

Я.А. Лутин², Я.А. Лещенко¹

ПОДХОДЫ К ПРИМЕНЕНИЮ ИНФОРМАЦИОННО-ЭНТРОПИЙНОГО АНАЛИЗА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ*

¹ АФ – НИИ медицины труда и экологии человека ГУ НЦ МЭ ВСНЦ СО РАМН (Ангарск)² Иркутский филиал Российского государственного торгово-экономического университета (Иркутск)

Цель работы – выявление возможностей описания и оценки природы сложных медико-биологических явлений и процессов с помощью математического аппарата теории информации. Представлены подходы к применению информационно-энтропийного анализа при изучении заболеваемости, оценке клинко-функциональных параметров у стационарных больных, а также при изучении некоторых медико-демографических характеристик населения города.

Ключевые слова: здоровье населения, информационно-энтропийный анализ

APPROACHES TO USING THE INFORMATIVE ENTROPIC ANALYSIS IN STUDYING OF POPULATION HEALTH INDICES

Ya.A. Lutin², Ya.A. Leshchenko¹¹ Research Institute of Industrial Medicine and Human Ecology SC ME ESSC SB RAMS, Angarsk² Branch of Russian State Commercial-Economic University, Irkutsk

This work was performed with aim to reveal the possibilities of describing and assessing the nature of complex medical-biological phenomenon and processes using a mathematical apparatus of an information theory. The approaches to using the informative – entropic analysis in studying morbidity, assessment of clinical-functional parameters in the stationary patients as well as in studying some medical-demographic characteristics in the urban population are presented in this paper.

Key words: population health, informative-entropic analysis

При исследовании медико-демографических и демоэкологических явлений и процессов серьезной методологической проблемой является получение обобщенных (интегральных) количественных и качественных оценок состояния здоровья человеческих популяций, субпопуляций и групп населения. Традиционно в социальной экологии и гигиене, медицинской демографии, биологических исследованиях эта задача решается на основе статистико-вероятностных методов и принципов.

В последние десятилетия прошлого века некоторыми авторами высказывалось мнение о том, что помочь медикам и биологам в более строгом математизированном описании и количественной оценке изучаемых ими сложных предметов и явлений может теория информации, располагающая собственным математическим аппаратом, дающим возможность оценивать природу сложных объектов [7]. Одной из отправных точек для такого мнения послужило представление о том, что самоорганизация и саморегуляция, присущие живым организмам, имеют в своей основе некий универсальный механизм, позволяющий этим системам не растрчивать свою упорядоченность, обеспечивающую выполнение функций системы, а с течением времени даже повышать ее [6]. При этом, как отдельный организм, так и сообщество организмов рас-

сматривается как открытая система, существование и функционирование которой обусловлено непрерывно идущими процессами обмена веществом, энергией и информацией с окружающей средой и внутри самой системы [1, 8]. Попытки (весьма немногочисленные) применить метод информационно-энтропийного анализа предпринимались при проведении медико-биологических, социально-гигиенических исследований [1 – 3].

Однако, на наш взгляд, проблема применения информационно-энтропийного анализа в эпидемиологических, медико-демографических и других исследованиях все еще содержит очень много нерешенных вопросов. Применявшиеся ранее подходы нередко представляются недостаточно ясными, неадекватными или просто ошибочными.

Ниже мы попытаемся критически взглянуть на подходы, применявшиеся вышеуказанными авторами при оценке состояния здоровья населения, и представить свою точку зрения на этот вопрос.

При оценке показателей здоровья населения одна из основных ошибок в применении подхода, базирующегося на исследовании энтропийных закономерностей, заключается в том, что разработчики пытаются напрямую установить взаимосвязь между уровнем здоровья и энтропией (H) частных медико-статистических показателей.

* Статья подготовлена в рамках проекта № 06-06-80151, выполняемого при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.

Ошибочность такого подхода иллюстрирует такой простой пример.

Вычислим энтропии в группах населения с 30 и с 70 % заболевших лиц (для удобства вычислений будем считать энтропию положительной величиной):

$$\begin{aligned} H(30\%) = H(70\%) &= -\sum_{i=1}^2 P_i \log_2 P_i = \\ &= -(0,3 \log_2 0,3 + 0,7 \log_2 0,7) = \\ &= -(0,3 \ln 0,3 + 0,7 \ln 0,7) / \ln 2 = \\ &= 0,521 + 0,360 = 0,881 \text{ (бит)}. \end{aligned}$$

Величины энтропии в обоих случаях одинаковы, но очевидно, что моделируемые ситуации совершенно разные. Чтобы корректно провести сравнение, надо связывать показатели болевших лиц (x) не с энтропией, а с ее изменениями (ΔH) при переходе от одной ситуации к другой (от 30 % болевших к 70 %).

Другая ошибка, допускаемая при попытке использовать энтропию для оценки частотных показателей нарушений здоровья, заключается в объединении в одних формулах взаимокоррелируемых признаков, или, наоборот, признаков, не имеющих между собой никакой логической (смысловой) информационной связи. Например, объединение энтропий частотных показателей заболеваемости: общего показателя заболеваемости и показателей по отдельным классам болезней; или объединение энтропий показателей болевших лиц и дней временной нетрудоспособности, энтропий показателей общей заболеваемости и инвалидности и т.п.

Не следует отождествлять реально существующую связь между признаками, и связь между энтропиями этих признаков, которой во многих случаях может и не быть. По видимому, имеет смысл вычислять, анализировать только энтропию признаков одного рода. Энтропия разнородных признаков не информативна уже потому, что последние измеряются в разных единицах. Подбирая разнородные факторы или единицы измерения, можно получить различные значения энтропии, которые непонятно как интерпретировать.

Рассмотрим, как же следует адекватно оценить с помощью энтропийного анализа состояние здоровья в группах населения с 30 и с 70 % заболевших лиц.

График энтропии при измерении в битах будет иметь следующий вид (рис. 1):

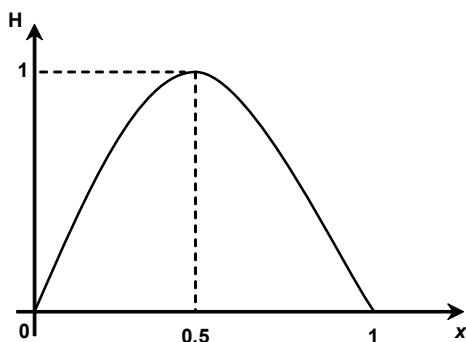


Рис. 1. Изменение энтропии (H) при изменении заболеваемости (x) от минимума до максимума.

Если количество заболевших равно нулю ($x_0 = 0$), то энтропия также равна нулю ($H(0) = 0$). Если количество заболевших равна 30 % ($x_1 = 0,3$), то ($H(0,3) = 0,881$), то есть при росте доли заболевших от 0 до 0,3 энтропия изменится на 0,881 бит ($\Delta H = 0,881$). Этой величиной можно оценить ухудшение здоровья населения при росте числа заболевших от 0 до 30 %, то есть 30 % заболевших ставится в соответствие изменение энтропии $\Delta H = 0,881$ бит. Если заболеваемость выросла от 0 до 70 % ($x_2 = 0,7$), то энтропия будет в процессе роста доли заболевших сначала расти в промежутке от 0 до 0,5 ($H(0) = 0$, $H(0,5) = 1$, $\Delta H_1 = 1 - 0 = 1$). Затем энтропия будет уменьшаться при росте доли заболевших в промежутке от 0,5 до 0,7 ($H(0,5) = 1$, $H(0,7) = 0,881$, $\Delta H_2 = 1 - 0,881 = 0,119$). Суммарные изменения энтропии при росте числа заболевших от 0 до 70 % будут такими:

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 = 1 + 0,119 = 1,119.$$

Следовательно, ухудшению эпидемиологической характеристики здоровья, заключающемуся в росте показателя болевших лиц с 0 до 70 %, ставится в соответствие изменение энтропии $\Delta H = 1,119$ бит.

Если заболеваемость населения 100 % ($x_3 = 1$), то ему в соответствие ставится максимальная величина изменения энтропии $\Delta H_{max} = 2$ бит.

Если оценивать здоровье населения с учетом нескольких заболеваний, то $\Delta H = \sum_{i=1}^n \Delta H_i$, где n – количество учитываемых заболеваний. Максимальное изменение энтропии в этом случае $\Delta H_{max} = 2n$ (бит) при 100 % заболеваний всеми учитываемыми болезнями. Минимальное значение $\Delta H_{min} = 0$ при полном отсутствии заболеваний.

Другой, более общий подход к оценке здоровья населения, может заключаться в установлении соответствия между уровнем здоровья и какой-то функцией от энтропии. Например, площадью, ограниченной на графике линией энтропии, осью x и прямой $x = P$, где P – вероятность заболевания,

$$\text{или доля заболевших } f(H(x)) = F(x) = \int_0^x H(x) dx.$$

Оценим с помощью этой функции состояние здоровья населения в группе с 30 % заболевших и в группе с 70 % заболевших лиц.

$$\begin{aligned} F(0,3) &= - \int_0^{0,3} \frac{1}{\ln 2} (x \ln x + (1-x) \ln(1-x)) dx = \\ &= \frac{-1}{\ln 2} \left(\frac{x^2 \ln x}{2} - \frac{(1-x)^2 \ln(1-x)}{2} + \frac{1-2x}{4} \right) \Big|_0^{0,3} = 0,1684 \end{aligned}$$

Аналогично получим $F(0,7) = 0,5528$. При 100 % заболевших лиц в группе наблюдения оценивающая функция $F(x)$ принимает максимальное значение

$$F(1) = \int_0^1 H(x) dx = 0,7213.$$

При $\int_0^0 H(x) dx = 0$ отсутствии заболевания. Если оценивается здоровье с учетом нескольких заболеваний, то

$$F = \sum_{i=1}^n F(x_i) = \sum_{i=0}^n \int_0^{P_i} H(x_i) dx_i,$$

где P_i – вероятность i -го заболевания или доля заболевших болезнью с номером i .

Еще один подход к оценке здоровья с использованием функции от энтропии заключается в установлении соответствия между уровнем здоровья и длиной линии энтропии на графике от $x = 0$ до $X = P$.

$$\Phi(x) = \int_0^x \sqrt{[H'(x)]^2 + 1} dx.$$

Для нескольких заболеваний

$$\Phi = \sum_{i=1}^n \Phi(X_i) = \sum_{i=0}^n \int_0^{P_i} \sqrt{[H'(x_i)]^2 + 1} dx_i$$

Возможны и другие математические подходы к оценке здоровья населения на основе энтропии в зависимости от изучаемых условий и ставящихся задач исследования.

Вместо изменения полной энтропии можно использовать в расчетах изменение частичной энтропии, то есть вместо

$$H = h_1 + h_2 = -(x \log_2 x + (1-x) \log_2 (1-x))$$

использовать $h = -x \log_2 x$. Эта функция практически обладает почти теми же свойствами что и H ($h(0) = H(0) = 0$, $h(1) = H(1) = 0$, $H_{max} = H(0,5) = 1$, $h_{max} = h(e^{-1}) = 0,53$), но значительно облегчает расчеты при рассмотренных выше различных подходах к оценке здоровья.

Если рассматривать частичную энтропию в первом способе оценки здоровья, то вместо H вычисляем

$$h(0,3) = -0,3 \log_2 0,3 = 0,521 \text{ и}$$

$$h(0,7) = -0,7 \log_2 0,7 = 0,360.$$

Изменение частичной энтропии в первом случае $\Delta h = 0,521 - 0 = 0,521$ (бит). Во втором случае энтропия сначала растет в процессе роста заболеваний от $x = 0$ до

$$x = e^{-1} \quad (h(0) = 0, \quad h(e^{-1}) = 0,53, \quad \Delta h_1 = 0,53 - 0 = 0,53).$$

Затем она уменьшается в промежутке от $x = e^{-1}$ до

$$x = 0,7 \quad (h(e^{-1}) = 0,53, \quad h(0,7) = 0,36, \quad \Delta h_2 = 0,53 - 0,36 = 0,17).$$

Суммарные изменения частичной энтропии при росте показателя болевших лиц от 0 до 70 % будут такими $\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2 = 0,53 + 0,17 = 0,7$ (бит). Таким образом, величиной $Dh = 0,521$ можно оценить ухудшение здоровья населения при заболеваемости 30 % и величиной $Dh = 0,7$ ухудшение здоровья населения при заболеваемости 70 %. При заболеваемости 100 % изменение частичной энтропии $Dh_{max} = 0,53 + 0,53 = 1,06$ (бит).

График частичной энтропии имеет следующий вид (рис. 2):

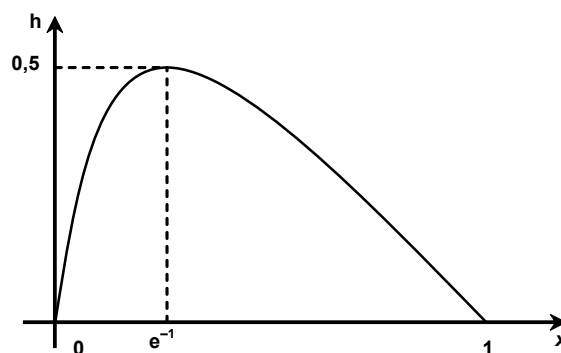


Рис. 2. Изменение частичной энтропии (h) при росте показателя заболеваемости (x).

Общая формула для вычисления частичной энтропии при изменении аргумента X от a до b следующая:

$$\Delta h = \int_a^P |h'(x)| dx + \int_P^b |h'(x)| dx,$$

где $a < b$, $0 \leq a \leq 1$, $0 \leq b \leq 1$, и P определяется как значение аргумента x приносящее максимум частичной энтропии $h(x)$, то есть $h(P) = h_{max}$. В нашем примере $P = e^{-1}$.

Если использовать частичную энтропию к нескольким заболеваниям, то $\Delta h = \sum_{i=1}^n \Delta h_i$. Максимальное изменение частичной энтропии в этом случае $\Delta h_{max} = 1,06n$ (бит). Аналогично используется частичная энтропия и в других подходах к оценке здоровья населения.

Частичная энтропия в рассматриваемых исследованиях лучше полной энтропии еще и потому, что она реальнее отражает изменение здоровья населения при росте количества болеющих, то есть при малом количестве заболевших прирост их количества резко ухудшает состояние здоровья населения, чем тот же прирост при большем количестве болеющих. Это заметно на графике частичной энтропии.

Частичные энтропии более адекватно отражают связь ухудшения здоровья населения с изменением энтропии. Изменение полной энтропии не превышает суммы изменений частичных энтропий $\Delta H \leq \Delta h_1 + \Delta h_2$. Это происходит потому, что положительные и отрицательные значения изменений частичных энтропий могут взаимно компенсироваться. То есть изменения частичных энтропий в сумме больше изменения общей энтропии.

Исходя из того, что в нашем примере на уровень здоровья населения влияет и увеличение числа больных и уменьшение числа здоровых, наиболее адекватным будет сопоставление степени ухудшения здоровья с суммой изменений значений обеих частных энтропий. То есть вместо

$$F(x) = f(H(x)) = \int_0^P H(x) dx \text{ следует использовать}$$

$F(x) = f(h_1(x), h_2(x)) = \Delta h_1 + \Delta h_2$. Вычислим, какое суммарное изменение частных энтропий соответствует увеличению больных от 30 до 70 %.

Изменение первой частной энтропии вычисляется так:

$$\Delta h_1 = \int_{0,3}^{e^{-1}} |h'(x)| dx + \int_{e^{-1}}^{0,7} |h'(x)| dx = \left[\int_{0,3}^{e^{-1}} \frac{|h'(x)h'(x)|}{h'(x)} dx + \int_{e^{-1}}^{0,7} \frac{|h'(x)h'(x)|}{h'(x)} dx \right] = \frac{|h'(x)|}{h'(x)} \int_{0,3}^{e^{-1}} h'(x) dx + \frac{|h'(x)|}{h'(x)} \int_{e^{-1}}^{0,7} h'(x) dx$$

(Дифференциальное и интегральное исчисление функций, содержащих модули, изложено в нашей работе [4]).

Множитель $\frac{|h'(x)|}{h'(x)}$ вынесли за знаки интегралов потому, что он является константой на всей области определения рассматриваемых интегралов $h = -x \log_2 x = -x \ln x / \ln 2$ $h'(x) = -(\ln x + 1) / \ln 2$. Отсюда получаем

$$\Delta h_1 = \frac{|-\ln x - 1|}{-\ln x - 1} \cdot \frac{1}{\ln 2} \int_{0,3}^{e^{-1}} -(\ln x + 1) dx + \frac{|-\ln x - 1|}{-\ln x - 1} \cdot \frac{1}{\ln 2} \int_{e^{-1}}^{0,7} -(\ln x + 1) dx$$

Константа $\frac{|-\ln x - 1|}{-\ln x - 1}$ перед первым интегралом на интервале $(0,3; e^{-1})$ равна 1. Константа перед вторым интегралом на интервале $(e^{-1}; 0,7)$ равна -1.

Таким образом, получаем

$$\Delta h_1 = \frac{1}{\ln 2} (-x \ln x \Big|_{0,3}^{e^{-1}} + x \ln x \Big|_{e^{-1}}^{0,7}) = \frac{1}{\ln 2} (e^{-1} + 0,3 \ln 0,3 + 0,7 \ln 0,7 + e^{-1}) = 0,18$$

Поскольку границы изменения аргумента x для функции h_2 те же самые $(0,3$ и $0,7)$, то ее изменение будет такое же, как и Δh_1 , то есть $\Delta h_2 = 0,18$. $F(x) = \Delta h_1 + \Delta h_2 = 0,36$ (бит).

Таким образом, ухудшение здоровья населения при увеличении доли больных с 30 до 70 % соответствует суммарное изменение частных энтропий 0,36 бит.

Все вышеизложенное приложимо к одинаковым по значению факторам. При разных по значению факторах нужно энтропии (полные или частичные) умножить на их веса. Для заболеваний роль весов могут играть отношения средних чисел дней нетру-

доспособности по каждой нозологической форме болезней к сумме этих средних чисел $(\frac{d_i}{\sum_{i=1}^n d_i})$. То есть

показателем, характеризующим ухудшение здоровья населения в сравнении с полным отсутствием заболеваний, будет величина $F = \sum_{i=1}^n (\frac{d_i}{\sum_{i=1}^n d_i}) F(x_i)$, где

d_i – среднее число дней нетрудоспособности при i -том заболевании. $F(x_i)$ – какая-то функция от общей или частных энтропий, выбранная для оценки состояния здоровья населения.

Мы рассмотрели использование понятия энтропии для оценки ситуаций, имеющих всего два параметра (доля болеющих и доля здоровых). Рассмотрим теперь ситуацию с количеством параметров больше двух. Сделаем это на примере изучения особенностей распределения воды в организме здоровых мужчин и лиц, страдающих застойной сердечной недостаточностью (табл. 1). Количество воды измеряется в долях от общего количество воды в организме.

Если сопоставлять энтропию распределения воды в организме с состоянием организма, то может оказаться, что у здоровых и больных одинаковая энтропия. Поэтому в качестве величины, оценивающей состояние больного, следует брать сумму величин изменения рассматриваемых параметров при переходе от здорового состояния к нездоровому.

$$\Delta h = \sum_{i=1}^n \Delta h_i = \sum_{i=1}^3 \Delta h_i$$

Вычислим суммарное изменение частных энтропий сначала для менее тяжелых больных.

$$\begin{aligned} \Delta h'_1 &= \frac{1}{\ln 2} \left(\int_{0,54}^{e^{-1}} |-(\ln x + 1)| dx + \int_{e^{-1}}^{0,57} |-(\ln x + 1)| dx \right) = \\ &= \frac{1}{\ln 2} \left(\frac{|-\ln x - 1|}{-(\ln x + 1)} \int_{0,54}^{e^{-1}} -(\ln x + 1) dx + \frac{|-\ln x - 1|}{-(\ln x + 1)} \int_{e^{-1}}^{0,57} -(\ln x) dx \right) = \\ &= \frac{1}{\ln 2} \left(x \ln x \Big|_{0,54}^{e^{-1}} + x \ln x \Big|_{e^{-1}}^{0,57} \right) = \frac{1}{\ln 2} (-e^{-1} - 0,54 \ln 0,54 + 0,57 \ln 0,57 + e^{-1}) = 0,0178 \end{aligned}$$

Таблица 1

Распределение воды в организме здоровых мужчин и мужчин, страдающих застойной сердечной недостаточностью

Вода	Здоровые	Больные	Больные с отеками
Внутриклеточная	0,57	0,54	0,41
Внеклеточная без плазмы	0,35	0,38	0,50
Плазма	0,08	0,08	0,04

$$\Delta h'_2 = \frac{1}{\ln 2} \left(\frac{|-(\ln x + 1)|}{-(\ln x + 1)} \int_{0,35}^{e^{-1}} -(\ln x + 1) dx + \frac{|-(\ln x + 1)|^{0,38}}{-(\ln x + 1)} \int_{e^{-1}}^{0,38} -(\ln x + 1) dx \right) = \frac{1}{\ln 2} \cdot (-x \ln x) \Big|_{0,35}^{e^{-1}} + x \ln x \Big|_e^0 = \frac{1}{\ln 2} (e^{-1} + 0,35 \ln 0,35 + 0,38 \ln 0,38 + e^{-1}) = 0,0009.$$

$\Delta h'_3 = 0$, так как третий параметр не изменился при переходе от здорового состояния к болезненному.

$$\Delta h' = \sum_{i=1}^3 \Delta h'_i = 0,0178 + 0,0009 + 0 = 0,0187 \text{ (бит)}.$$

Аналогично вычислим суммарное изменение частных энтропий для более тяжелых больных.

$$\Delta h''_1 = 0,0651 \quad \Delta h''_2 = 0,0314 \quad \Delta h''_3 = 0,0211$$

$$\Delta h'' = 0,0651 + 0,0314 + 0,0211 = 0,1176 \text{ (бит)}.$$

Таким образом, степень отклонения состояния здоровья от нормы может быть оценена суммой изменений частных энтропий рассматриваемых параметров, то есть тех параметров, которые имеют значение для состояния организма. При менее тяжелом состоянии суммарное изменение частных энтропий составляет 0,0187 бит, а при более тяжелом уже 0,1176 бит.

Изложенную методику можно использовать и при исследовании состава крови (в норме и при патологии) и в других ситуациях, где исследуемая система может быть оценена по степени ее дезорганизованности.

В первом из рассмотренных нами примеров с двумя параметрами (доля больных и доля здоровых) оптимальным уровнем дезорганизованности является нулевая энтропия при отсутствии заболеваний.

Во втором примере с тремя переменными (доля внутриклеточной воды, доля внеклеточной и доля воды в плазме) оптимальными уровнями частных энтропий являются энтропии, соответствующие нормальному состоянию организма

$$h_i = \frac{-1}{\ln 2} x_i \ln x_i :$$

$$h_1^0 = \frac{-1}{\ln 2} 0,57 \ln 0,57 = 0,4623 \text{ (бит)};$$

$$h_2^0 = \frac{-1}{\ln 2} 0,35 \ln 0,35 = 0,5301 \text{ (бит)};$$

$$h_3^0 = \frac{-1}{\ln 2} 0,08 \ln 0,08 = 0,2915 \text{ (бит)}.$$

Зная абсолютные изменения частных энтропий и энтропии соответствующие оптимальному состоянию организма, можем вычислить относительные изменения энтропий. Для первого примера

$$\Delta^0 h'_1 = \frac{\Delta h'_1}{h_1^0} \cdot 100 \% = \frac{0,0178}{0,4623} \cdot 100 \% = 3,85 \%$$

$$\Delta^0 h''_1 = \frac{\Delta h''_1}{h_1^0} \cdot 100 \% = \frac{0,0651}{0,4623} \cdot 100 \% = 14,08 \%$$

Таким образом, для менее тяжелых больных отклонение энтропии первого параметра от оптимума составляет 3,85 %, а для более тяжелых уже 14,08 %. Аналогично можем вычислить относительные изменения энтропий остальных параметров.

$$\Delta^0 h'_2 = 0,17 \% \quad \Delta^0 h''_2 = 5,92 \% \quad \Delta^0 h'_3 = 0$$

$$\Delta^0 h''_3 = 7,24 \%$$

Суммарное относительное изменение энтропий

$$\Delta^0 h' = \frac{\Delta h'_1 + \Delta h'_2 + \Delta h'_3}{h_1^0 + h_2^0 + h_3^0} \cdot 100 \% =$$

$$= \frac{0,0178 + 0,0009 + 0}{0,4623 + 0,5301 + 0,2915} \cdot 100 \% = 1,46 \%$$

$$\Delta^0 h'' = \frac{\Delta h''_1 + \Delta h''_2 + \Delta h''_3}{h_1^0 + h_2^0 + h_3^0} \cdot 100 \% =$$

$$= \frac{0,0651 + 0,0314 + 0,0211}{0,4623 + 0,5301 + 0,2915} \cdot 100 \% = 9,16 \%$$

Очевидно, что у более тяжелых больных относительные изменения частных энтропий значительно выше, чем у менее тяжелых. То же самое наблюдается и для суммарных относительных изменений частных энтропий.

Подводя итог всему вышеизложенному, еще раз подчеркнем, что для моделирования медико-демографических ситуаций надо использовать изменение величины энтропии, а не саму величину энтропии.

Мы попытались применить изложенные выше положения информационно-энтропийного анализа для оценки некоторых медико-демографических характеристик населения промышленного города, представленных в нашей работе [5]. При оценке жизненного потенциала населения города, были получены следующие результаты. Минимальный необходимый уровень жизненного потенциала отличается от оптимального уровня (13.500.000) на 2000000 или на 14,8 %.

Энтропия системы с таким отклонением

$$H(14,8 \%) = - \sum_{i=1}^2 P_i \log_2 P_i = -(0,148 \log_2 0,148 + 0,852 \log_2 0,852) / \ln 2 = (0,283 + 0,136) / 0,693 = 0,605 \text{ (бит)}$$

Значение жизненного потенциала (человеко-лет) в 2004 г. отклонилось от оптимального уровня на 5240127 или на 38,8 %. Энтропия системы с таким отклонением

$$H(38,8 \%) = - \sum_{i=1}^2 P_i \log_2 P_i = -(0,388 \log_2 0,388 +$$

$$+ 0,612 \log_2 0,612) = -(0,388 \ln 0,388 + 0,612 \ln 0,612) /$$

$$\ln 2 = (0,367 + 0,3) / 0,693 = 0,962 \text{ (бит)}$$

Энтропия системы с оптимальным уровнем равна 0.

Поэтому изменение энтропии, соответствующее положению вещей в 2004 г. равно 0,962 бит. Таким образом, допустимое значение изменения энтропии превышено в 1,6 раза (0,962/0,605).

Приложение рассматриваемой методики к показателю численности лиц призывного возраста, состоящих на диспансерном учете, дало следующие результаты. Энтропия, соответствующая оптимальному значению показателя (2 ‰):

$$H(0,0002) = -(0,0002 \ln 0,0002 + 0,9998 \ln 0,9998) / \ln 2 = (0,0017 + 0,0002) / 0,693 = 0,0027 \text{ (бит)}$$

Энтропия, соответствующая предельному допустимому уровню показателя (8 ‰):

$$H(0,0008) = -(0,0008 \ln 0,0008 + 0,9992 \ln 0,9992) / \ln 2 = (0,0057 + 0,0008) / 0,693 = 0,0094 \text{ (бит)}$$

Энтропия, соответствующая фактическому значению показателя в 2004 г. (39,8 ‰):

$$H(0,00398) = (0,022 + 0,004) / 0,693 = 0,0375 \text{ (бит)}$$

Допустимое значение изменения энтропии превышено на 0,0375 – 0,0094 = 0,0281 (бит) или почти в 3 раза.

Из полученных цифр можно сделать вывод, что положение со здоровьем у мужчин призывного возраста еще хуже, чем у населения в целом.

В заключение следует подчеркнуть, что в данной работе мы затронули лишь очень малую часть очень сложной и обширной проблемы приложения теории информации к исследованию медико-демографических и демоэкологических явлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бандарин В.А. Основы теории информации и ее применение в медицинских и биологических исследованиях / В.А. Бандарин // Теория информации в медицине. — Минск, 1974. — С. 6–76.
2. Догле Н.В. Использование основных показателей информационно-энтропийного анализа в исследованиях состояния здоровья работающих / Н.В. Догле, Г.К. Радионова // Советское здравоохранение. — 1986. — № 6. — С. 14–20.
3. Леонтьев А.С. Информационный анализ как метод исследования структуры биологических объектов / А.С. Леонтьев, Е.В. Барковский, Б.В. Лысый // Теория информации в медицине. — Минск, 1974. — С. 77–97.
4. Лутин Я.А. Вычисление на внеурочных занятиях производных и неопределенных интегралов от функций, содержащих модуль / Я.А. Лутин // Современные образовательные технологии в преподавании естественнонаучных дисциплин. — Иркутск: изд-во ИИПКРО, 1999. — С. 14–19.
5. Общественное здоровье как важнейшая составляющая человеческого капитала / Я.А. Лещенко, Е.В. Данилина, О.Г. Батура, А.В. Боева и др. / Под ред. Я.А. Лещенко. — Иркутск: «Репроцентр А1», 2005. — 206 с.
6. Принципы самоорганизации: пер. с англ. — М., 1966.
7. Урсул А.Д. Информация. Методологические аспекты / А.Д. Урсул. — М., 1971.
8. Щедрина А.Г. Онтогенез и теория здоровья: Методологические аспекты / А.Г. Щедрина. — Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. — 136 с.