



ПОЛИТЕХ
Институт компьютерных
наук и технологий



ПОЛИТЕХ
Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого

ISSN 2658-5243



ПОЛИТЕХ-ПРЕСС

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И УПРАВЛЕНИИ

Сборник научных трудов
XXIV Международной научной
и учебно-практической конференции

13–14 октября 2020 года

Часть 1



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Международная академия наук высшей школы
Санкт-Петербургское отделение
Центральный экономико-математический институт РАН
Центр по изучению проблем информатики
Института научной информации по общественным наукам РАН
Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН
Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова-Ленина
Санкт-Петербургский государственный экономический университет

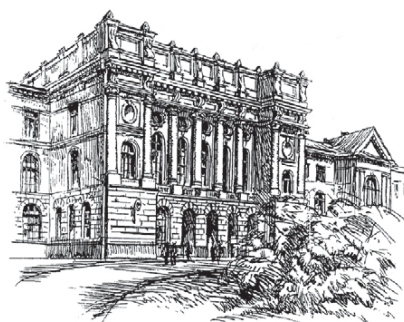
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО
ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И УПРАВЛЕНИИ

Часть 1

Сборник научных трудов
XXIV Международной научной
и учебно-практической конференции

13–14 октября 2020 года



ПОЛИТЕХ-ПРЕСС
Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого

Санкт-Петербург
2020

Флейшман Бенцион,
д-р техн. наук, профессор

МАЛОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МИНИМИЗАЦИИ РИСКА ОТ ПАНДЕМИИ

Общество анализа риска (Society for Risk Analysis), США,
bentsionfleishman@gmail.com

Аннотация. На основе единого показателя риска построена малопараметрическая модель обнаружения неизвестной пандемии с последующими оптимальными мероприятиями борьбы с ней. Рассмотрены три сценария таких мероприятия с оценкой порядка затрат на их осуществление.

Ключевые слова: заражение, риск, пандемия, мероприятия, сценарии, затраты.

Bentsion Fleishman,
Doctor of Technical Sciences, Professor

LOW-PARAMETRIC MODEL OF MINIMIZATION OF RISKS FROM THE PANDEMIA

Society for Risk Analysis, USA,
bentsionfleishman@gmail.com

Abstract. Based on a single risk indicator, a low-parameter model for detecting an unknown pandemic with subsequent optimal measures to combat it was built. Three scenarios of such events with an assessment of the order of costs for their implementation are considered.

Keywords: infection, risk, pandemic, measures, scenarios, costs.

1. Общая постановка задачи

Рассматривается заражение (З) или незаражение (НЗ) человека болезнью от вируса на некотором интервале Δt времени t с вероятностями P и $1 - P$ соответственно. В результате он гибнет (Г) или не гибнет (НГ) (выздоровливает) с вероятностями R и $1 - R$ соответственно на последующем интервале Δt ... Вероятность R называется *риском*.

Эпидемия как процесс заражения и гибели, проходит на большом интервале T времени t , разбитом на N малых интервалов $\Delta_e t$ (месяц) ($T = N \Delta_e t$). При этом эпидемическая шкала времени отличается от демографической, где $\Delta_d t$ (год), на порядок, т.е. $\Delta_e t \approx \Delta_d t / 10$ и для соответствующих рисков R_e и R_d имеем $R_e \approx R_d / 10$.

На одном малом интервале Δt гибель (Г) человека может произойти от пагубного действия одной из двух причин (Γ_1) и (Γ_2) с рисками R_1 и

R_2 , но двукратная его гибель (Γ_1, Γ_2) призойти не может (эффект «дважды убиения»). Такие причины называются псевдонезависимы и при малых рисках R_1 и R_2 риск R от их совместного пагубного действия аддитивен $R \approx R_1 + R_2$ [1, Приложение 1].

Далее все экстремальные соотношения получены взятием соответствующих производных, о чем специально не оговаривается.

Если $P = P(t)$ безусловная вероятность заражения, а $R(t)$ условная вероятность гибели при заражении (условный риск), то событие (Γ, Γ) (естественная эпидемия

$$R_e = R_e(t) = P(t) R(t), \quad a)$$

с максимумом максимумом (1)

$$R_{e \max \max} = R_e(t_{e \text{ opt}}) \quad b)$$

в момент $t = t_{e \text{ opt}}$ (см. рис. 1).

При задании двух пороговых значений риска R_n и R_g ($R_n \ll R_g \ll 1$), имея величину $R_{e \max \max}$, можно дать рисковые оценки вида эпидемии с масштабам соответствующих противодействующих мероприятий (см. табл. 1).

При условии $R_{e \max \max} > R_g$ эпидемия называется пандемией (Π) (см. рис. 1, Б и В).

При этом существенно расположение момента $t = t_g$ катастрофы на периоде $(0, T)$ существования Π .

Если риск $R_e = R_e(t)$ монотонно растет максимума максимумума $R_e = R_e(t)$ до момента $t = t_{e \text{ opt}}$ и момент $t_g = R_e^{-1}(R_g)$ катастрофы близок к началу Π ($t_g \ll t_{e \text{ opt}}$), то Π особенно опасна – называется катастрофической 4-й категории по табл. 1.

Таблица 1

Рисковая оценка различного вида эпидемий с соответствующими противодействующими мероприятиями

балл	1	2	3
вид эпидемии	региональная известного вируса	глобальная пандемия неизвестного вируса	
мероприятия	ординарные	сверхординарные своевременная медицинская подготовка с вакцинацией	чрезвычайные (ЧП) организационная с карантином, пагубно влияющим на мировую экономику
рисковая оценка	$R_n < R_{e \max \max} \ll R_g$		$R_{e \max \max} > R_g$
момент катастрофы	-	$t_g > t_0 + \Delta t_{cr}$	$t_g \ll t_0 + \Delta t_{cr}$

На рис. 1 приведены кривые риска $R_e = R_e(t)$ соответствующие трем баллам табл. 1.

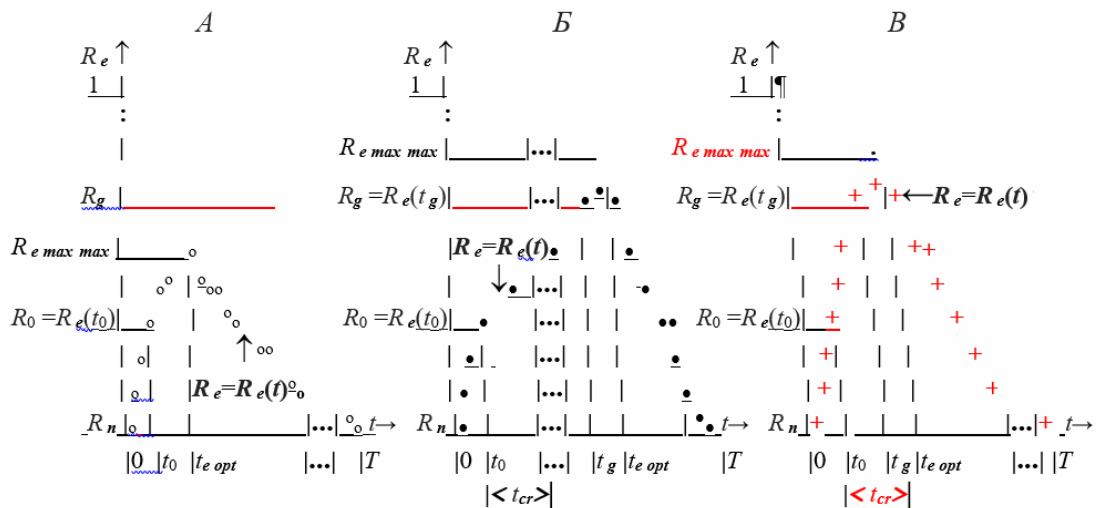


Рис. 1. Три кривые рисков: А) эпидемии, Б) пандемии дальнокатастрофической, В) пандемии близкокатастрофической

П встречает три наши следующих друг за другом мероприятий: ее мониторингового обнаружения M_I (информационное мероприятие). и двух противодействующих мероприятий M_q и M_m (см. рис. 1, Б).

Начнем с рассмотрения мероприятия M_I по обнаружению П на интервале $(0, t_0)$ времени.

Рассматривается П неизвестного вируса с неизвестным моментом $t=0$ его возникновения, что приводит к *задержке* на интервал $(0, t_0)$ времени борьбы с ней, где t_0 момент запаздания.

Очевидно требование $0 < t_0 \ll t_g$ заблаговременности начала борьбы, где $t_g = R^{-1}_e(R_g)$ момент глобальной катастрофы (см. рис. 1, Б).

Расположение момента t_0 на фиксированном интервале $(0, t_g)$ разбивает его на два подинтервала: $(0, t_0)$ – задержки и (t_0, t_g) – близости к моменту катастрофы.

При этом существенно расположение момента $t=t_g$ катастрофы на периоде $(0, T)$ существования П. Если риск $R_e = R_e(t)$ монотонно растет до момента $t=t_{e\ opt}$ и момент $t_g = R^{-1}_e(R_g)$ катастрофы близок к началу П ($t_g \ll t_{e\ opt}$), то П особенно опасна – П 3-го балла по табл.1 (см. рис. 1 В).

Если помимо порогового значения риска R_g задан пороговый временной интервал Δt_{cr} *критической близости* катастрофы (скажем месяца, а не года) .(см. рис. 1 А), то критерий обнаружения близкокатастрофической П определяется одновременным выполнением двух соотношений

$$t_g - t_0 < \Delta t_{cr} \text{ и } R_{e\ max\ max} > R_g \quad (2)$$

Перейдем к характеристике противодействующих мероприятий M_q и M_m . Двухнаправленное, кратковременное мероприятие M_q на интервале (t_0, t_g) ($t_g \ll T$), носит организационный характер, включая глобальный

карантин, приводящий к обвалу экономики, существенно понижающей уровень жизни населения.

В результате риск $R_e = R_e(t)$ от П сопровождается риском $R_q = R_q(t)$ от мероприятия M_q

Однонаправленное, долгоремное мероприятие M_m на интервале (t_q, T) , носит медикаментозный характер, включая вакцинацию.

Общая рисковая формализация мероприятий такова.

Из-за малости значений R_e и R_q и эффекта дважды убийства полагаем

$$R = R(t) = R_e(t) + R_q(t)$$

$$M = \begin{cases} M_I & (R_e = R_e(t), R_q(t) \equiv 0) & (0 \leq t \leq t_0) & a) \\ M_q & R = R(t) = \begin{cases} R_{eq} = R_{eq}(t) = F_q[R_e(t), R_q(t-t_0)] & \text{при } t \begin{cases} t_0 < t < t_q \ll T & b) \\ t_q < t \leq T, & c) \end{cases} \end{cases} \\ M_m & (R_{eqm} = R_{eqm}(t) = F_m[R_{eq}(t)], R_q(t) \equiv 0) & \end{cases} \quad (3)$$

где после информационного мероприятия M_I операторы действия

$$Z = F_q[X, Y] \text{ и } V = F_m[Z] \quad d)$$

мероприятий M_q и M_m соответственно (см. Рис. 2).

Выражения (3 a и b) указывают на то, что действия обоих мероприятий происходят с запаздыванием соответственно до моментов t_0 и t_q , когда риск за время запаздывания успевает набрать величины $R_e = R_e(t_0)$ и $R_{eq} = R_{eq}(t_q)$ с падениями в результате действий мероприятий M_q и M_m соответственно (см. рис. 2).

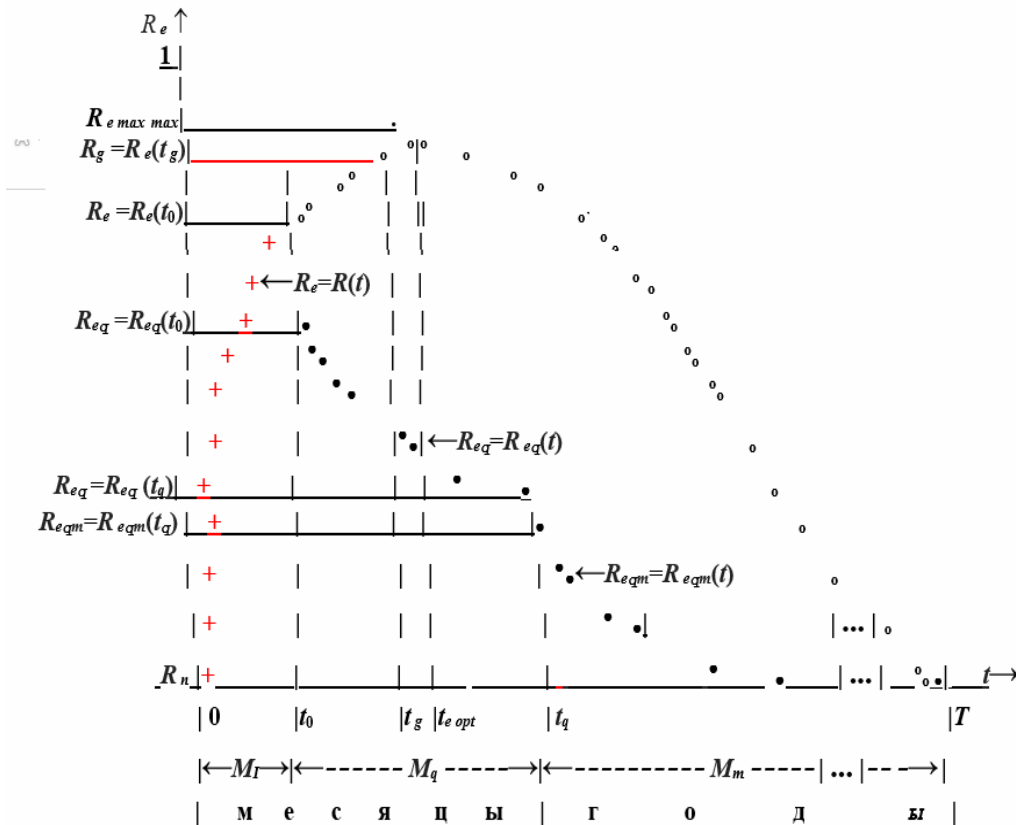


Рис. 2. Качественное изображение падения кривых риска пандемии после обнаружения ее в момент t_g в ходе борьбы с ней в результате действий мероприятий M_q и M_m

На первом этапе борьбы с П ставится задача разработки мероприятия M_I ее скорейшего обнаружения.

Далее ставится задача разработки противодействующих мероприятий M_q и M_m , минимизирующих риск от значения $R_{e \max \max} > R_g$ до значения $R_{e \max \max} \leq R_n$. Для скорейшего обнаружения П необходимо построение ее прогностической модели, так как мы должны знать о ее характере до того как она обрушится на нас.

2. Прогностическая модель пандемии

Сделаем ряд упрощающих допущений, не меняющих основные положения предыдущих рассмотрений. Начнем с соотношения (1). Будем считать условный риск $R(t) = R = \text{const}$ постоянным на всем интервале $(0, T)$ (усредненное значение). Тогда соотношение (1) для безусловного риска оказывается функцией времени

$$R_e = R_e(t) = R P(t) \quad (4)$$

с теми же экстремальными свойствами, что и вероятность $P = P(t)$ заражения.

Основным допущением является описание вероятности $P = P(t)$ заражения двухпараметрической «колокообразной» кривой с параметрами несимметрии a ($0 < a < T$) и момента T окончания

$$P = P(t) = t^a (T - t) / T^{a+1} \quad (0 \leq t \leq T), \quad a)$$

и единственным максимумом

$$P_{\max} = P(t_{\text{opt}}) = [a / (a + 1)]^a / (a + 1) T^{a+1}, \quad c)$$

достигаемым для значения (5)

$$t = t_{\text{opt}} = T a / (a + 1), \quad d)$$

и трех важных случаях при трех значениях параметра несимметрии a

$$a \begin{cases} \ll 1 \\ = 1 \\ \gg 1 \end{cases} \quad \text{и} \quad P_{\max} = P(t_{\text{opt}}) \begin{cases} \ll 1 \\ 1/4 \\ \ll e/a \end{cases} \quad \text{при} \quad t_{\text{opt}} \begin{cases} \approx a T \\ = T/2 \\ \approx T \end{cases} \quad \begin{matrix} e) \\ f) \\ g) \end{matrix}$$

Если одновременно $a \ll 1$ и $t \ll T$, то кривая

$$P = P(t) \approx (t/T)^a \quad h)$$

вырождается в параболу (см. рис. 3).

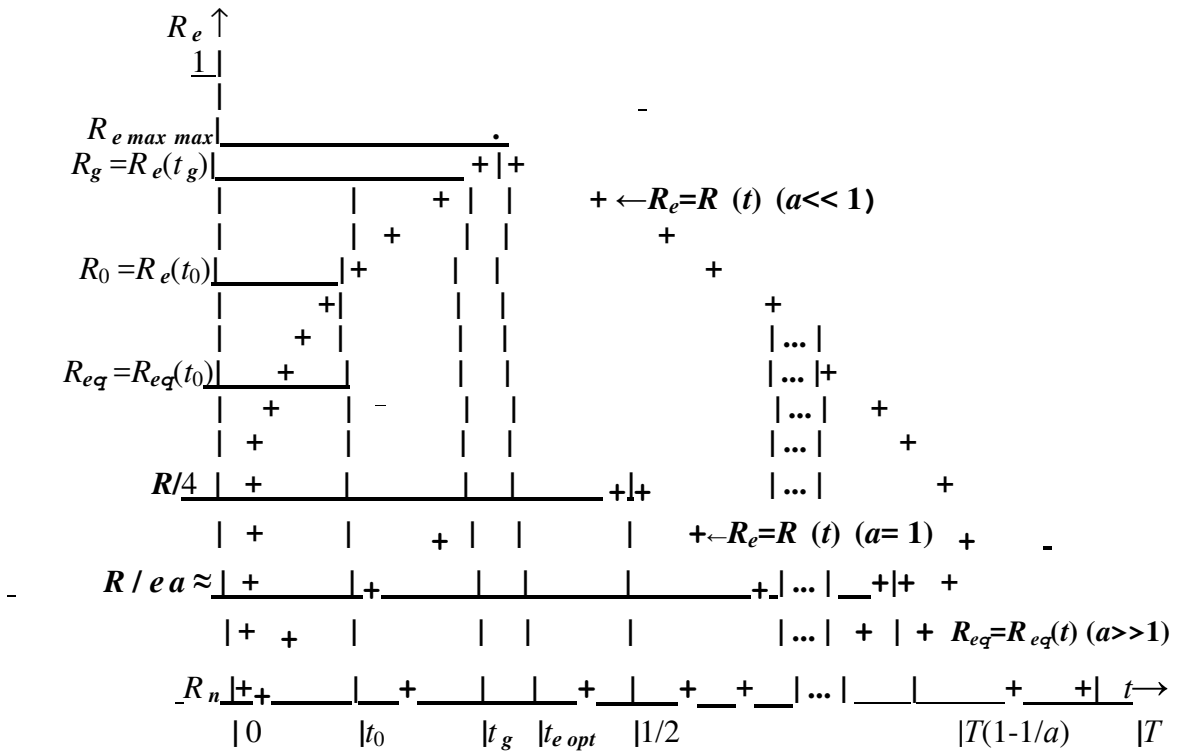


Рис. 3. Качественное изображение колокообразной однопараметрической с параметром a кривой риска пандемии при значениях параметра: $a \ll 1$, $a=1$ и $a \gg 1$.

Так как согласно соотношениям (4) и (5 a) значения функций $R_e = R_e(t)$ и $P = P(t)$, пропорциональны, то они достигают своего максимума в один и тот же момент $t = t_{e\ opt}$.

Так как в нашей модели имеется только один максимум, то далее приняты обозначения $t_{e\ opt\ opt} = t_{e\ opt}$ и $R_{e\ max\ max} = R_{e\ max}$, при этом $t_{e\ opt} = t_{opt}$ и $R_{e\ max} \equiv RP_{max}$ и обнаружения близкокатастрофической П (2) имеет окончательный вид

$$t_g - t_0 < \Delta t_{cr} \text{ и } R_{e\ max} > R_g \quad (6)$$

Заметим, что в зависимости от значений параметра a несимметрии имеют место три случая развития П. При $a \ll 1$ ($a \gg 1$) быстрое (медленное) развитие П со смещением максимума P_{max} к ее началу $t_{opt} \ll 0$ (концу $t_{opt} \approx T$) (см. рис. 3).

Как уже упоминалось, особо опасным является первый случай.

Оправданием построенной модели является то, что при минимальном числе параметров она описывает общую картину поведения П, приведенную в пункте 1 на качественном уровне.

3. Обнаружение близкокатастрофической пандемии

Предполагается наличие обычного непрерывного во времени t эпидемиологического мониторинга обнаружения новых вирусов. В связи с

большей опасностью принять зараженного за незараженного по сравнению с противоположной ошибкой принять незараженного за зараженного для соответствующих вероятностей β и α требуется выполнение соотношения $\beta \ll \alpha$,

При таком требовании максимальное быстродействие мониторинга достигается использованием (α, β, n) -алгоритма последовательного статистического анализа применявшегося для обнаружения аномалий [1, Параграф 3.6]. Здесь он в частности может быть применен к обнаружению пандемий (см. рис. 4 А), при этом случайный объем n выборки пропорционален времени t_0 задержки (см. рис. 4 Б).

Противоречива роль запоздания в борьбе с П. Как уже упоминалось в пункте 1. расположение момента t_0 на фиксированном интервале $(0, t_g)$ разбивает его на два подинтервала: $(0, t_0)$ - задержки и (t_0, t_g) - близости к моменту катастрофы. С ростом первого растет объем выборочных данных, приводящий к повышению точности мониторинга, но уменьшает второй - приближения к катастрофе (см. рис. 4).

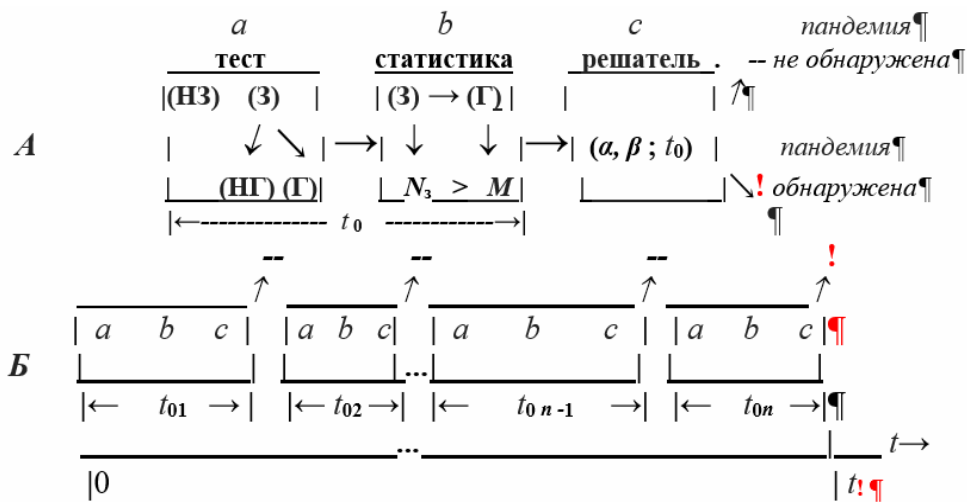


Рис. 4. Блок-схема непрерывного эпидемического мониторинга обнаружения пандемии: А) стандартный текст с $(\alpha, \beta; t_0)$ решателем по статистике N_3 зараженных, среди которых было M погибших; Б) многошаговое использование стандартного текста с решателем до момента обнаружения $t!$ пандемия

Здесь мы не будем подробно касаться этих важных приложений теории обнаружения аномалий, оставив их для будущих исследований.

Ограничимся решением важнейшей проблемы критерия обнаружения близкокатастрофической П. Его условия (б) содержат три заданных параметра t_0 , R_g и Δt_{cr} и два неопределенных – $R_{e max}$ и t_g . Проведем их экспериментальную оценку на интервале $(0, t_0)$ задержки.

Однако, далее, как и для самой упрощенной модели П, используется предельно упрощенная экспериментальная оценка ее параметров на ин-

тервале $(0, t_0)$ задержки, с последующей экстерполцией на интервале $(t_0, t_{e\ opt})$ предваряющее ее обнаружение.

Полагается, что на нем имеются три достаточно представительные (по выборкам большого объема и правила «трех сигм») эмпирические кривые $R_e^* = R_e(t)^*$, $P^* = P(t)^*$ и $R \approx R(t)^*$ (см. рис. 4.A). Они получают-ся тестированием на вирус $n(t)$ людей, среди которых оказывается $m_d(t)$ погибших, среди которых оказывается $m_i(t)$ зараженных, среди которых, в свою очередь, оказывается $m'_d(t)$ погибших соответственно.

Поэтому имеем эмпирические кривые безусловного риска, вероятности заражения и условного риска соответственно

$$R_e \approx R_e^* = R_e(t)^* = m_d(t) / n(t), P \approx P^* = P(t)^* = m_i(t) / m_d(t) \text{ и } R \approx R(t)^* = m'_d(t) / m(t)_i \text{ a)}$$

$$\text{и} \quad R_e^* = R_e(t)^* = P(t)^* R^*(t) \approx R^* P(t)^* \quad \text{b) (7)}$$

$$\text{при} \quad |R^*(t) - R^*| \ll 1 \quad \text{c)}$$

в соответствии с соотношениями (1 a) и (4). (рис. 5.A).

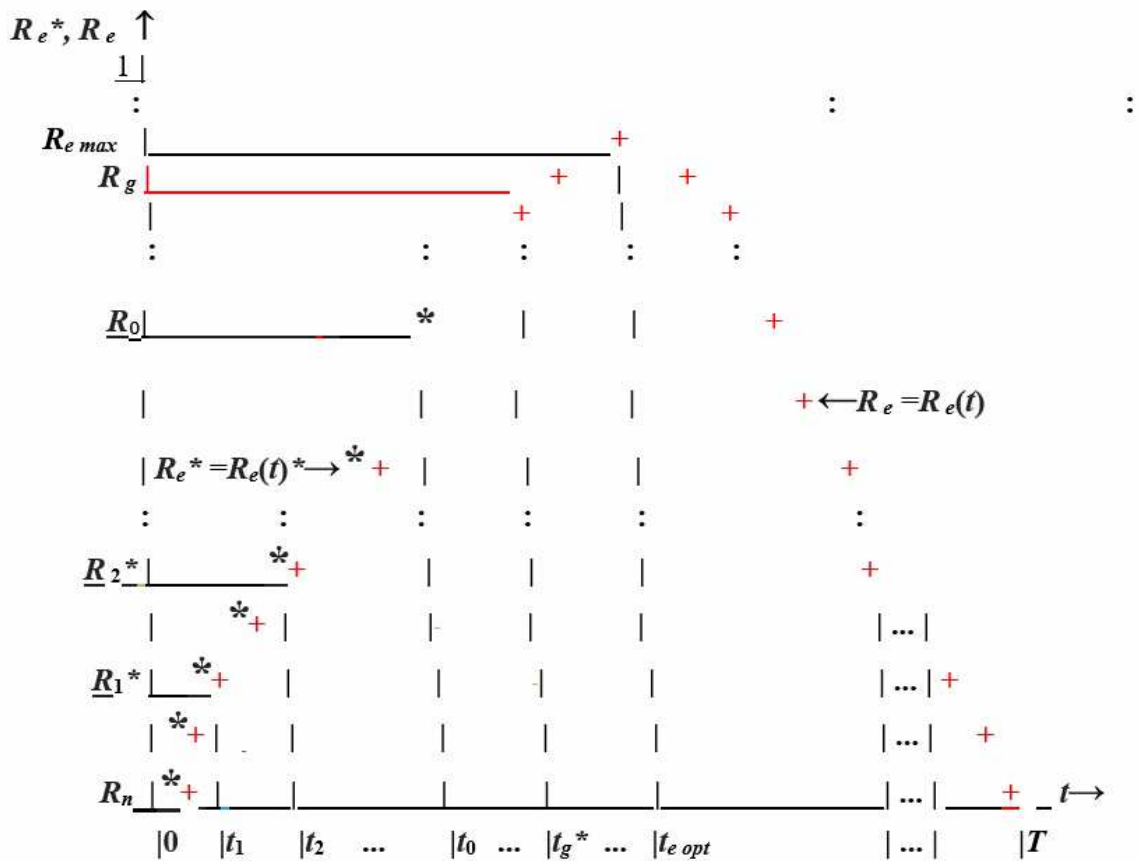


Рис. 5 Эмпирическая кривая $R_e^* = R_e(t)^*$ (***) на интервале $(0, t_0)$, по точкам (t_1, P_1^*) и (t_2, P_2^*) которой получены эмпирические значения параметров R^* , \bar{a} , \bar{a}^* и T , T^* теоретической кривой $R_e^* = R_e(t)$ (+++) на интервале $(0, T)$

С учетом соотношений (1 а), (4) и (5 а) безусловный риск R_e имеем постоянный условный риск R на всем интервале $(0, T)$. Поэтому его эмпирическое значение R^* на нем имеет вид в частности

$$R \approx R^* = m'_d / m_i, \quad (8)$$

А поскольку с учетом соотношения (5 е) при малости параметра $a \ll 1$ имеем $R_{e \max} \approx R \approx R^*$, то для решения поставленной задачи остается дать эмпирическую оценку одному параметру $t_g \approx t_g^*$.

Она имеет следующие этапы.

1) На интервале $(0, t_0)$ проводится качественное рассмотрение эмпирической кривой $R^* = R(t)^*$ с единственной целью определения степени ее выпуклости. Если таковая достаточно высокая, то это дает основание для параболической аппроксимации $R^* = R(t)^* \approx R^* (t/T)^a$ с известным параметром R^* , неизвестными параметрами T и a , но с заведомой малостью параметра $a \ll 1$.

2) По двум эмпирическим точками (t_1, R_1^*) и (t_2, R_2^*) ($t_1 < t_2 < t_0$) кривой $R^* = R(t)^*$ находятся два эмпирических значения параметров $a^* \approx a$ и $T^* \approx T$.

3) Они используются для получения "полуэмпирической" кривой $R_e \approx R^* (t/T^*)^{a^*}$ с ее обратной функцией $t^* \approx (R_e / R^*)^{1/a^*} T^*$, которая используется для экстраполяции значения $t_g^* \approx (R_g / R^*)^{1/a^*} T^*$ на интервале $(t_0, t_{e \text{ opt}})$.

Этап 2) проводится следующим образом. Рассмотрим случай $a \ll 1$, когда согласно соотношения (5 h) кривая $P = P(t) \approx (t/T)^a$ при $a \ll 1$ и $t \ll T \ll 1$ вырождается в параболу. Используем две ее эмпирические точки (t_1, P_1^*) и (t_2, P_2^*) ($t_1 < t_2 < t_0$) на интервале задержки $(0, t_0)$, когда он достаточно мал ($t_0 \ll t_{\text{opt}} \approx a T$). Тогда имеем (см. Приложение 1):

$$T \approx T^* = e^{(\ln P_1^* \ln t_2 - \ln P_2^* \ln t_1) / (\ln P_1^* / P_2^*)} \quad a)$$

и

$$a \approx a^* = (1/2) [\ln P_1^* / (\ln t_1 - \ln T^*) + \ln P_2^* / (\ln t_2 - \ln T^*)] \quad b) \quad (9)$$

Итак, подставив эмпирические значения $t_g^* \approx (R_g / R^*)^{1/a^*} T^*$ и $R_{e \max} \approx R^*$ в соотношения критерия (6) в качестве приближенных значений величин $t_{e \text{ opt}}$ и $R_{e \max}$, получим эмпирический критерий обнаружения близкокатастрофической П

$$t_g^* - t_0 < \Delta t_{cr} \text{ и } R^* \geq R_g. \quad (10)$$

Первое появление соотношения (10) является сигналом мониторинга о появлении вируса для объявления карантина (см. рис. 3)!

4. Минимизация максимального риска

Начнем с конкретизации двунаправленного, кратковременного мероприятия M_q на интервале (t_0, t_q) . С учетом соотношений (4) и (5, a) рассмотрения ведутся в безразмерных величинах риска

$$r_e = r_e(\Theta) = R_e(\Theta)/R = \Theta^a(1-\Theta) \quad a)$$

и времени

$$\Theta = t/T \quad (0 \leq \Theta \leq 1). \quad b)$$

и риска мероприятия M_q

$$R_q = R_{eq}(t) = R' t^b (T-t)^c / T^{b+c}, \quad c) \quad (11)$$

подвергающегося аналогичной нормировке

$$r_q = r_q(\Theta) = R_q(t)/R = u\Theta^b(1-\Theta)^c \quad d)$$

с параметрами b, c и

$$u = R'/R. \quad e)$$

Для определения простейшего вида оператора $Z = F_q[X, Y]_z$ введем в рассмотрение управляемый нами параметр z интенсивности двунаправленного действия (организационного в том числе карантинного). Такими свойствами обладает оператор вида (см. Приложение 2):

$$Z = F[X, Y]_{11z} = F_q[X, Y]_z = X/z + zY, \quad a)$$

с минимумом, пропорциональным среднему геометрическому аргументов X и Y

$$Z = Z_{min} = \min_z F_q[X, Y]_z = F_q[X, Y]_{z_{opt}} = 2(XY)^{1/2} \quad b) \quad (12)$$

при

$$z = z_{opt} = (X/Y)^{-1/2}. \quad c)$$

Полагая $X = r_e(\Theta)$ и $Y = r_q(\Theta)$ с учетом соотношений (11 a и d) и (12 b и d) получим общее выражение нормированного риска

$$r_{eq} = r_{eq}(\Theta) = 2 u^{1/2} [\Theta^{a+b} (1-\Theta)^{c+1}]^{1/2} \quad a)$$

при

$$z = z_{opt} = [u \Theta^{b-a} (1-\Theta)^{c-1}]^{1/2} \quad b)$$

с единственным максимумом (13)

$$r_{eq\ max} = r_{eq}(\Theta_{eq\ opt}) = 2\{u[(a+b)/(a+b+c+1)]^{a+b}/(a+b+c+1)\}^{1/2} \quad c)$$

$$\text{при значении } \Theta = \Theta_{eq\ opt} = (a+b)/(a+b+c+1), \quad d)$$

не зависящем от параметра u .

Увеличение числа параметров и обилие их функций приводит к достаточному разнообразию сценариев подавления П, определяемых риском $R_{eq} = R_{eq}(t)$.

Рассмотрим три сценария M_q^h , M_q^s и M_q^b мероприятия M_q имеющего риск $r_{eq} = r_{eq}(\Theta)$ с максимумами $r_{eq\ max} = r_{eq}(\Theta_{eq\ opt})$ при $\Theta = \Theta_{eq\ opt}$ и специфических значениях его параметров вида (см. соотношения (13) и рис. 6).

$$r_{eq} = r_{eq}(\Theta) = \begin{cases} r_{eq}^h(\Theta) = 2 u^{1/2} [\Theta^a (1 - \Theta)] \\ r_{eq}^s(\Theta) = 2 u^{1/2} [\Theta (1 - \Theta)]^{(a+1)/2} \\ r_{eq}^b(\Theta) \approx 2 u^{1/2} [\Theta^b (1 - \Theta)^{c+1}]^{1/2} \end{cases} \text{ при } \begin{cases} (b = a \ll 1, c = 1 \ll 1) \\ (b = 1, c = a \ll 1) \\ (b \gg 1, c = const) \end{cases} \quad a)$$

с соответствующими максимумами (14)

$$r_{eq\ max} = \begin{cases} r_{eq\ max}^h \approx 2 u^{1/2} \approx u^{1/2} \\ r_{eq\ max}^s \approx u^{1/2} \\ r_{eq\ max}^b \approx 2 [(u/b) e^{-(c+1)}]^{1/2} \approx (u/b)^{1/2} \end{cases} \text{ при } \Theta_{eq\ opt} = \begin{cases} \Theta_{eq\ opt}^h \approx a \ll 1 & b) \\ \Theta_{eq\ opt}^s = 1/2 & c) \\ \Theta_{eq\ opt}^b \approx 1 - (c+1)/b & d) \end{cases}$$

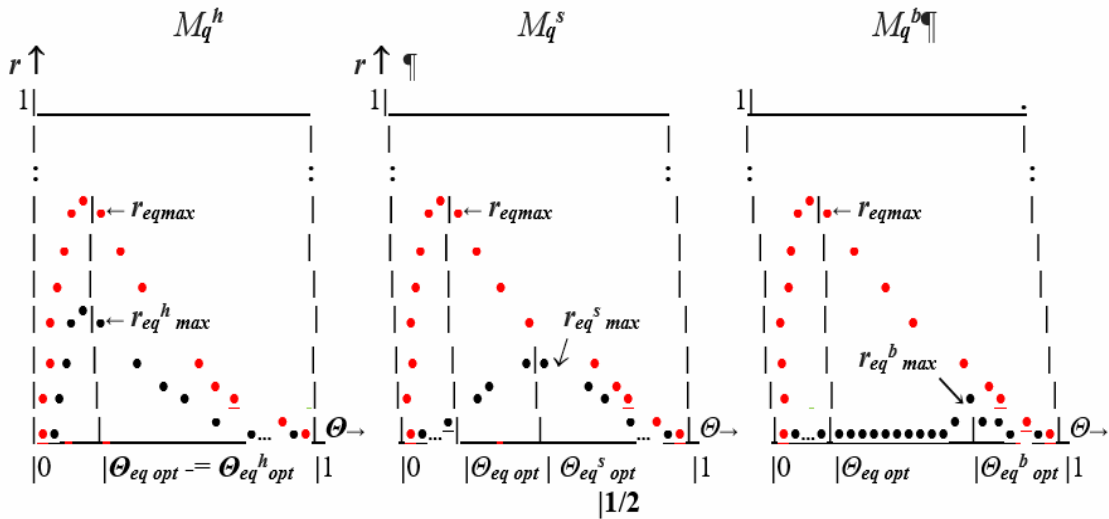


Рис. 6. Три кривые нормированных рисков сценариев M_q^h , M_q^s и M_q^b мероприятия M_q

Проанализируем соотношения (14). Кроме не зависящего от нас параметра a П, в мероприятии M_q используются 3-и управляющих b , c , и d параметра u важнейший параметр $\Theta_q = t_q/T$ момента окончания мероприятия M_q .

В сценарии M_q^h параметры используются лишь для понижения максимума $r_{eq\ max}^h$ риска по сравнению с максимумом $r_{e\ max}$ риска $r_e = r_e(\Theta)$ без изменения его формы (сохраняется пандемияподобная форма, напоминающая "гомеопатическое" лечение).

В сценарии M_q^h параметры используются радикальнее. Кроме понижения $r_{eq\ max}$ риска в нем происходит существенное (на половину всего периода П) правое его смещение, превращающее близкокатастрофическую П в дальнокатастрофическую средней дальности.

И, наконец, в сценарии M_q^b параметры используются существенно радикальнее (на весь период П) превращающее близкокатастрофическую П в дальнокатастрофическую предельной дальности!

При этом во всех сценариях имеет место рост параметра b (см. соотношения (14 a)), поэтому будем называть его параметром *правого смещения*.

Параметр c проявляется лишь в сценарии M_q^b (см. соотношения (14, b)), где его рост экспоненциально влияет на падение максимума $r_{eq\ max}$ (см. соотношения (14, b)).

С падением величины параметра u во всех сценариях имеет место падение величины максимума $r_{eq\ max}$, а в сценарии M_q^b он "помогает" в этом растущей величине параметра b .

Другими словами, падение величины максимума $r_{eq\ ma}$ обеспечивается ростом величин параметров b и c и падением величины параметра u , b и c .

5. Финал

Начнем с того, что в сценарии M_q^b успешного окончания ($r_{eq}^b(\Theta_q) = r_n$ при $\Theta_q = 1$) мероприятия M_q , вообще отпадает необходимость в проведении самого мероприятия M_m и оно проводится только после мероприятия M_q в долговременных сценариях M_q^h и M_q^s .

Перейдем к конкретизации финального, однонаправленного, долговременного мероприятия M_m на интервале $(\Theta_q, 1)$, носящего медикаментозный характер, включая вакцинацию. (см. рис. 2).

В отличие от мероприятия M_q мероприятия M_m не двулико и его действие сводится к понижению величины риска $r_{eq\ m} = r_{eqm}(\Theta_q)$ в момент $\Theta = \Theta_q$ до его нормального начения $r_{eq}(1) = r_n$ в конечный момент $r_{eqm}(\Theta_m) = r_n$ при $\Theta_m = 1$.

Однако, гипотеза о безмятежном существовании человечества на долговременном периоде $(\Theta_q, 1)$ времени (годы) после бурного существования на кратковременном период (Θ_0, Θ_q) времени (месяцы) неправдоподобна.

Не будем изощряться в перечислении возможных напастей, им несть числа.

Просто не исключим их пагубные действия M на всем финальном интервале $(\Theta_q, 1)$ времени, допускающие нашу коррекцию M_+ лишь на его начальной части (Θ_q, Θ_+) , так что можно говорить о проведении нами в рамках мероприятия M_m некоторых ограниченных действий M_+ на финальном интервале $(\Theta_q, 1)$ времени (см. рис. 6).

В рамках мероприятия M_m рассматривается простейшая линейная однопараметрическая с неотрицательным параметром ν модель пагубных действий M_- . Здесь соотношения (3 c) и допущения $r_{eq}(\Theta_q) \gg r_n$ при $\Theta_q \ll 1$ приводят к выражению оператора в принятой нормировке вида

$$F_m[r_{qe}(\Theta)] \approx r_{eqm-} = r_{eqm-}(\Theta) = r_{eq}(\Theta_q) (1 + \nu) (1 - \Theta) / (1 - \Theta_q), \quad a$$

а при дополнительной нормировке

$$r_{m-} = r_{m-}(\Theta) = r_{eqm-}(\Theta) / r_{eq}(\Theta_q) = (1 + \nu)(1 - \Theta) / (1 - \Theta_q) \quad b)$$

момент Θ_+ прекращения положительных действий M_+ имеет вид (см. рис. 7, Б). (15)

$$\Theta_+ \approx (\Theta_q + \nu) / (1 + \nu) \begin{cases} \Theta_q \ll 1 & \text{при } \nu = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} \\ (1/2)(1 + \Theta_q) \approx 1/2 & \end{cases} \quad \begin{matrix} c) \\ d) \end{matrix}$$

следующее из рассмотрения подобных треугольников рис. 7, А.

Прокомментируем соотношения (15).

Понижение величины риска мероприятием M_m отражается множителем $(1 - \Theta)$, а его повышение пагубными действиями M — множителем $(1 + \nu)$ при росте параметра ν . Последний не вводится, а выводится.

Действительно, соотношения (15, а) и (15, б) эквивалентны соотношению

$$r_{eqm-} = r_{eqm-}(\Theta) \equiv r_{eq}(\Theta_q)(1 - \Theta) / (1 - \Theta_q) + \nu r_{eq}(\Theta_q)(1 - \Theta) / (1 - \Theta_q) = r_{eqm}(\Theta) + r_{\cdot}(\Theta),$$

равному сумме рисков от мероприятия M_m и пагубных действий M .

Далее не будем уточнять приведенную линейную модель дальнейшим приближением к действительности.

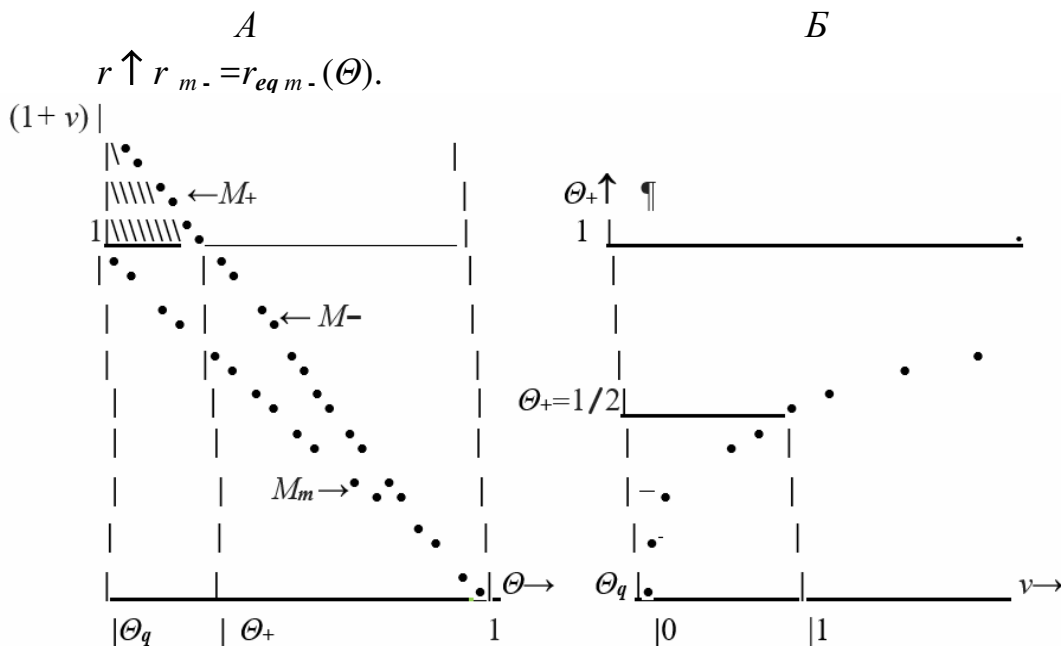


Рис. 7 Детали мероприятия M_m : А) Суммарный риск при пагубных действиях M на всем интервале $(\Theta_q, 1)$ и противоднйствии гп его нпсальной части $(\Theta_q, 1)$; Б) зависимость момента $(\Theta, 1)$ прекращения положительных действий M , от параметра ν интенсивности пагубных действиях

Для пагубных действий M вообще не будем строить рискованных моделей, ограничиваясь качественным утверждением о том, что они какими-то средствами нивелируют заштрихованные на рис. 7, А превышения риска $r_{eq}(\Theta_q)$.

Как уже отмечалось выше, мероприятие M_m проводится после мероприятия M_q в долговременных сценариях M_q^h и M_q^s , когда величина риска $r_{eq}(\Theta_q)$ имеет значения $r_{eq}^h(\Theta_q)$ и $r_{eq}^s(\Theta_q)$ соответственно (см. соотношения (14, a)).

$$r_{eq} = r_{eq}(\Theta_q) = \begin{cases} r_{eq}^h(\Theta_q) = 2 u^{1/2} [\Theta_q^a (1 - \Theta_q)] & (M_q^h) \\ r_{eq}^s(\Theta_q) = 2 u^{1/2} [\Theta_q (1 - \Theta_q)]^{(a+1)/2} & (M_q^s) \quad c = const \end{cases} \quad \text{при } M_q \quad a) \quad (14)$$

откуда из соотношений (14 a, b и c) и (15 a, c и d) и малости параметра $u \ll 1$

$$r_{eqm} = r_{eqm}(\Theta) \approx r_{eqm}^h(\Theta) \approx r_{eqm}^s(\Theta) \approx u^{1/2} (1 - \Theta) \quad \text{при } \Theta \approx \Theta_{eq\ opt} \quad \left. \begin{matrix} \Theta_+ \approx \Theta_q \approx \Theta_{eq\ opt}^h \ll 1 \\ \Theta_+ \approx \Theta_{eq\ opt}^s \approx 1/2, \end{matrix} \right\} (16) \quad b)$$

что указывает на асимптотическую инвариантность эффекта от использования мероприятия M_m после сценариев M_q^h и M_q^s мероприятия M_q .

Однако все положительные действия мероприятий M_q и M_m требуют огромных затрат и за все надо платить.

6. За все надо платить. Численные оценки

Здесь мы не пойдем по пути построения даже простых экономико-эпидемических моделей. Вместо этого дадим практически важные оценки порядков рассмотренных параметров с качественной экономической интерпретацией.

Будем исходить из существования некоторого тотального ресурса величины $K_{\Pi} = const$, которым обладает человечество в период Π , и ресурсов K_q и K_m для осуществления соответственно мероприятий M_q и M_m .

В рамках мероприятия M_q необходим *рост* величин параметров b и c и *падение* величины параметра u , на осуществление чего требуются затраты K_b , K_c и K_u .

Возникает проблема количественной оценки этих ресурсов. В общем случае ее можно решить, приводя все ресурсы к порядку одной величины. В наших рассуждениях такой величиной может быть величина малого изначального параметра $a \ll 1$.

Будем иметь для растущих величин параметров $b \approx c \approx 1/a$ и падающей величины параметра $u \approx a$, с учетом соотношения (14, b, c и d), оцениваемые по величине $r_{eq\ max}$ с обратными по величине затратами K_q на их реализацию соотношения

$$r_{eq\ max} = \begin{cases} r_{eq\ max}^h \approx u^{1/2} \approx a^{1/2} \\ r_{eq\ max}^s \approx u^{1/2} \approx a^{1/2} \\ r_{eq\ max}^b \approx (u/b)^{1/2} \approx a \end{cases} \text{ и } K_q = \begin{cases} K_q^h \approx a^{-1/2} \\ K_q^s \approx a^{-1/2} \\ K_q^b \approx a^{-1} \end{cases} \text{ для мероприятия } M_q = \begin{cases} M_q^h \\ M_q^s \\ M_q^b \end{cases} \quad a)$$

Затраты на M_+ (в рамках M_m) и наличие величин K_{Π} ресурса (17)

при значениях $\begin{cases} K < a^{1/2}, \\ a^{-1/2} \leq K \leq a^{-1} \\ K > a^{-1} \end{cases}$ будем называть соответственно $\begin{cases} \text{малыми} \\ \text{средними} \\ \text{большими.} \end{cases}$ b)

с разницей порядков

$$\delta \approx a^{1/2} \quad c)$$

Используя соотношения (17 b) и правило "не делать затрат, превышающих наличные" можно дать приведенную в Табл. 2 итоговую *разрядку* проведения мероприятий по борьбе с П, приняв на себя роль (П.2диспнтчера". Она проводится в зависимости от оцененных порядков стоимостей мероприятий и порядков имеющихся ресурсов. Когда те и другие одного порядка имеет место неопределенность, обозначаемая символом "?", Не проведение мероприятия или его безуспешное проведение может привести к эффекту т.н. "второй волны" П.

стойкости¶					
меропри- ятий	M_q			M_m	
	M_q^h и M_q^s	M_q^b		M_+	
сурс K_{Π}	малые	большие		малые	средние большие
малый	?	не проводится		?	не проводятся
средний	проводятся	не проводится		проводится	? не проводится
большой	не проводятся	проводится		не проводятся	

Табл. 2. Решения о реализации мероприятий по борьбе с пандемией в зависимости от оцененных порядков их стоимостей и порядков имеющихся ресурсов. Символом "?" обозначена ситуация, когда решение не проводить мероприятия может привести к эффекту "второй волны"

Могут быть оценены также порядки величин вероятностей $P = P(3)$ (заражения), $R = P(\Gamma/3)$ (условного риска гибели при заражении) и $R_e = P(3) P(\Gamma/3)$ (безусловного риска), являющееся в нашем случае их произведением (см. соотношение (1, a))

$$R_e = P R \quad a) \text{ и}$$

нормированное значение безусловного риска

$$r = R_e / R = P, \quad b)$$

с учетом соотношения (17 a) приводящего к (18)

$$P_{eq\ ma} = \begin{cases} P_{eq\ ma}^h \approx a^{1/2} \\ P_{eq\ ma}^s \approx a^{1/2} \\ P_{eq\ ma}^b \approx a \end{cases} \text{ и } K_q = \begin{cases} K_q^h \approx a^{-1/2} \\ K_q^s \approx a^{-1/2} \\ K_q^b \approx a^{-1} \end{cases} \text{ для мероприятия } M_q = \begin{cases} M_q \\ M_q^s \\ M_q^b \end{cases} \quad c)$$

Действительно. безусловный риск $R_e = P(\Gamma)$ по формуле полной вероятности имеет вид

$$R_e = P(\Gamma) = P(3) P(\Gamma/3) + P(\text{не}3) P(\Gamma/\text{не}3) \equiv P(3) P(\Gamma/3) = P R,$$

поскольку в нашем случае вероятность $P(\Gamma/\text{не}3) \equiv 0$, так как гибель без заражения невозможна.

Конкретизируем значения нормативных рисков R_n и R_g .

Как мы уже полагали, величина $R_n \ll a$. Конкретизируем ее значением $R_n \approx a^2$.

Величина $R_g \gg 1$ находится в окрестности величины $R_g \approx R_{e \max}$. Последняя является произведением $R_{e \max} = R P_{\max}$, где $P_{\max} \approx 1$ при $a \ll 1$, т. е. $R_g \approx R$ и обе величины находятся в том же интервале крайних значений порядков риска $a \leq R_g \approx R \leq a^{1/2}$.

Итак, имеют место соотношения

$$R_n \approx a^2 \ll a \leq R_g \approx R \leq a^{1/2} \quad a) \tag{19}$$

откуда интервал (R_n, R_g) значений величины риска R_e , имеет вид

$$a^2 \approx R_e \leq R_g \approx a^{1/2} \quad b)$$

Плата за величину безусловного риска R_e обладает большей определенностью благодаря известному соотношению *Литтла* (см. Приложение 3)

$$L = 1 / R_e, \tag{20}$$

где R_e – величина риска гибели человека в течение года, а L – средняя продолжительность жизни (СПЖ) человека в популяции людей в годах. Дело в том, что СПЖ, наряду с ВПК, традиционно рассматривается как универсальный ресурс, величина которого характеризует уровень гуманизации человечества, Неоспорим также рост СПЖ на протяжении существования и его характерные порядковые значения $L_e = L_1 = 1 \text{ год}$, $L_e = L_{10} = 10 \text{ лет}$ и $L_e = L_{100} = 100 \text{ лет}$, Последняя величина зафиксирована в славянских языках словом *человек*, не говоря уже о библейском даре 120-летней жизни человеку. Значение $L = 80 \text{ лет}$ знаменует триумф стран современной Библейской цивилизации [2]. Величины СПЖ $L_e = L_1$ и $L_e = L_{10}$ характеризуют порядки детского и детородного возрастов первого связанного с неминуемой гибелью человечества, а второго с его долговременной теплящейся фазой.

В любом случае речь идет о разнице порядков δ' равной $\delta' \approx 1/10$.

Естественно использовать в рамках одних и тех же рассмотрений одни и те же разницы порядков $\delta' \approx \delta$. Последняя согласно соотношения (18, с) имеет вид $\delta \approx a^{1/2}$, т. е. $1/10 \approx a^{1/2}$ или $a' \approx 1/100$.

Таким образом, основной малый безразмерный параметр a' следует принять равным $a \approx 1/100$, что придает оценкам (17), (18) и (19) абсолютные значения.

И последнее. Поскольку мероприятие M_q в отличие от мероприятия M_m проходит не в демографической шкале времени, а в эпидемической, при его проведении все риски должны быть понижены в 10 раз (см. пункт 1).

Приложение 1.

Используем точки (t_1, P_1^*) и (t_2, P_2^*) в вырожденном случае (см. (П.2. d) и рис. 3).

Будем иметь $a \approx a^* \approx \ln P_1^* / \ln(t_1/T) = \ln P_2^* / \ln(t_2/T) \ln P_1^*$.

Откуда

$$\ln P_1^* / (\ln t_1 - \ln T) = \ln P_2^* / (\ln t_2 - \ln T) \text{ или } (\ln P_1^*) (\ln t_2 - \ln T) = (\ln P_2^*) (\ln t_1 - \ln T)$$

или

$$\begin{aligned} (\ln P_1^*) \ln t_2 - (\ln P_1^*) \ln T &= (\ln P_2^*) \ln t_1 - (\ln P_2^*) \ln T = \\ (\ln P_1^*) \ln t_2 - (\ln P_2^*) \ln t_1 &= (\ln(P_1^*/P_2^*)) \ln T. \end{aligned}$$

Откуда

$$\ln T = [(\ln P_1^*) \ln t_2 - (\ln P_2^*) \ln t_1] / (\ln(P_1^*/P_2^*)) \text{ и } T \approx T^* = e^{(\ln P_1^*) \ln t_2 - (\ln P_2^*) \ln t_1} / (\ln(P_1^*/P_2^*))$$

а также $a \approx a^* = (1/2) [\ln P_1^* / (\ln t_1 - \ln T^*) + \ln P_2^* / (\ln t_2 - \ln T^*)]$, что приводит к соотношениям (9).

Приложение 2.

Рассмотрим класс операторов $Z = F[X, Y]_z = \{ Z = F[X, Y]_{klz} \}$ с аргументами X, Y и параметром z . Операторы имеют вид

$$Z = F[X, Y]_{klz} = Xz^k + Yz^l, \quad a)$$

где k и l неотрицательные параметры. Они имеют минимумом по

$$Z_{min} = F[X, Y]_{klz_{opt}} = KX^w Y^{1-w} \geq F_q[X, Y]_{11z_{opt}} = 2(X, Y)^{1/2} \quad b)$$

$$\text{при } z_{opt} = (kX/lY)^{1/(k+l)}, \quad c)$$

с коэффициентами (П.1)

$$K = K(k, l) = K(l, k) = (kl)^{1/(k+l)} + (lk)^{1/(k+l)} \geq K(1, 1) = 2 \quad d)$$

и $w = w(k, l) = w(l, k) = (k+l-1)/(k+l) \leq w(1, 1) = 1/2. \quad e)$

Операторы коммутативны по параметрам k и l

$$Z = F[X, Y]_{klz} = F[Y, X]_{lkz}. \quad f)$$

Соотношения (П.1) получены с использованием производной выражения (П.1 a) по переменному z , Соотношение (П.1, b) указывает на то, что использовавшийся в наших рассмотрениях минимум

$$Z_{min} = F[X, Y]_{11z_{opt}} \text{ оператора } Z = F[X, Y]_{11z}$$

является минимумом миниморумом в классе операторов $Z = F[X, Y]_{klz}$.

Приложение 3.

В отличие от рассмотренного процесса заражения и гибели с вероятностью заражения P и рисками условным R и безусловным R_e рассматривается общий процесс рождения и гибели без условия заражения. В нем при том же безусловном риске R_e

вводится вероятность B рождения. В обоих процессах идет речь об особи однородной популяции в стационарном режиме численностью в $N = const$ особей.

В стационарном процессе рождения и гибели на каждом фиксированном интервале Δt времени в среднем рождается постоянное число $B=const$ особей, имеющих одно и то же время $L=const$ жизни, равное средней продолжительности жизни (СПЖ) особи популяции. Отсюда очевидно следует соотношение

$$B L=N, \quad (\text{П.2})$$

(см. [1, с. 255, рис. 3.4]).

Но в стационарном случае численность родившихся B совпадает с численностью $N R_e$ погибших, т. е. $B = N R_e$. Подставив выражение B в соотношение (П.2) и сократив обе его части на величину N , получим соотношение (20).

Выражаю благодарность докторам Г. Горелику и С. Флейшману за важные замечания, учтенные автором в окончательной редакции текста этой работы.

Список литературы

1. Флейшман Б.С. Основы системологии. Радио и связь, Москва,1982. (2-е изд. Bentsion Fleishman. Fundaments of Systemology. Lulu. New York, 2008).
2. Горелик Г.Е. Объяснение Гессена и вопрос Нидэма, или как марксизм помог задать важный вопрос и помешал ответить на него // Эпистемология и философия науки 2018. Т. 55. № 3. С. 153–171.

УДК 005.311

doi:10.18720/SPBPU/2/113

Соколов Борис Владимирович¹,

д-р техн. наук, профессор,
главный научный сотрудник-руководитель лаборатории;

Потрясаев Семен Алексеевич²,

канд. техн. наук, старший научный сотрудник;

Юсупов Рафаэль Мидхатович³,

д-р техн. наук, член-корр. РАН,
научный руководитель института

МЕТОДОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОАКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ В ПРОМЫШЛЕННОМ ИНТЕРНЕТЕ

^{1, 2, 3} Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия,
¹sokolov_boris@inbox.ru, ²semp@mail.ru, ³yusupov@iias.spb.su

Аннотация. В статье предлагаются методология и методическое обеспечение динамического синтеза технологий и программ проактивного управления информационными процессами в промышленном интернете. Приводятся примеры