

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОРЕВНОВАТЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ В СКАЛОЛАЗАНИИ



КОТЧЕНКО

Юрий Васильевич

Севастопольский государственный университет, Россия

Кандидат технических наук, доцент, кафедра физического воспитания, e-mail: skala7b@rambler.ru

KOTCHENKO Yurii

Sevastopol State University

Candidate of technical sciences, docent, Department of Physical Education

Ключевые слова: скалолазание, международные соревнования, эффективность выступления, лазание на трудность.

Аннотация. На протяжении семи лет изучались выступления высококвалифицированных скалолазов ($n = 1514$) на полуфинальных и финальных трассах крупных международных турниров ($n = 53$). С помощью метаанализа были выявлены закономерности комплексного влияния компонентов соревновательного процесса на эффективность лазания. Установлены наиболее важные компоненты, определяющие итог спортивного выступления ($R^2 = 0,9995$). Разработаны регрессионная модель и нейронная сеть, способные при использовании пяти входных переменных выдать достаточно близкий к судейской оценке результат. Такой подход дает возможность на основании реальных показателей скалолаза с соревновательных или тренировочных маршрутов, достаточно точно рассчитать его индивидуальный потенциал для трасс категории 8b+ и выше, пройденных в режиме on-sight. Другой важной стороной в практике использования моделей является возможность получения количественной оценки эффективности выступления, путем сравнения потенциала спортсмена с реальным судейским баллом. Величина ошибки для регрессионной модели составляет $m = 2,3\%$, для нейронной сети $m = 0,46\%$. Тестирование моделей проводилось на трех этапах кубка мира 2018 года и полностью подтвердило высокую достоверность результатов.

MODELING OF THE COMPETITIVE EFFICIENCY IN SPORT CLIMBING

Keywords: climbing, international competitions, efficiency of performance, lead climbing.

Abstract. The performances of highly qualified climbers were studied for 7 years ($n = 1514$) on semi-final and final routes at the major international competitions ($n = 53$). The regularities of complex influence of components of competitive process on the efficiency of climbing were identified using meta-analysis. The most important components of which define the outcome of sports performance are determined ($R^2 = 0,9995$). The regression model and neural network were developed, which, using 5 input variables, can give the result nearly resembling evaluation of a judge. Such an approach gives opportunity, based on the real indicators of a climber from competitive or training routes to calculate accurately enough his individual potential for routes of a category 8b+ or higher, completed in on-sight regime. Another important side in practice of using models is the opportunity of getting quantitative estimation of the performance efficiency by comparing sportsman's potential with the real mark of a judge. The magnitude of mistake for regression model is $m = 2,3\%$, for neural network $m = 0,46\%$. The models were tested over 3 world cup stages and proved high reliability of results.

Введение. Актуальность рассматриваемого далее исследования обусловлена существенно возросшим статусом спортивного скалолазания после включения его в программу Олимпийских Игр. Этот факт требует поиска новых путей повышения конкурентоспособности российских скалолазов на международной арене, и одним из таких путей могла бы стать принципиально новая методика оценки соревновательной эффективности, построенная на внутрискруктурных закономерностях соревновательного процесса (СП) в дисциплине лазания на трудность.

Соревновательная эффективность в различных видах спорта зависит от целого ряда факторов, к числу которых относятся уровень функциональных возможностей, технико-тактическое мастерство, морфологические показатели, спортивный стаж, возраст и др. К примеру, Ю. Д. Железняк выделяет 12 таких основополагающих факторов.

В спортивном скалолазании исследования в этом направлении весьма ограничены и сосредоточены в основном области морфофункционального моделирования [2] и разработки модельных характеристик специальной физической подготовки [3, 5].

В работах зарубежных авторов данная тематика представлена более широко. Освещаются как отдельные вопросы теоретического моделирования в скалолазании [9], так и показатели качества лазания [8]. При этом в своих работах авторы часто рассматривают не общую эффективность выступления, а отдельное или частично-комплексное влияние физиологических и антропометрических факторов на возможный результат выступления [6, 7].

С нашей точки зрения, более перспективной и удобной в плане практического применения, могла бы быть модель, дающая количественную оценку эффективности выступления, позволяющая разложить полученный на соревнованиях судейский балл (Y) на составные части и сравнить его с потенциально возможным результатом (Y_{ϵ}).

Цель исследования – разработка модели эффективности прохождения спортивной трассы для международных соревнований в дисциплине лазания на трудность среди мужчин.

Организация и методы исследования. В качестве исходных данных использовались показатели двигательного-временных характеристик (ДВХ) лазания мужчин на полуфинальных и

финальных трассах этапов кубка мира и чемпионатов мира. Исследования проводились на протяжении семи лет, поскольку получение достоверных результатов потребовало большого объема исходного материала. За это время было проанализировано 1514 выступлений высококвалифицированных скалолазов, в том числе и мировой элиты, на 53 крупных международных турнирах.

Видеофайлы выступлений анализировались с помощью специализированных программ Kinovea 0.8.24 и Weatherwax 2.2.8. Методы исследований: педагогическое наблюдение, методы графического отображения, корреляционный анализ, гребневая регрессия, нейронная сеть. Данные обрабатывались в программе Statistika 10.

Результаты исследования. В дисциплине лазания на трудность в отличие от скоростного лазания, не существует стандартизированной трассы. Протяженность и категория трудности соревновательного маршрута может меняться от старта к старту. Такое положение создает серьезные затруднения, поскольку возникает необходимость анализа ДВХ, свойственных трассам различной категории и протяженности [4]. Нас же интересует модель, способная (пусть и с несколько более высокой величиной ошибки), одинаково успешно работать на любой трассе полуфинально-финального этапа международных соревнований. При этом желательно, чтобы величина возможной ошибки не превышала значения $m = 5\%$, а лучше $2-3\%$.

Почему предпочтительна именно такая величина ошибки? Дело в том, что при $m = 2\%$, для трассы протяженностью, скажем, $Y_{top} = 50$, в абсолютном выражении, ошибка не превысит одного балла. Такой показатель сам по себе является низким и очень удобным с практической точки зрения, поскольку дает возможность работать с целыми числами. Это означает, что в ходе определения, например, соревновательного потенциала, тренер или спортсмен, без всяких дополнительных расчетов, могут быть уверены, что полученный результат если и будет отличаться от реального, то не более чем на один балл.

На первом этапе исследований были установлены и описаны компоненты СП, оказывающие влияние на итог выступления непосредственно в ходе лазания. Закономерности влияния были подробно описаны в работе [1]. Последовательный

анализ всех компонентов позволил выделить пять наиболее важных, с помощью которых была построена множественная регрессионная модель эффективности для международных соревнований:

$$Y_{\epsilon} = \sum_{z=1}^{z_1} 1,01z + \sum_{d=1}^{d_1} 0,926d - 0,273w + 0,016\rho + 0,014t_2 \quad (1)$$

где Y_{ϵ} – теоретический результат выступления; z – сумма скрытых движений; d – сумма результативных движений; w – темп лазания; t_2 – чистое время выступления; ρ – плотность лазания.

Основные характеристики модели представлены в таблице 1.

Как мы видим, пять выбранных компонентов (переменных) оказывают наибольшее воздействие на эффективность лазания, определяют итог выступления на 99,9% и позволяют достичь величины ошибки вполне приемлемого уровня. Это единственная комбинация переменных дающая возможность получить устойчиво работающую модель. Качество модели можно оценить с помощью вероятностного графика остатков (Рисунок 1) и диаграммы рассеяния (Рисунок 2).

Предложенная модель дает возможность разложить итоговый результат на составные части (компоненты СП), что позволяет:

1. Зная практические показатели спортсмена на соревновательных или тренировочных трассах, можно подставить данные в уравнение, и достаточно точно рассчитать соревновательный потенциал Y_{ϕ} , (при расчете потенциала в уравнение вводятся лучшие показатели ДВХ скалолаза для трасс категории 8b+ и выше, пройденные в режиме он-сайт). Величина ошибки в этом случае не превысит 2,3% (это один балл для трассы протяженностью $Y_{\text{тор}} = 44$).

2. Сравнить потенциальный результат с реальным судейским баллом, и таким образом

определить эффективность спортивного выступления по формуле:

$$\phi_{\phi} = \frac{Y}{Y_{\phi}} \cdot 100\% \quad (2)$$

где ϕ_{ϕ} – показатель эффективности в процентах; Y – итоговый балл по протоколу прохождения трассы; Y_{ϕ} – соревновательный потенциал.

3. Провести многокомпонентный анализ спортивного выступления, определить потерянные баллы (причину и количество) и увидеть пути повышения соревновательной эффективности.

Такой подход дает возможность получить ответ на ряд вопросов:

- были ли допущены ошибки во время прохождения трассы, и если да, то в чем они выражались;
- удалось ли спортсмену полностью реализовать свой потенциал, и если нет (что встречается чаще всего), то каковы потери в баллах по каждому компоненту СП, и чем они вызваны;
- на что надо обратить внимание, чтобы повысить эффективность.

Исследования показывают, что даже без учета уровня базовой функциональной подготовки, только за счет менее значимых компонентов СП (чистое время, темп, плотность), спортсмены теряют в выступлении до двух - трех баллов. Много это или мало? В современном скалолазании, спортсмены высокого класса имеют примерно одинаковый уровень подготовки. И в борьбе за призовое место они стараются максимально раскрыть свой соревновательный потенциал, используя для этого все возможные средства и учитывая все известные им факторы, оказывающие любое (вплоть до минимального) влияние на результат.

Поэтому, в итоговом протоколе спортсмены располагаются очень плотно. Нормой является ситуация, когда сразу несколько скалолазов

Таблица 1 – Модельные характеристики для трасс категории 8b+ и выше

Коэффициент детерминации	R^2	0,9995
Критерий Фишера ($p < 0,0001$)	F	411200
Стандартная ошибка	t	2,3%
Уровень значимости b-коэффициентов	p	<< 0,001
Коэффициент смещения оценки	λ	0,0006
Критерий Дарбина-Уотсона	DW	1,39
Среднее прогнозируемое Y_{ϵ} в остатке	$\bar{\epsilon}_i$	0,013

Таблица 2 – Параметры нейросетевой модели

Архитектура сети	Алгоритм обучения	Эпохи обучения	Активация скрытых нейронов	Активация выходных нейронов	Контрольная ошибка
MLP 5-11-1	BFGS 372	200	Гиперболическая	Тождественная	0,46%

Таблица 3 – Результаты контрольных испытаний нейросетевой модели

Финалист	Страна	Место на трассе	Балл Y	Сеть MLP	Ошибка m%
Megos A.	GER	1	45	44,92	0,18
Desgranges R.	FRA	2	43	43,36	0,8
Schubert J.	AUT	3	42	41,82	0,4
Skofic D.	SLO	3	42	42,12	0,27
Ghisolfi S.	ITA	5	41	41,05	0,11
Joannes T.	FRA	6	34	33,92	0,18
Lehmann S.	SUI	7	32	32,17	0,38
Shimizi H.	JPN	8	28	28,12	0,27

занимают одно место, или их разделяет один балл (и даже 0,5 балла, если рассматривать судейский бонус «плюс»). А в медальной зоне, стоимость балла становится очень высокой. В такой напряженной обстановке, с помощью модели эффективности, можно понять причины проигрыша хорошо подготовленного спортсмена, который совсем немного «не дотянул» до призового места, и оценить эти причины по каждому компоненту в отдельности.

Дальнейшие исследования с помощью нейросетевого анализа позволили существенно снизить величину ошибки и даже исключить такую важную переменную как степень предстартовой подготовки (d). Т.е. на основании использования пяти компонентов: суммы скрытых движений, времени восстановления, темпа, чистого времени выступления и интенсивности лазания, тренер может получить точную информацию о потенциале спортсмена и эффективности выступления. На заключительном этапе исследований, после ряда экспериментов была построена нейронная сеть (многослойный перцептрон MLP) со следующими параметрами:

Как мы видим, контрольная ошибка здесь в пять раз ниже, чем у регрессионной модели. Тестовые испытания сети MLP проводились на трех этапах кубка мира 2018 года. В качестве примера приведем данные тестовой проверки сети на

финальной трассе этапа кубка мира, Франция, г. Бриансон 2018, таблица 3.

Только у одного из финалистов показатель тестовой ошибки превысил контрольное значение (Desgranges R., $m = 0,8\%$). В остальных случаях ошибка была ниже ожидаемой. Результаты испытаний еще на пяти трассах примерно аналогичны рассмотренному выше варианту.

Несмотря на очень хорошие показатели, с практической точки зрения, нейронная сеть обладает определенным недостатком, поскольку требует специализированной программы и умения с ней работать. В отличие от нее, зная формулу регрессионной модели, можно получить искомые данные с помощью обычного калькулятора, что в условиях соревновательного процесса может оказаться более востребованным.

Заключение. Разработаны две математические модели, позволяющие получить количественную оценку эффективности спортивного выступления. Модели могут также использоваться для расчета индивидуального потенциала скалолаза и подробного анализа прохождения трассы на крупных международных соревнованиях.

Литература

1. Котченко, Ю.В. Сложное лазание: Теория соревновательного процесса / Ю.В. Котченко. – Симферополь: Научный мир, 2018. – 288 с.

2. Кравчук, Т.А. Разработка морфофункциональной модели скалолазов / Т.А. Кравчук // Теория и практика прикладных и экстремальных видов спорта. – 2008. – № 2 (14). – С. 21-23.
3. Ломовцев, Д.Ю. Модельные характеристики специальной физической подготовленности скалолазов / Д.Ю. Ломовцев, А.И. Кравчук // Омский научный вестник. – 2015. – № 3 (139). – С. 166-169.
4. Скалолазание и наука. Категории трасс [Электронный ресурс]. – <http://rcrs.info>, 2018. – Режим доступа : <http://rcrs.info/category/kategorii-trass>.
5. Шульга, А.С. Модельные характеристики спортсменов скалолазов, специализирующихся в лазании на скорость (Формат рекорд) / А.С. Шульга // Спортивная наука Украины. – 2014. – № 1 (59). – С. 14-18.
6. Dickson, T. Effect of style of ascent on the psychophysiological demands of rock climbing in elite level climbers / T. Dickson et al. // Sports Technology. – 2012. – Vol. 5 (3-4). – P. 111-119.
7. Magiera, A. The Structure of Performance of a Sport Rock Climber / A. Magiera et al. // Journal of Human Kinetics. – 2013. – Vol. 36 (1). – P. 107-117.
8. Seifert, L. Climbing skill and complexity of climbing wall design: Assessment of jerk as a novel indicator of performance fluency / L. Seifert et al. // Journal of Applied Biomechanics. – 2014. – Vol. 30 (5). – P. 619-625.
9. Villaggio, P. A mathematical theory of climbing / P. Villaggio // Ima Journal of Applied Mathematics. – 2007. – Vol. 72(5). – P. 570-576.

Literature

1. Kotchenko, Yu.V. Complex climbing: Theory of the competitive process / Yu.V. Kotchenko. – Simferopol: The scientific world, 2018. – 288 p.
2. Kravchuk, T.A. Development of the morphofunctional model of rock climbers / T.A. Kravchuk // Theory and Practice of Applied and Extreme Sports. – 2008. – No. 2 (14). – P. 21-23.
3. Lomovtsev, D.Yu. Model characteristics of special physical fitness of climbers / D.Yu. Lomovtsev, A.I. Kravchuk // Omsk scientific herald. – 2015. – No. 3 (139). – С. 166-169.
4. Rock Climbing and Science. Categories of tracks [Electronic resource]. – <http://rcrs.info>, 2018. – Access mode: <http://rcrs.info/category/kategorii-trass>.
5. Shulga, A.S. Model characteristics of climbers who specialize in speed climbing (Format record) / A.C. Shulga // Sports Science of Ukraine. – 2014. – No. 1 (59). – P. 14-18.
6. Dickson T. Effect of style of ascent on the psychophysiological demands of rock climbing in elite level climbers / T. Dickson, G. Blackwell, S. Fryer, L. Stoner // Sports Technology. – 2012. – Vol. 5(3-4). – P. 111-119.
7. Magiera A. The Structure of Performance of a Sport Rock Climber / A. Magiera, et al. // Journal of Human Kinetics. – 2013. – Vol. 36(1). – P. 107-117.
8. Seifert L. Climbing skill and complexity of climbing wall design: Assessment of jerk as a novel indicator of performance fluency / L. Seifert, et al. // Journal of Applied Biomechanics. – 2014. – Vol. 30(5). – P. 619-625.
9. Villaggio P.A. Mathematical theory of climbing / P.A. Villaggio // Ima Journal of Applied Mathematics. – 2007. – Vol. 72(5). – P. 570-576.

