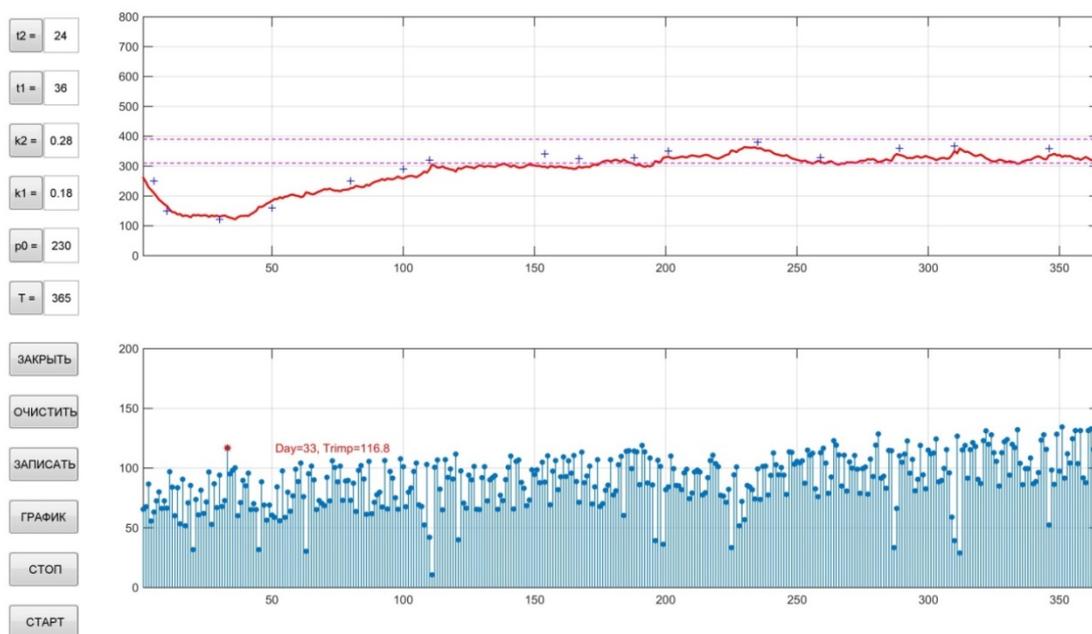


Рис. 5. Решение задачи поддержания спортивной формы в заданном диапазоне значений

Выводы

Представленная модель определяет зависимость уровня спортивного результата от предшествующих тренировочных нагрузок. Модель определяет значение уровня работоспособности, показанного в проверочном тесте, в фиксированный момент времени в зависимости от тренировочных воздействий за предшествующий период с учетом влияния тренированности, утомления и их последствий, закономерностей изменения соответствующих эффектов адаптации во времени, порогового фактора и

эффекта насыщения. Модель представлена в дискретном времени в виде рекуррентных соотношений. Программный модуль реализован в системе численных расчетов Matlab.

Идентификация параметров модели производится после накопления определенного количества данных результатов тестов на работоспособность. Параметры модели каждый раз уточняются после получения дополнительной информации о новых тренировочных стимулах и результатов тестов, производится интерактивная калибровка модели, что позволяет улучшать качество прогноза спортивного результата.

Математическая модель и программный модуль позволяет осуществить прогноз динамики работоспособности при рассмотрении различных альтернативных тренировочных программ, представленных в виде временных рядов тренировочных импульсов в ходе имитационного моделирования, т.е. решить прямую задачу прогнозирования. Метод открывает возможность решить также обратную задачу, т.е. сформировать наиболее эффективную по группе критериев тренировочную программу в зависимости от вида целевой функции. Целевая функция, например, может представлять собой требование сохранения физической работоспособности в течении заданного периода времени в определенном коридоре значений, либо достижение к установленному моменту времени требуемого уровня работоспособности и его поддержание на этом уровне в течение определенного периода времени (рис. 5).

Литература

1. Виноградов М.А., Акимов Е.Б., Тимме Е.А. Математическое моделирование динамики спортивного результата в видах спорта на выносливость. - Пушино : R&C Dynamics, 2015. - 62 с.
2. Гроп Д. Методы идентификации систем. - Москва : Мир, 1979. - 305 с.
3. Дудукин А.В., Гушин В.И., Котровская Т.И., Петров В.М., Тимме Е.А., Бубеев Ю.А. Оценка влияния неблагоприятных факторов длительных космических полетов на работоспособность и качество операторской деятельности космонавта в полете // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2013. Т. 47. № 4. - С. 54.
4. Banister E.W., Hamilton C.L. Variations in iron status with fatigue modelled from training in female distance runners // Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1985. V. 54. №1. - p. 16-23.
5. Borresen J., Lambert M.I. The quantification of training load, the training response and the effect on performance // Sports Medicine. 2009. V. 39. № 9. - p. 779-95.
6. Desgorces F.-D., Sénégas X., Garcia J., Decker L., Noirez P. Methods to quantify intermittent exercises // Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquée, nutrition et métabolisme. 2007. V. 32. № 4. - p. 762-9.
7. Иссурин В.Б. Блоковая периодизация спортивной тренировки. - Москва : Советский спорт, 2010. - 281 с.
8. Мохан Р., Глессон М., Гринхафф П.Л. Биохимия мышечной деятельности и физической тренировки. - Киев : Олимпийская литература, 2001. - 295 с.
9. Ширковец Е.А. Общие положения оперативного управления тренировкой в спорте высших достижений // Вестник спортивной науки. 2008. № 4. - С. 3.