

УДК 612.2

ТЕПЛОПРОДУКЦИЯ ЧЕЛОВЕКА В РАЗНЫХ СОСТОЯНИЯХ

А.В. Дёмин¹, А.И. Иванов², А.В. Суворов¹

¹Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

²Санкт-Петербургский филиал НИУ «Высшая школа экономики»,
Санкт-Петербург

В работе выполнена статистическая интерпретация результатов измерений потребления кислорода человеком в покое. Построена математическая модель потребления кислорода при физической нагрузке. Выполнена теплоэнергетическая интерпретация результатов. Методы математической биологии применены к результатам измерений, полученным авторами в экспериментах, проведенных в Государственном научном центре РФ – Институте медико-биологических проблем РАН.

Ключевые слова: статистическая интерпретация, потребление кислорода, покой, нагрузка, теплопродукция, жизнеобеспечение

Введение. В процессе длительного космического полета для успешной жизнедеятельности экипажа необходимо создание комфортных условий обитания [3; 19; 29]. При этом, выделяемое человеческим организмом тепло вырабатывается в следствие протекающих в организме химических реакций, окислителем в которых прямо или косвенно является кислород. Поэтому весьма ценным, по нашему мнению, является решение задачи потребления кислорода человеком в разных состояниях. Общие сведения о потреблении человеком кислорода можно найти в многочисленных книгах и справочниках [7; 15; 28 и др.]. В процессе написания настоящей работы мы использовали результаты измерений и экспериментов, выполненных в Государственном научном центре РФ — Институте медико-биологических проблем РАН (ГНЦ РФ — ИМБП РАН) и литературные данные.

Методика. Из книги [28] нами взято численное среднее значение потребления кислорода в состоянии покоя сидя здоровым взрослым человеком, равное 344 мл/мин. Измерения выполнены на 504 практически здоровых людях, профессионально не занимавшихся спортом. В рамках экспериментов, проведенных в ГНЦ РФ — ИМБП РАН, нами были выполнены измерения потребления кислорода у 10 спортсменов (далее: спортсмены) — добровольцев эксперимента «Гелий-11» и у 6 испытателей космической техники — участников эксперимента «Марс-520» (далее в статье: испытатели). Нами установлено, что среднее потребление кислорода у спортсменов в состоянии покоя сидя = 424 мл/мин. Среднее квадратичное отклонение

(СКО) результатов измерений $S = 125$ мл/мин. Нами установлено также, что среднее потребление кислорода испытуемыми до начала изоляции в состоянии покоя сидя = 377 мл/мин, СКО = 66 мл/мин. Потребление кислорода регистрировалось с помощью систем Inncog (Innovision, Нидерланды) и OxyconPro (VIASIS, Германия). Нагрузочные тесты проводились по методу К. Wasserman [30] с помощью велоэргометра VIAsprint 150P (Erich Jaeger, Германия). Весьма подробно отдельные эксперименты и решения связанных с ними задач изложены в работах [11–13].

Результаты и обсуждение. Без применения аппарата современной математической статистики создается впечатление, что потребление кислорода в состоянии относительного покоя у перечисленных групп практически здоровых людей – разное. Однако, всегда можно заявить о том, что как опубликованное в работе [28] среднее значение 344 мл/мин, так и установленные нами значения 377 и 424 мл/мин — являются числами случайными и при проверке на других группах людей вполне могут оказаться совсем другими. В целях проверки достоверности утверждений авторов о численных значениях результатов измерений нами с применением аппарата современной математической статистики выполнено отдельное исследование. Известно [8], что в таких случаях в целях проверки нужно оценить значения вероятностей возможных ошибок, а именно значения вероятностей ошибок первого рода – отвержения нулевой гипотезы и ошибок второго рода – вероятностей принятия неправильной гипотезы.

Согласно содержанию многочисленных учебников и пособий по математической статистике, например, пособий [4; 8], справочника [16] и др., в таких случаях в качестве критерия сравнения применяется случайная величина

$$t = \frac{(\bar{x} - x_0)\sqrt{n}}{S}, \quad (1)$$

где \bar{x} – вычисленное среднее значение результатов измерений, S – среднее квадратическое отклонение (СКО), вычисленного среднего значения, n – объем выборки, x_0 – гипотетическое среднее значение.

Применение выражения (1) позволяет вычислить, а не назначить, как это не редко делается, значение вероятности ошибки первого рода α . При широко распространенном подходе назначать значение ошибки первого рода, как правило, $\alpha = 0,05$, 0,01 или 0,001 всегда происходит ситуация, в которой по заданному значению α гипотеза принимается или отклоняется уже не из математических результатов, а по воле исследователя. В результате, статистическая проверка гипотез теряет свой первоначальный смысл. Весьма часто в медицине и биологии своеобразным стандартом стали писать: $p < 0,05$ или $p > 0,05$ и к этому

сводить всю математическую статистическую науку. Авторитетным русскоязычным учебником по математической статистике, в котором значение вероятности ошибки первого рода α рекомендовано вычислять, а не назначать, является учебник А.А. Боровкова «Математическая статистика» [6].

Известно, что величина t в выражении (1) распределена по закону Стьюдента с $n-1$ степенями свободы.

Сформулируем гипотезы:

$$H_0: x_0 = 344; \quad H_1: \bar{x} = 424.$$

Выполним сравнение с помощью критерия (1) средних объемов потребления кислорода в покое сидя у спортсменов и практически здоровых людей, не занимающихся спортом.

Воспользовавшись исходными данными, запишем

$$t = \frac{(424 - 344)\sqrt{10}}{125} = 2.02$$

Применив распределение Стьюдента при $10-1=9$ степенях свободы, вычислим вероятность ошибки 1 рода. При $k=9$

$\alpha = \int_{2.02}^{+\infty} \frac{\Gamma(\frac{k+1}{2})}{\Gamma(\frac{k}{2})\sqrt{\pi \cdot k}} \left(1 + \frac{t^2}{k}\right)^{-\frac{k+1}{2}} dt = 0,037$, то есть, отвергая гипотезу H_0 , мы совершим ошибку с вероятностью 0,037. Вероятность 0,037 считаем достаточно малой ошибкой, поэтому гипотезу H_0 отвергаем.

Таким образом, нет оснований считать, что в покое сидя объемы потребления кислорода у спортсменов и практически здоровых людей (не спортсменов) статистически значимо одинаковы, то есть средние объемы потребления кислорода в покое сидя у этих групп людей — разные.

Сформулируем гипотезу о потреблении кислорода для групп испытуемых «Марс-520» и практически здоровых людей, не занимающихся спортом.

Сформулируем гипотезы

$$H_0: x_0 = 344; \quad H_1: \bar{x} = 377.$$

Воспользовавшись (24), запишем $t = \frac{(377 - 344)\sqrt{6}}{66} = 1,22$.

Вычислим вероятность ошибки первого рода α при $k=6-1=5$

степенях свободы: $\alpha = \int_{1,22}^{+\infty} \frac{\Gamma(\frac{k+1}{2})}{\Gamma(\frac{k}{2})\sqrt{\pi \cdot k}} \left(1 + \frac{t^2}{k}\right)^{-\frac{k+1}{2}} dt = 0,14$

Считая вероятность 0,14 достаточно большой, гипотезу H_0 не отклоняем. Это означает, что испытуемые «Марс-520» и практически здоровые люди, не занимавшиеся тренировками, не отличаются статистически значимо по потреблению кислорода в покое сидя.

Проверим вероятность ошибки второго рода, то есть ошибочности нашего заключения о том, что объем потребления кислорода у испытуемых «Марс-520» и практически здоровых людей статистически не отличаются. Для вычисления ошибки 2 рода запишем область принятия гипотезы. В нашем случае, очевидно, что левая граница области равна $R' = -\infty$, правая $R'' = 1,22$. Воспользовавшись учебником для вузов [1], вычислим

$$\beta(\bar{x}) = 1 - \left\{ \Phi \left(R'' + \frac{(\bar{x} - x_0)\sqrt{n}}{S} \right) - \Phi \left(R' + \frac{(\bar{x} - x_0)\sqrt{n}}{S} \right) \right\}, \quad (2)$$

где (R', R'') – область принятия гипотезы H_0 ; Φ – функция Лапласа.

Подставив в (2) найденные значения входящих в (2) характеристик, выполнив очевидные вычисления, запишем $\beta=0,01$, то есть вероятность того, что в статистическом заключении мы ошиблись, равна 0,01.

В целях полноты, сравним потребление кислорода у испытуемых «Марс-520» и спортсменов. Нами вычислено, что у испытуемых $\bar{x} = 377$ мл/мин, среднеквадратическое отклонение (СКО) $S = 66$ мл/мин, $n=66$. У спортсменов $\bar{x} = 424$ мл/мин, $S=125$ мл/мин, $n=10$. Так как сравнение идет со спортсменами $x_0 = 424$. Воспользовавшись формулой

$$(1), \text{ запишем } t = \frac{(377 - 424)\sqrt{6}}{66} = -1,74.$$

В нашем случае проверяемые гипотезы — это гипотезы

$$H_0: x_0 = 424; \quad H_1: \bar{x} = 377.$$

Вычислим вероятность ошибки 1 рода при $6-1=5$ степенях свободы

$$\alpha = \int_{-\infty}^{-1,74} \frac{\Gamma\left(\frac{5+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{5}{2}\right)\sqrt{\pi} \cdot 5} \left(1 + \frac{t^2}{k}\right)^{\frac{5+1}{2}} dt = 0,07.$$

Принято считать, что если $\alpha > 0,05$, то гипотеза принимается. Если $\alpha < 0,05$ — отклоняется. В нашем случае $\alpha = 0,07$. Это означает, что гипотеза $H_0: x_0 = 424$ принимается. Физиологически это означает статистическую доказанность того, что у испытуемых и у спортсменов количество потребляемого кислорода в покое (сидя) одинаково, а то что их средние значения 424 (мл/мин) и 377 (мл/мин) разные — явление случайное. К такому заключению весьма часто приходят, задавая значение $\alpha = 0,05$. Теперь проверим какова вероятность того, что наше заключение о равенстве потребления кислорода в покое сидя (спортсменами и испытуемыми) ошибочно. Воспользовавшись выражением (2), выполнив очевидные вычисления, находим что $\beta=0,5$.

Это означает, что найденная нами с помощью заданного значения $\alpha = 0,05$ заключение о равенстве потребления кислорода испытателями и спортсменами с вероятностью $\beta = 0,5$ ошибочно.

В табл. 1 помещены итоговые результаты вычислений, выполненных применением формул (1) и (2) для разных гипотез, проверяемых в нашем случае. Значение ошибки второго рода β имеет смысл только в тех случаях, в которых гипотеза H_0 принимается.

Оценим теперь потребление человеком кислорода при физических нагрузках разной интенсивности. В целях нахождения возможных границ потребления человеком кислорода нами выполнены измерения потребления кислорода у разных групп людей в процессе максимальных физических нагрузок разной интенсивности на велоэргометре. Серии экспериментов нами выполнены в следствие того, что в научной литературе до настоящего времени нет доказательных сведений о том как именно аналитически выражается зависимость между физической нагрузкой и потреблением кислорода человеком. Нас интересовало нахождение аналитического выражения, достаточно точно для прикладных целей описывающего зависимость между численными значениями нагрузки и соответствующими им численными значениями потребления кислорода человеком.

В нашем случае мы приняли решение искать зависимость методами известным и принятым в естествознании, в частности, в математической биологии. В начале найти предполагаемую модель с помощью применения известных законов физики. После чего проверить модель на соответствие результатам измерений.

Опишем процесс нахождения модели. Обозначим через x – мощность нагрузки (Вт/час), через $y(x)$ – количество потребляемого кислорода (литр/мин). Из основ физиологии [20] известно, что с увеличением нагрузки количество потребляемого кислорода при аэробной схеме выработки энергии сначала увеличивается, а затем, достигнув некоторого значения, становится постоянным за счет перехода процесса выработки энергии на анаэробную схему. Обозначим через b – наибольшее возможное количество потребления кислорода организмом при аэробной схеме. b – число, значение которого нам пока не известно. Тогда величина $(b-y(x))$ с ростом значения функции количества потребляемого кислорода $y(x)$ – при аэробном процессе будет уменьшаться, постепенно приближаясь к нулю при $b=y(x)$. В целях возможного увеличения адекватности модели умножим величину $(b-y(x))$ на числовой коэффициент пропорциональности k , то есть запишем величину уменьшения скорости потребления кислорода с увеличением мощности нагрузки как $k(b-y(x))$. С другой стороны из тех же физиологических соображений потребление кислорода $y(x)$ с увеличением мощности нагрузки x должно увеличиваться. Следовательно, произведение $y(x)k(b-y(x))$ должно

характеризовать изменения скорости потребления кислорода с увеличением нагрузки, учитывая и фактор увеличения потребления кислорода $y(x)$, и уменьшение скорости потребления кислорода $k(b-y(x))$.

Таблица 1

Результаты проверки статистических гипотез о потреблении кислорода в покое сидя у групп людей разной тренированности.

Значение \bar{X}	Значение x_0	Значение n	Значение S	Гипотеза H_0	Гипотеза H_1	Значение α	Значение β
377	424	6	66	$x_0 = 424$	$\bar{x} = 377$	0,07	0,5
Заключение: гипотеза H_0 в силу $\beta = 0,5$ отклоняется.							
377	344	6	66	$x_0 = 344$	$\bar{x} = 377$	0,14	0,01
Заключение: гипотеза H_0 в силу $\beta = 0,01$ принимается.							
424	344	10	125	$x_0 = 344$	$\bar{x} = 424$	0,037	–
Заключение: гипотеза H_0 отклоняется.							

В свою очередь, очевидно, что скорость потребления кислорода при изменении нагрузки можно записать как $\frac{dy(x)}{dx}$. Следовательно, дифференциальное уравнение описывающее процесс изменения потребления кислорода организмом при возрастающей нагрузке можно записать как

$$\frac{dy(x)}{dx} = yk(b - y). \quad (3)$$

Подробнее с методами решений уравнения (3) заинтересованный читатель может ознакомиться, воспользовавшись книгами [22; 23].

Решим уравнение (3).

Выполнив в (3) разделение переменных, после очевидных действий запишем

$$\frac{dy}{y(b - y)} = kdx. \quad (4)$$

Выражение (4) – это форма дифференциального уравнения (3) удобная для взятия интегралов. Выполним интегрирование выражения (4)

$$\int \frac{dy}{y(b - y)} = \int kdx. \quad (5)$$

Взяв интегралы в (5) запишем

$$\frac{-\ln\left(\frac{y-b}{y}\right)}{b} = kx \quad (6)$$

При записи выражения (6) как результата интегрирования в (5) мы умышленно не учли, что при взятии неопределенных интегралов необходимо учитывать постоянную интегрирования C , которую можно использовать весьма произвольно, повышая этим адекватность модели.

Из (6) не трудно найти, что

$$y = \frac{b}{1 - e^{-b k x}}. \quad (7)$$

Теперь весьма удобно, воспользовавшись правом весьма произвольного применения свойств постоянной интегрирования C , переписать выражение (7) как

$$y(x) = \frac{b}{1 - C \cdot e^{-b k x}}. \quad (8)$$

Выражение (8) – найденная нами модель изменения потребления кислорода человеком при выполнении им увеличивающейся нагрузки в воздушной среде. Значения коэффициентов b , C и k могут быть вычислены использованием результатов измерений численными методами. Очевидно, что для разных испытуемых значения коэффициентов b , C и k будут разными.

В табл. 2 помещены значения коэффициентов b , C и $b k$ модели (8), для спортсменов, в табл. 3 — для испытуемых «Марс-520».

Таблица 2

Коэффициенты выражения (8)
для спортсменов эксперимента «Гелий-11»

	Спортсмены (обозначены прописными латинскими буквами)									
	G	H	I	J	K	L	M	N	P	R
b	4,63	3,63	4,10	4,04	4,00	4,80	4,03	4,57	3,41	3,41
C	-6,68	-8,16	-6,83	-8,13	-6,17	-7,20	-7,16	-6,35	-6,12	-5,56
$-b k$	0,011	0,016	0,013	0,014	0,012	0,011	0,013	0,010	0,014	0,014

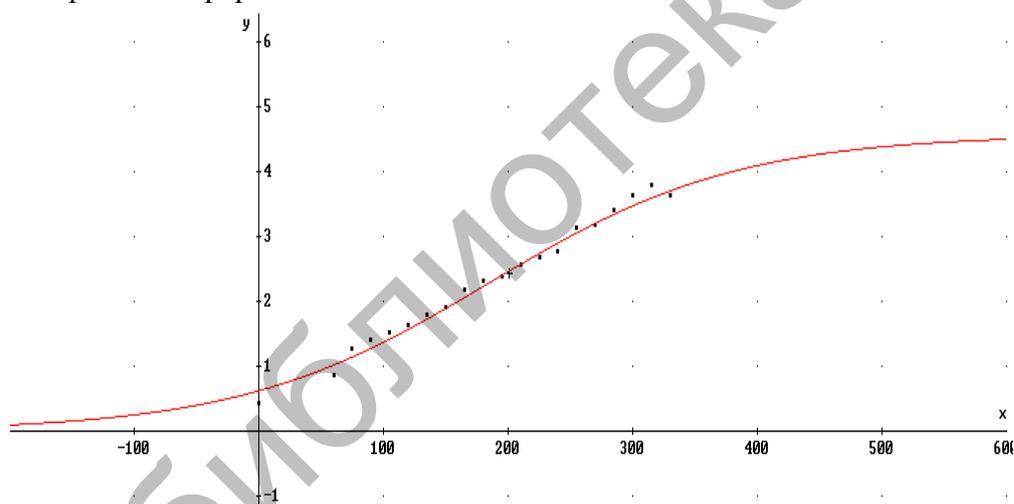
Коэффициент b физиологически интерпретируется как наибольшее возможное количество потребления кислорода (л/мин) испытуемым. Коэффициент $b k$ — как ключевая характеристика скорости роста кривой $y(x)$ потребления кислорода в зависимости от нагрузки (Вт). Типичная графическая интерпретация результатов измерений и им соответствующих результатов моделирования расположена на рисунке. Коэффициенты взяты из табл. 2.

В целях полноты изложим отдельные пояснения к графической интерпретации модели (8) на рисунке.

Коэффициенты выражения (8)
для испытателей эксперимента «Марс-520»

	Испытатели (обозначены прописными латинскими буквами)					
	A	B	S	D	E	F
b	3,24	4,40	2,64	3,44	3,12	3,19
C	-5,76	-5,50	-5,12	-4,93	-4,37	-6,30
$-bk$	0,015	0,011	0,018	0,013	0,013	0,015

При поверхностном визуальном ознакомлении с графической интерпретацией модели может создаваться впечатление, что в отдельных точках модель не вполне точно описывает изучаемое явление. Однако, по нашему мнению. Такое впечатление весьма поверхностно. А именно, известно, что в силу ряда причин никакое измерение непрерывных величин не может быть точным.



Р и с у н о к. Типичная графическая интерпретация результатов измерений и соответствующая им модель:
по оси абсцисс – значения нагрузки (Вт); по оси ординат – потребление кислорода (л/мин). Кривая – модель (8). Точки на рис. — результаты измерений из табл. 2 для спортсмена N

Первая причина этого кроется в природе иррациональных чисел, описывающих свойства непрерывных физических величин. В частности, никогда не возможно точно измерить значения температуры, длины, массы, объема и др. непрерывных величин. Это свойство содержится, в частности, в результатах известной теоремы о несоизмеримых отрезках.

Вторая причина – погрешность приборов измерения. Из метрологии известно [18], что невозможно создать прибор с абсолютной точностью.

Третья причина. Физическое отсутствие точного значения объемов у отдельных физических объектов. Например, в физиологии нельзя считать, что легочные объемы являются постоянными. В разные моменты времени, причем весьма близкие, они могут значительно меняться. Например, известно, что у современных фридайверов после выполнения ими отдельных подготовительных к ныряниям упражнений жизненная емкость легких (ЖЕЛ) может возрасть на 1 литр и более [13].

Четвертая причина. Полнота описаний свойств многих непрерывных объектов включает в себя и их вероятностные характеристики. Это означает, что одни и те же свойства, измеренные в разные, даже в весьма близкие отстоящие моменты времени, оказываются разными, например, если в течение приблизительно 10 мин 10 раз подряд замерить давление крови, то практически никогда все 10 измерений не окажутся одинаковыми.

Поэтому моделей, абсолютно точно описывающих явления, не может быть в силу природы физических законов. Более того, если вдруг оказывается, что точки результатов измерений абсолютно точно ложатся на кривую модели, это является свидетельством того, что применены те или иные приемы подгонки данных. Например, после построения модели слегка изменены значения результатов измерений для точной подгонки их к модели их описывающей. Поэтому отдельные визуальные несоответствия точек с найденной моделью является свидетельством в пользу правильности найденных моделей, а не их недостаточной точности. В целях полноты аргументации сообщаем, что в норме допустимы отклонения величины потребления кислорода от должной на 20% [25].

Выполним теплоэнергетическую интерпретацию результатов. Оценим количество тепла (энергии), которое выделяется при потреблении человеком кислорода при физической нагрузке. С помощью модели (8) нами найдено, что наибольшее количество кислорода, потребляемое человеком в процессе наибольшей физической нагрузки приблизительно равно 5 л/мин. Результаты построенной нами модели хорошо совпадают с результатами выполненных нами измерений. Например, для спортсмена L (табл. 2)

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{4,8}{1 - (-7,2)^{-(4,8) \cdot 0,0023 \cdot x}} = 4,8$$

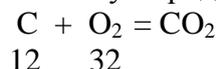
л/мин

Известно, что у спортсменов экстра-класса потребление кислорода может достигать 6 л/мин [2].

Найдем количество тепла, которое выделится в реакции окисления при расходе в ней 4,8 л кислорода в минуту. В качестве

эквивалента какого-либо окисляемого вещества в организме в процессе жизнедеятельности возьмем углерод. В [7; 17] находим, что при сжигании 1 кг углерода выделяется 7300 ккал/кг. Значение теплоты сгорания других углеродсодержащих веществ близко к теплоте сгорания углерода. Например, бензина 10000 ккал/кг, мазута 9800 ккал/кг, этилового спирта 5980 ккал/кг, жиров 9000 ккал/кг.

Для полного сгорания 12 г углерода требуется 32 г кислорода:



При этом, что 32 г O_2 занимает объем 22.4 л, 4.8 л весят 0.0069 кг, то есть, при окислении углерода 4.8 литрами O_2 выделится 50.37 ккал/мин. Известно, что удельная теплота парообразования воды 539 ккал/кг [17], то есть получается, что за 10-11 мин интенсивной работы человек способен выделить количество тепла достаточное для испарения 1 л воды.

Поскольку в наших исследованиях все результаты измерений получены при нормальных условиях, то для измененных условий окружающей среды мы рекомендуем воспользоваться дополнительной литературой. В частности, более подробные сведения об окислительных процессах в человеческом организме на разных высотах можно найти в работе [9], о потреблении кислорода в гипербарических условиях – в работе [26]. Случай не полного окисления углерода в организме здоровых людей описан в работах [10; 14]. Некоторые особенности окисления (метаболизма) у больных людей оценены в работе [5].

Список литературы

1. Андронов А.М., Копытов Е.А., Гринглаз Л.Я. Теория вероятностей и математическая статистика. СПб.: Питер, 2004. 461 с.
2. Аулик И.В. Определение физической работоспособности в клинике и спорте. М.: Медицина, 1979. 191 с.
3. Баранов В.М. Газоэнергообмен человека в космическом полете и модельных исследованиях. М.: Наука, 1993. 126 с.
4. Белько И.В., Свирид Г.П. Теория вероятностей и математическая статистика. Примеры и задачи / под ред. К.К. Кузьмича. 3-е изд. Минск: Новое знание, 2007. 251 с.
5. Богданов А.Р., Мальцев Г.Ю., Демин А.В. Энергетический обмен у больных ишемической болезнью сердца до и после кардиоваскулярных операций // Вопросы питания. 2007. Т. 76, № 5. С. 17–21
6. Боровков А.А. Математическая статистика. Оценка параметров. Проверка гипотез. М.: Наука, 1984. 472 с.
7. Герман И. Физика организма человека. Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2011. 992 с.

8. *Гмурман В.Е.* Теория вероятностей и математическая статистика. Учебное пособие для вузов. 12-е изд. М.: Юрайт, 2012. 479 с.
9. *Дёмин А.В., Дьяченко А.И., Иванов А.И.* Потребление кислорода человеком в покое на разных высотах Эльбруса // *Авиакосмич. и экологич. медицина.* 2010. Т. 44, № 3. С. 68–71.
10. *Дёмин А.В., Иванов А.И., Малый А.В.* Математическая модель изменения содержания оксида углерода в гермообъекте при длительном пребывании в нем человека // *Авиакосмич. и экологич. медицина.* 2009. Т.43, №4, С. 56–60.
11. *Дёмин А.В., Иванов А.И., Орлов О.И.* Методическое пособие по математической физиологии. Ч. 5: Количественная оценка потребления кислорода человеком при физической работе. М.: Фирма Слово, 2012. 20 с.
12. *Дёмин А.В., Иванов А.И., Орлов О.И.* Методическое пособие по математической физиологии. Ч. 6: Количественная оценка действия инертных газов на потребление кислорода человеком при физической работе. М.: Фирма Слово, 2012. 22 с.
13. *Дёмин А.В., Иванов А.И., Орлов О.И.* Методическое пособие по математической физиологии. Ч. 7: Устойчивость модели процесса дыхания – физическая работа. М.: Фирма Слово, 2012. 20 с.
14. *Дёмин А.В., Степанов Е.В., Шулагин Ю.А.* Модель изменения концентрации оксида углерода в атмосфере обитаемого гермообъекта в ночной период // *Авиакосмич. и экологич. медицина.* 2009. Т. 43, №2. С. 67–69.
15. *Иванов К.П.* Биоэнергетика и температурный гомеостазис. Л.: Наука, 1972. 171 с.
16. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения. Теоремы. Формулы. М.: Наука, 1973. 832 с.
17. *Кухлинг Х.* Справочник по физике. М.: Мир, 1983. 520 с.
18. *Назаров Н.Г.* Метрология. Основные понятия и математические модели. М.: Высшая школа. 2002. 348 с.
19. *Олизаров В.В.* Системы обеспечения жизнедеятельности экипажей летательных аппаратов / под ред. В.А. Боднера. М.: Издание ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1962. 260 с.
20. *Основы физиологии* / под ред. П.Стёрки. М.: Мир, 1984. 556 с.
21. *Пономарев К.К.* Составление дифференциальных уравнений. Минск: Высшая школа, 1973. 560 с.
22. *Пономарев К.К.* Специальный курс высшей математики. М.: Высшая школа, 1974. 374 с.
23. *Респираторная медицина: в 2-х томах. Т. 1* / под ред. А.Г. Чучалина. М.: Гэотар-Медиа. 797 с.
24. *Руководство по клинической физиологии дыхания* / под ред. Л.Л. Шика, Н.Н. Канаева. Л.: Медицина, 1980. 376 с.

25. Справочник по функциональной диагностике / под общ. ред. И.А. Кассирского. М.: Медицина, 1970. 848 с.
26. Суворов А.В. Внешнее дыхание и газообмен человека во время длительного пребывания в условиях гипербарии: дис. ... канд. мед. наук. М., 1986. 137 с.
27. Физиология человека: в 4-х томах / под ред. Р.Шмидта, Г.Тевса. М. Мир, 1986. Т. 4. 312 с.
28. Хасис Г.Л. Показатели внешнего дыхания здорового человека. Ч. 2. Кемерово: Кемеровское книжное изд-во, 1975. 160 с.
29. Шибанов Г.П. Обитаемость космоса и безопасность пребывания в нем человека. М.: Машиностроение, 2007. 543 с.
30. Wasserman K., Hansen J.E., Sue D.Y. Principles of exercise testing and interpretation: including pathophysiology and clinical applications. 5 ed. Lippincott: Williams and Wilkins, 2012. 572 p.

HUMAN HEAT PRODUCTION IN DIFFERENT STATES

A.V. Demin¹, A.I. Ivanov², A.V. Suvorov¹

¹Institute of Medical and Biological Problems RAS, Moscow

²Saint-Petersburg Branch of Higher School of Economics

In the paper the statistical interpretation of man oxygen consumption in rest measurements results has performed. Mathematical model of oxygen consumption during exercise has constructed. Heat energy interpretation of results has performed. Mathematical biology methods applied to measurement results have applied by the authors to the experiment's data conducted in the State Research Center RF – Institute of Biomedical Problems Russian Academy of Sciences.

Keywords: *statistical interpretation, oxygen consumption, rest, load, heat, life support.*

Об авторах:

ДЕМИН Артем Валерьевич–научный сотрудник лаборатории физиологии и биомеханики кардиореспираторной системы, ФГБУ ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, 123007, Москва, Хорошевское ш., д. 76а, e-mail: a_demin2005@mail.ru

ИВАНОВ Анатолий Иванович–кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математики, Санкт-Петербургский филиал НИУ «Высшая школа экономики», 192171, Санкт-Петербург, ул. Седова, д.55/2, e-mail: aiiivanov.hse@yandex.ru

Вестник ТвГУ. Серия "Биология и экология". 2013. Выпуск 29. № 2

СУВОРОВ Александр Владимирович—доктор медицинских наук, заведующий лабораторией физиологии и биомеханики кардиореспираторной системы, ФГБУ ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, 123007, Москва, Хорошевское ш., д. 76а, e-mail: suvalex@inbox.ru

Научная библиотека ТвГУ