

УДК 574.24

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНТРОПИЙНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ШЕННОНА К АНАЛИЗУ ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ ДВУХ ГРУПП УЧЕНИКОВ ЧЕТВЕРТЫХ КЛАССОВ

Громенко В. М.¹, Фаттахов Ф. Т.², Трунова И. В.¹, Ивашов А. В.¹, Фаттахов А. Ф.¹

¹*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия*

²*Крымский инженерно-педагогический университет, Симферополь, Республика Крым, Россия*

E-mail: aivashov@mail.ru

Апробирована возможность применения информационно-энтропийного подхода для анализа уровня физической подготовки учеников четвертых классов. В сравнительном аспекте проанализированы итоговые оценки выполнения нормативов по балльной системе и с применением энтропийного показателя как меры неопределенности результатов. Установлены определенные взаимосвязи и различия между двумя подходами. Сделаны выводы о применении энтропийного анализа как эффективной дополнительной меры учета физической подготовки учеников. Полученные результаты могут служить для тренера или учителя ориентиром по устранению неопределенности спортивных результатов группы с целью увеличения вероятности достижения наивысших показателей.

Ключевые слова: группы учеников, физические упражнения, баллы, энтропия.

ВВЕДЕНИЕ

Общеизвестно, что живые организмы относятся к открытым термодинамическим системам, обменивающимся с окружающей средой веществом, энергией и информацией. В термодинамике, изучающей законы превращения энергии из одного вида в другой, одной из важнейших характеристик системы является понятие энтропии.

В научной литературе термин «энтропия» как физическая величина отражающая меру необратимого рассеяния энергии, впервые появился в 1865 году; в 1872 году термин приобрел статистический смысл и стал трактоваться в общем виде как численная мера зависимости макросостояния системы от числа ее микросостояний, описываемых через взаимодействия элементов системы между собой [1]. С 1948 года термин «энтропия» стал центральным понятием теории информации и определился как мера количества информации, возможность выбора или неопределенность [2]. Таким образом, понятие энтропии приобрело достаточное смысловое содержание и сегодня широко применяется во многих научных дисциплинах, включая биологию [3–5].

С биологической точки зрения энтропия – это термодинамический показатель, характеризующий состояние живого объекта в результате потери энергии в виде

тепла при произведенной работе [6]. Для школьников, например, такой работой на уроках физкультуры являются физические упражнения, оценочные результаты которых являются опосредованным отражением энтропийных процессов. С этой точки зрения энтропия тесно взаимосвязана со спортивными результатами и отражает уровень тренированности и работоспособности [7, 8]. С другой стороны, в численных значениях энтропии присутствует элемент неопределенности результатов в силу того, что состояние каждого ученика (его физическое развитие) как стохастической системы зависит от многих индивидуальных особенностей: физиолого-анатомических, уровня физического воспитания, состояния здоровья, влияния факторов окружающей среды и т. д. [9, 10]. В этой связи спортивные результаты как отдельных учеников, так и целого класса носят стохастический, вероятностный характер.

Таким образом, в настоящее время, применение энтропии в области спортивно-педагогических исследований является перспективным направлением и имеет теоретическое и практическое значение для оценки результатов в сфере образования и физической культуры [11–14]. В связи с тем, что, несмотря на очевидную научно-практическую значимость, это направление в настоящее время еще недостаточно используется и требует дальнейших углубленных исследований, целью данного исследования явилось применение энтропийного анализа для выяснения закономерностей в формировании физической подготовленности учащихся четвертых классов в условиях обычной средней школы. При этом авторы поставили перед собой задачу максимально доступно донести до читателя возможности энтропийного анализа с тем, чтобы любой исследователь, не имеющий специальной математической подготовки, смог понять, как можно, набрав исходные данные, обработать их, получить энтропийные показатели и, интерпретировав их, сделать выводы о состоянии системы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования были группы учеников 4А и 4Б классов муниципального бюджетного общеобразовательного учреждения Симферопольского района Республики Крым «Денисовская школа» в количестве 20 человек. Исследования проводили с сентября 2015 по май 2016 г. на занятиях по физкультуре, которые проходили в первой половине дня в спортивном зале или на открытом воздухе, в разные времена года и, соответственно, в разных экологических условиях. Форма проведения – выполнение нормативов для определения уровня физической подготовки детей по четырем видам упражнений: прыжки в длину с места, прыжки со скакалкой, поднятие туловища в положении лежа на спине, подтягивание в висе на перекладине. Все виды упражнений дети выполняли в соответствии с общепринятыми нормами. Оценивание уровня физической подготовленности учащихся проводили с учетом установленных контрольных нормативов отдельно для мальчиков и девочек. При этом абсолютные значения измерений в сантиметрах или в числе выполненных упражнений переводили в баллы, которые отражали следующие уровни подготовки: высокий – 5, достаточный – 4, средний – 3 и низкий – 2. Значит, каждый ученик как

биологическая система характеризовалась по каждому виду упражнений четырьмя состояниями. С другой стороны, каждый ученик являлся элементом в системе более высокого уровня – группе. Таким образом, конечные результаты оценки энтропии были отнесены к группам учеников из двух младших классов.

В общей сложности в течение учебного года в двух четвертых классах по четырем упражнениям было проведено 720 замеров физической подготовленности учащихся (20 учеников \times 4 вида упражнений \times 9 месяцев = 720).

Вместе с этим для выяснения вопроса о том, изменяется ли состояние систем (двух групп учеников), оцениваемых по результатам физических упражнений в разные сезоны, исследования проводили с сентября по май. Хорошо известно, что в эти сезоны ученики и, соответственно, группы учеников как биологические системы подвергались действию изменяющихся экологических факторов, в первую очередь, таких как температура, влажность воздуха, атмосферное давление. Таким образом, замеры физической подготовленности выделенных групп учеников, так же, как и замеры погодных факторов, осуществляли один раз в месяц. Однако в настоящей статье энтропийный анализ с учетом экологических факторов опущен, он будет дан в последующей публикации.

Таким образом, общий план исследования может быть кратко охарактеризован следующим образом.

1. Объектами исследования явились 2 биосистемы (две группы учеников четвертых классов).

2. Элементы системы – ученики (каждый ученик является также системой, но более низкого уровня интеграции).

3. Состояние учеников как систем описывалось в баллах, полученных за выполнение физических упражнений (как средние значения показателя за 3 подхода).

4. Состояние групп учеников описывалось в частотах (долях) встречаемости того или иного балла. По ним рассчитывались первичные значения частных энтропий по каждому баллу.

5. Путем суммирования частных значений энтропии по каждому баллу вычисляли обобщенный показатель энтропии, характеризующий группу учеников в целом по всем баллам.

6. Зная значения общих энтропий для двух групп и имея расчетные теоретически минимальные и максимальные значения (интервал) энтропий, обсуждали подготовленность двух групп учеников по каждому виду упражнений.

При этом, если значения обобщенных энтропийных коэффициентов приближались к нулю, это указывало на очень низкую неопределенность в уровне подготовки. Такое положение наблюдается тогда, когда у всех учеников в группе наблюдались почти одинаковые баллы. В противоположном варианте нестабильность результатов в группе указывала на большую неопределенность их состояния как системы.

Многозначность интерпретации как самой энтропии, так и смыслового содержания тех или иных символов в энтропийном анализе, на наш взгляд, требует достаточно подробного разъяснения самого понятия и его природы как явления

применительно к данному исследованию. Это, как нам кажется, поможет читателю лучше понять то, как были получены данные и как они обрабатывались.

Энтропию (H), или меру неопределенности результатов, определяли по известной формуле Шеннона (1963) как сумму вероятностей состояний системы (событий при испытании), умноженных на двоичные логарифмы вероятностей этих состояний, взятую с обратным знаком.

$$H = - \sum p_i \log_2 p_i \quad (1)$$

где p_i – частота или доля конкретного i -го состояния, вычисленного по формуле:

$$p_i = f/n, \quad (2)$$

где f – число событий (учеников), выполнивших норматив с конкретным результатом (баллом), n – общее число испытаний (общее количество учеников в группе, сдававших норматив).

Например, в группе 4А класса за учебный год по прыжкам с места ученики распределились следующим образом: с высоким уровнем (5 баллов) – 0 человек, с достаточным (4 балла) – 9, со средним (3 балла) – 2, с низким (2 балла) – 1. Дальнейшие расчеты произведены по известному алгоритму [15], и их результаты можно видеть в таблице 1.

Таблица 1
Пример расчета общей энтропии по прыжкам с места в группе учеников 4А класса (n=12) за учебный год

Расчетные показатели	Варианты (состояния системы)				Всего состояний $g = 4$
	Высокий (5) $i = 1$	Достаточный (4) $i = 2$	Средний (3) $i = 3$	Низкий (2) $i = 4$	
f	0	9	2	1	$\Sigma f = 12$
$p_i = f/\Sigma f$	0	0,75	0,167	0,083	$\Sigma p_i = 1$
$\mathcal{E} = p_i \log_2 p_i$	0	0,311	0,434	0,291	$\Sigma \mathcal{E} = H = 1,036$

Примечание: \mathcal{E} – частная энтропия, $\Sigma \mathcal{E}$ – общая, или информационная, энтропия по Плохинскому [15], или H в обозначении К. Э. Шеннона [2], интерпретируемая как текущая неопределенность, i – порядковый номер вариантов.

Заметим: все логарифмы дробей от нуля до единицы по основанию 2 ($\log_2 p_i$) дают значения с отрицательным знаком. С учетом этой особенности К. Э. Шенон специально ввел знак «минус» перед выражением \mathcal{E} . Соответственно, умножая минус на минус, всегда получаем положительное значение общей энтропии.

Для преподавателей, оценивающих достижения учеников, часто очень важным является не абсолютное численное значение показателя и его балльная оценка, а прирост его за определенный тренировочный период. В этом случае f может интерпретироваться не как доля учеников с данным баллом, а как средняя величина прироста спортивного показателя за конкретный сезон года, найденная для всей группы учеников. Чтобы найти долю прироста результата, необходимо найти

частное от деления прироста за данный сезон на прирост за весь период испытаний, т. е. за все сезоны или за весь учебный год. Например, в группе 4Б класса по прыжкам с места прирост результатов за весь учебный год составил в среднем 14,8 см, а доля прироста по сезонам года составила: за осенний период 5,3 см (доля – 0,358), за зимний – 0,7 см (доля – 0,047), за весенний – 8,8 см (доля – 0,594). Полученные таким образом доли (p_1, p_2, p_3) уже могут использоваться для дальнейших вычислений по приведенной выше формуле общей энтропии или в ином содержательном аспекте – текущей неопределенности. Итоги этих вычислений можно видеть в таблице 2.

Таблица 2

Пример расчета общей энтропии прироста спортивных показателей группы учеников 4Б класса ($n = 8$) по прыжкам с места по сезонам года

Расчетные показатели	Варианты (состояния системы)			Всего состояний $g = 3$
	Осень $i = 1$	Зима $i = 2$	Весна $i = 3$	
f (прирост в см)	5,3	0,7	8,8	$\Sigma f = 14,8$
$p_i = f/\Sigma f$	0,358	0,047	0,594	$\Sigma p_i = 1$
$\mathcal{E} = p_i \log_2 p_i$	0,530	0,208	0,446	$\Sigma \mathcal{E} = H = 1,184$

Примечание: здесь f не частота (целое число), а натуральное число – результат измерений и вычислений средних арифметических, могущий иметь дробную часть (в данном примере это разница среднеарифметических между конечным и начальным значениями показателя, т. е. прирост в сантиметрах от первого до последнего месяца сезона).

Таким образом, в этих двух случаях, несмотря на разную интерпретацию f , получаем единую шкалу измерений p_i (от 0 до 1) и вычисляем коэффициент $\Sigma \mathcal{E} = H$, который трактуется как общая энтропия, или мера текущей неопределенности состояния системы (группы учеников), по конкретному виду упражнения.

Энтропия определена, но возникает одновременно вопрос, с чем теперь ее соизмерять. При этом у читателя возникает закономерный вопрос, в каких пределах может колебаться энтропия, или текущая неопределенность. Иными словами, интересен интервал $H_{min} - H_{max}$. В этой связи остановимся на двух аспектах.

Начнем с минимального значения. Оно достигается тогда, когда при проведении всех испытаний наблюдается только один из всех возможных вариантов. Такое состояние системы демонстрируют показательные расчеты, приведенные в таблице 3.

Таблица 3

Пример расчета минимальной энтропии в гипотетической группе учеников по прыжкам с места за учебный год

Расчетные показатели	Варианты (состояния системы)				Всего состояний $g = 4$
	Высокий (5) $i = 1$	Достаточный (4) $i = 2$	Средний (3) $i = 3$	Низкий (2) $i = 4$	
f	0	12	0	0	$\Sigma f = 12$
$p_i = f/\Sigma f$	0	1	0	0	$\Sigma p_i = 1$
$\mathcal{E} = p_i \log_2 p_i$	0	0	0	0	$\Sigma \mathcal{E} = H = 0$

Таким образом, табличные данные, составленные для некой гипотетической группы учеников, наглядно подтверждают расчет минимального значения, которое находится по приведенной ниже формуле: $H_{min} = \log_2 1 = 0$.

Соответственно, в этом случае состояние системы не имеет неопределенности, т. е. ответ однозначен: все ученики после проведенных испытаний оказались с достаточным уровнем подготовленности. Все они получили по 4 балла, значит, все элементы системы находятся в одном и том же состоянии и состояние группы как системы характеризуется отсутствием неопределенности.

Теперь о максимальном значении. Максимальная неопределенность (H_{max}) зависит от числа состояний системы (количества классов или вариантов) и вычисляется по формуле:

$$H_{max} = \log_2 n, \quad (3)$$

где n – число состояний системы по Эшби. По Плохинскому, это число классов или вариант, и обозначается оно буквой g . Поскольку букву n выше применяли для обозначения общего числа измерений (испытаний), в данном случае с тем чтобы избежать неясностей, используем букву g , и, таким образом, основная формула для нахождения максимального значения имеет вид:

$$H_{max} = \log_2 g. \quad (4)$$

Ниже на конкретном примере покажем, что оно достигается при условии равенства частот всех вариантов.

Так, в приведенной выше таблице 1, где использована балльная оценка, g соответствует четырем, а в примере с сезонной оценкой (табл. 2) – трем. Соответственно, в приведенных выше примерах максимальная неопределенность при $g = 4$ определяется как $H_{max} = \log_2 4 = 2$ (два в квадрате равно четырем), при $g = 3$ вычисленное значение, естественно, меньше, т. к. чтобы получить значение 3, надо 2 возвести в степень 1,585 ($H_{max} = \log_2 3 = 1,585$).

Теперь напомним, что эти максимальные значения достигаются при условии полной выравненности или равномерного распределения частот по вариантам. Например, если бы в группе 4А класса за учебный год по прыжкам с места наблюдалось равномерное распределение частот учеников по четырем уровням подготовки, то тогда и достигалось бы максимальное значение энтропии, или

неопределенности, что можно видеть на примере вычислений, приведенных в таблице 4.

Таблица 4

Пример расчета максимальной энтропии в гипотетической группе учеников по прыжкам с места за учебный год (случай равномерного распределения частот вариантов)

W Расчетные показатели	Варианты (состояния системы)				$g = 4$ $H_{max} = \log_2 4 = 2$
	высокий	достаточный	средний	низкий	
f	3	3	3	3	$\Sigma f = 12$
$p_i = f/\Sigma f$	0,25	0,25	0,25	0,25	$\Sigma p_i = 1$
Θ	0,5	0,5	0,5	0,5	$\Sigma \Theta = H = 2$

Примечание: для $p=0,25$, пользуясь формулой, $\Theta = -0,25 \log_2 0,25 = 0,5$ (двоичный логарифм $0,25 = -2$), тогда $-0,25 \times -2 = 0,5$.

Эти расчеты показывают, в каком интервале потенциально может находиться значение энтропии при четырех классах (вариантах), т. е. при $g = 4$. Если возвратиться к данным таблицы 1, то в ней текущая неопределенность состояния группы учеников 4А класса по прыжкам с места за учебный год находится в пределах $0 < 1,036 < 2$, а неопределенность прироста спортивных показателей группы учеников 4Б класса по прыжкам с места по трем сезонам года (при $g = 3$) – в пределах $0 < 1,184 < 1,585$.

Таким образом, чем ближе значение текущей неопределенности к нулю, тем меньше неопределенность системы в целом, и наоборот, чем ближе значение текущей неопределенности к максимальной, тем больше неопределенность системы в целом.

Подведем некоторый итог касательно свойств энтропии как характеристики степени неопределенности. Во-первых, она обращается в нуль, когда наблюдается только одно из состояний системы, а другие – отсутствуют. Во-вторых, при определенном числе состояний она имеет максимальное значение, причем тогда, когда эти состояния равновероятны.

Следует отметить и еще одно свойство: при увеличении числа состояний максимальное значение энтропии увеличивается. Покажем это положение на примере такой простейшей системы, как игральная кость. Напомним читателю, игральные кости – это кубики, на каждой грани которых представлены цифры или точки от 1 до 6. При любом подбрасывании она может упасть в шести вариантах (событиях), значит $g = 6$. При большом числе испытаний каждый вариант выпадет с частотой близкой к 0,1666. При этом достигается максимальная энтропия, (максимальная неопределенность результата), которая находится при $g = 6$ как $H_{max} = \log_2 6 = 2,585$.

Если представить себе, что мы некоторые грани сделали большей площади, чем другие, состояние системы станет более определенным, т. к. при испытаниях чаще будет выпадать грань с наибольшей площадью. Мысленно пойдём дальше: если сплющим кубик до двух граней (аналог монеты), то максимальное значение энтропии станет всего лишь равным единице, т. к. $H_{max} = \log_2 2 = 1$

Таким образом, с помощью энтропийного коэффициента можно сравнивать состояние систем совершенно разной природы и категории. Что касается кубика и монеты, то в данном примере максимальная неопределенность состояния такой системы, как кубик, гораздо выше, чем, например, монеты.

Энтропии разных независимых состояний системы по совершенно разным критериям системы можно складывать и получать общую энтропию (свойство аддитивности). Например, если подготовка группы учащихся шла не один учебный год, а два, то можно сравнить энтропии за эти два года по отдельности, а затем путем сложения можно оценить общую энтропию за два года тренировок. А если параллельно сделать замеры успеваемости по тому или иному предмету, то будет иметься возможность оценить определенность состояний по спортивным результатам и по учебе.

Эти примеры показывают чрезвычайную универсальность информационного критерия применительно к оценке состояния любых систем. Однако это не исключает, а только дополняет традиционно получаемые критерии уровня подготовки. Например, после года тренировок группа 4А класса достигла максимального значения определенности, и все ученики получили по 5 баллов в подтягиваниях на перекладине, а в группе учеников 4Б класса все получили по 4 балла. Энтропийные коэффициенты в обеих группах достигают нулевых значений (полная определенность состояний), а уровень подготовленности при этом разный: в первой группе он выше, чем во второй.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 4 представлены итоговые результаты испытаний уровня физической подготовленности двух групп учащихся по четырем видам упражнений с использованием четырехбалльной шкалы и результаты вычислений энтропии как меры неопределенности состояния групп учеников. Следует напомнить, что интервал возможных значений энтропии при $g = 4$ лежит в пределах от 0 до 2.

Анализ результатов по балльной системе, представленных в таблице 4 выявил сходство уровня физической подготовки по двум классам. По прыжкам в длину наибольшая доля учеников приходится на достаточный (4 балла) уровень физической подготовки, по прыжкам со скакалкой – на средний (3 балла), по поднятию туловища – на высокий (5 баллов), по подтягиванию в висе – низкий (2 балла). Такое совпадение результатов в разных спортивных категориях испытаний отображает одинаковый общий уровень физического развития учеников разных классов.

Таблица 4

Уровень физической подготовки двух групп учеников четвертых классов за учебный год по четырем видам упражнений в балльной оценке и оценка их состояния с использованием коэффициента К. Э. Шенона

Контрольные нормативы	Клас сы	Доля учеников, заработавших баллы				Энтропия (коэффи- циент К. Э. Шенона)
		Высокий 5 баллов	Достаточ- ный 4 балла	Сред- ний 3 балла	Низ- кий 2 балла	
Прыжки в длину с места	4А	0	0,75	0,167	0,083	1,04
	4Б	0	0,571	0,49	0	0,98
Прыжки со скакалкой за 1 минуту	4А	0,333	0,25	0,417	0	1,55
	4Б	0,286	0,286	0,429	0	1,56
Поднятие туловища за 1 минуту из положения лежа	4А	0,667	0,167	0	0,167	1,25
	4Б	0,857	0	0,143	0	0,59
Подтягивание в висе на перекладине	4А	0	0,083	0	0,917	0,41
	4Б	0	0,286	0	0,714	0,86

Анализ результатов по энтропийно-информационному показателю показал, что по прыжкам в длину с места в 4 Б классе энтропийный показатель меньше, чем в 4 А. При этом учащиеся 4 Б класса группируются в две оценочные категории (достаточную и среднюю), а 4 А – в три. С позиций теории информации это значит, что 4 Б класс из четырех максимально возможных оценочных категорий, характеризуется минимальным числом состояний. Следовательно, уровень физического развития учеников по этой спортивной категории у 4 Б класса одинаковый, характеризуется меньшей неопределенностью и, соответственно, большей степенью вероятности прогнозирования результатов тестирования. По прыжкам со скакалкой у двух классов энтропийные показатели практически одинаковы, одинаково также распределение по оценочным категориям. Следовательно, физические возможности для выполнения этого спортивного испытания у двух классов сходны. По поднятию туловища энтропийные показатели показывают такую же тенденцию, как по прыжкам в длину. А вот для подтягивания в висе на перекладине энтропийный коэффициент для 4 А меньше, и подавляющее количество учеников концентрируется в оценочной категории «низкий», что говорит о слабых индивидуальных способностях по этому виду спортивных испытаний. Таким образом, в отличие от балльной системы оценивания, низкие или высокие коэффициенты энтропии не показывают степень плохой или хорошей физической подготовленности, а показывают уровень дифференциации учеников по

степени физического развития и упорядоченности их распределения по оценочным категориям. При этом чем больше ученики сходны по своим физическим возможностям в той или иной спортивной категории, тем меньше энтропийный коэффициент, выступающий мерой неопределенности результатов спортивных испытаний.

Известно, что изменение климатических факторов в течение сезонов года наиболее сильно отражаются на школьниках младших классов [16]. Изучение зависимости среднего прироста показателей физической подготовленности по трем сезонам года – весна, осень, зима – на примере 4 А и Б классов выявило следующие закономерности (табл. 5).

Таблица 5
Изменение среднего прироста спортивных показателей по трем сезонам года: осень, зима, весна

Виды упражнений	Классы	Осень	Зима	Весна	Общий прирост
Прыжки с места (см)	4а	4,3/ 34,1	0	8,3/ 65,9	12,6
	4б	5,3/ 35,8	0,7/ 4,7	8,8/ 59,5	14,8
Поднятие туловища (за 1 мин.)	4а	4,7/ 31,7	1,6/ 10,8	8,5/ 57,5	14,8
	4б	5/ 34,5	1/ 6,9	8,5/ 58,6	14,5
Прыжки со скакалкой (за 1 мин.)	4а	13,8/ 36,4	4,6/ 12,1	19,5/ 51,5	37,9
	4б	12,8/ 35,3	7,3/ 20,2	16,1/ 44,5	36,2
Подтягивание (за 1 мин.)	4а	1,3/ 37,1	0	2,2/ 62,9	3,5
	4б	1,3/ 30	0,4/ 9,1	2,7/ 61,3	4,4
В целом в %		34,4	8	57,7	100

Из данных таблицы видно, что в целом за осенний период прирост составил 34,4 % при размахе 30–37,1 %. За зимний сезон – 8 % при размахе 0–20,2 %. За весенний – 57,7 % при размахе 44,5–65,9 %. Наибольший прирост для обоих классов по всем видам упражнений приходится на весенний сезон, наименьший – на зимний. Наибольшим размахом прироста (21,4 %) характеризуются весенние месяцы, наименьшим (7,1 %) – осенние.

Высокий прирост показателей в весеннее время связан в первую очередь с возрастными изменениями школьников. В зимний сезон прирост результатов ограничивают пониженные температуры воздуха в спортивном зале и на улице, уменьшающие скорость и силу сокращения мышц [17].

Анализ результатов по энтропийно-информационным коэффициентам выявил следующие закономерности (табл. 6).

Таблица 6

Посезонные изменения среднего прироста энтропии по спортивным показателям в двух группах учеников

Виды упражнений	Классы	Осень	Зима	Весна	Суммарная энтропия
		Энтропия			
Прыжки с места	4а	0,529	0	0,397	0,926
	4б	0,530	0,208	0,446	1,184
Поднятие туловища	4а	0,525	0,347	0,459	1,331
	4б	0,529	0,266	0,452	1,247
Прыжки со скакалкой	4а	0,531	0,369	0,493	1,393
	4б	0,530	0,466	0,520	1,516
Подтягивание	4а	0,531	0	0,421	0,952
	4б	0,520	0,314	0,432	1,266

Нетренированные летом дети пришли в классы осенью и за этот период показали очень близкие значения энтропии, что свидетельствует об изначально выровненном состоянии групп учеников, причем неопределенность в этот период года достигала наибольших значений. Зимой не наблюдалось какого-либо прироста результатов по двум видам упражнений в группе 4 А класса, что видно и без вычисления этого показателя (прирост минимальный), но уже весной энтропия снова возросла, что, по-видимому, связано с увеличением длительности солнечного освещения, повышением температуры и т. п. Итоговые результаты состояния систем демонстрируют гораздо большую определенность результатов в группе 4 А класса. Интересно, что итоговая величина энтропии (неопределенности) в 4Б классе по прыжкам со скакалкой едва не достигла своего максимума (при $g = 3$ ($H_{max} = \log_2 3 = 1,585$)). В целом, из таблицы видно, что энтропия прироста показателей в разной степени варьирует в зависимости от времени года. Так, в упражнениях по прыжкам с места и подтягивании в 4А классе при минимальной суммарной энтропии (0,926 и 0,952) показатели энтропийного прироста неравномерно распределены по двум сезонам (осень и весна). По остальным видам упражнений распределение энтропии уже по трем сезонам года имеет более равномерное или равновероятное распределение, достигая максимума в упражнениях по прыжкам со скакалкой в 4 Б классе – (1,516). При этом в теории информации существует закономерность, утверждающая, что при равновероятных событиях распределение характеризуется большей неопределенностью, чем в случае при разновременных событиях [2]. Кроме того, выявлено: чем стабильнее окружающие условия при замере нормативов, тем ровнее энтропия результатов. Так, например, при осенних замерах результатов температура воздуха на улице колебалась от плюс 19 до 23 градусов, при этом энтропия незначительно колебалась в районе (0,5) для обоих классов и по всем видам физических упражнений. При зимних замерах колебание температуры на улице составляло от плюс 3 до минус 8 градусов, а весенних – от плюс 8 до 19,

соответственно, и колебание энтропии зимой было выше, чем весной. Такая же зависимость распределения энтропии во время замеров характерна для влажности воздуха и для атмосферного давления. Таким образом, на данном примере еще раз подтверждается точка зрения, согласно которой ключ к пониманию процессов самоорганизации групп учеников и их наставников находится в исследовании взаимодействия открытых систем с окружающей средой [16].

К сожалению, не представляется возможным сопоставить полученные результаты анализа с другими данными не только потому, что нет аналогичных работ по применению энтропийного коэффициента, но и в силу отсутствия исследований по влиянию сезонного аспекта на подготовленность учеников младших классов. И это несмотря на то, что практически во всех исследованиях, проводимых со школьниками, указывается прирост использованных показателей от начала учебного года (сентябрь) к концу (май). Тем не менее основные обобщения, которые можно сделать в результате выполненной работы, можно изложить в виде нижеследующих выводов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Применение энтропийного анализа результатов дополнило наши представления, полученные с использованием традиционных методов, и помогло лучше осмыслить результаты физической подготовленности учеников четвертых классов. При этом значения энтропийного коэффициента помогут сориентировать тренера или учителя на устранение неопределенности состояния группы с целью увеличения вероятности достижения целевых показателей.
2. Учет сезонного аспекта времени года в подготовке учеников четвертых классов дает возможность корректировать подготовку в течение года с планированием повышенных нагрузок в осенний период и поддержание формы в зимний.
3. Использование энтропийного коэффициента как показателя выровненности в подготовленности команды к групповым соревнованиям может быть полезным для оценки готовности команды к соревнованиям как по одиночным видам, так и по комплексу упражнений.
4. Учет случайной составляющей, или неопределенности, спортивных результатов поможет оптимизировать и улучшить организацию учебного процесса по физической подготовленности и воспитанию учащихся.
5. Универсальность формулы Шеннона и ее отвлеченность от семантических и качественных, индивидуальных свойств системы позволяет использовать ее для анализа сколь угодно сложных систем на разных уровнях обобщения: от подготовки отдельных учеников-лидеров до групп, команд школы, республики, страны и т. п. Ее применение является эффективным дополнением к традиционным статистическим показателям, используемым для оценки подготовленности как школьников, так и спортсменов.

Список литературы

1. Соколова И. С. Энтропийно-вероятностное моделирование сложных стохастических систем: дисс. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.18 / Соколова И. С. – Челябинск, 2013. – 134 с.
2. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон. – М.: Изд-во иностранной лит-ры, 1963. – 830 с.
3. Осипов А. И. Энтропия и ее роль в науке / А. И. Осипов, А. В. Уваров // Сетевой образовательный журнал. – 2004. – Т. 8. – № 1. – С. 70–79.
4. Блюменфельд Л. А. Информация, термодинамика и конструкция биологических систем / Л. А. Блюменфельд // Сетевой образовательный журнал. – 1996. – № 7. – С. 88–92.
5. Вечканов Е. М. Термодинамика и кинетика биологических процессов: учеб-метод. пособ. для вузов / Е. М. Вечканов, В. В. Внуков. – Ростов н/Д: ЮФУ, 2010. – 59 с.
6. Опритов В. А. Энтропия биосистем / В. А. Опритов // Сетевой образовательный журнал. – 1999. – № 6. – С. 33–38.
7. Немиров А. Д. Информативность параметров variability сердечного ритма у спортсменов: автореф. дис. ... канд. биол. наук / А. Д. Немиров. – Ярославль, 2004. – 23 с.
8. Викулов А. Д. Физиологические механизмы адаптации организма младших школьников в условиях режима повышенной двигательной активности / А. Д. Викулов, В. Н. Сулейманов, С. Ю. Турчанинов // Ярославский педагогический вестник. – 2005. – № 3. – С. 84–87.
9. Геращенко И. Г. О принципе неопределенности в спортивной педагогике / И. Г. Геращенко, А. И. Шамардин, Ю. А. Зубарев, А. А. Кудинов // Теория и практика физической культуры. – 1998. – № 9. – С. 2–6.
10. Сапцин В. М. Принцип неопределенности и проблема измеримости в спортивной педагогике и соревнованиях / В. М. Сапцин, А. Т. Циповяз // Физическое воспитание студентов. – 2009. – № 3. – С. 95–99.
11. Хакимова Е. Г. Инновации в образовательной среде с использованием информационной энтропии / Е. Г. Хакимова, М. К. Герасимов // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. – № 1. – С. 305–307.
12. Любивая Т. Г. Энтропийный подход в оценке эффективности управления в сфере образовательных услуг / Т. Г. Любивая // Вектор науки ТГУ. Серия: Экономика и управление. – 2014. – № 2 (28). – С. 116–118.
13. Головницкая Г. Е. Принцип энтропии в образовательном процессе / Г. Е. Головницкая // Профессиональная культура специалиста: методологические, идеологические, психолого-педагогические аспекты формирования: мат-лы Междунар. науч-практ. конф. – Барановичи: БарГУ, 2005. – С. 22–25.
14. Малахов С. В. Энтропия в обучении движениям: детерминизм, эвентуальность, интенции / С. В. Малахов // Научное обоснование физического воспитания, спортивной тренировки и подготовки кадров по физической культуре, спорту и туризму: мат-лы XIV Междунар. науч. сессии. – Минск: БГУФК, 2016. – Ч. 1. – С. 400–403.
15. Плохинский Н. А. Алгоритмы биометрии / Н. А. Плохинский. – М.: Изд. МГУ, 1980. – 150 с.
16. Комилев И. О. Организация физического воспитания учащихся младших классов общеобразовательных школ с учетом климатических сезонов календарного года: автореф. дисс. ... канд. пед. наук / И. О. Комлев. – Краснодар, 2008. – 24 с.
17. Уилмор Дж. Х. Физиология спорта / Дж. Х. Уилмор, Д. Л. Костил [пер. с англ. под ред. А. Яценко]. – К.: Олимпийская литература, 2005. – 504 с.

EXPERIENCE OF APPLICATION OF ENTROPY COEFFICIENT OF THE SHANNON TO THE ANALYSIS OF PHYSICAL FITNESS OF TWO GROUPS OF FOURTH GRADE STUDENTS

Gromenko V. M.¹, Fattakhov F. T.², Trunova I. V.¹, Ivashov A. V.¹, Fattakhov A. F.¹

¹V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia

²Crimean Engineering and Pedagogical University, Simferopol, Republic of Crimea, Russia

E-mail: aivashov@mail.ru

The concept of information entropy is used in many scientific disciplines, including biology. The increase or decrease of information leads to a change in the uncertainty of the measurement results. In this regard, the use of entropy in the field of sports and pedagogical research is a promising direction and has great theoretical and practical importance. In this paper, the possibility of applying the information-entropy approach for analyzing the level of physical preparation of pupils of the fourth grades has been tested. In the comparative aspect, the final assessments of the performance of the norms for the ball system and with the use of the entropy index as measures of the uncertainty of the results are analyzed. Certain relationships and differences between the two approaches have been established. It is shown that, unlike the ball evaluation system, the entropy coefficients do not show the degree of poor or good physical readiness, but show the level of differentiation of pupils according to the level of physical development and the ordering of their distribution according to evaluation categories. In addition, patterns of seasonal changes in the increase in athletic performance and entropy in four types of exercises were revealed. It was noted that the greatest increase in indices for both classes, for all types of exercises, falls on the spring season, and the greatest uncertainty or entropy is in the autumn season. On the basis of this, conclusions were drawn on the application of entropy analysis as an effective additional measure of the physical preparation of pupils. The results obtained can serve as a guide for the coach or teacher in eliminating the uncertainty of the group's sports results in order to increase the probability of achieving the highest scores.

Keywords: a group of pupils, physical exercises, scores, entropy.

References

1. Sokolova I. S. *Entropy-probabilistic modeling of complex stochastic systems*: Diss. kand. fiz-mat. sciences : 05.13.18, 134 p (Chelyabinsk, 2013).
2. Shannon C. *Works theory of information and cybernetics*, 830 (M.: Publishing house of foreign literature, 1963).
3. Osipov A. I., Uvarov A. V. Entropy and its role in science, *Network education journal*, **8**, 3, 70 (2004).
4. Blumenfeld L. A. Information, thermodynamics and design of biological systems, *Network education journal*, **7**, 88 (1996).
5. Vechkanov E. M., Vnukov V. V. *Thermodynamics and kinetics of biological processes*, 59 (Rostov-on-Don: YFU, 2010).
6. Opritov V. A. Entropy of biological systems, *Network education journal*, **6**, 33 (1999).
7. Nemiroff A. D. *Informative parameters of heart rate variability in athletes* : Author. diss. on compet. scientific degree of kand. biol. sciences : 23 p (Yaroslavl, 2004).

8. Vikulov A. D. Suleimanov V. N., Turchaninov S. Y., Physiological mechanisms of adaptation of younger schoolboys in conditions of increased motor activity, *Yaroslavl pedagogical bulletin*, 3, 84 (2005).
9. Gerashchenko I. G., Shamardin A. I., Zubarev Y. A., Kudinov A. A. On the uncertainty principle in sport pedagogy, *Theory and practice of physical culture*, 9, 2 (1998).
10. Captin V. M., Tsepovyaz A. T. The uncertainty Principle and the problem of measurability in teaching sports and competition, *Physical education of students*, 3, 95 (2009).
11. Khakimova E. G. Gerasimov M. K., Innovation in the educational environment with the use of information entropy, *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, **17**, 1, 305 (2014).
12. Loving T. G. Entropy approach to the assessment of the effectiveness of management in the sphere of educational services Vector science TSU, *Series: Economy and management*, 2(28), 116 (2014).
13. Golovnitky G. E. The Principle of entropy in the educational process Professional culture of a specialist: methodological, ideological, psychological and pedagogical aspects of formation : *Mat-ly mezhdunar. nauch-prakt. conf.*, Baranovichi, 22 (2005).
14. Malakhov S. V., Entropy of the training movements: determinism, mentalnosti, intentions Scientific justification of physical education, sports training and training in physical culture, sport and tourism : *Mat-ly mezhdunar XIV. scientific. Session*, Minsk, 400 (2016).
15. Pluchinsky N. A. *Algorithms biometrics*, 150 (M. : Moscow state University, 1980).
16. Komlev I. O. *The organization of physical education students of Junior secondary schools, taking into account climatic seasons* : Author. diss. on compet. scientific degree of kand. ped. sciences: 24 p (Krasnodar, 2008).
17. Wilmore G. H., Kostil D. L. *Physiology of sport*, 504 (Kyiv : Olympic literature, 2005).