

высшей спортивной результативности спортсменами высшей квалификации : отчет о НИР / рук. Хасин Л.А. – Малаховка, 2013. – 194 с. – № ГР 01201374168. – Инв. № 02201458725.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Расчет кинематических и динамических характеристик движения штанги / Л.А. Хасин, С.Б. Бурьян (Российская федерация). – № 2017613826 ; дата гос. регистрации в Реестре программ для ЭВМ 03.04.2017. – 1 с.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Расчет кинематических и динамических характеристик по прогибу грифа штанги в процессе выполнения тяжелоатлетических упражнений / Л.А. Хасин, С.Б. Бурьян (Российская федерация). – № 2018615517 ; дата гос. регистрации в Реестре программ для ЭВМ 08.05.2018. – 1 с.

6. Александров, А.В. Сопротивление материалов : учебник для вузов / А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин. – М. : Высшая школа, 2000. – 560 с.

7. Шалманов, А. Кинематика и динамика движения штанги у тяжелоатлетов высокой квалификации в условиях соревнований / А. Шалманов, В. Скотников, А. Панин // Олимп. – 2012. – № 2-3. – С. 27-31.

REFERENCES

1. Khasin, L.A., Burjan, S.B. and Drozdov A.L. (2017), "The method of calculation of kinematic and dynamic characteristics of movements of a bar with use of mathematical modeling and algorithms Filtration", *Biomechanics of physical actions and biomechanical control in sport: materials of the Vth All-Russian scientific and practical conference with international participation*, Ministry of Sport of the Russian Federation; Russian state university of physical culture, sport, youth and tourism; Moscow state academy of physical culture, pp. 187-193.

2. Khasin, L.A. (2013), "The biomechanical analysis of technology of performance of snatch by modern elite weightlifters with use of high-speed video filming and mathematical modeling", *Vestnik sportivnoj nauki*, No. 1, pp. 13-19.

3. Hasin, L.A. [and others] (2013), *The research of the biomechanical microstructure of physical actions with difficult coordination and the highest complexity on the basis of high-speed video filming and mathematical modeling and the effective technique of their formation and improvement to the level of the highest sports effectiveness by athletes of the top skills: Report on research*, Malakhovka.

4. Khasin, L.A. and Burjan, S.B. (2017), *Certificate on the state registration of the computer program No. 2017613826*, "Calculation of kinematic and dynamic characteristics of the movement of the bar", Date of the state registration in the Register of the computer programs, April 03, 2017

5. Khasin, L.A. and Burjan, S.B. (2018), *Certificate on the state registration of the computer program No. 2018615517*, "Calculation of kinematic and dynamic characteristics for the post signature stamp deflection during performance of heavy athletics exercises", Date of the state registration in the Register of the computer programs, May 08, 2018.

6. Alexandrov, A.V., Potapov, V.D. and Derzhavin B.P. (2000), *Resistance of materials*, textbook, High school publishing house, Moscow.

7. Shalmanov, A., Skotnikov V. and Panin A. (2012), "Kinematic and dynamics of the movement of the bar at weight-lifters of high qualification in the conditions of competitions", *Olimp*, No. 2-3, pp. 27-31.

Контактная информация: NIIT@mgafk.ru

Статья поступила в редакцию 22.01.2019

УДК 796.88

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ТЕХНИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ РЫВКА КЛАССИЧЕСКОГО

*Леонид Александрович Хасин, директор, кандидат педагогических наук, доцент,
Андрей Леонидович Дроздов, старший научный сотрудник,
Научно-исследовательский институт информационных технологий Московской
государственной академии физической культуры (НИИТ МГАФК), Малаховка*

Аннотация

В настоящей работе предлагается методика расчета силы, приложенной к штанге, при выполнении спортсменом тяжелоатлетического рывка с использованием координат точек на штанге,

полученных с помощью скоростной видеосъемки. Предлагается два способа расчета. Первый способ основан на вычислении координат центра масс пакетов блинов с последующим их численным дифференцированием для нахождения ускорения и силы, приложенной к штанге. Второй способ основан на использовании математической модели штанги, в которой гриф штанги рассматривается как стальная балка с постоянным круговым сечением. По известным координатам точек опор грифа и координатам конца грифа находится величина его прогиба, по которому находится сила, приложенная спортсменом к штанге. Расчеты по модели, учитывающей упругие свойства грифа, показали, что силы, прикладываемые спортсменом к штанге при выполнении рывка, существенно отличаются (до 23%) от сил, рассчитанных при допущении, что штанга представляет собой твердое тело. Найденные двумя способами зависимости силы, приложенной спортсменом к штанге, от времени отличаются незначительно (<3%) при больших прогибах.

Ключевые слова: тяжелая атлетика, гриф штанги, математическое моделирование, скоростная видеосъемка, цифровой фильтр, упругая балка, рывок штанги.

TECHNIQUE AND RESULTS OF ANALYSIS OF TECHNIQUE OF CLASSICAL SNATCH PERFORMANCE

*Leonid Aleksandrovich Hasin, director, the candidate of pedagogical sciences, senior lecturer,
Andrey Leonidovich Drozdov, the senior research associate,
Scientific research Institute of Information Technologies of Moscow State Academy of Physical
Culture, Malakhovka, Moscow region*

Annotation

Method of calculation of force applied to bar during performance of snatch by a weight-lifter with the help of coordinates of the points on bar received by means of high-speed video filming is offered by the authors of the paper. Two ways of calculation are offered. The first way is based on finding of coordinates of the center of mass of packages of bar pancakes with their subsequent numerical differentiation, finding of acceleration and force applied to a bar. The second way is based on use of model of a bar in which the bar is considered as a steel beam with constant circular section. On the known coordinates of points of support of a bar and coordinates of the end of a bar there is a bar deflection size which, according to the model, is proportional to force applied to a bar. Calculations for the model considering elastic properties of bar weight have shown that forces applied by the athlete to bar when performing snatch significantly differ (up to 23%) from forces calculated at assumption that the bar represents as solid body. Found via two ways the dependences of the force applied by the athlete to bar on time differ slightly (<3%) at big deflections.

Keywords: weightlifting, bar signature stamp, mathematical modeling, high-speed video filming, digital filter, elastic beam, snatch.

Целью настоящего исследования являлась разработка и применение методики расчета вертикальных сил, прикладываемых спортсменом к штанге, при выполнении рывка, в основе которой лежат математическое моделирование и алгоритмы фильтрации [1, 2, 3]. Для регистрации движения использовалась скоростная видеосъемка (250 к/с).

Съемка производилась фронтально. Оптическая ось камеры направлялась перпендикулярно оси грифа штанги. Анализ движения проводился от момента отрыва штанги от помоста до фиксации снаряда на вытянутых руках.

На каждом кадре видеоряда маркируются четыре точки: 1) левый конец грифа, 2) точка опоры – левая рука, 3) точка опоры – правая рука, 4) точка на внутреннем крае левого ограничителя блинов (бобышки).

Полученные координаты точек использовались для расчета скорости, ускорения штанги и силы, приложенной спортсменом, двумя способами. Первый способ был разработан в НИИТ МГАФК (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017613826) [4] и применяется для расчета скоростей и ускорений точек по координатам, полученным маркировкой видеоряда. В основе этого способа лежит применение цифрового фильтра, использующего полиномы третьего порядка для аппроксимации последовательности координат маркированной точки в скользящем окне переменной длины. Предложенный алгоритм фильтрации [1] позволяет производить последовательное

дифференцирование координат точки для нахождения ее скорости и ускорения. Для расчета сил, прикладываемых спортсменом к штанге, рассчитывалось положение центров масс пакетов блинов. Для этого использовались координаты пары точек. Первая точка пары – конец грифа штанги, вторая – точка на внутреннем крае ограничителя блинов. Положение центра масс блинов находилось из геометрических соображений. По координатам маркированных точек находились координаты и ускорения центров пакетов блинов. Для нахождения суммарной силы, прикладываемой спортсменом к штанге, решалось следующее уравнение:

$$m\bar{a} = P - m\bar{g}, \quad (1)$$

где m – масса штанги,

a – ускорение центра пакета блинов,

P – сила, прикладываемая спортсменом к штанге.

Уравнение (1) справедливо для следующих допущений. Мы рассматриваем вертикальное движение штанги. Начальное положение горизонтальное. В процессе выполнения упражнения линия, соединяющая концы грифа, перемещается параллельно начальному положению. Точки приложения сил P симметричны относительно центра грифа штанги. Силы направлены вертикально.

Во втором способе применяется математическое моделирование, в основе которого лежит уравнение упругой линии (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018615517) [5]. Для расчета динамических характеристик движения штанги была разработана математическая модель, в которой гриф штанги рассматривается как стальная балка с постоянным круговым сечением, лежащая на двух опорах, движущихся с ускорением a . Данная схема представлена на рисунке 1.

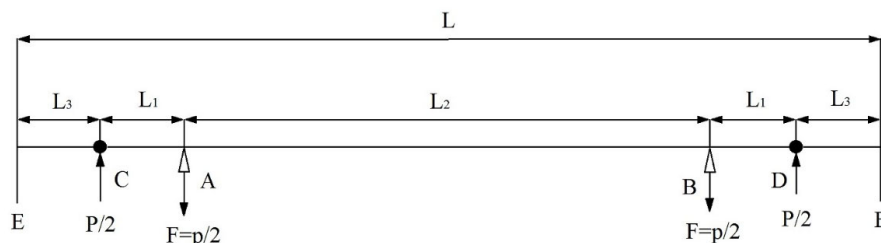


Рисунок 1 – Расчетная схема изгиба стальной балки на двух опорах

Точки A и B соответствуют положению опор (точки на плечах), точки C и D соответствуют центрам масс пакетов блинов, точками E обозначены концы грифа.

Прогиб балки в точках приложения сил C и D можно вычислить по формуле (2)

$$y_c = y_d = -\frac{PL_1^2}{2EI} \left(\frac{1}{3} L_1 + \frac{1}{2} L_2 \right). \quad (2)$$

Прогиб балки на концах (точки E) – по формуле 3:

$$y_e = y_c - \frac{PL_1}{2EI} \left(\frac{1}{2} L_1 + \frac{1}{2} L_2 \right) \times L_3, \quad (3)$$

где $E = 2.1 \cdot 10^{11} \frac{H}{M^2}$ – модуль упругости для стали согласно [6]; I – момент сопротивления сечения, для круга радиуса R , рассчитываемый по формуле:

$I = \frac{\pi R^4}{4}$.

Используя формулы 1, 2 и имея известные координаты концов грифа и точек опоры (руки спортсмена), можно рассчитать силу P в точках приложения сил через измеренную по координатам величину прогиба. Используя в качестве точек опор A и B (рисунок 1) точки на руках спортсмена напротив среднего пальца, можно рассчитать прогибы штанги на концах грифа. Величина прогиба определяется как расстояние от точки на конце грифа до прямой, проходящей через точки опор A и B. Используя формулу 2, можно найти силу

Р в точках С и D, и зная массу штанги – ускорения в этих точках.

В вычислительном эксперименте по расчету параметров движения штанги был использован результат обработки видеоряда, снятого скоростной видеокамерой Phantom Miro M110, расположенной фронтально напротив спортсмена, так, чтобы оптическая ось объектива проходила через центр грифа. Спортсмен, член сборной команды России, выполняет упражнение рывок, вес снаряда 170 кг. Скорость съемки – 250 к/с, разрешение матрицы – 704×560 пиксел.

С помощью цифрового фильтра были найдены ускорения на конце грифа штанги и в центре пакета блинов. Графики зависимости найденных ускорений от времени для левого конца грифа представлены на рисунках 2 и 3.

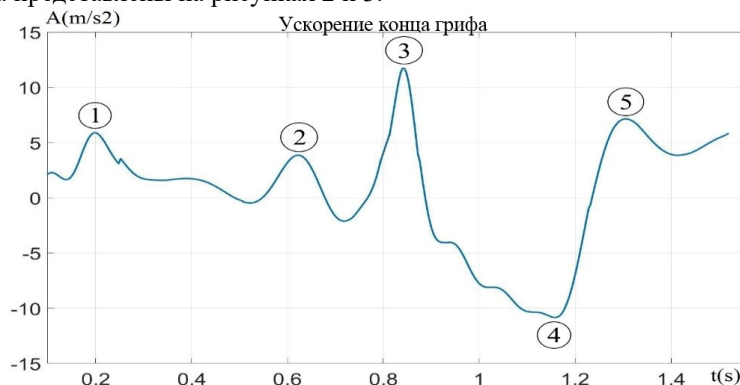


Рисунок 2 Зависимость ускорения на конце грифа от времени

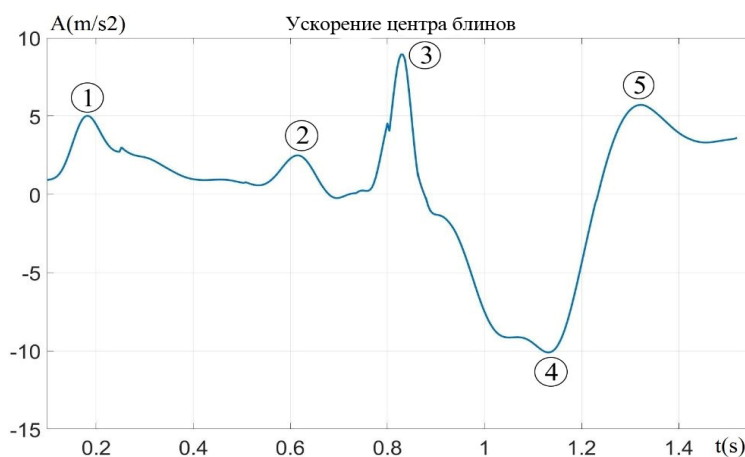


Рисунок 3 – Зависимость ускорения в центре пакета блинов от времени

Круговыми маркерами 1-5 на рисунках 2 и 3 обозначены локальные экстремумы на графике ускорения. Значения моментов времени, в которые достигаются локальные экстремумы ускорения, а также значения собственно экстремумов приведены в таблице 1.

В таблице 1 столбцы t-конца и t-груза содержат моменты времени достижения локальных экстремумов 1-5 кривых ускорения (рисунок 2) для конца грифа и для груза (центр пакета блинов), столбец dt содержит модуль разницы между t-конца и t-груза. Столбцы A-конца и A-груза содержат значения локальных экстремумов ускорения 1-5, а столбец dA – модуль разницы между этими столбцами.

Для локального максимума № 3 разница ускорений конца грифа и груза достигает значения 2,794 м/с², что составляет боле 23%. Также можно видеть для точек 1-4 небольшое отставание по времени пиков ускорения груза от пиков ускорения конца грифа. Это

позволяет сделать вывод о заметном отличии ускорения груза от ускорения конца грифа. Если бы мы использовали ускорение, найденное для конца грифа, для вычисления силы, приложенной к штанге, то получили бы такие же различия с силой, полученной по ускорению центра пакета блинов.

Таблица 1 – Значения ускорения в точках 1-5 на конце грифа и в центре пакета блинов

№	t-конца (s)	A-конца (m/c^2)	t-груза (s)	A- груза (m/c^2)	dt	dA
1	0,196	5,890	0,184	5,014	0,012	0,876
2	0,624	3,850	0,616	2,486	0,008	1,364
3	0,840	11,730	0,828	8,936	0,012	2,794
4	1,156	-10,840	1,132	-10,100	0,024	0,740
5	1,304	7,137	1,320	5,711	0,016	1,426

Гриф штанги в процессе выполнения упражнения прогибается. График зависимости измеренной величины прогиба на конце грифа Y_e от времени представлены на рисунке 4. Зная величину прогиба на конце грифа штанги, с помощью формул (1) и (2) можно вычислить величину прогиба штанги в центре пакета блинов.

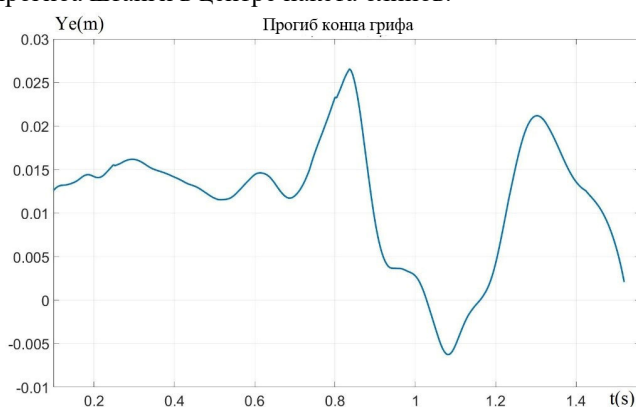


Рисунок 4 – Зависимость величины прогиба Y_e на конце грифа от времени

Максимальный прогиб наблюдается в момент времени 0,836 с от начала видеофрагмента и достигает величины 0,0265 м. В момент времени 1,08 с прогиб достигает минимального отрицательного значения -0,006 м. Отрицательные значения прогиба наблюдаются в фазе «подседа», когда спортсмен минимально взаимодействует со снарядом.

На рисунке 5 приведены графики зависимости силы, приложенной к снаряду, полученные двумя способами – с использованием алгоритма фильтрации и по формуле для прогиба на конце грифа в одних осях. При использовании алгоритма фильтрации находится ускорение в центре пакета блинов. Сила в этой точке находится по формуле (1).

Измеренные величины L_1 , L_2 , L_3 составили 0,29 м, 1,0 м и 0,31 м соответственно. Круговыми маркерами 1-5 обозначены локальные экстремумы на графике ускорения. Значения моментов времени, в которые достигаются эти экстремумы, а также значения собственно экстремумов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения силы, приложенной к снаряду, в точках 2-5 «по фильтру» и «по прогибу»

№	t-фильтр (с)	F-фильтр (N)	t-прогиб (с)	F-прогиб (N)	dt	dF
2	0,616	2089	0,612	1712	0,004	377
3	0,828	3185	0,836	3110	0,008	75
4	1,132	-51	1,080	-734	0,052	683
5	1,320	2637	1,304	2481	0,016	156

В таблице 2 столбцы t-фильтр и t-прогиб содержат моменты времени локальных экстремумов 1-5 кривых силы (рисунок 4), рассчитанных «по фильтру» и «по прогибу»,

столбец dt содержит модуль разницы между t -фильтр и t -прогиб. Столбцы F -фильтр и F -прогиб содержат значения локальных экстремумов силы 1-5, а столбец dFA – модуль разницы между этими столбцами.

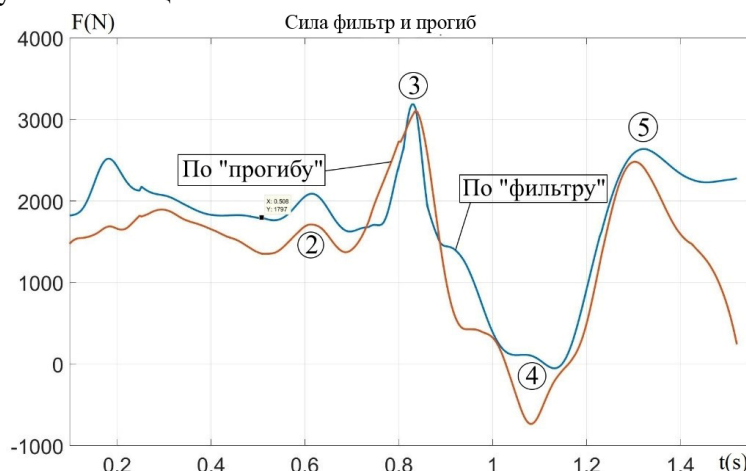


Рисунок 5 – Сила, приложенная к штанге, вычисленная «по фильтру» и с использованием прогиба

Полученные в результате расчетов данные позволяют сделать следующие выводы.

1. Разница вертикальных ускорений, рассчитанных с использованием координат конца грифа и координат центра блинов значительна и составляет 23% (таблица 1) в момент достижения максимального ускорения. Если предположить, что штанга является твердым телом, то максимальная вертикальная сила, приложенная спортсменом, равна 3660 N. Максимальная сила, найденная по ускорению центра блинов, составила 3185 N. Разница в приложенных силах составила 475 N (13%). Следовательно, при выполнении рывка существуют моменты времени, когда ускорения и сила, найденные по координатам конца грифа и центра масс пакета блинов, различны.

2. Силы, приложенные к штанге, вычисленные «по фильтру» и с использованием модели прогиба балки, имеют схожие формы кривых. Амплитуды пиков силы, вычисленные каждым из двух способов, синхронны. Амплитудные значения сил, вычисленные разными способами, близки для моментов, где прогиб грифа достигает больших значений

3. В завершающей стадии подседа вертикальная составляющая силы, прикладываемой спортсменом к штанге, принимает отрицательные значения. Прогиб штанги в этот период времени также отрицателен.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хасин, Л.А. Методика расчета кинематических и динамических характеристик движений штанги с использованием математического моделирования и алгоритмов фильтрации / Л.А. Хасин, С.Б. Бурьян, А.Л. Дроздов // Биомеханика двигательных действий и биомеханический контроль в спорте : материалы V Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. / Министерство спорта Российской Федерации; Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма; Московская государственная академия физической культуры. – 2017. – С. 187-193.
2. Хасин, Л.А. Биомеханический анализ техники выполнения рывка современными тяжелоатлетами высокой квалификации с использованием скоростной видеосъемки и математического моделирования / Л.А. Хасин // Вестник спортивной науки. – 2017. – № 1. – С. 13-19.
3. Хасин, Л.А. Биомеханический анализ техники тяжелоатлета при выполнении рывка классического на основе скоростной видеосъемки и компьютерного моделирования/ Л.А. Хасин // Теория и практика физической культуры. – 2013. – № 11. – С. 100-104.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Расчет кинематических и динамических характеристик движения штанги / Л.А. Хасин, С.Б. Бурьян (Российская

федерация). – № 2017613826 дата гос. регистрации в Реестре программ для ЭВМ 03.04.2017. – 1 с.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Расчет кинематических и динамических характеристик по прогибу грифа штанги в процессе выполнения тяжелоатлетических упражнений / Л.А. Хасин, С.Б. Бурьян (Российская федерация). – № 2018615517; дата гос. регистрации в Реестре программ для ЭВМ 08.05.2018. – 1 с.

6. Александров, А.В. Сопротивление материалов : учеб. для вузов / А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин. – М. : Высшая школа, 2000. – 560 с.

REFERENCES

1. Khasin, L.A., Burjan, S.B. and Drozdov A.L. (2017), "The method of calculation of kinematic and dynamic characteristics of movements of a bar with use of mathematical modeling and algorithms Filtration", *Biomechanics of physical actions and biomechanical control in sport: Materials of the Vth All-Russian scientific and practical conference with international participation*, Ministry of Sport of the Russian Federation; Russian state university of physical culture, sport, youth and tourism; Moscow state academy of physical culture, pp. 187-193.

2. Khasin, L.A. (2013), "The biomechanical analysis of technology of performance of snatch by modern elite weightlifters with use of high-speed video filming and mathematical modeling", *Vestnik sportivnoy nauki*, No. 1, pp. 13-19.

3. Khasin, L.A. (2013), "Biomechanical analysis of weightlifter during classic jerk based on high-speed video recording and computer simulation", *Theory and practice of physical culture*, No. 11, pp. 100-104.

4. Khasin, L.A. and Burjan, S.B. (2017), *Certificate on the state registration of the computer program No. 2017613826*, "Calculation of kinematic and dynamic characteristics of the movement of the bar", Date of the state registration in the Register of the computer programs, April 03, 2017

5. Khasin, L.A. and Burjan, S.B. (2018), *Certificate on the state registration of the computer program No. 2018615517*, "Calculation of kinematic and dynamic characteristics for the post signature stamp deflection during performance of heavy athletics exercises", Date of the state registration in the Register of the computer programs, May 08, 2018.

6. Alexandrov, A.V., Potapov, V.D. and Derzhavin B.P. (2000), *Resistance of materials, textbook*, High school publishing house, Moscow.

Контактная информация: NIIT@mgafk.ru

Статья поступила в редакцию 21.01.2019

УДК 796.077.5

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДИСЦИПЛИНЫ «ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА И СПОРТ» ВУЗОВ, СПЕЦИАЛИЗИРУЮЩИХСЯ НА ЛЫЖНОЙ ПОДГОТОВКЕ И СПОРТИВНОМ ОРИЕНТИРОВАНИИ

Анна Александровна Худик, мастер спорта международного класса,
Валентина Степановна Близнаевская, доктор педагогических наук, профессор,
Сергей Валерьевич Худик, заслуженный тренер России,
Юлия Вячеславовна Тарасенко, мастер спорта международного класса,
Андрей Петрович Тарасенко, мастер спорта России,
Институт физической культуры, спорта и туризма Сибирского федерального университета (ФГАОУ ВО СФУ), г. Красноярск

Аннотация

В статье раскрывается актуальность сочетания занятий лыжным спортом и спортивным ориентированием в курсе дисциплины «Физическая культура и спорт» для студентов вузов, желающих круглогодично заниматься на природе. Целью данного исследования стала разработка «фонда оценочных средств» для учебной программы такой комплексной специализации, которая основывается на новом федеральном государственном образовательном стандарте ФГОС ВО 3+-. В результате, представленный и апробированный «фонд оценочных средств» включает оптимальный набор контрольных тестов по общей физической подготовке из утвержденного комплекса ВФС