



УДК 004.942, 796.015.2

© 2015 г. **В.М. Дмитриев**, д-р техн. наук,

**Т.В. Ганджа**, канд. техн. наук,

**С.И. Гаврилов**

(Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники),

**В.С. Лаходынов**, канд. техн. наук

(Национальный исследовательский Томский политехнический университет)

## СТРУКТУРА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ТРЕНИРОВОЧНОГО ПРОЦЕССА СПОРТСМЕНА

В данной работе предложена структура модели тренировочного процесса, дающая оценку текущего состояния здоровья спортсмена и прогноз его будущих спортивных достижений на основе измеряемых в процессе тренировок показателей здоровья спортсмена. Данная модель, входящая в состав структуры аппаратно-программного комплекса диагностики текущего состояния спортсмена, позволяет оценить и повысить эффективность существующих методик спортивных тренировок.

**Ключевые слова:** тренировочный процесс, спортсмен, компьютерное моделирование, метод компонентных цепей, соревнования.

### Введение

В настоящее время большое внимание уделяется развитию различных видов спорта, а также подготовке спортсменов для их участия в соревнованиях международного уровня. Для получения высоких результатов требуется сформировать тренировочный процесс, позволяющий добиться соответствующего состояния спортсмена за определенное время. Но в ходе тренировочного процесса важно также наблюдать за состоянием спортсмена, чтобы показатели его здоровья не выходили за определенные рамки в результате перегрузок, полученных на занятиях, а также в процессе неправильного питания. Таким образом, с кибернетической точки зрения, спортсмена, осуществляющего подготовку к соревнованиям, можно рассматривать как объект управления, управляющие воздействия на который формирует тренер, а ограничения на эти воздействия должны быть наложены со стороны спортивного врача, наблюдающего и контролирующего состояние здоровья спортсмена.

При таком рассмотрении, построив компьютерную модель тренировочного процесса, осуществляющую оценку текущего состояния спортсмена и прогнозирование его спортивных результатов, и сформировав определенную целевую функцию с включенными в нее результатами анализа модели, можно в автомати-

зированной режиме формировать оптимальные планы тренировочного процесса. В этом случае будут найдены оптимальные планы тренировок и отдыха, направленные на повышение эффективности всего тренировочного процесса.

В данной статье рассматривается модель тренировочного процесса одного спортсмена, занимающегося индивидуальным видом спорта, в котором необходимо достичь максимальных показателей определенного вида. К ним относятся все виды легкой и тяжелой атлетики, плавание, лыжные и конькобежные виды спорта, ориентированные на выносливость спортсмена.

### Структура модели тренировочного процесса

Для повышения эффективности тренировок спортсмена предлагается весь тренировочный процесс представить в виде динамической системы, принимающей и обрабатывающей данные о состоянии здоровья спортсмена и его спортивных результатах, поступающие с различных датчиков, представленной на рис. 1, где  $r$  и  $l$  – наборы восстановительных и нагрузочных процедур;  $r^*$  и  $l^*$  – оптимальные наборы восстановительных и нагрузочных процедур;  $R$  – результирующие показатели;  $H$  – показатели здоровья спортсмена;  $\hat{H}$  – оценка неизмеряемых показателей здоровья;  $GR$  – обобщенный показатель результата;  $\widehat{GR}$  – оценка обобщенного показателя результата;  $DH$  – динамический показатель здоровья;  $\widehat{DH}$  – оценка динамического показателя здоровья;  $RH$  – прогноз обобщенного результирующего показателя.

Данная система должна выполнять такие функции как оценка текущего состояния спортсмена, мониторинг состояния спортсмена во время тренировки, прогноз спортивных достижений конкретного спортсмена, оценка существующей методики тренировок и ее корректировка, хранение данных о результатах спортсмена, построение математической модели спортсмена, для тестирования экстремальных тренировочных режимов.

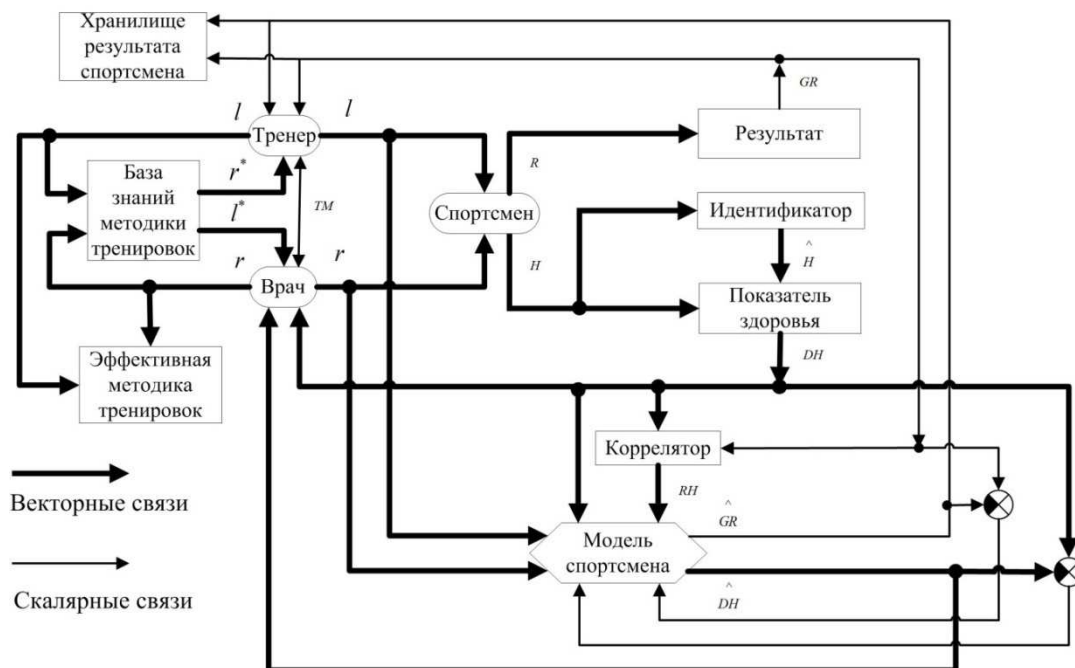


Рис. 1. Структура модели тренировочного процесса.

Функционирование данной системы можно описать следующим образом: тренер и врач получают из базы знаний типовые наборы процедур, определяющих тренировочный процесс для конкретного вида спорта. Исходя из полученных инструкций, они делают установки спортсмену. По результатам тренировки, данные о состоянии спортсмена, полученные с помощью датчиков, поступают на блоки обработки данных. На основании результатов работы этих блоков тренер и врач корректируют наборы инструкций и обновляют базу знаний. Параллельно строится модель спортсмена. Являясь нейросетевой, она настраивается и обучается в процессе всего тренировочного периода. После построения модели спортсмена тренер и врач получают возможность проверять на ней тестовые наборы инструкций, не подвергая нагрузкам реального спортсмена. Наиболее удобным средством для реализации представленной на рисунке 1 модели тренировочного процесса спортсмена является метод компонентных цепей [1].

### Метод компонентных цепей

Метод компонентных цепей (МКЦ) [1] относится к классу универсальных методов компьютерного моделирования. Он является объектно-ориентированным языком и предназначен для моделирования сложных объектов и систем любой физической природы. Их элементы могут иметь различную физическую природу и входить в единую модель исследуемой мультифизической системы. Модель каждого элемента, называемая *компонентом*, формируется с учетом четырех основных аспектов (геометрического, топологического, физического и математико-алгоритмического) и представляет собой систему алгебро-дифференциальных уравнений в обыкновенных и частных производных. В случае наличия в модели логических соотношений и алгоритмических конструкций она может быть представлена в явном виде и относиться к классу имитационных моделей.

Для объектов с функционально обособленными подсистемами в рамках МКЦ введено понятие *подцепи* – структуры, допускающей автономное решение. Это понятие позволяет четко разделять объекты и системы с непрерывным и дискретно-событийным поведением. Форма уравнений (выражений) модели и ее топологическая структура могут изменяться в зависимости от поведения переменных и наступления определенных событий.

МКЦ позволяет представить сложную систему, допускающую декомпозицию на взаимосвязанные элементы, в виде компонентной цепи (КЦ) – компьютерной модели в формате метода для проведения анализа протекающих в системе непрерывных и дискретно-событийных процессов.

С формальной точки зрения КЦ представляет собой совокупность трех взаимосвязанных множеств

$$C = (K, B, N), \quad (1)$$

где  $K$  – множество компонентов;  $B$  – множество связей (ветвей) компонента;  $N$  – множество узлов КЦ, образованных в результате коммутации связей компонентов.

Любой связи  $S_j$  каждого компонента (рис. 2) множества  $K$  с номером  $b_j$ , являющимся ее номером в локальном координатном базисе компонента, ставится

в соответствии ее уникальный в рамках КЦ номер  $B_j$ .

Каждый узел множества  $N$  КЦ  $S$  (1) характеризуется своим уникальным номером  $N_j$ , который сообщается всем связям компонентов, подключенным к данному узлу. Таким образом, множество номеров ветвей и множество номеров узлов представляют собой глобальный координатный базис рассматриваемой цепи.

Множество компонентов  $K$  в общем случае включает в себя компоненты-источники, компоненты-преобразователи и компоненты – измерители сигналов. Рассмотрим компонентный базис, необходимый для построения компьютерной модели тренировочного спортсмена в формате метода компонентных цепей.

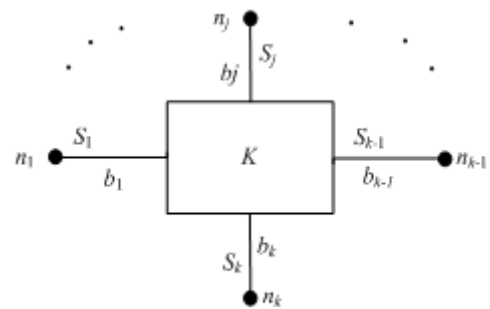


Рис. 2. Обобщенный вид компонента.

### Источники входных воздействий

Охарактеризуем основные блоки и межблочные связи, входящие в предложенную схему (рис. 1).

Блок «Хранилище методик тренировки» содержит множество базовых наборов инструкций, характеризующих методику тренировки, которые можно разделить на две категории: нагрузочные и восстановительные процедуры; продолжительность использования конкретного набора процедур.

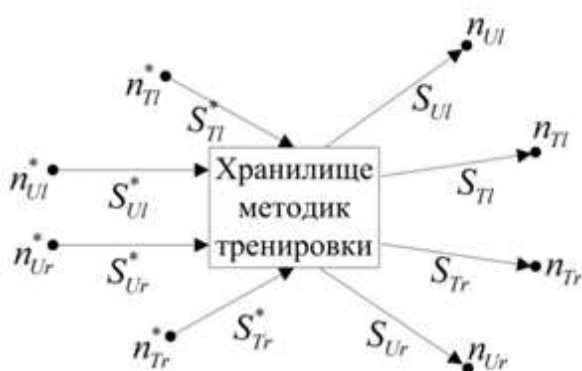


Рис. 3. Компонент «Хранилище методик тренировки».

К нагрузочным процедурам относятся следующие параметры:

- 1) суммарный объем нагрузок (может измеряться расстоянием, временем, весом и т.д.);
- 2) качество выполнения требуемых нагрузок, которое может задаваться кривой, отражающей зависимость интенсивности нагрузок от выполненного объема: например, различная скорость бега на разных этапах дистанции, различная скорость бега в течение определенных временных интервалов, количество подъемов веса в одном подходе и т.д.;
- 3) уровень внешних воздействий, распределенных в соответствии с объе-

мом нагрузок: например, количество подъемов и спусков на дистанции, крутизна поворотов, уровень подготовки противника в борьбе и т.д.

К *восстановительным процедурам* относятся:

- 1) суммарный объем восстановительных процедур, выраженный некоторым обобщенным показателем полезности;
- 2) качество восстановительных процедур, заданное кривой, отражающей изменение количества полезности в течение восстановительного процесса.

### Объекты системы

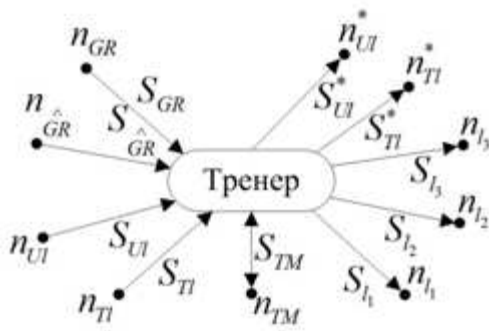


Рис. 4. Компонент «Тренер».

Основными объектами, входящими в состав системы, являются тренер, врач и спортсмен. Тренер задает нагрузки для спортсмена и корректирует их, исходя из его результатов. На входе его модели, представленной в виде компонента (рис. 4), имеются связи, соответствующие результирующему показателю, его оценке, типовому набору нагрузочных процедур, длительности и частоте использования данного набора. На выходе все связи соответствуют конкретным нагрузочным процедурам:  $S_{l_1}, S_{l_2}, S_{l_3}$  – нагрузочным процедурам;  $S_{TM}$  – взаимодействию тренера и врача;  $S_{GR}$  – обобщенному результирующему показателю;  $S_{GR-hat}$  – оценке обобщенного результирующего показателя.

Тренер формируют воздействия на спортсмена совместно с врачом. Врач, модель которого представлена на рис. 5, определяет процесс восстановления спортсмена, отслеживая динамику показателя его здоровья. На входе модели имеются связи, соответствующие динамическому показателю здоровья, его оценке, типовому набору восстановительных процедур и длительности использования данного набора; на выходе – связи, соответствующие конкретным восстановительным процедурам:  $S_{r_1}, S_{r_2}$  – соответствуют восстановительным процедурам;  $S_{DH}$  – соответствует динамическому показателю здоровья,  $S_{DH-hat}$  – соответствует оценке динамического показателя здоровья.

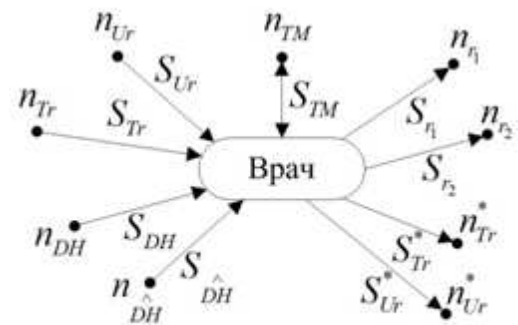


Рис. 5. Компонент «Врач».

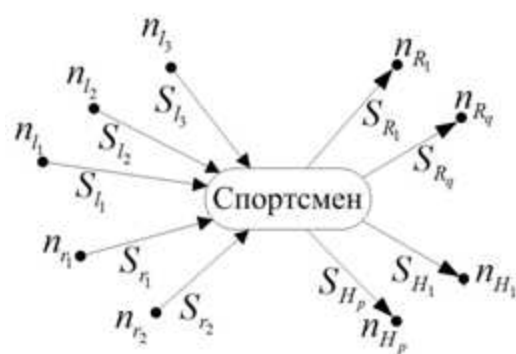


Рис. 6. Компонент «Спортсмен».

Спортсмен представлен моделью (рис. 6), на входе которой имеются связи с потоками нагрузочных (со стороны тренера) и восстановительных (со стороны врача) действий, а также выходные связи с его спортивными результатами.

ми и показателями здоровья, где  $S_{R_1}, S_{R_2}, \dots, S_{R_q}$  – измеряемые результирующие показатели, а  $S_{H_1}, S_{H_2}, \dots, S_{H_p}$  – измеряемые показатели здоровья.

### Функциональные элементы системы

К функциональным элементам рассматриваемой системы (рис. 1) относятся блоки обработки измеряемых данных. Компонент «Результат» (рис. 7) на выходе формирует обобщенный результирующий показатель, в качестве которого целесообразно использовать взвешенную сумму результатов испытания (тренировки, соревнования).



Рис. 7. Компонент «Результат».

Использование нескольких результирующих признаков обусловлено тем, что в некоторых видах спорта при распределении места в турнирной таблице одновременно учитываются разные показатели. Степень влияния конкретного признака на итоговую оценку соревнования должна определяться экспертом для каждого вида спорта. Таким образом, обобщенный результирующий показатель можно вычислить следующим образом:  $GR = \sum_{j=1}^q a_j r_j$ , где  $q$  – количество показателей, определенных по результатам испытаний;  $a_j$  – весовые коэффициенты, определяемые экспертом;  $r_j$  – значения результирующих показателей.

Использование нескольких результирующих признаков обусловлено тем, что в некоторых видах спорта при распределении места в турнирной таблице одновременно учитываются разные показатели. Степень влияния конкретного признака на итоговую оценку соревнования должна определяться экспертом для каждого вида спорта. Таким образом, обобщенный результирующий показатель можно вычислить следующим образом:  $GR = \sum_{j=1}^q a_j r_j$ , где  $q$  – количество показателей, определенных по результатам испытаний;  $a_j$  – весовые коэффициенты, определяемые экспертом;  $r_j$  – значения результирующих показателей.



Рис. 8. Компонент «Идентификатор».

Компонент «Идентификатор» (рис. 8) строит оценки показателей здоровья, недоступных непосредственному измерению, на основе измеряемых показателей, наблюдаемых на входе, где значения  $S_{H_{p+1}}, \dots, S_{H_{p+z}}$

соответствуют оценкам неизмеряемых показателей. В качестве измеряемых показателей могут быть использованы, например, частота пульса, частота дыхания, артериальное давление, температура тела и мышечная активность. Выходом блока являются значения полученных оценок.

Компонент «Показатель здоровья» (рис. 9) на выходе формирует динамический показатель здоровья, характеризующий изменение во времени отклонения состояния спортсмена от нормы. На вход поступают массивы значений измеряемых и оцениваемых показателей. Динамический показатель строится на основе

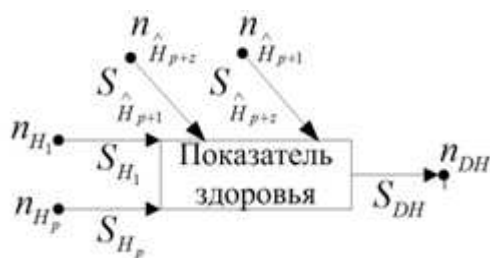


Рис. 9. Компонент «Показатель здоровья».

регрессионных моделей, описывающих измеряемые переменные [1, 2]. Причем построенные модели корректируются в соответствии с ограничениями на максимальные и минимальные значения измеряемых показателей, с учетом значений, являющихся эталонными. Значения границ определяются экспертом.

Пусть имеется выборка  $X_{1,j_1}, X_{2,j_2}, \dots, X_{p,j_p}$ ,  $j_1 = \overline{1, n_1}$ ,  $j_2 = \overline{1, n_2}, \dots$ ,  $j_p = \overline{1, n_p}$ , полученная в результате измерений. Для приведения измеренных переменных к единому безразмерному виду можно воспользоваться следующей нормировкой

$$Z_{i,j} = \begin{cases} \frac{X_{i,j} - X_i^{st}}{X_i^{up} - X_i^{st}}, & X_{i,j} > X_i^{st}, \\ \frac{X_i^{st} - X_{i,j}}{X_i^{st} - X_i^{lou}}, & X_{i,j} < X_i^{st}, \\ 0, & X_{i,j} = X_i^{st}, \end{cases}$$

где  $X_{i,j}$  – выборочное значение  $i$ -й переменной в  $j$ -й момент времени;  $X_i^{up}$  – верхняя граница  $i$ -й переменной;  $X_i^{lou}$  – нижняя граница  $i$ -й переменной;  $X_i^{st}$  – эталонное значение  $i$ -й переменной. Мгновенное значение показателя здоровья будут вычисляться в виде  $H_j = \left( \sqrt{\sum_{i=1}^p Z_{i,j}^2} \right) \cdot 100\%$ .

Данный показатель характеризует отклонение состояния спортсмена от нормы в процентах. В качестве динамического показателя здоровья выбирается некая функция, аппроксимирующая поведение мгновенного показателя, т.е. в качестве входной переменной (рис. 10) необходимо использовать измеренные объемы выполненной нагрузки, в качестве выходных – рассчитанные значения мгновенного показателя здоровья.

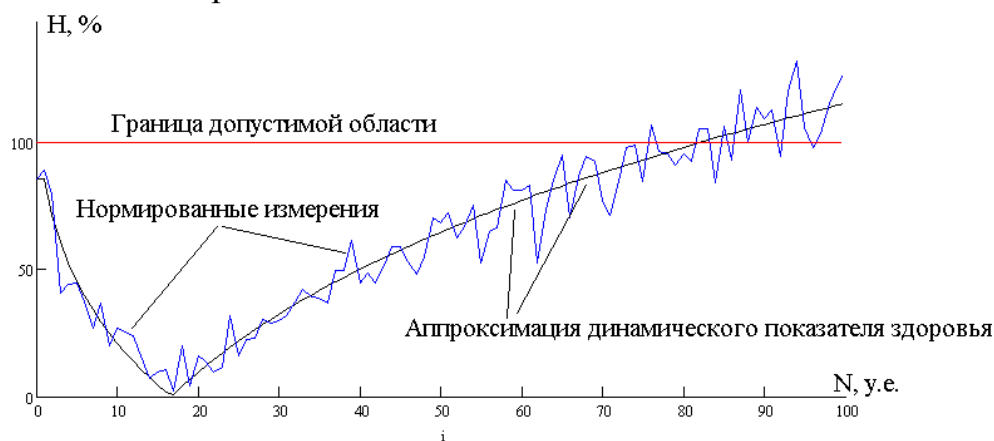


Рис. 10. Динамика показателя здоровья.

Для прогнозирования результатов спортсмена в систему включен компонент «Коррелятор», показанный на рис. 11, где  $S_{RH}$  соответствует влиянию состояния здоровья на результат. Он устанавливает зависимость между входами, т.е. между динамическим показателем здоровья и обобщенным результирующим показателем на основе регрессионных моделей [1, 2].



Рис. 11. Компонент «Коррелятор».

Выходом блока является функция, описывающая данную зависимость. Ее можно определить на основе серии тренировок, используя функционал, преобразующий динамический показатель на множество вещественных чисел  $R(X) = \varphi \left( \int_0^{N_{\max}} H(t) dt \right)$ , где  $\varphi(\cdot)$  – функция, аппроксимирующая зависимость результата от состояния спортсмена,  $N_{\max}$  – максимальный объем выполненной

нагрузки.

Для аппроксимации функции  $\varphi(\cdot)$  можно воспользоваться регрессионными моделями. В качестве входных данных необходимо использовать массив значений интеграла  $\int_0^{N_{\max}} H(t)dt$ , вычисленных в серии тренировок, в качестве выходных – значения обобщенных результирующих показателей.

### Модель спортсмена

Для оценки качества существующей методики тренировок и для ее улучшения необходимо выбрать набор нагрузочных и восстановительных процедур таким образом, чтобы их использование, распределенное во времени, приближало область динамического показателя здоровья к допустимой. Для ускорения процесса поиска оптимального (в смысле достижения поставленных целей за минимальное время) набора процедур целесообразно проводить исследования не на самом спортсмене, а на его модели.

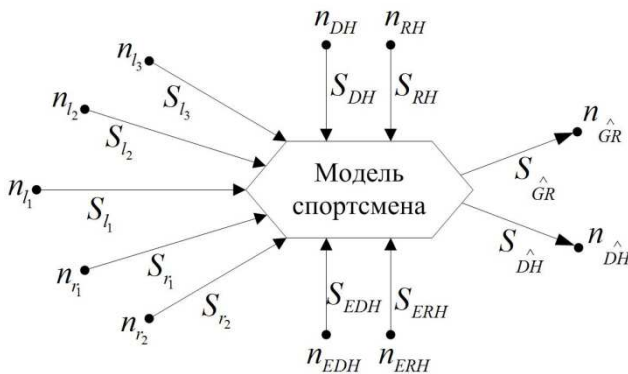


Рис. 11. Компонент «Модель спортсмена».

Модель спортсмена, показанная на рис. 11, где  $S_{ERH}$  и  $S_{EDH}$  соответствует отклонениям оценок обобщенного результирующего показателя и динамического показателя здоровья от и истинных значений, строится в процессе тренировок на базе многослойного персептрона [3] и позволяет вычислить показатель здоровья и результирующий показатель для каждого из заданных наборов нагрузочных и восстановительных процедур.

Модель спортсмена, показанная на рис. 11, где  $S_{ERH}$  и  $S_{EDH}$  соответствует отклонениям оценок обобщенного результирующего показателя и динамического показателя здоровья от и истинных значений, строится в процессе тренировок на базе многослойного персептрона [3] и позволяет вычислить показатель здоровья и результирующий показатель для каждого из заданных наборов нагрузочных и восстановительных процедур.

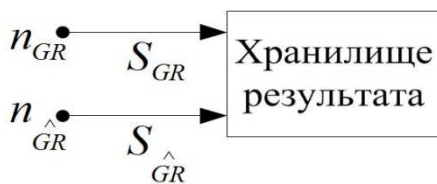


Рис. 12. Компонент «Хранилище результата».

### Выход системы

Компоненты «Хранилище результата» (рис. 12) и «Эффективная методика тренировок» (рис. 13) сохраняют информацию о способностях спортсмена, его спортивном потенциале и информацию об индивидуальных параметрах тренировочного процесса для конкретного спортсмена.

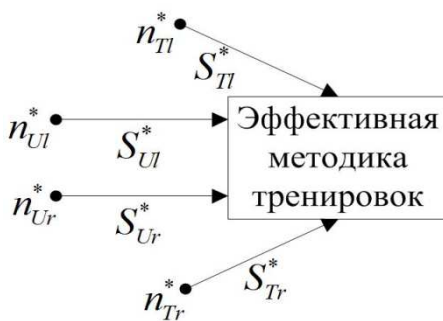


Рис. 13. Компонент «Эффективная методика тренировок».

Выходом данной системы является прогноз достижений конкретного спортсмена, эффективность существующей методики, скорректированная методика, позволяющая повысить эффективность тренировок и восстановительных процедур.

### Заключение

Эффективность тренировочного процесса спортсмена по индивидуальным видам спорта во многом зависит от правильного планирования этого



процесса, который включает в себя цикл тренировок. Он сопровождается отдыхом (перерывами), а также грамотным подбором правильного рациона и режима питания для оптимального поступления и расходования калорий. Таким образом, на спортсмена оказываются управляющие воздействия со стороны тренера, на которые должны накладываться ограничения здоровья. Этот факт делает достаточно трудоемким формирование тренировочного процесса.

Для его автоматизации в данной работе предложена компьютерная модель, в основе которой лежит компонентный подход построения нейросетевых моделей тренера, врача и спортсмена, показатели которого должны получить заданные оптимальные значения к заданному времени (например, ко времени проведения соревнований). Данная модель на основе результатов тренировок и показателей здоровья, передаваемых в компьютер с помощью аппаратно-программного комплекса диагностики текущего состояния спортсмена, осуществляет анализ его состояния, прогнозирование изменения результатов и показателей здоровья при различных воздействиях на спортсмена со стороны тренера и врача. На ее основе будет создан алгоритм автоматизированного формирования оптимального плана тренировочного процесса, позволяющего обрести наиболее эффективное состояние спортсмена для получения высоких результатов на соревнованиях различного уровня.

Перспективным направлением развития создаваемого на основе предложенной компьютерной модели программного обеспечения является использования визуальных средств, позволяющих исследовать поведение спортсменов в тренировочном процессе и на соревнованиях различного уровня [5].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Дмитриев В.М., Арайс Л.А., Шутенков А.В.* Автоматизация моделирования промышленных роботов. – М.: Машиностроение, 1995.
2. *Вапник В.Н.* Восстановление зависимостей по эмпирическим данным. – М.: Наука, 1979.
3. *Стрижов В.В., Шакин В.В.* Выбор оптимальных моделей в задачах восстановления регрессии. – М.: Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН, 2004.
4. *Хайкин С.* Нейронные сети: полный курс. – Изд. 2-е, испр. / пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2008.
5. *Козин В.В.* Требования к визуально-программному комплексу в формировании обратных связей при обучении игровым приемам баскетболистов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2014. – № 1 (31). – С. 247-250.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии А.А. Шелупановым.*

*E-mail:*

*Дмитриев Вячеслав Михайлович – dmitriewvm@gmail.com;*

*Ганджа Тарас Викторович – gandgatv@gmail.com;*

*Гаврилов Сергей Игоревич – gentlemantusur@gmail.com;*

*Лаходьнов Виктор Сергеевич – lahodynov@yahoo.com.*