УДК 796.92 DOI: 10.36028/2308-8826-2024-12-S1-52-59

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ВЫРАБАТЫВАЕМОЙ МОЩНОСТИ ЛЫЖНИКОВ-ГОНЩИКОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ УРОВНЯ ГРАДИЕНТА РЕЛЬЕФА

В.Ю. Куимов, А.И. Чикуров

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

Аннотация

Цель исследования: провести сравнительный анализ используемых формул вычисления вырабатываемой мощности лыжников-гонщиков с учетом воздействия внешних сил.

Методы и организация исследования. Методологию исследования составляют анализ научной литературы по проблеме исследования оценки вырабатываемой мощности при воздействии внешних сил на тело лыжника-гонщика.

Результаты исследования и их обсуждение. В видах спорта на выносливость особое значение для построения тренировочного процесса имеет показатель вырабатываемой мощности. Мощность, развиваемая при движении, – одна из ключевых переменных, определяющих соревновательный результат во многих циклических видах спорта. Особое внимание стоит уделить внешним силам, оказывающим влияние на тело лыжника-гонщика в период передвижения спортсмена по лыжной трассе. В процессе специальной физической подготовки следует выделить следующие силы, оказывающие влияние на тело лыжника: силу тяжести, силу трения качения, силу сопротивления воздуха.

Заключение. Анализ внешних сил, воздействующих на тело лыжника-гонщика, показал, что результаты вычисления каждой из сил имеют особенности при оценке физических величин, используемых в формуле. Что касается выбора той или иной формулы определения вырабатываемой мощности, то авторы J.F. Moxnes, K. Hausken, O. Sandbakk, E.P. Andersson, K. McGawley используют два идентичных варианта уравнения, в основе которых лежит сумма противодействующих сил.

Ключевые слова: лыжные гонки, силы, скорость, трение, гравитация, мощность лыжника гонщика, расчет мощности, изменение рельефа.

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR ESTIMATING THE POWER OUTPUT OF SKI RACERS WHEN CHANGING THE LEVEL OF RELIEF GRADIENT

V.Yu. Kuimov, e-mail: Vadim.Cuimow@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-7658-790X
A.I. Chikurov, e-mail: chikurov71@mail.ru, ORCID: 0000-0003-1073-3120
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Abstract

The purpose of research: to conduct a comparative analysis of the formulas used to calculate the power output of ski racers, taking into account the impact of external forces.

Methods and organization of research. The research methodology consists of an analysis of scientific literature on the problem of studying the assessment of power output under the influence of external forces on the body of a skier-racer.

The research results and their discussion. In endurance sports, the indicator of power output is of particular importance for building the training process. The power developed during movement is one of the key variables determining competitive performance in many cycling sports. Special attention should be paid to external forces that affect the body of a ski racer during the movement of an athlete on a ski track. In the process of special physical training, the following forces should be distinguished that affect the skier's body: gravity, rolling friction and air resistance.

Conclusion. An analysis of the external forces acting on the body of a ski racer has shown that the results of calculating each of the forces have special features when evaluating the physical quantities used in the formula. Regarding the choice of one or another formula for determining the power output, the authors J.F. Moxnes, K. Hausken,

O. Sandbakk, E.P. Andersson, K. McGawley use two identical versions of the equation, which are based on the sum of the opposing forces.
Keywords: cross-country skiing, forces, velocity, friction, gravity, cross-country skier power, power calculation, changing the terrain.

ВВЕДЕНИЕ

Усовершенствованный спортивный инвентарь, современный подход к планированию лыжных трасс, искусственное оснежнение и увеличенное количество контактных гонок способствовали изменению тренировочного процесса лыжников-гонщиков [16; 18]. В подготовке лыжников-гонщиков за последнее десятилетие значительно увеличилось количество тренировочных часов кондиционной и специально-силовой подготовки [2; 20; 22].

Активное применение скоростно-силовых способностей в соревнованиях продолжительного характера осуществляется в финишных спуртах, при контактной борьбе по ходу дистанции, в преодолении бонусных отсечек и уходов на спусковую часть. Основные законы кинематики, применяемые в тренировочной и соревновательной деятельности лыжников-гонщиков, определяют биомеханические характеристики передвижения атлета по лыжной трассе и создают базу исследований для изучения потенциальных прогнозов динамики улучшения скорости, темпа, ритма движений на определенном уровне градиента рельефа [1; 3; 4].

Оценивая весь спектр средств, используемых в силовой подготовке лыжников-гонщиков, стоит отметить упражнения, выполняемые на различном рельефе. Регулирование уровня наклона рельефа в специальной физической подготовке позволяет дозировать форму нагрузки при развитии скоростно-силовых качеств. Одним из ключевых скоростно-силовых показателей лыжников-гонщиков является производимая мощность.

Мощность, развиваемая при движении, – одна из ключевых переменных, определяющих соревновательный результат во многих циклических видах спорта. Её часто используют спортивные ученые, атлеты и тренеры в исследовательских, а также тренировочных целях. Например, в велоспорте подготовку спортсмена высокой квалификации уже весьма проблематично представить без подобного рода обратной связи [5; 15]. Так, аналогично представителям велоспорта, руководствуясь информацией о мощности движений, лыжники-гонщики смогут значительно повысить эффективность своей тренировочной работы по двум ключевым направлениям: объективному дозированию нагрузок, поскольку не придется интуитивно применять тренировочные программы расчета объема интенсивности специальных упражнений, выполняемых на лыжной трассе; объективному подбору оптимальных вариантов техники выполнения движений. Тем не менее в лыжных гонках по-прежнему нет единой формулы расчета производимой мощности движений, в связи с чем **цель данной работы** – провести сравнительный анализ используемых формул вычисления показателя мощности лыжников-гонщиков с учетом воздействия внешних сил.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках проведенного исследования было изучено более 20 оригинальных научных статей зарубежных и отечественных авторов (статьи, тезисы докладов, материалы конференций, журналы). Найденные зарубежные источники переводились на русский язык и подвергались научному редактированию и интерпретированию. Результаты исследования были систематизированы по ведущим направлениям и методическим подходам к исследованиям.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В видах спорта на выносливость особое значение для построения тренировочного процесса имеет показатель вырабатываемой мощности. Показатель мощности – это величина, которая рассматривается в различных формах. Ученые отмечают два вида мощности – метаболическую и выходную, описывающую воздействие внешних сил на тело. Виды спорта, в которых используется рельеф трассы с различным уклоном градиента рельефа, достаточно сложно оценить мощность физического тела во время перемещения на том или ином участке подъема. В некоторых видах спорта, таких как велоспорт, можно легко измерить мощность с помощью измерителя, установленного на велосипеде. Принцип измерения мощности в лыжных гонках достаточно сложный и актуальный при построении тренировочного процесса, а также определении оптимального объема воздействия на мышечные

волокна в сторону развития быстроты или силы. Для соревновательной и тренировочной деятельности в лыжных гонках характерно участие несколько видов внешних сил, оказывающих воздействие на тело лыжника-гонщика. В процессе специальной физической подготовки следует выделить наиболее значимые силы, оказывающие влияние на тело лыжника-гонщика: силу тяжести (F_g), силу сопротивления качения (F_N), силу сопротивления воздуха (F_{air}).

Сила сопротивления качению учитывается при изменении коэффициента трения (μ), силы нормального давления (F_N). Особое влияние оказывает сила трения качения при взаимодействии с поверхностью лыжной трассы.

Коэффициент трения – величина непостоянная и имеет разное значение на различном уровне градиента рельефа. Произвести расчет коэффициента трения в лыжных гонках ученные и исследователи пробовали неоднократно.

Исследователь E. Spring с соавторами в работе, посвященной определению сил, воздействующих на тело лыжника-гонщика при перемещении, вычислили, что трение лыж о снег и лобовое сопротивление составляют примерно 30 и 15% затрат энергии соответственно [21]. Таким образом, большей мощности и большей экономичности можно достичь за счет максимизации тягового усилия и минимизации сил сопротивления.

Budde R. и Himes A. отмечают, что для современных лыж коэффициент трения, который оказывает значительное влияние на вырабатываемую механическую работу, составляет 0,005 на трансформированном мокром снегу и 0,035 на холодном свежевыпавшем снегу [9].

Влияние коэффициента трения на спортивный результат лыжников-гонщиков рассматривали J. F. Moxnes и другие. Математическое моделирование позволило определить, что можно снизить трение на 0,001, что впоследствии сократило результат времени гонки на каждом километре примерно на 2 секунды [11].

Mats Ainegren с соавторами установили, что при вычислении мощности необходимо использовать формулы, где учтены силы, воздействующие на тело лыжника-гонщика, так как они значительно влияют на результат. Для вычисления силы сопротивления качению научные сотрудники спроектировали и установили тензодатчик для измерения силы (N), а впоследствии – коэффициента трения (μ). Схематический набросок экспериментальной установки приведен на рисунке 1 [7].

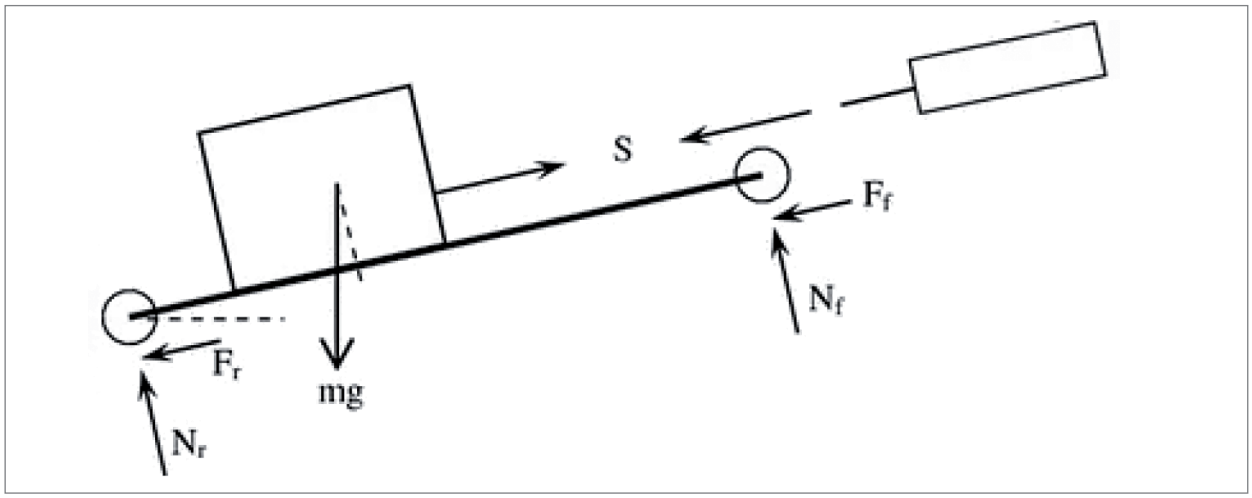

Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки (S) на лыжероллерах в период сопротивления качению на беговой дорожке
Figure 1 – Diagram of an experimental installation (S) on roller skis during the period of rolling resistance on a treadmill

Уравнение для расчета коэффициента трения выглядит следующим образом:

$$F_r + F_f = S - m \times g \times \sin a \quad (1)$$

$$N_r + N_f = m \times g \times \cos a \quad (2)$$

$$\mu_R(N_{Total}, a) = \frac{F_r + F_f}{N_r + N_f} = \frac{S - m \times g \times \sin a}{m \times g \times \cos a} \quad (3)$$

Где угол наклона α – это наклон беговой дорожки,
S – это сила, регистрируемая в тензодатчике,
m – это общая масса роликовых лыж,
g – ускорение под действием силы тяжести,
N – это нормальное усилие,
F – это сопротивление качению,
а индексы r и f указывают заднее и переднее положения сил.

Mats Ainegren, Peter Carlsson, Mats Tinnsten показали, что после разминки отмечается значительное изменение показателей сопротивления качению. Результаты также указывают на различия между лыжероллерами для свободного стиля передвижения и классического. Сопротивление качению лыжероллеров для свободного стиля передвижения снижается быстрее и до более низкого значения по сравнению с таковым при классическом передвижении. В среднем сопротивление качению лыжероллеров для свободного стиля передвижения снижается примерно до 60-65%, в то время как сопротивление качению классических роликовых лыж снижается до 70-75% от их первоначального значения[7].

Исследователь H. Parry с соавторами в работе, посвященной определению сил, воздействующих на тело лыжника-гонщика при перемещении, используют формулы вычисления силы трения. Оценка силы сопротивления качению рассчитывается по следующей формуле (4)

$$F\mu = \mu \times m \times g \times \cos\alpha \quad (4),$$

где $F\mu$ – сопротивление качению лыжероллеров; μ – коэффициент сопротивления качению, который в основном обусловлен упругой деформацией колес и основания при сопротивлении роликовых подшипников; $m(kg)$ – масса спортсмена вместе с одеждой и снаряжением; g – ускорение под действием силы тяжести ($м/с^2$); и α – угол наклона подъема [6; 14].

O. Karlsson и другие исследователи используют формулу силы трения с определением таких физических величин, как скорость (v), масса тела со снаряжением, ускорение (m), коэффициент трения (C_{rr}) и угол (α) наклона. Расчеты силы трения были произведены для определения вырабатываемой мощности при передвижении по лыжной трассе[10].

$$P_{rr} = C_{rr} \times m \times g \times \cos a \times v \quad (5)$$

В процессе преодоления лыжной трассы на тело лыжника оказывает влияние гравитационная сила (P_g). Для определения результата гравитационной силы используются достаточно доступные для вычисления физические величины: масса тела со снаряжением, ускорение, угол наклона (α) и скорость. Ученые O. Karlsson и другие в научных трудах используют следующую формулу вычисления (6)[10].

$$P_g = m \times g \times \sin a \times v \quad (6)$$

При изучении внешних сил, оказывающих влияние на результат спортсмена, особое место занимает сила сопротивления воздуха. Вычислить физические величины представленного ниже уравнения достаточно сложно[10].

$$F_d = 0{,}5 \times C_D A \times \rho \times v^2_{air} \quad (7),$$

где ρ – плотность воздуха; C_D A – площадь тела при лобовом сопротивлении; v^2_{air}– скорость ветра.

Вырабатываемая мощность в процессе тренировочной и соревновательной деятельности является важным показателем производительности[19]. Вырабатываемая мощность как физическая величина рассматривалась фрагментарно. Мощность при катании на беговых лыжах может быть косвенно оценена на основе модели баланса мощности или внешних сил, действующих на лыжника[24]. То же самое относится и к катанию с использованием лыжероллеров на беговой дорожке, которая является основной процедурой тестирования производительности и научной оценки показателей лыжников-гонщиков.

Авторы D. Sundstrom, P. Carlsson, E. Andersson в работе, посвященной сравнительной характеристике методов оценки выходной мощности, не учитывали силу сопротивления ветра, поскольку исследование проходило в закрытом помещении. Подсчет результатов сравнительной характеристики методов оценки выходной мощности был исследован в 2 системах отсчета. Наиболее эффективный метод оценки мощности был определен и апробирован авторами исследования на тредбане с учетом силы сопротивления качения, гравитационной силы и уровня наклона полотна тредбана. Данные условия облегчают работу вычисления мощности, так как в условиях, приближенных к соревнованиям, величина средней скорости и угла наклона подъема будут рассчитаны с помощью производной.

Оценка физических величин в инерциальной системе отсчета для вычисления мощности лыжников-гонщиков является рациональным вариантом определения результата формулы[23]. Данная формула представлена ниже и была выведена из формулы баланса мощности[13].

$$P = v \times m \times (g \times sin\,\alpha + \mu \times g \times cos\,\alpha + \frac{dv}{dt}) \quad (8)$$

Формула расчета мощности без учета силы сопротивления была выведена из уравнения баланса мощности, сформулированного исследователями J.F. Moxnes, K. Hausken [13].

Уравнение баланса мощности представлено ниже, авторы исследования J.F. Moxnes, K. Hausken отмечают, что скорость изменения кинетической энергии лыжника $(E)_k$ равна разности мощности перемещения (P) и силы трения $(F\mu)$, гравитационной силы, силы сопротивления воздуха (F_d) [13].

$$\frac{d(E)_k}{dt} = P - \mu \times F_N \times v - m \times g \times \sin(a) \times v - 0{,}5 \times C_D A \times \rho \times v_{air}^2 \quad (9)$$

Формула скорости работы (производительности), представленная ниже, объединяет две противодействующие движению тела лыжников-гонщиков силы, по сумме которых определяется значение данной формулы.

Авторы исследования O. Sandbakk, H.C. Holmberg и др. в формуле вычисления производительности отметили противодействие силы трения качения и гравитационной силы[19].

$$\text{Work rate} = P_g + P_f \quad (10)$$

$$P_g = m \times g \times \sin\alpha \times v \quad (11)$$

$$P_f = \mu \times m \times g \times \cos\alpha \times v \quad (12)$$

Авторы исследования B. Pellegrini1, C. Zoppirolli и др. произвели расчеты механической энергии в трех видах техники катания по следующим формулам:

Расчет механической энергии состоял из суммы двух видов энергии: кинетической и потенциальной, что представлено ниже в уравнении [17].

$$W_{EXT} = E_{KE} + E_{PE} \quad (13)$$

Определение внешней механической работы определялось по формуле, представленной ниже, учитывалась сумма работы, необходимой для передвижения (W_{EXT}), и работы для преодоления сопротивления качению (W_{FR}) [17].

$$W_{EXT} = W_{EXT} + W_{FR} \quad (14)$$

Работа, необходимая для передвижения тела, выражается в следующем уравнении:

$$W_{EXT} = m \times a_f \times D_f + m \times (g + a_v) \times D_v \quad (15)$$

В формуле используется произведение массы (m), поступательного ускорения (a_f) и смещения центра массы тела при поступательном ускорении (D_f). Произведение при поступательном ускорении суммируется с произведением массы(m) и смещения центра массы тела при вертикальном ускорении (D_v) на сумму гравитационной постоянной (g) и вертикального ускорения (a_v).

Ученые Erik P. Andersson, K. McGawley и J.F. Moxnes, O. Sandbakk, K. Hausken в своих научных трудах использовали формулу выходной мощности, представленную ниже [8; 12]:

$$PO[W] = m_{tot} \times g \times s\,in\,a \times v + m_{tot} \times \mu_R \times g \times cos\,a \times v \quad (16)$$

В данном уравнении выражены основные закономерности физики при передвижении лыжника-гонщика в подъем, пренебрегая силой сопротивления воздуха. На рисунке 2 отображены основные силы, воздействующие на тело лыжника в подъем, пренебрегая силой сопротивления воздуха.

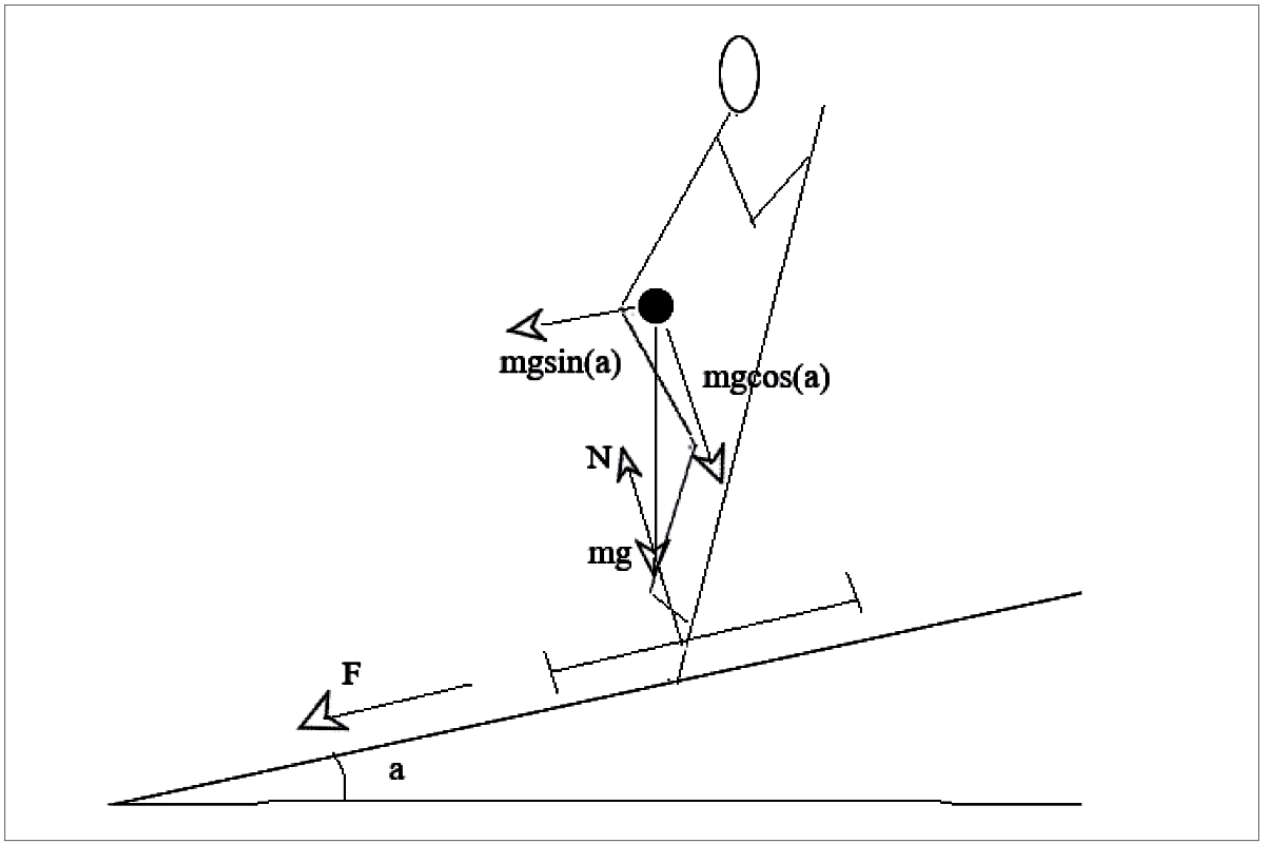

Рисунок 2 – Схема с использованием физических величин механического движения тела лыжника-гонщика в подъем
Figure 2 – Scheme using physical quantities of the mechanical movement of the body of a skier-racer in the ascent

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе анализа исследования методов оценки вырабатываемой мощности лыжников-гонщиков мы сделали следующие выводы:

1. Анализ внешних сил, воздействующих на тело лыжника-гонщика, показал, что результаты вычисления каждой из сил имеют особенности при оценке физических величин, используемых в формуле. Наиболее доступная для вычисления сила – это сила тяжести. Достаточно тяжело определить силы сопротивления качения и силу сопротивления воздуха. Используемые физические величины – коэффициент трения (μ) и площади тела при лобовом сопротивлении ($C_D A$ – вычисляются по дополнительным формулам и с использованием оборудования.

2. Что касается выбора той или иной формулы определения вырабатываемой мощности, то авторы J.F. Moxnes, K. Hausken, O. Sandbakk, E.P. Andersson, K. McGawley используют два идентичных варианта уравнения, в основе которых лежит сумма противодействующих сил.

3. Измерение показателя мощности осуществляется в закрытом помещении с помощью средств, отражающих условия специальной физической подготовки, в которых не учитывается сила сопротивления воздуха.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ананьева, Л. В. К проблеме выбора способов выполнения лыжных ходов / Л. В. Ананьева, Д. А. Коренев, В. Н. Томилов // Труды кафедры биомеханики ун-та им. П. Ф. Лесгафта: межвузовский сборник науч. трудов. Вып. XV. – СПб. : ООО «Р-КОПИ», 2021. – С. 6-11.
2. Бутков, А. Д. Аэробные и скоростно-силовые возможности лыжников в конце подготовительного и начале соревновательного периодов подготовки / А. Д. Бутков, Е. А. Лысенко, Ю. С. Лемешева // Физиология человека. – 2017. – Т. 43, No 3. – С. 57-63.
3. Гурский, В. П. Педагогическая концепция управления системой двигательных действий лыжников-гонщиков : автореферат дис. .... д-ра пед. наук / Гурский, Александр Викторович; Национальный государственный университет физической культуры, спорта и здоровья им. П. Ф. Лесгафта. – Санкт-Петербург, 2016. – 51 с.
4. Кубяк, А. Е. и др. Об исследовании кинематики движений лыжников элитного уровня при использовании техники «дабл полинг» / А. Е. Кубяк, Д. В. Паршин // Российский журнал биомеханики. – 2021. – Т. 25, No 3. – С. 285-300.
5. Парамонова, Н. А. О регистрации мощности движений

в конькобежном спорте: проблемы и перспективы / Н. А. Парамонова, Д. Ю. Быков // Состояние и перспективы технического обеспечения спортивной деятельности : Материалы VI Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию БНТУ и 10-летию СТФ, 20-23 октября. – Минск, 2020. – С. 41-44.
6. Ainegren, M. et al. Effects of aerodynamic drag and drafting on propulsive force and oxygen consumption in double poling cross-country skiing / M. Ainegren, V. Linnamo, S. Lindinger // Medicine and Science in Sports and Exercise. – 2022. – №54(7). – P. 1058-1065.
7. Ainegren, M. et al. Rolling resistance for treadmill roller skiing / M. Ainegren, P. Carlsson, M. Tinnsten // Sports engineering. – 2008. – № 11. – P. 23-29.
8. Andersson, E. A comparison between different methods of estimating anaerobic energy production / E. Andersson, K. McGawley // Journal applied physiology. – 2018. – № 9.
9. Budde, R. High-resolution friction measurements of cross-country ski bases on snow / R. Budde, A. Himes // Sports engineering. – 2017. – № 20. – P. 299-311.
10. Karlsson, O. et al. Exercise intensity during cross-country skiing described by oxygen demands in flat and uphill terrain / O. Karlsson, M. Gilgien, O. N. Gloersen, B. Rud, T. Losnegard // Frontend physiology. – 2018. – №9. – P. 846.
11. Moxnes, J. F. Cross-country skiing motion equations, locomotive forces and mass scaling laws / J. F. Moxnes, K. Hausken // Mathematical and computer modelling of dynamical systems. – 2008. – № 14. – P. 535-569.
12. Moxnes, J. F. et al. Using the power balance model to simulate cross-country skiing on varying terrain / J. F. Moxnes, O. Sandbakk, K. Hausken // Open access journal. Sports medicine. – 2014. – № 5. – P. 89-98.
13. Moxnes, J. F. et. al. A simulation of cross-country skiing on varying terrain by using a mathematical power balance model / J. F. Moxnes, O. Sandbakk, K. Hausken // Open access journal sports medicine. – 2013. – № 4. – P. 127-139.
14. Parry, H. et al. The influence of a rocking-motion device built into classic cross-country roller-ski bindings on biomechanical, physiological and performance outcomes / H. Parry, A. Buskqvist, P. Erlandsson, C. Ohrman, H. Lindblom, M. Ohlsson, K. McGawley // Sports engineering. – 2021. – № 24.
15. Passfield, L. et al. Knowledge is power: Issues of measuring training and performance in cycling / L. Passfield, J. G. Hopker, S. A. Jobson, D. Friel // Journal of sports sciences. – 2017. – Т. 35. – №. 14. – P. 1426-1434.
16. Pellegrini, B. et al. Developments in the biomechanics and equipment of Olympic cross-country Skiers / B. Pellegrini, T. L. Stoggl, H. C. Holmberg // Frontend physiology. – 2018. – № 9. – P. 976.
17. Pellegrini, B. et al. Gait models and mechanical energy in three cross-country skiing techniques / B. Pellegrini, C. Zoppirolli, L. Bortolan, P. Zamparo, F. Schena // The journal of experimental biology. – 2014. – № 217. – P. 3910-3918.
18. Sandbakk, O. et al. Metabolic rate and gross efficiency at high work rates in world class and national level sprint skiers / O. Sandbakk, H. C. Holmberg, S. Leirdal, G. Ettema // European Journal of Applied Physiology. – 2010. – №109. – P. 473-481.
19. Sandbakk, O. et al. The velocity and energy profiles of elite cross-country skiers executing downhill turns with different radii / O. Sandbakk, S. Sandbakk, M. Supej, H. C. Holmberg // International journal sports physiology performance. – 2014. – № 9. – P. 41-47.
20. Sandbakk, O. The evolution of champion cross-country skier training: from lumberjacks to professional athletes / O. Sandbakk // International journal sports physiology performance. – 2017. – № 12. – P. 254-259.
21. Spring, E. et al. Drag area of a cross-country skier / E. Spring, S. Savolainen, J. Erkkila, T. Hamalainen, P. Pihkala // International journal sport biomechanical. – 1988. – № 4. – P. 103-113.
22. Stoggl, T. A Systematic review of the effects of strength and power training on performance in cross-country skiers / T. Stoggl, H. C. Holmberg // Journal of sports science medicine. – 2022. – № 21. – P. 555-579.
23. Sundstrom, D. et al. Comparison of Power Output Estimates in Treadmill Roller-Skiing / D. Sundstrom, P. Carlsson, E. Andersson // Proceedings of the 12th conference of the international sports engineering association. – 2018. – № 2(6). – P. 312.
24. Van Ingen Schenau, G. J. Power equations in endurance sports / G. J. Van Ingen Schenau, P. R. Cavanagh // Journal. Biomechanical. – 1990. – № 23. – P. 865-881.

REFERENCES

1. Ananyeva, L. V. On the problem of choosing a method of performing ski moves / L. V. Ananyeva, D. A. Korneev, V. N. Tomilov // Proceedings of the Department of Biomechanics of the P. F. Lesgaft University: interuniversity collection of scientific papers. Issue XV. – St. Petersburg,: R-KOPI LLC, 2021. – pp. 6-11.
2. Butkov, A. D., Lysenko E. A., Lemesheva Yu. S. Aerobic and speed-strength capabilities of skiers at the end of the preparatory and the beginning of the competitive training periods / A. D Butkov,. E. A. Lysenko, Yu. S. Lemesheva // Human Physiology. – 2017. – Vol. 1. 43, No. 3. – pp. 57-63.
3. Gursky, V. P. Pedagogical concept of the control system of motor actions of ski racers: abstract of the dissertation of Doctor of Pedagogical Sciences / Gursky, Alexander Viktorovich; P. F. Lesgaft National State University of Physical Culture, Sports and Health. -St. Petersburg, 2016. -51 p.
4. Kubyak, A. E. et al. On the study of the kinematics of movement of elite-level skiers using the double-Poling technique / A. E. Kubyak, D. V. Parshin // Russian Journal of Biomechanics. – 2021. – Vol. 1. 25, No. 3. – pp. 285-300.
5. Paramonova, N. A. On registration of movement capacities in speed skating: problems and prospects / N. A. Paramonova, D. Yu. Bykov // State and prospects of technical support for sports activities: materials of the VI International Scientific and Technical Conference dedicated to the 100th anniversary of the BNTU and the 10th anniversary of the STF, October 20-23. - Minsk, 2020. – pp. 41-44.
6. Ainegren, M. et al. Effects of aerodynamic drag and drafting on propulsive force and oxygen consumption

in double poling cross-country skiing / M. Ainegren, V. Linnamo, S. Lindinger // Medicine and Science in Sports and Exercise. – 2022. – №54(7). – P. 1058-1065.
7. Ainegren, M. et al. Rolling resistance for treadmill roller skiing / M. Ainegren, P. Carlsson, M. Tinnsten // Sports engineering. – 2008. – № 11. – P. 23-29.
8. Andersson, E. A comparison between different methods of estimating anaerobic energy production / E. Andersson, K. McGawley // Journal applied physiology. – 2018. – № 9.
9. Budde, R. High-resolution friction measurements of cross-country ski bases on snow / R. Budde, A. Himes // Sports engineering. – 2017. – № 20. – P. 299311.
10. Karlsson, O. et al. Exercise intensity during cross-country skiing described by oxygen demands in flat and uphill terrain / O. Karlsson, M. Gilgien, O. N. Gloersen, B. Rud, T. Losnegard // Frontend physiology. – 2018. – №9. – P. 846.
11. Moxnes, J. F. Cross-country skiing motion equations, locomotive forces and mass scaling laws / J. F. Moxnes, K. Hausken // Mathematical and computer modelling of dynamical systems. – 2008. – № 14. – P. 535-569.
12. Moxnes, J. F. et al. Using the power balance model to simulate cross-country skiing on varying terrain / J. F. Moxnes, O. Sandbakk, K. Hausken // Open access journal. Sports medicine. – 2014. – № 5. – P. 89-98.
13. Moxnes, J. F. et. al. A simulation of cross-country skiing on varying terrain by using a mathematical power balance model / J. F. Moxnes, O. Sandbakk, K. Hausken // Open access journal sports medicine. – 2013. – № 4. – P. 127-139.
14. Parry, H. et al. The influence of a rocking-motion device built into classic cross-country roller-ski bindings on biomechanical, physiological and performance outcomes / H. Parry, A. Buskqvist, P. Erlandsson, C. Ohrman, H. Lindblom, M. Ohlsson, K. McGawley // Sports engineering. – 2021. – № 24.
15. Passfield, L. et al. Knowledge is power: Issues of measuring training and performance in cycling / L. Passfield, J. G. Hopker, S. A. Jobson, D. Friel // Journal of sports sciences. – 2017. – T. 35. – №. 14. – P. 1426-1434.
16. Pellegrini, B. et al. Developments in the biomechanics and equipment of Olympic cross-country Skiers / B. Pellegrini, T. L. Stoggl, H. C. Holmberg // Frontend physiology. – 2018. – № 9. – P. 976.
17. Pellegrini, B. et al. Gait models and mechanical energy in three cross-country skiing techniques / B. Pellegrini, C. Zoppirolli, L. Bortolan, P. Zamparo, F. Schena // The journal of experimental biology. – 2014. – № 217. – P. 3910-3918.
18. Sandbakk, O. et al. Metabolic rate and gross efficiency at high work rates in world class and national level sprint skiers / O. Sandbakk, H. C. Holmberg, S. Leirdal, G. Ettema // European Journal of Applied Physiology. – 2010. – №109. – P. 473-481.
19. Sandbakk, O. et al. The velocity and energy profiles of elite cross-country skiers executing downhill turns with different radii / O. Sandbakk, S. Sandbakk, M. Supej, H. C. Holmberg // International journal sports physiology performance. – 2014. – № 9. – P. 41-47.
20. Sandbakk, O. The evolution of champion cross-country skier training: from lumberjacks to professional athletes / O. Sandbakk // International journal sports physiology performance. – 2017. – № 12. – P. 254-259.
21. Spring, E. et al. Drag area of a cross-country skier / E. Spring, S. Savolainen, J. Erkkila, T. Hamalainen, P. Pihkala // International journal sport biomechanical. – 1988. – № 4. – P. 103-113.
22. Stoggl, T. A Systematic review of the effects of strength and power training on performance in cross-country skiers / T. Stoggl, H. C. Holmberg // Journal of sports science medicine. – 2022. – № 21. – P. 555-579.
23. Sundstrom, D. et al. Comparison of Power Output Estimates in Treadmill Roller-Skiing / D. Sundstrom, P. Carlsson, E. Andersson // Proceedings of the 12th conference of the international sports engineering association. – 2018. – № 2(6). – P. 312.
24. Van Ingen Schenau, G. J. Power equations in endurance sports / G. J. Van Ingen Schenau, P. R. Cavanagh // Journal. Biomechanical. – 1990. – № 23. – P. 865-881.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Куимов Вадим Юрьевич (Kuimov Vadim Yurievich) – аспирант; Институт физической культуры, спорта и туризма, СФУ; Россия, г. Красноярск; e-mail: Vadim.Cuimow@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-7658-790X.

Чикуров Александр Игнатович (Chikurov Alexander Ignatovich) – кандидат педагогических наук, доцент кафедры теоретических основ и менеджмента физической культуры и туризма; Институт физической культуры, спорта и туризма, СФУ; Россия, г. Красноярск; e-mail: chikurov71@mail.ru; ORCID: 0000-0003-1073-3120.

Поступила в редакцию 09 января 2024 г.
Принята к публикации 29 марта 2024 г.

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Куимов, В.Ю. Сравнительный анализ методов оценки вырабатываемой мощности лыжников-гонщиков при изменении уровня градиента рельефа / В.Ю. Куимов, А.И. Чикуров // Наука и спорт: современные тенденции. – 2024. – Т. 12, № S1 – С. 52-59. DOI: 10.36028/2308-8826-2024-12-S1-52-59

FOR CITATION

Kuimov V.Y., Chikurov A.I. Comparative analysis of methods for estimating the power output of ski racers when changing the level of relief gradient. Science and sport: current trends., 2024, vol. 12, no. S1. – pp. 52-59. DOI: 10.36028/2308-8826-2024-12-S1-52-59