

ВВЕДЕНИЕ В СТАТИСТИЧЕСКУЮ ДИНАМИКУ ОХРАНЫ ЗДОРОВЬЯ В СИСТЕМЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

Богданов Ю.В., Залетов А.Б., Гусева О.С.

Тверской государственный медицинский университет, г. Тверь

Поступила в редакцию 27.10.2019, после переработки 17.03.2020.

Характерная особенность современной науки состоит в стремлении во всех сферах деятельности человека выявить и выразить количественные отношения в процессах и явлениях материального мира. Охрана здоровья в этом отношении не является исключением. Толчком к написанию данной статьи послужило отсутствие метрологически обоснованной количественной меры здоровья, как фундаментального свойства живого организма: поддерживать жизнь в организме во всех его состояниях, исключать возможность выявления естественных количественных отношений в охране здоровья и в системе здравоохранения. В данной статье раскрывается суть понятия «Здоровье». Рассматриваются и характеризуются его признаки, в виде единичных коэффициентов взаимной корреляции, раскрывается смысл статистического показателя $Z(\vartheta)$ здоровья и формулируется теорема о законе распределения вероятностей состояний пациента на интервале ϑ мониторинга здоровья. Авторы проводят анализ статистической динамики охраны здоровья, относительно показателей профессионализма решения задач в диагностике здоровых и больных пациентов. Результат проведённой работы отвечает требованиям метрологии, т.е. является метрологическим показателем и может быть рекомендован в виде одного из критериев для использования в практическом здравоохранении.

Ключевые слова: статистическая динамика, теория вероятностей, количественная мера здоровья, охрана здоровья, система здравоохранения.

Вестник ТвГУ. Серия: Прикладная математика. 2020. № 2. С. 72–89.
<https://doi.org/10.26456/vtprmk570>

Введение

Во всех современных социально-развитых государствах важнейшей приоритетной социальной сферой деятельности общества является охрана здоровья граждан. В состав правительства таких стран входит министерство здравоохранения, в ведении которого находится система здравоохранения.

Большая медицинская энциклопедия дает следующее определение здравоохранения: «Здравоохранение – система социально-экономических и медицинских мероприятий, имеющих целью сохранить и повысить уровень здоровья каждого отдельного человека и населения в целом» [1].

Конкретное содержание мероприятий по охране здоровья может быть весьма различным и объединяет их единая цель: сохранить и повысить уровень здоровья каждого человека – члена общества и населения в целом, то есть уровень общественного здоровья.

В охране здоровья в медицине «Различают здоровье населения и здоровье индивидуума. Здоровье населения рассматривается большинством исследователей как понятие статистическое и достаточно полно характеризуется комплексом демографических показателей – рождаемостью, смертностью, детской смертностью, уровнем физического развития, продолжительностью жизни» [1].

В толковании понятия «здоровье человека» в медицине и охране здоровья имеет место существенная неопределенность. «Понятие здоровье индивидуума» не является точно детерминированным, что связано с большой широтой индивидуальных колебаний важнейших показателей жизнедеятельности организма, а также с многообразием факторов, влияющих на здоровье человека. При этом современной наукой еще не установлены основные факторы, определяющие состояние здоровья индивидуума. В этом причина многочисленных попыток сформулировать наиболее общее определение понятия «здоровье» [1].

В обстоятельной обзорной работе П.И. Калью [2], посвященной сущностной характеристике понятия «здоровье», приводится 79 вариантов определения здоровья, данных разными авторами в различных странах на протяжении многих веков со времен Гиппократов до нашего времени. Один из важных практических выводов обзора П.И. Калью состоит в следующем.

«При определении понятия «здоровье» важно знать, является ли оно состоянием, свойством, качественной определенностью или динамическим процессом. Если болезнь исследователи достаточно единодушно характеризуют как состояние, то этого нельзя сказать о здоровье. Одни характеризуют его как состояние, другие – как динамический процесс, а третьи – в своих определениях опускают этот вопрос» [2].

В преамбуле Устава ВОЗ рекомендуется рассматривать здоровье как некоторое особое состояние организма человека. «Здоровье – это состояние полного физического, духовного и социального благополучия, а не только отсутствие болезней или физических дефектов» [3].

Рекомендуемую ВОЗ дефиницию здоровья нельзя признать корректной уже потому, что исключается признание здоровья во всех других возможных состояниях живого организма. Однако, именно здоровье и степень его проявления в различных процессах жизнедеятельности организма определяют все возможные состояния живого организма от предельного состояния полного благополучия до предельно неблагоприятного состояния комы.

Жизнь и здоровье – парные понятия. Здоровье человека не следует отождествлять со здоровым состоянием организма и вообще с любым состоянием живого организма. Здоровье – это не какое-то особое состояние организма, а нечто большее нежели состояние. Здоровье – это способность живого организма поддерживать жизнь в живом организме в любом его состоянии вплоть до предельно неблагоприятного состояния комы. Возможность выхода из состояния комы зависит от остаточного здоровья организма в этом состоянии. Здоровье в разной степени присуще живому организму во всех его возможных состояниях и проявляется именно в динамических процессах смены состояний.

Мы считаем, что: «Здоровье – фундаментальное жизнеопределяющее, т.е. неотъемлемое от жизни, свойство живого, проявляющееся в способности подерживать жизнь в живом организме в любом его состоянии».

Многовековой клинический опыт медицины убеждает, что достоверными признаками здоровья являются:

- естественное, нормальное, т.е. без патологии протекание физиологических и психофизических процессов в организме;
- способность противостоять действию различных факторов риска жизни и здоровью и адаптироваться к окружающей среде;
- постоянная готовность к полной реализации психофизических и социально-общественных возможностей организма во всех внутренних и внешних процессах жизнедеятельности организма;
- отсутствие заболеваний.

1. Предположения

Для оценки степени взаимозависимости аксиом – признаков здоровья полезно количественно оценить регрессию и корреляцию аксиом в системе П.И. Калью, рассчитав коэффициенты регрессии:

$$\rho(A_i/A_j) = P(A_i/A_j) - P(A_i/\bar{A}_j), \quad i, j = 1, 2, 3, 4$$

и корреляции

$$r(A_i, A_j) = \sqrt{\rho(A_i/A_j)\rho(A_j/A_i)}, \quad i, j = 1, 2, 3, 4$$

для всех возможных пар аксиом (A_i, A_j) , $i, j = 1, 2, 3, 4$, где $P(A_i/A_j)$ – условная вероятность события – аксиомы – признака здоровья A_i при условии A_j , $P(A_i/\bar{A}_j)$ – условная вероятность события – аксиомы – признака здоровья A_i при условии \bar{A}_j – противоположного события A_j .

В системе взаимозависимых аксиом – признаков здоровья по П.И. Калью все условные вероятности принимают значения:

$$\begin{aligned} P(A_i/A_j) &= 1, \quad i, j = 1, 2, 3, 4; \\ P(A_i/\bar{A}_j) &= 0, \quad i, j = 1, 2, 3, 4. \end{aligned}$$

При этом коэффициенты регрессии аксиом в любой паре взаимозависимых аксиом – признаков здоровья равны единице, т.е.

$$\rho(A_i/A_j) = P(A_i/A_j) - P(A_i/\bar{A}_j) = 1 - 0 = 1, \quad i, j = 1, 2, 3, 4.$$

Коэффициенты корреляции, т.е. статистической зависимости аксиом в любой паре аксиом – признаков здоровья в систематике П.И. Калью, также равны единице:

$$r(A_i, A_j) = \sqrt{\rho(A_i/A_j)\rho(A_j/A_i)} = 1, \quad i, j = 1, 2, 3, 4.$$

С позиций теории вероятностей любые два события A_i и A_j с коэффициентом корреляции $r(A_i, A_j) = 1$ являются эквивалентными статистически и, следовательно, вполне, т.е. абсолютно взаимозависимыми.

Указанные признаки здоровья не противоречивы и не являются независимыми. Естественно, что, между ними имеет место сильная корреляционная связь. вполне правдоподобно, что с позиций теории вероятности отмеченные признаки здоровья являются статистически эквивалентными, то есть характеризуются единичными коэффициентами взаимной корреляции $k_{ij} = 1$ для всех $i, j = 1, 2, 3, 4$.

Характерная особенность современной науки состоит в стремлении во всех сферах деятельности человека выявить и выразить количественные отношения в процессах и явлениях материального мира. Охрана здоровья в этом отношении не является исключением. Более того, учитывая фундаментальность и значимость в жизни человека и общества свойства здоровья как способности поддерживать жизнь во всех состояниях живого организма человека и общества количественные отношения в охране здоровья вызывают особый повышенный интерес. Однако, до настоящего времени в медицине и охране здоровья отсутствуют непосредственные, то есть прямые, обоснованные количественные меры здоровья как важнейшего фундаментального жизнеопределяющего свойства живого. Для обоснования и введения количественных мер здоровья необходима определенная математическая абстракция, о которой говорит и которую выделяет А.Н. Уайтхед [4]: «Великая особенность математического ума состоит в способности иметь дело с абстракциями и выводить из них четкие доказательные цепочки рассуждений, полностью удовлетворяющие вас до тех пор, пока вас удовлетворяют эти исходные абстракции».

В интересах обоснования непосредственных количественных мер здоровья как жизнеопределяющего фундаментального свойства живого организма поддерживать жизнь в организме в любых его состояниях целесообразно обратиться к фундаментальной науке об измерениях, а именно, к метрологии [5,6]. В метрологии к количественным мерам объективных свойств объектов и процессов материального мира, называемых показателями, предъявляется ряд важных, но простых и очевидных требований.

Во-первых, количественная мера измеряемого свойства должна обладать прикладной содержательностью и иметь прикладной смысл, открывающий возможность практического толкования результатов измерения оцениваемого свойства.

Во-вторых, показатель измеряемого свойства должен характеризоваться определенной вариативностью и при вариации условий, в которых проявляется измеряемое свойство, должен изменяться в достаточно широких пределах. Идеальными по вариативности являются показатели, изменяющиеся на всей числовой оси от $-\infty$ до $+\infty$. Знакопостоянные количественные меры объективных свойств объектов и процессов материального мира могут изменяться на соответствующих положительной или отрицательной полуосях вещественных чисел.

Третье требование к показателям измеряемых свойств материального мира состоит в высокой чувствительности к факторам, влияющим на реализацию свойства в различных условиях его проявления.

Показатели, отвечающие основным требованиям метрологии, естественно считать метрологическими. Они являются метрологически обоснованными и могут быть рекомендованы к практическому применению в качестве количественных

мер измеряемых свойств. Необходимо заметить, что в охране здоровья в медицине большинство процессов, связанных с заболеваниями, их диагностикой и терапией носят вероятностный, статистический характер. В этой связи в медицине и здравоохранении при количественной оценке различных свойств, например, здоровья населения, наиболее содержательными и обладающими прикладным смыслом являются статические, вероятностные показатели рождаемости, смертности, продолжительности жизни и т.д. Однако, несмотря на фундаментальность и важность в жизни человека свойства здоровья, непосредственной количественной меры здоровья индивидуума за ближайшую 25-ти вековую историю медицины от времен Гипократа до настоящего времени не обосновано и не предложено. Это признанный в медицине и охране здоровья парадоксальный факт, вызывающий большое удивление и не менее большое сожаление. Отсутствие метрологически обоснованной количественной меры здоровья как фундаментального жизнеопределяющего свойства живого организма поддерживать жизнь в организме во всех его состояниях исключает возможность выявления естественных количественных отношений в охране здоровья в системе здравоохранения. Это, естественно, является одним из существенных первичных факторов, препятствующих развитию доказательности в медицине и здравоохранении.

Вполне естественно и очевидно, что условиях глобальной информатизации медицины задача метрологического обоснования количественных мер здоровья приобретает особую, чрезвычайную актуальность.

Для метрологического обоснования количественной меры $Z(\vartheta)$ здоровья человека рассмотрим произвольный интервал ϑ продолжительности жизни человека – интервал времени ϑ мониторинга здоровья. На рассматриваемом интервале ϑ может иметь место случайная последовательность смены здоровых состояний организма человека с общей суммарной продолжительностью $\vartheta_z = \sum_{i=1}^n \vartheta_{z_i}$ и состояний нозологий с суммарной продолжительностью $\vartheta_H = \sum_{j=1}^n \vartheta_{H_j}$, при этом $\vartheta_z + \vartheta_H = \vartheta$.

Будем полагать, что на интервале ϑ все моменты времени статистически равноценны и в любой момент времени на интервале ϑ может произойти с равной вероятностью смена состояний пациента.

Тогда для любого временного интервала ϑ_z мониторинга здоровья по отношению ко всему интервалу ϑ продолжительности жизни человека вероятность P_Z пребывания организма в здоровом состоянии, и вероятность P_H , пребывания в состоянии нозологии, определяются отношениями

$$P_{Z(\vartheta)} = \frac{\vartheta_z}{\vartheta}; \quad P_{H(\vartheta)} = \frac{\vartheta_H}{\vartheta}, \quad P_{Z(\vartheta)} + P_{H(\vartheta)} = 1. \quad (1)$$

Логично полагать, что количественная мера $Z(\vartheta)$ здоровья человека на рассматриваемом интервале как способности поддерживать жизнь в организме человека пропорциональна вероятности $P_{Z(\vartheta)}$ пребывания организма в здоровом состоянии и обратно пропорциональна вероятности $P_{H(\vartheta)}$ пребывания в состоянии нозологии.

Простейшей аналитической формой, характеризующейся прямой пропорциональностью вероятности $P_{Z(\vartheta)}$ и обратной пропорциональностью вероятности

$P_{H(\vartheta)}$, является отношение этих вероятностей $\frac{P_{Z(\vartheta)}}{P_{H(\vartheta)}}$. Вполне логично, т.е. обоснованно предложить в качестве количественной меры $Z(\vartheta)$ здоровья человека на интервале ϑ мониторинга здоровья эту простейшую аналитическую форму отношения вероятностей $P_{Z(\vartheta)}$ и $P_{H(\vartheta)}$ пребывания организма человека в характерных состояниях; а, именно, здорового состояния и состояния нозологии

$$Z(\vartheta) = \frac{P_{Z(\vartheta)}}{P_{H(\vartheta)}}, \text{ при условии } P_{Z(\vartheta)} + P_{H(\vartheta)} = 1. \quad (2)$$

Предложенная простейшая аналитическая форма (2) показателя здоровья человека на произвольном интервале ϑ мониторинга здоровья может рассматриваться как вероятностная форма с соответствующим вероятностным прикладным содержанием как отношение вероятностей P_Z – здорового состояния и P_H – состояния нозологии.

Используя соотношения (1), вероятностную форму (2) легко привести к эквивалентной временной форме показателя $Z(\vartheta)$ здоровья человека

$$Z(\vartheta) = \frac{\vartheta_Z}{\vartheta_H}, \quad \vartheta_Z + \vartheta_H = \vartheta. \quad (3)$$

Временная форма (3) показателя $Z(\vartheta)$ здоровья человека имеет временное прикладное содержание, трактующее количественную меру здоровья человека на интервале ϑ мониторинга здоровья как отношение продолжительностей интервалов ϑ_Z – здоровых состояний и ϑ_H – состояний нозологии на рассматриваемом интервале ϑ мониторинга здоровья человека.

Любая из двух эквивалентных по прикладному содержанию форм статистического показателя $Z(\vartheta)$ здоровья обладает предельной вариативностью, допуская возможность изменения показателя $Z(\vartheta)$ здоровья на всей положительной полуоси вещественных чисел.

Как вероятностная, так и временная формы статистического показателя $Z(\vartheta)$ здоровья обладают высокой чувствительностью к факторам, определяющим его значения. Чтобы убедиться в этом достаточно вычислить соответствующие производные

$$\begin{aligned} \frac{dZ}{dP_Z} &= \frac{d}{dP_Z} \left(\frac{P_Z}{1 - P_Z} \right) = \frac{1}{(1 - P_Z)^2}; \\ \frac{dz}{dP_H} &= \frac{d}{dP_H} \left(\frac{P_Z}{P_H} \right) = \frac{d}{dP_H} \left(\frac{1 - P_H}{P_H} \right) = -\frac{1}{P_H^2}. \end{aligned}$$

Чувствительность статистического показателя $Z(\vartheta)$ здоровья к вероятностям P_Z и P_H различных состояний пациента противоположна по знаку и одинакова по модулю. При этом по модулю она обратна пропорциональна квадрату вероятности P_H состояния нозологии. Если учесть, что вероятность P_H состояния нозологии пациента зависит от уровня $Z(\vartheta)$ здоровья пациента

$$P_H = \frac{1}{Z(\vartheta) + 1},$$

то получим

$$\frac{dZ(\vartheta)}{dP_Z} = -\frac{dZ(\vartheta)}{dP_H} = (Z(\vartheta) + 1)^2.$$

Таким образом, статистическая количественная мера здоровья $Z(\vartheta) = \frac{P_Z}{P_H}$ прямо пропорциональная вероятности P_Z здорового состояния и обратно пропорциональная вероятности P_H нозологии пациента, характеризуется высокой чувствительностью к вероятностям P_Z и P_H состояний пациента, пропорциональной квадрату показателя $Z(\vartheta)$ здоровья пациента.

Необходимо подчеркнуть важное свойство вероятностного показателя $Z(\vartheta)$ здоровья, проявляющееся в том, что уровень здоровья по показателю $Z(\vartheta) = \frac{P_Z}{P_H}$ определяет закон распределения вероятностей $P_Z(\vartheta)$ и $P_H(\vartheta)$ состояний пациента. В теории вероятностей закон распределения вероятностей случайных событий и случайных величин рассматривается как исчерпывающая характеристика случайностей в распределении величин и событий. Важно заметить, что эта исчерпывающая характеристика случайностей в распределении вероятностей состояний пациента определяется именно уровнем здоровья пациента по статистическому показателю $Z(\vartheta)$.

Относительно статистического показателя $Z(\vartheta)$ здоровья может быть сформулирована теорема о законе распределения вероятностей состояний пациента на интервале ϑ мониторинга здоровья.

Теорема 1. Пусть $Z(\vartheta)$ – уровень здоровья пациента по вероятностному показателю $Z(\vartheta) = \frac{P_Z}{P_H}$ на учетном интервале ϑ мониторинга здоровья пациента, где $P_Z(\vartheta)$, $P_H(\vartheta)$ – вероятности здорового состояния $P_Z(\vartheta)$ и состояния нозологии $P_H(\vartheta)$ пациента на интервале ϑ .

Тогда закон распределения вероятностей состояния пациента в любой момент времени $P_Z(\vartheta)$ и $P_H(\vartheta)$ на учетном отрезке ϑ мониторинга здоровья пациента как функция ϑ определяется отношениями

$$P_Z = \frac{Z(\vartheta)}{Z(\vartheta) + 1}; \quad P_H = \frac{1}{Z(\vartheta) + 1}; \quad P_Z(\vartheta) + P_H(\vartheta) = 1.$$

Доказательство. Для доказательства теоремы следует воспользоваться прикладным содержанием вероятностного показателя $Z = \frac{P_Z(\vartheta)}{P_H(\vartheta)}$ здоровья, где $P_Z(\vartheta) + P_H(\vartheta) = 1$.

Вероятности $P_Z(\vartheta)$ и $P_H(\vartheta)$ состояний пациента при заданном уровне $Z(\vartheta)$ здоровья пациента определяются уравнениями

$$Z(\vartheta) = \frac{P_Z(\vartheta)}{P_H(\vartheta)}; \quad P_Z(\vartheta) + P_H(\vartheta) = 1. \quad (4)$$

Решая систему уравнений (4) относительно вероятностей P_Z и P_H , найдем закон распределения вероятностей $P_Z(\vartheta)$ и $P_H(\vartheta)$ состояний пациента

$$P_Z(\vartheta) = \frac{Z(\vartheta)}{Z(\vartheta) + 1}; \quad P_H(\vartheta) = \frac{1}{Z(\vartheta) + 1}; \quad P_Z(\vartheta) + P_H(\vartheta) = 1. \quad (5)$$

□

Закон распределения вероятностей $(P_Z(\vartheta), P_H(\vartheta))$ состояний пациента определяет энтропию состояний H – количественную меру неопределенности состояний пациента при различном уровне Z здоровья пациента $H_Z(\vartheta)$

$$H_Z(\vartheta) = -P_Z(\vartheta) \log P_Z(\vartheta) - P_H(\vartheta) \log P_H(\vartheta).$$

Учитывая, что закон распределения вероятностей состояний $(P_Z(\vartheta), P_H(\vartheta))$ определяется уровнем $Z(\vartheta)$ здоровья пациента по статистическому показателю $Z(\vartheta)$, имеем

$$H_Z(\vartheta) = -\frac{Z(\vartheta)}{Z(\vartheta)+1} \log \frac{Z(\vartheta)}{Z(\vartheta)+1} - \frac{1}{Z(\vartheta)+1} \log \frac{1}{Z(\vartheta)+1}.$$

Исследуя функцию энтропии на экстремум, можно убедиться, что максимальная неопределенность состояний пациента H_{max} достигается при единичном уровне здоровья $Z(\vartheta) = 1$.

При этом $H_{max} |Z = 1| = -\frac{1}{2} \log \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \log \frac{1}{2} = 1$ бит.

При отклонении уровня здоровья $Z(\vartheta)$ от единичного, т.е. при $Z(\vartheta) < 1$ и $Z(\vartheta) > 1$, энтропия состояний пациента уменьшается и в пределе при $Z(\vartheta) \rightarrow 0$ и $Z(\vartheta) \rightarrow \infty$ энтропия H_Z состояний пациента стремится к нулю, т.е. состояния пациента стремятся к детерминированным состояниям:

при $Z \rightarrow 0 \rightarrow$ к хронически больному, когда $P_H \rightarrow 1$,

$Z \rightarrow \infty \rightarrow$ к абсолютно здоровому, когда $P_Z \rightarrow 1$.

При единичном уровне здоровья $Z(\vartheta) = 1$ вероятности состояния одинаковы, $P_Z = P_H = \frac{1}{2}$. Это означает, что здоровые состояния пациента и его нозология равновозможны в любой момент учетного отрезка ϑ мониторинга здоровья.

Обобщая метрологическое обоснование количественной меры здоровья как фундаментального жизнеопределяющего свойства поддерживать жизнь в организме во всех его состояниях, можно сделать вывод о наглядной прикладной содержательности статистического показателя $Z(\vartheta)$ здоровья, предельной его вариативности и высокой чувствительности к основным факторам, определяющим уровень здоровья человека (как было заявлено выше). Все это дает основание рекомендовать метрологически обоснованный статистический показатель $Z(\vartheta)$ здоровья для применения в практическом здравоохранении и в медицине с целью выявления и исследования количественных отношений в статистической динамике охраны здоровья в системе здравоохранения.

Полезно заметить, что величину $\eta(\vartheta)$, обратную по отношению к статистическому показателю здоровья т.е.

$$\eta(\vartheta) = \frac{1}{Z(\vartheta)},$$

логично рассматривать в качестве метрологически обоснованной количественной меры заболеваемости живого организма. Свойство заболеваемости живого организма по содержанию противоположно здоровью. Количественные меры Z здоровья и заболеваемости η взаимнообратные величины

$$Z \times \eta = 1.$$

Для иллюстрации эффективности предлагаемого подхода в выявлении и исследовании количественных отношений в статистической динамике охраны здоровья проведем анализ статистической динамики охраны здоровья в типовой системе здравоохранения, функционально-статистическая схема которой приведена на Рис. 1.

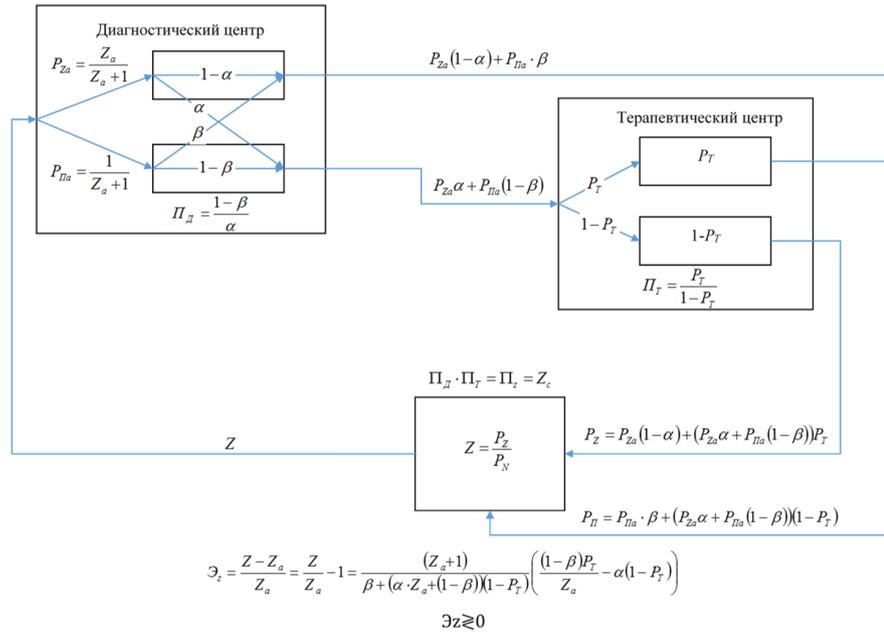


Рис. 1: Функционально-статистическая схема системы здравоохранения или статистическая динамика охраны здоровья в системе здравоохранения

2. Разработка математической модели

В структуре типовой системы здравоохранения имеются диагностические и терапевтические центры. Не снижая общности анализа, будем рассматривать простейшую по структуре типовую систему, имеющую в своем составе по одному диагностическому и терапевтическому центру. В диагностическом центре осуществляется мониторинг состояния здоровья пациентов системы здравоохранения и диагностика заболеваний.

При мониторинге здоровья и диагностике заболеваний возможны ошибки I и II рода, в результате которых здоровый пациент может быть диагностирован больным, а больной – здоровым. Качество диагностики, то есть качество решения диагностических задач в статистической динамике охраны здоровья будем характеризовать вероятностями ошибок диагностики состояний пациентов. Будем полагать, что ошибка диагностики первого рода, когда здоровый пациент диагностируется больным, совершается с вероятностью $P_{H/Z} = \alpha$. Ошибка диагноза второго рода, когда больной пациент диагностируется здоровым, совершается с вероятностью $P_{Z/H} = \beta$. При этом вероятности правильной диагностики здоровых и больных состояний пациентов определяются как вероятности противоположных ошибкам событий

$$P_{Z/Z} = 1 - P_{H/Z} = 1 - \alpha;$$

$$P_{H/H} = 1 - P_{Z/H} = 1 - \beta.$$

Пациенты, диагностированные больными, направляются в терапевтический центр для терапии выявленных при диагностике заболеваний. В их числе могут быть и ошибочно диагностированные больными здоровые пациенты.

Полная вероятность P диагностики пациента больным и его направления в терапевтический центр (больного или здорового) характеризуются формулой полной вероятности

$$P = P_{Z\alpha} * \alpha + P_{H\alpha} * (1 - \beta).$$

При этом полная вероятность успешной терапии пациента в системе здравоохранения P_{TY} определяется произведением вероятностей направления пациента в терапевтический центр и вероятностью его успешной терапии в терапевтическом центре

$$P_{TY} = (P_{Z\alpha} * \alpha + P_{H\alpha} * (1 - \beta)) * P_T.$$

С учетом качества решения задач диагностики и терапии полная вероятность здорового состояния пациента в системе здравоохранения характеризуется формулой вероятности

$$P_Z = P_{Z\alpha} * (1 - \alpha) + (P_{Z\alpha} * \alpha + P_{H\alpha} * (1 - \beta)) * P_T.$$

Полная вероятность состояния нозологии пациента в системе здравоохранения так же определяется формулой полной вероятности

$$P_H = P_{H\alpha} * \beta + (P_{Z\alpha} * \alpha + P_{H\alpha} * (1 - \beta)) * (1 - P_T).$$

Статистический показатель $Z(\vartheta)$ здоровья пациента с учетом качества решения задач диагностики и терапии в системе здравоохранения определяется отношением апостериорных вероятностей P_Z здорового состояния и P_H – состояния нозологии пациента в системе здравоохранения

$$Z(\vartheta) = \frac{P_Z}{P_H} = \frac{P_{Z\alpha} * (1 - \alpha) + (P_{Z\alpha} * \alpha + P_{H\alpha} * (1 - \beta)) * P_T}{P_{H\alpha} * \beta + (P_{Z\alpha} * \alpha + P_{H\alpha} * (1 - \beta)) * (1 - P_T)}.$$

Тождественными преобразованиями формулу оценки апостериорного здоровья пациента в системе здравоохранения можно привести к виду

$$Z(\vartheta) = Z_\alpha * \frac{1 - \alpha + \left(\alpha + \frac{1-\beta}{Z_\alpha}\right) * P_T}{\beta + \left(\alpha * Z_\alpha + (1 - \beta)\right) * (1 - P_T)}. \quad (6)$$

Как следует из полученного выражения, апостериорное значение показателя здоровья пациента в системе здравоохранения определяется произведением априорного значения показателя $Z_a(\vartheta)$ здоровья пациента и некоторой системной функции φ_Z от характеристик качества решения задач диагностики и терапии в системе здравоохранения

$$\varphi_Z = \frac{1 - \alpha + \left(\alpha + \frac{1-\beta}{Z_\alpha}\right) * P_T}{\beta + \left(\alpha * Z_\alpha + (1 - \beta)\right) * (1 - P_T)}. \quad (7)$$

В интересах анализа количественных отношений в охране здоровья полезно ввести количественные меры абсолютной ΔZ и относительной $\frac{\Delta Z}{Z_\alpha} = \vartheta_Z$ эффективности охраны здоровья в системе здравоохранения

$$\Delta Z(\vartheta) = Z - Z_\alpha = Z_\alpha * (\varphi_Z - 1), \quad (8)$$

$$\Theta_Z = \frac{\Delta Z(\vartheta)}{Z_\alpha(\vartheta)} = \frac{Z(\vartheta) - Z_a(\vartheta)}{Z_a(\vartheta)} = \varphi_Z - 1. \quad (9)$$

После подстановки выражения (7) для системной функции φ_Z и тождественных преобразований выражения для абсолютной ΔZ и относительной $\Theta_Z = \frac{\Delta Z(\vartheta)}{Z_\alpha(\vartheta)}$ эффективности охраны здоровья в системе здравоохранения приводятся к удобным для аналитического анализа формам

$$\Delta Z = Z_\alpha * (Z_\alpha + 1) * \frac{-\alpha * (1 - P_T) + \frac{1-\beta}{Z_\alpha} * P_T}{\beta + (\alpha * Z_\alpha + (1 - \beta)) * (1 - P_T)}, \quad (10)$$

$$\Theta_Z = (Z_\alpha + 1) * \frac{\frac{1-\beta}{Z_\alpha} * P_T - \alpha * (1 - P_T)}{\beta + (\alpha * Z_\alpha + (1 - \beta)) * (1 - P_T)}. \quad (11)$$

Элементарным анализом аналитической структуры выражений для показателей абсолютной ΔZ и относительной Θ_Z эффективности охраны здоровья в системе здравоохранения легко убедиться в том, что алгебраический знак показателей ΔZ и Θ_Z эффективности охраны здоровья определяется знаком множителя – числителя дробных зависимостей (10), (11) для ΔZ и Θ_Z

$$\frac{1 - \beta}{Z_\alpha} * P_T - \alpha * (1 - P_T) \leq 0 \quad \Rightarrow \quad \Theta_Z > 0 \mid \Theta_Z = 0 \mid \Theta_Z < 0. \quad (12)$$

Полученная система неравенств (12) в анализе количественных отношений в статистической динамике охраны здоровья является характеристической системой неравенств, определяющей эффективность охраны здоровья в системе здравоохранения.

Вполне естественно, что характеристическая система неравенств (12) определяется характеристиками качества решения задач диагностики и терапии заболеваний в системе здравоохранения и априорным, то есть до обращения к системе здравоохранения, уровнем Z_a здоровья пациента по статистическому показателю $Z(\vartheta)$.

В интересах приложения развиваемого подхода к анализу количественных отношений в охране здоровья в практическом здравоохранении целесообразно характеристическую систему неравенств (12) решить относительно априорного уровня Z_a здоровья пациента

$$Z_\alpha \leq \frac{1 - \beta}{\alpha} * \frac{P_T}{1 - P_T} \quad \Rightarrow \quad \Theta_Z > 0 \mid \Theta_Z = 0 \mid \Theta_Z < 0. \quad (13)$$

Вполне естественно, что решения (13) характеристической системы неравенств (12) в оценке эффективности охраны здоровья в системе здравоохранения являются характеристическими решениями с глубоким прикладным содержанием в практическом здравоохранении. Они дают основание для объективной классификации пациентов системы здравоохранения по эффективности охраны их здоровья в системе здравоохранения.

Как следует из решений (13), эффективность охраны здоровья пациентов может быть положительной, то есть $\Theta_Z > 0$; равной нулю, то есть $\Theta_Z = 0$ и отрицательной, то есть $\Theta_Z < 0$.

В этой связи логично классифицировать пациентов системы здравоохранения по признаку алгебраического знака показателей эффективности охраны здоровья.

К первому типу относятся пациенты, эффективность охраны здоровья которых в системе положительна, то есть $\Theta_Z > 0$ ($Z > 0$). Пациентам этой группы I-го типа гарантируется в системе не только охрана здоровья, но и возможность его повышения, то есть укрепления здоровья.

Ко второму типу относятся пациенты, которым гарантируется охрана здоровья на априорном уровне Z_a здоровья без возможности повышения его уровня, то есть эффективность Θ_Z охраны здоровья которых в системе равна нулю, то есть $\Theta_Z = 0$ ($\Delta Z = 0$).

К третьему типу относятся пациенты, эффективность охраны здоровья которых в системе здравоохранения отрицательна, то есть $\Theta_Z < 0$ ($Z < 0$). Пациентам этого типа не гарантируется даже охрана здоровья, и в системе здравоохранения возможно снижение уровня $Z(\vartheta)$ здоровья относительно априорного $Z_a(\vartheta)$ уровня здоровья, в виду возможных ошибок диагностики и терапии заболеваний.

Как следует из решений (13), классификация пациентов по признаку алгебраического знака показателей эффективности охраны здоровья в системе здравоохранения осуществляется путем сравнения априорного уровня $Z_a(\vartheta)$ здоровья пациента с некоторым характеристическим для системы здравоохранения т.е. системным уровнем здоровья

$$Z_C = Z_X = \frac{1 - \beta}{\alpha} * \frac{P_T}{1 - P_T}. \quad (14)$$

Этот системный или характеристический уровень здоровья определяется качеством решения задач диагностики и терапии в системе здравоохранения и имеет наглядное прикладное содержание, то есть глубокий прикладной смысл.

Именно системный, т. е. характеристический уровень Z_C здоровья является количественной мерой здоровья населения в регионе с системным уровнем здоровья. Таким образом количественная мера здоровья индивидуума, т. е. человека $Z(\vartheta)$ естественно сопрягается с количественной мерой Z_C здоровья населения, являющиеся пациентами системы здравоохранения.

Как следует из выше приведенных результатов, количественная мера здоровья населения в итоге определяется качеством решения задач диагностики и терапии, т. е. профессионализмом решения задач охраны здоровья в системе здравоохранения.

В формуле (14) для системного или характеристического $Z_C = Z_X$ уровня здоровья в системе здравоохранения множитель $\frac{1-\beta}{\alpha}$ определяется качеством решения задач диагностики здоровых и больных пациентов и фактически характеризует профессионализм Π_D решения диагностических задач в охране здоровья

$$\Pi_D = \frac{1 - \beta}{\alpha}. \quad (15)$$

Учитывая, что аргументы α , β характеризуют вероятности ошибок первого (α) и второго (β) рода и, следовательно, изменяются на интервале $[0, 1]$, показатель профессионализма решения задач диагностики заболеваний имеет прикладной смысл отношения вероятностей правильной диагностики больных и вероятности ошибки диагностики здоровых пациентов.

Чувствительность показателя профессионализма решения задач диагностики в охране здоровья к вероятностям ошибок в диагностике оценивается производными

$$\frac{d\Pi_D}{d\alpha} = \frac{-(1-\beta)}{\alpha^2};$$

$$\frac{d\Pi_D}{d\beta} = -\frac{1}{\alpha}.$$

Как следует из полученных аналитических выражений чувствительность показателя профессионализма диагностики к вероятностям ошибок в диагностике здоровых и больных пациентов отрицательна и возрастает по модулю с уменьшением вероятностей α и β ошибок диагностики здоровых и больных пациентов.

Таким образом, естественно выявляющийся в анализе статистической динамики охраны здоровья показатель профессионализма решения задач диагностики здоровых и больных пациентов отвечает требованиям метрологии к количественным мерам как показателям качества решения задач, т.е. является метрологическим показателем и может быть рекомендован в виде одного из критериев для использования в практическом здравоохранении.

Множитель $\frac{P_T}{1-P_T}$ в правой части решения (13) характеристических неравенств (12) определяется вероятностью P_T успешной терапии заболеваний в системе здравоохранения и характеризует профессионализм решения задач терапии в охране здоровья

$$\Pi_T = \frac{P_T}{1-P_T}. \quad (16)$$

Показатель профессионализма Π_T решения задач терапии заболеваний показывает, во сколько раз вероятность успешной терапии превосходит вероятность отсутствия успеха в терапии заболеваний, и в этом состоит его прикладной медико-биологический смысл.

Легко видеть, что показатель профессионализма решения задач терапии в охране здоровья при изменении вероятности P_T успешной терапии на интервале $[0, 1]$ изменяется на положительной полуоси профессионализма терапии от 0 до ∞ и, следовательно, характеризуется предельной вариативностью. При этом обладает высокой чувствительностью к вероятности P_T успешной терапии заболеваний, обратно пропорциональной квадрату вероятности отсутствия успеха в терапии заболеваний

$$\frac{d\Pi_T}{dP_T} = \frac{1}{(1-P_T)^2}.$$

Таким образом, показатель профессионализма Π_T (16) решения задач терапии в охране здоровья отвечает основным требованиям метрологии, то есть обладает прикладным медико-биологическим содержанием, предельной вариативностью и высокой адаптивной чувствительностью по отношению к вероятности P_T успешной терапии заболеваний в охране здоровья, и, следовательно, является естественным метрологически обоснованным показателем профессионализма решения задач терапии в охране здоровья. Это дает основание рекомендовать его для использования в практическом здравоохранении в качестве количественной меры профессионализма терапии заболеваний.

Обобщая изложенное, необходимо заметить, что правая часть решения системы характеристических неравенств (13) здравоохранения представляет собой произведение показателей профессионализма решения задач диагностики Π_D и терапии Π_T и фактически является обобщенным показателем профессионализма $\Pi_Z = \Pi_D * \Pi_T$ решения задач охраны здоровья в системе здравоохранения. Это дает основание представить систему неравенств (13) решения системы характеристических неравенств (12) в весьма содержательной и наглядной компактной форме

$$Z_a \leq \Pi_Z = Z_C \Rightarrow \Theta_Z > 0 \mid \Theta_Z = 0 \mid \Theta_Z < 0. \quad (17)$$

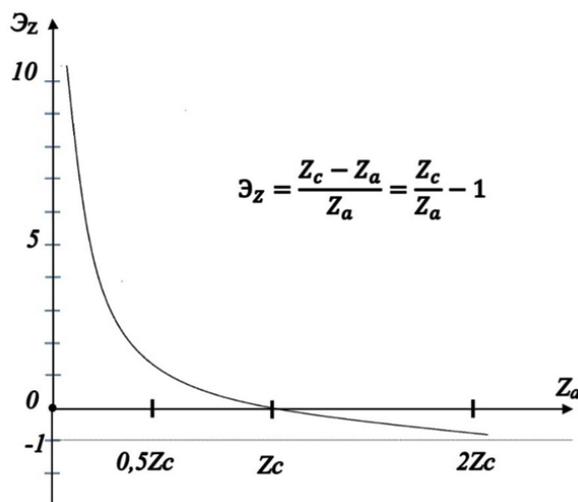


Рис. 2: Диаграмма эффективности охраны здоровья в системе здравоохранения

Результаты проведенных исследований количественных отношений в статистической динамике охраны здоровья в системе здравоохранения могут быть наглядно проиллюстрированы и интерпретированы графически на диаграмме $\Theta(Z_a(\vartheta))$ эффективности охраны здоровья в системе.

Диаграмма эффективности охраны здоровья в системе здравоохранения $\Theta(Z_a(\vartheta))$ строится в системе координат $(Z_a(\vartheta); \Theta_Z)$, где $Z_a(\vartheta)$ — статистический показатель априорного здоровья пациента при обращении его к системе здравоохранения, относительный показатель $\Theta_Z = \frac{Z_c - Z_a}{Z_a}$ эффективности охраны здоровья в системе здравоохранения (Рис.2). На оси $Z_a(\vartheta)$ — априорного здоровья пациента необходимо указать точку, соответствующую уровню Z_C системного здоровья, гарантируемого профессионализмом решения задач диагностики и терапии в системе

$$Z_C = \Pi_Z = \frac{1 - \beta}{\alpha} * \frac{P_T}{1 - P_T}.$$

Относительная эффективность охраны здоровья пациента с априорным уровнем здоровья $Z_a(\vartheta)$ в системе с показателем профессионализма Π_Z решения задач охраны здоровья, гарантирующем уровень Z_C системного здоровья, достаточно

просто рассчитывается по формуле (9) показателя относительной эффективности $\Theta_Z = \frac{Z - Z_a}{Z_a}$, где $Z = Z_C = \Pi_Z$.

При подстановке $Z = Z_C = \Pi_Z$, получим

$$\Theta_Z = \frac{Z_C - Z_a}{Z_a} = \frac{Z_C}{Z_{a(\vartheta)}} - 1.$$

Зависимость относительной эффективности Θ_Z охраны здоровья в системе с уровнем системного здоровья Z_C , гарантируемого уровнем профессионализма Π_Z решения задач охраны здоровья, приведена на Рис. 2.

Как следует из Рис. 2, зависимость $\Theta_Z(Z_a)$ относительной эффективности охраны здоровья в системе здравоохранения от уровня Z_a априорного здоровья пациента имеет гиперболический характер с асимптотами: вертикальной $Z_a = 0$ и горизонтальной $\Theta_Z = -1$. Гипербола эффективности охраны здоровья проходит через характерную системную точку ($Z_a = Z_C$; $\Theta_Z = 0$).

Для всех пациентов системы с уровнем априорного здоровья Z_a меньше уровня Z_C системного здоровья, т.е. при $Z_a < Z_C$, эффективность охраны здоровья Θ_Z положительна, т.е. $\Theta_Z > 0$.

Для пациентов с уровнем априорного здоровья Z_a , равным уровню системного здоровья, т.е. при $Z_a = Z_C = \Pi_Z$, эффективность охраны здоровья Θ_Z равна нулю, т.е. $\Theta_Z = 0$. Здоровье таких пациентов поддерживается на априорном уровне здоровья Z_a и эффективность Θ_Z охраны здоровья нулевая, т.е. $\Theta_Z = 0$.

Для пациентов с априорным уровнем Z_a здоровья выше системного, т.е. при $Z_a > Z_C$, эффективность охраны здоровья Θ_Z в системе здравоохранения отрицательна ввиду недостаточного для поддержания и повышения здоровья пациента профессионализма, т.е. качества решения задач диагностики и терапии заболеваний в системе здравоохранения.

Заключение

Проведенный анализ количественных отношений в статистической динамике охраны здоровья в системе здравоохранения логично рассматривать как введение в статистическую динамику охраны здоровья в системе здравоохранения. Основу такого введения составляет расширенное толкование здоровья как неотъемлемого от жизни фундаментального жизнеопределяющего свойства живого организма, а не как «состояния полного благополучия».

Это свойство проявляется во всех процессах жизнедеятельности в способности поддерживать жизнь в любых состояниях живого организма, в том числе и в состоянии нозологии вплоть до состояния комы. В максимальной степени оно проявляется в здоровом состоянии организма при отсутствии заболеваний.

Как следует из результатов проведенного анализа, степень проявления свойства здоровья в живом организме количественно достаточно полно оценивается статистическим показателем здоровья – отношением вероятностей p_Z здорового состояния и p_H – нозологии организма.

Предлагаемое введение в статистическую динамику охраны здоровья открывает перспективы развития доказательности в здравоохранении и медицине, что, естественно, будет способствовать решению основной задачи здравоохранения и медицины – укрепления здоровья каждого человека и общества в целом.

Список литературы

- [1] Петровский Б.В. (ред.) Большая медицинская энциклопедия. 3-е изд. Т. 3. М.: Советская энциклопедия, 1975. 480 с.
- [2] Калью П.И. Сущностная характеристика понятия «здоровье» и некоторые вопросы перестройки здравоохранения: обзорная информация. М., 1988.
- [3] Устав (Конституция) Всемирной Организации Здравоохранения. Нью-Йорк, 22 июля 1946 г.
- [4] Уайтхед А.Н. Избранные работы по философии. М.: Прогресс, 1990.
- [5] Сергеев А.Г. Метрология и метрологическое обеспечение: учебник. М.: Высшее образование, 2008. 575 с.
- [6] Пономарев С.В., Шишкина Г.В., Мозгова Г.В. Метрология, стандартизация, сертификация: учебник для вузов. Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. 96 с.

Образец цитирования

Богданов Ю.В., Залетов А.Б., Гусева О.С. Введение в статистическую динамику охраны здоровья в системе здравоохранения // Вестник ТвГУ. Серия: Прикладная математика. 2020. № 2. С. 72–89. <https://doi.org/10.26456/vtпmk570>

Сведения об авторах

1. **Богданов Юрий Васильевич**
профессор Тверского государственного медицинского университета.
Россия, 170100, г. Тверь, ул. Советская, д. 4, ТГМУ.
E-mail: yu.v.bogdanov@yandex.ru
2. **Залетов Алексей Борисович**
доцент кафедры физики, математики и медицинской информатики Тверского государственного университета.
Россия, 170100, г. Тверь, ул. Советская, д. 4, ТГМУ. E-mail: s011637@yandex.ru
3. **Гусева Ольга Сергеевна**
ассистент кафедры физики, математики и медицинской информатики Тверского государственного университета.
Россия, 170100, г. Тверь, ул. Советская, д. 4, ТГМУ. E-mail: 4ikuulaeva@mail.ru

INTRODUCTION TO THE STATISTICAL DYNAMICS OF HEALTH PROTECTION IN THE HEALTH SYSTEM

Bogdanov Yuri Vasilyevich

Professor at Tver State Medical University
Russia, 170100, Tver, 4 Sovetskaya str., TSMU.
E-mail: yu.v.bogdanov@yandex.ru

Zaletov Alexey Borisovich

Associate Professor at Physics, Mathematics and Medical Informatics department,
Tver State Medical University
Russia, 170100, Tver, 4 Sovetskaya str., TSMU.
E-mail: s011637@yandex.ru

Guseva Olga Sergeyevna

Assistant at Physics, Mathematics and Medical Informatics department,
Tver State Medical University
Russia, 170100, Tver, 4 Sovetskaya str., TSMU.
E-mail: 4ikuulaeva@mail.ru

Received 27.10.2019, revised 17.03.2020.

A characteristic feature of modern science is the desire in all spheres of human activity to identify and Express quantitative relationships in the processes and phenomena of the material world. Health protection is no exception in this regard. The impetus for writing this article was the lack of a metrologically justified quantitative measure of health, as a fundamental property of a living organism: to maintain life in the body in all its States, to exclude the possibility of identifying natural quantitative relations in health protection and in the health care system. This article reveals the essence of the concept of “Health”. Its features are considered and characterized in the form of individual coefficients of mutual correlation, the meaning of the statistical indicator $Z(\vartheta)$ of health is revealed, and a theorem on the law of probability distribution of the patient’s States on the interval ϑ of health monitoring is formulated. The authors analyze the statistical dynamics of health protection, relative to the indicators of professionalism in solving problems in the diagnosis of healthy and sick patients. The result of this work can be considered a metrological indicator and can be recommended as one of the criteria for use in practical health care.

Keywords: statistical dynamics, probability theory, quantitative measure of health, health protection, health system.

Citation

Bogdanov Yu.V., Zaletov A.B., Guseva O.S., “Introduction to the statistical dynamics of health protection in the health system”, *Vestnik TvGU. Seriya: Prikladnaya Matematika [Herald of Tver State University. Series: Applied Mathematics]*, 2020, № 2, 72–89 (in Russian). <https://doi.org/10.26456/vtprm570>

References

- [1] Petrovskij B.V. (ed.), *Bolshaya meditsinskaya entsiklopediya [The big medical encyclopedia]*. V. 3, 3d edition, Sovetskaya entsiklopediya, Moscow, 1975 (in Russian), 480 pp.
- [2] Kalyu P.I., *Sushchnostnaya kharakteristika ponyatiya «zdorove» i nekotorye voprosy perestrojki zdravookhraneniya: obzornaya informatsiya [Essential characteristics of the concept of "health" and some issues of healthcare restructuring: overview]*, Moscow, 1988 (in Russian).
- [3] *Ustav (Konstitutsiya) Vsemirnoj Organizatsii Zdravookhraneniya*, New York, 22 of July 1946 (in Russian).
- [4] Whitehead A.N., *Izbrannye raboty po filosofii [Selected works on philosophy]*, Progress, Moscow, 1990 (in Russian).
- [5] Sergeev A.G., *Metrologiya i metrologicheskoe obespechenie [Metrology and metrological support: handbook]*, Vysshee obrazovanie, Moscow, 2008 (in Russian), 575 pp.
- [6] Ponomarev S.V., Shishkina G.V., Mozgova G.V., *Metrologiya, standartizatsiya, sertifikatsiya: uchebnik dlya vuzov [Metrology, standardization, certification: textbook for universities]*, Izd-vo GOU VPO TGTU, Tambov, 2010 (in Russian), 96 pp.