СТИМУЛЫ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ ЭМОЦИЙ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СУБЪЕКТОВ

Картвелишвили Василий Михайлович
доктор физико-математических наук, профессор кафедры математических методов в экономике РЭУ им. Г. В. Плеханова.
Адрес: ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова», 117997, Москва, Стремянный пер., д. 36.
E-mail: VMK777@mail.ru

Лебедюк Эдуард Андреевич
аспирант кафедры математических методов в экономике РЭУ им. Г. В. Плеханова.
Адрес: ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова», 117997, Москва, Стремянный пер., д. 36.
E-mail: lebeduk93@gmail.com

Изучение процесса влияния эмоций на действия индивидуума и квантификация данного процесса – актуальные задачи современной науки. В статье описаны основные формальные модели эмоций, показана история их эволюции от первых попыток создания до современных достижений науки как зарубежных, так и отечественных исследователей. Предложена авторская модель эмоционального состояния человека. На ее основе разработана информационная система, моделирующая эмоциональное состояние социоэкономического агента. Дано психологическое обоснование результата взаимодействия нескольких эмоций во времени. Представленные авторами функции эмоционального состояния позволяют адекватным образом отразить эмоционально-психологическое восприятие человеком своих реакций.
Ключевые слова: математическая модель, человеческий потенциал, оплата труда, тип характера, эмоциональный тон.

STIMULI AND A MATHEMATICAL MODEL OF EMOTIONS' INTERFERENCE IN ECONOMIC SUBJECTS

Kartvelishvili, Vasilii M.
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department for Mathematical Methods in Economics of the PRUE.
Address: Plekhanov Russian University of Economics, 36 Stremyanny Lane, Moscow, 117997, Russian Federation.
E-mail: VMK777@mail.ru

Lebedyuk, Eduard A.
Post-Graduate Student of the Department for Mathematical Methods in Economics of the PRUE.
Address: Plekhanov Russian University of Economics, 36 Stremyanny Lane, Moscow, 117997, Russian Federation.
E-mail: lebeduk93@gmail.com

Studying of process of influence of emotions on actions of an individual and quantification of this process – actual problems of modern science. In article the main formal models of emotions are described, the history of their evolution from the first attempts of their creation before modern achievements of science of both foreign, and domestic researchers is shown. The author's model of an emotional condition of the person is offered. On her basis the information system emulating an emotional condition of the person is developed. Psychological justification of result of interaction of several emotions in time is given. The presented functions of an emotional state allow to reflect adequately emotional and psychological perception the person of the reactions.
Keywords: mathematical model, human potential, compensation, character type, emotional tone.

Эмоции – важная форма познания и отражения действительности человеком, при которой актуализируются не столько свойства окружающего мира, сколько субъективное отношение к ним. Эмоция – это рефлекторная адаптивная психофизиологическая реакция, связанная с проявлением субъективного пристрастного отношения (в виде переживаний) к значимой ситуации и ее исходу и способствующая организации и обеспечению целесообразного с точки зрения целостности и сохранности организма поведения человека [2]. Эмоции характеризуются отчетливо выраженной интенсивностью (достаточно сильно выраженное переживание человеком горя, радости); ограниченной продолжительностью (эмоция длится относительно недолго, ее продолжительность ограничена временем непосредственного действия причины или временем вспоминания о ней); хорошей осознаваемостью причины ее появления; связью с конкретным объектом, обстоятельством; полярностью (радость и печаль, гнев и страх). Включение психологических аспектов в описание социально-экономических отношений – интересная проблема: сложная из-за слабой формализуемости, но остающаяся актуальной в силу непрерывно меняющихся окружающей среды и внутреннего мира индивидуума. Созданию компьютерных средств моделирования статических и динамических аспектов психоэмоционального отклика человека на стимулирующие воздействия, или, иными словами, компьютерной симуляции эмоций, начинают уделять возрастающее внимание по причине прикладного характера исследований [3–7].

Существует много областей, где применяется моделирование эмоций. Искусственные эмоции (ИЭ) могут использоваться для решения проблем в экономических, социальных и прочих симуляциях. Модели эмоций могут также использоваться для тестирования психологических теорий эмоций и в психологических экспериментах. Наконец, эмоции важны для обеспечения правдоподобия машинно-человеческих интерфейсов. Модели эмоций, синтезирующие и выражающие реальные эмоции, необходимы для создания ИЭ, более схожих с реакциями человека.

Формальные модели эмоций

Важно отметить отсутствие единой классификации эмоций. Их существует

большое множество в зависимости от используемых признаков и задач, решаемых классификацией. Проведем критический анализ моделей эмоций отечественных и зарубежных авторов с целью позиционирования предлагаемой модели эмоций, пригодной для использования в качестве основы при моделировании мультиагентного взаимодействия с учетом эмоционального состояния агентов.

Модели и идеи XX в.

Первые идеи формального моделирования эмоций появились в 1960-е гг. вследствие создания первых когнитивных и экспертных систем. Отсутствие в них поправок на эмоции, присутствующих и/или доминирующих в процессе принятия решения индивидуумом, привело к необходимости как-либо учитывать эмоции.

Один из первых шагов в реализации компьютерного моделирования эмоций был сделан психологом М. Тодой [15]. Изначально предполагалось создать симуляцию системы, которая потребует разделения внимания агента на несколько проблем одновременно. В сценарии цель состояла в добыче руды с помощью робота. Работа робота требовала топлива, наличествующего в ограниченном количестве. Кроме того, различные роботы конкурировали за те же самые ресурсы, делая, таким образом, сценарий более сложным. Был сделан вывод, что для продолжительного выживания у агентов должны быть эмоции, названные Тодой потребностями. При ближайшем рассмотрении очевидно, что некоторые из них представляют собой фактические эмоции, такие как радость или гнев, в то время как другие – потребности, цели или побуждения (например, голод).

Другим подходом стала система прерываний Г. Саймона [13], который предположил, что эмоции суть часть познавательных процессов. Его идея состояла в обеспечении теоретической основы для модели, включающей эмоции и цели. В рамках этого подхода допускалось, что процессы могут быть прерваны для переключения внимания на удовлетворение более важных потребностей (например, голода, безопасности). Предполагалось существование двух параллельных систем: одной – для достижения целей (познание, планирование), второй – для наблюдения за окружающей средой с целью обнаружения событий, требующих пристального внимания (эмоции). Полагалось, что возможность прерывания текущих познавательных процессов жизненно важна для выживания, поскольку позволяет уделить больше внимания изменению среды, ожидая и реагируя на возникновение угрозы.

Более современный подход к имитации эмоций представлен в модели А. Ортони, Г. Клора и А. Коллинса (OCC) [12] – теории эмоций, разработанной для получения качественных экспертных оценок эмоционального состояния.

Основой модели служит представление эмоций как реакции на свойства объектов, событий или действий. Внутренние события (такие как физиологические потребности или память на предыдущие раздражители), которые лежат в основе ряда других теорий эмоций, в подходе OCC не учитывались. Предметы, события и действия оцениваются на основе набора критериев, поэтому агент испытывает несколько эмоций разной интенсивности, основные из которых представлены на рис. 1.

Блок «Свойства объектов» подразумевает наличие у агента отношения к ним (вкусы или предпочтения) для того, чтобы решить, привлекателен ли объект или нет. В результате этого процесса оценки возникает любовь или ненависть. К ограничительным особенностям данной модели отнесем антагонистическую градацию – объект может оцениваться актором только по его привлекательности.

Блок «Последствия событий» оценивается посредством анализа их воздействия на достижение целей агента. Это определяет желательность событий. Степень желательности зависит от того, насколько ближе или дальше от достижения цели

агент будет после наступления события. Эмоции удовлетворения и горя – это прямой результат желательных и нежелательных событий, учитывая последствия для самого агента. При этом иные эмоции, например сострадание, возникают при оценке события, имеющего последствия для других агентов. Заметим, что в модели ОСС открытым остается вопрос о соотношении оценок достижения собственных целей агента и целей другого агента. Сложно сказать, насколько агент сочувствует, если кто-то другой теряет что-то, что для него не важно? В попытке разрешить эту проблему были введены абстрактные цели. В конечном итоге стала ясна важность общих и абстрактных целей для ухода от необходимости определять слишком много конкретных целей. Тем не менее эмоции, вызванные взаимодействием с положительными или отрицательными последствиями событий для других агентов, зависят от отношения к ним. Неудача другого агента может вызвать сострадание или злорадство, а положительное событие может привести либо к ощущению радости, либо обиды в зависимости от отношений между агентами.

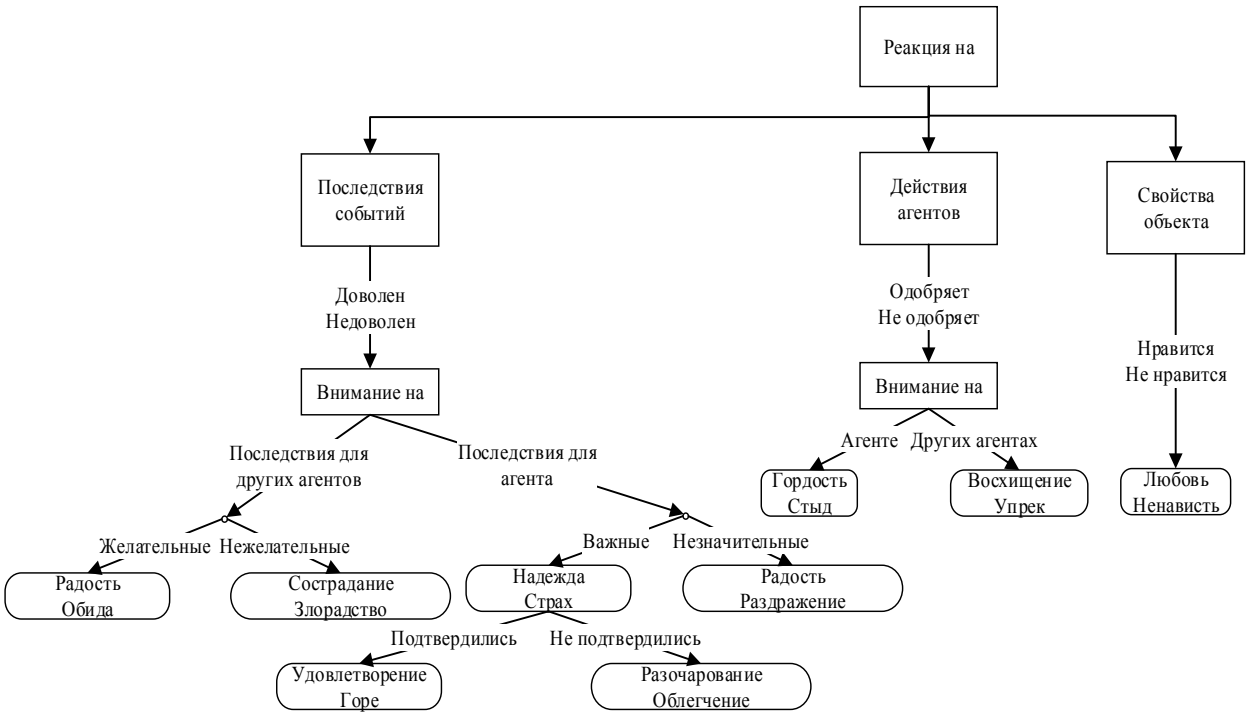


Рис. 1. Классификация эмоций по ОСС

Оценка события также означает и оценку своих перспектив с надеждой или опасением, что что-то будет или не будет происходить. Эмоциональное ожидание результата позитивного для агента события есть удовлетворение или разочарование, негативного – горе или облегчение в зависимости от того, произошло событие или нет. Интенсивность этих эмоций, как правило, зависит от интенсивности предшествующих надежды или страха.

Критерием для оценки в блоке «Действия агентов» выбрано их соответствие моральным, этическим и прочим нормам агента. Как правило, похвальные действия вызывают гордость, а порицательные – стыд, если действует сам агент. В случае, когда оцениваются действия других агентов, возникают эмоции восхищения или упрека. Наиболее сложные вопросы данной модели – как установить (даже как сформулировать) моральные, этические и

прочие нормы агента, как ранжировать каждое новое событие в соответствии с ними. Стандарты могут быть столь же сложными, как свойства объектов и последствия событий, и почти так же субъективны и индивидуальны. Авторами модели ОСС была предпринята попытка решения этой проблемы путем абстрагирования и обобщения – перечисления всех действий в абстрактной форме. К интересному факту отнесем способность испытывать чувства гордости или стыда за действия другого агента. Чем ближе агент ассоциирует себя с действующим агентом, тем больше он будет идентифицировать себя с ним в оценке его действий. Примером этого служат родители, гордящиеся своим ребенком, или футбольные фанаты, стыдящиеся выступления своей команды.

Модели и идеи XXI в.

Модель ОСС породила много последователей, использующих и развивающих идеи ОСС.

Модель Дж. Гратча (EMA) [11] восходит к модели ОСС. В ней для описания эмоций используется несколько переменных: полезность (U), желательность (D), вероятность события (p) и т. п., с помощью которых эмоции определяются в соответствии с табл. 1.

Таблица 1

Параметры оценки

Параметр		Описание
Актуальность		Требует ли событие внимания или адаптивной реакции
Желательность		Событие способствует или мешает целям человека
Каузальная атрибуция	Агент	Какой агент стал причиной события
	Отношение	Заслуживает ли агент поощрения или обвинения
Вероятность		Как вероятно событие, как вероятен исход
Неожиданность		Предсказывается ли событие из предшествующих знаний
Необходимость		Ухудшит ли последствия отсрочка реакции
Вовлечение эго		В какой степени событие затрагивает эго агента (социальное положение, нравственные ценности, убеждения и т. д.)
Потенциал принятия	Управляемость	В какой степени возможно повлиять на событие
	Изменчивость	В какой степени событие может самомодифицироваться
	Мощность	В какой степени данный агент может повлиять (прямо или косвенно) на событие
	Приспособляемость	Может ли агент жить с последствиями события

Обычно перспектива не рассматривается как переменная в теориях оценки, одним из ключевых аспектов оценки эмоций считается способность рассуждать о том, как события или действия самого агента повлияют на других агентов. Учитывая, что причинная интерпретация события соответствует собственной субъективной интерпретации агента, любая оценка отношений «агент – окружающая среда» в конечном счете суть собственная точка зрения агента. Тем не менее ясно, что агенты считают эмоциональное влияние событий на других агентов отличающимся от их собственного. Такое рассуждение лежит в основе таких социальных эмоций, как чувство вины или стыда. Поэтому в EMA при моделировании событий используют перспективу каждого из агентов, участвующих в событии. Все переменные, описанные далее, рассматриваются как условные точки зрения агента на событие.

Выделим основные характеристики оценки эмоции.

Актуальность. Это существенность события для агента. В EMA актуальность приравнена к полезности. Исход события считается существенным, если он способствует или препятствует переходу в состояние с ненулевым изменением полезности, которое больше определенного порога. EMA строит оценки событий только для тех агентов, актуальность события для которых больше этого порога.

Желательность. Событие желательно, если оно приводит к переходу к состоянию с положительным изменением полезности или делает невозможным переход к состоянию с отрицательным изменением полезности. И наоборот, событие нежелательно, если оно приводит к переходу к состоянию с отрицательным изменением полезности или делает невозможным переход к состоянию с положительным изменением полезности. Желательность имеет две роли в оценочных теориях эмоций, категорически разделяя определенные эмоции (радость/горе; надежда/страх) и выступая в качестве значения интенсивности (т. е. фактора, определяющего интенсивность реакции). В EMA величина положительной или отрицательной полезности служит переменной интенсивности. Событие не оценивается с точки зрения агента, если последствие не имеет для него полезности.

Вероятность. Она характеризует уверенность в факте, что событие произойдет. Вероятность имеет две роли в оценочных теориях эмоций, категорически разделяя определенные эмоции (радость/надежда; горе/страх) и выступая в качестве значения интенсивности. EMA приравнивает вероятность к вероятности события.

Каузальная атрибуция. Это характеристика (положительная или отрицательная) агента, вызвавшего событие. В общем случае процесс оценки агента включает следующие вопросы: кто вызвал событие; думал ли он о последствиях; было ли событие намеренным; было ли событие свободным волеизъявлением агента? В идеале каузальная атрибуция будет учитывать все эти факторы. В EMA каузальная атрибуция присваивается агенту, непосредственно вызывающему событие. Заслуживает ли агент позитивное или негативное поощрение – это зависит от того, желателен ли результат с точки зрения оценивающего агента. Вес поощрения зависит как от желательности события, так и от его вероятности. Важно отметить, что некоторые психологические теории определяют каузальную атрибуцию более узко, с точки зрения соответствия социально-культурным нормам.

Управляемость. Это мера потенциала агента к уходу от отрицательных или поддержанию положительных обстоятельств. Она вычисляется путем выявления действий, влияющих на оцениваемое событие. Например, если желаемая цель находится под угрозой и некоторое новое событие может восстановить вероятность достижения цели, то агент, связанный с этим действием, имеет определенный контроль, эквивалентный вероятности этого восстановления. В EMA управляемость равна максимуму вероятности всех таких причинных воздействий.

Изменчивость. Это мера того, насколько вероятно, что оцениваемое событие изменится без прямого вмешательства некоторого агента. В модели EMA это соответствует вероятности того, что событие будет изменено чем-либо, кроме непосредственного воздействия агента, с перспективы которого происходит оценка. Например, надвигающаяся угроза может быть оценена как изменчивая, если эффект от угрожающего действия представляется агенту неопределенным.

Управляемость и изменчивость связаны с возможностью агента справиться (проблемно ориентированно) с оцениваемым событием.

Описание эмоций приведено в табл. 2. Следует отметить, что приведен только наиболее обобщенный механизм работы.

Таблица 2

Эмоции и интенсивность

Конфигурация	Эмоция	Интенсивность
$D > 0,\ p < 1{,}0$	Надежда	$D \cdot p$
$D > 0,\ p = 1{,}0$	Радость	$D \cdot p$
$D < 0,\ p < 1{,}0$	Страх	$\lvert D \cdot p \rvert$
$D < 0,\ p = 1{,}0$	Горе	$\lvert D \cdot p \rvert$

Модель KARO (Knowledge, Actions, Results and Opportunities – знание, действие, результат и возможности) [14], предложенная Б. Стеунебринком, М. Дастани и Дж. Мейером, – формализация модели ОСС на основе формальной логики. Фреймворк KARO – смесь динамической и модальной логики, используемой для описания мотивационных процессов агентов.

Перейдем к модели, предложенной в работах В. О. Леонтьева [8; 9]. Здесь эмоция определяется как числовая функция (имеющая смысл силы эмоции) от некоторого набора параметров, описывающих ситуацию. Для каждого вида эмоций описан свой набор параметров. Для каждого агента (человека, животного, робота) и для каждой эмоции возможна своя функция F, определяющая силу эмоции в зависимости от величины аргументов: $E = F(\ldots)$.

Такие общие представления близки к ОСС. Различие заключается в выборе и наборе параметров, соответствующих каждой эмоции. Основной параметр для утилитарных эмоций – количество полученного (потерянного) ресурса R, или уровень достижений. Если ситуация описывается только этим параметром, то при $R > 0$ возникает эмоция радости, при $R < 0$ возникает горе. Таким образом, для радости и горя $E = F(R)$.

При этом подразумевается, что оцениваемое событие уже произошло и величина R точно известна. Эмоции, возникающие после завершения ситуации, называются констатирующими. Если ситуация еще не завершилась, то в модели ситуации агента может быть сформирован прогноз величины R, который обозначается PR. Параметр PR формирует предшествующие эмоции: при $PR > 0$ – надежду, при $PR < 0$ – страх. Для надежды и страха $E = F(PR)$. В частности, если рассмотреть параметр R как функцию от времени $R = R(t)$, то прогноз можно делать с помощью производной $\mathrm{d}R(t)/\mathrm{d}t$, откуда при $R(t) > 0$ возникает радость, $R(t) < 0$ – горе, $\mathrm{d}R(t)/\mathrm{d}t > 0$ – надежда, $\mathrm{d}R(t)/\mathrm{d}t < 0$ – страх.

В графическом виде представление спектра эмоций возможно в виде куба (рис. 2) [9], где верхняя грань – положительные эмоции, нижняя грань – отрицательные эмоции, левая грань – предвосхищающие эмоции, правая грань – констатирующие эмоции, передняя грань – эмоции, направленные на себя.

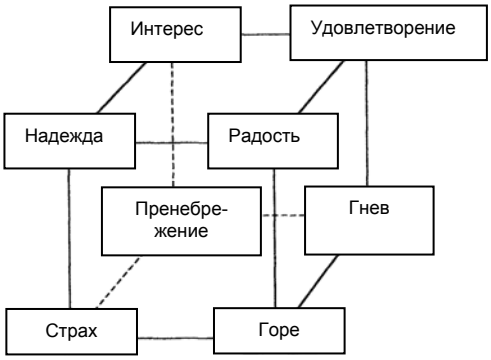


Рис. 2. Эмоции, возникающие на основе личных потребностей

Следует отметить отсутствие сведения различных эмоций в единое эмоциональное состояние человека в рамках данной модели и малое внимание автора к самому процессу протекания эмоции во времени.

Модели, созданные под руководством О. Г. Пенского [1; 10] оперируют математически формализованным понятием эмоции и эмоциональной памяти. На их осно-

ве построены модели конфликта в группах роботов. Автор абстрагируются от конкретных эмоций человека. Здесь эмоция есть реакция робота на сюжет (событие), но она не связана с человеческими эмоциями, например, страхом или радостью.

Перспективная *KL*-модель взаимовлияния эмоций

Анализ литературы показывает, что есть ряд актуальных проблем, на которые нет окончательных ответов, например:

– объективное определение силы и знака эмоции;

– закон убывания силы эмоции в зависимости от времени и расстояния;

– алгебраические свойства эмоций и эмоциональная логика;

– алгоритмы и формулы эмоций;

– связь сознания, мышления и эмоций.

Кроме того, к недостатку существующих моделей отнесем отсутствие внимания исследователей к моделированию общего состояния актора. Последний может находиться одновременно под влиянием нескольких эмоций, которые вместе формируют его психоэмоциональное состояние в данный момент времени. Однако если вопрос протекания одной эмоции в некоторой степени изучен, то перевод эмоций на общее состояние актора требует исследования. Под этим понимаются два ключевых вопроса: во-первых, как эмоции отображаются на эмоциональном состоянии и, во-вторых, как текущее эмоциональное состояние влияет на новые переживаемые эмоции?

Предложим математическую модель эмоционального состояния субъекта – *KL-модель*. В рамках данной модели построим симуляцию поведения субъектов и их реакции при воздействии на них различных стимулов, предположив, что каждый индивид стремится к максимальному удовлетворению всех своих потребностей в максимально долгосрочном периоде, а продолжительность периодов разнится в зависимости от рациональности субъекта. В разрабатываемой *KL*-модели используются следующие понятия: *актор* – субъект, действующий на другие субъекты единолично либо во взаимодействии с другими субъектами; *эмоция* $E = (\tau, k, \theta)$ – психологическая реакция актора на раздражитель (событие); *эмоциональный пик* E^* – нормированное к единице значение максимального эмоционального напряжения актора, при этом для моделирования отдельной эмоции E используем гамма-распределение, определенное на неотрицательном отрезке числовой прямой:

$$E(\tau, k, \theta) = \tau^{k-1} \frac{e^{-\frac{\tau}{\theta}}}{\theta^k \Gamma(k)}, \qquad (1)$$

где $\Gamma(k)$ – гамма-функция Эйлера [16], $\Gamma(k) = \int_0^\infty x^{k-1} e^{-k} dx$, ;

$\theta \in [0; 5]$ – субъективная важность стимула, вызвавшего данную эмоцию;

$k \in [1; 10]$ – стабильность – реактивность психики актора;

$\tau \geq 0$ – локальное время, прошедшее с момента возникновения данной эмоции.

Пусть $t \in [0; \infty)$ – абсолютное время симуляции переживаний актора. Тогда при возникновении в момент времени $t_i \in [0; \infty)$ отдельной эмоции E_i ($i = 1, 2, \ldots$) ее локальное время протекания τ_i равно $t - t_i$ и $\tau_i \in [t_i; \infty)$. Рассматривая далее отдельную эмоцию, индекс i для краткости опускаем.

В *KL*-модели (1) параметр важности θ задает характер протекания эмоции E во времени τ и определяет относительную величину эмоционального пика E^* (рис. 3).

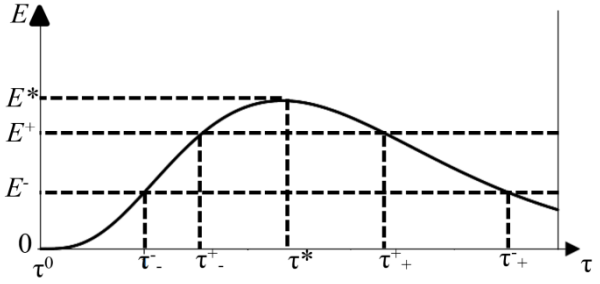


Рис. 3. Моделирование протекания эмоции (k = 4,5; θ = 1,5; τ^* = 2,33; E^* = 0,31)

При этом форма протекания эмоции зависит и от параметра стабильности k.

Чем меньше k, тем раньше наступает эмоциональный пик и тем ярче он выражен. Наоборот, при больших значениях параметра стабильности k момент достижения эмоционального пика τ^* отдаляется от момента начала ощущения эмоции τ^0 и пик менее резко выражен. Сказанное подтверждает сравнение графиков индивидуальных эмоций актора, описываемых *KL*-моделью на рис. 4, где опорный график протекания эмоции 1 построен при k = 4,2 и θ = 1,5. Влияние параметра θ (важности стимула) на протекание эмоции показано на рис. 4, *а* при θ^- = 1,05 < θ^+ = 2,5. На рис. 4, *б* показано влияние параметра k (стабильности) на протекание эмоции при k^- = 2,2 < k^+ = 6,2.

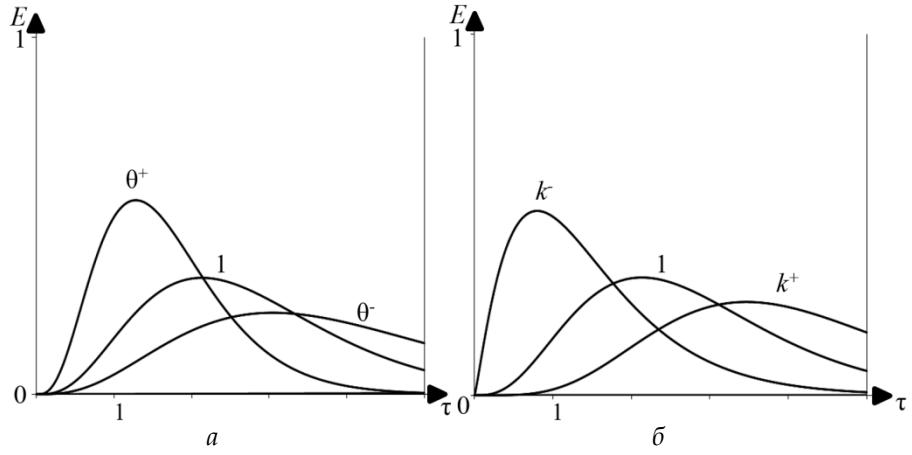


Рис. 4. Моделирование протекания эмоции 1 (k = 4,2; θ = 1,5), θ^+ (k = 4,2; θ = 2,5), θ^- (k = 4,2; θ = 1,05), k^- (k = 2,2; θ = 1,5), k^+ (k = 6,2; θ = 1,5)

В *KL*-модели (1) проявление отдельной эмоции характеризуется следующими временными факторами: моментом $\tau^0 = 0$ – началом ощущения эмоции и моментом $\tau^* = (k - 1)\theta$ – временем достижения актором эмоционального пика E^*. Таким образом, выражение для достигаемого в момент τ^* максимального эмоционального отклика E^* согласно (1) имеет следующий вид:

$$E^* = E(\tau^*; k; \theta) = E((k - 1)\theta; k; \theta).$$

Считаем также, что с момента времени $\tau = \tau^0$ по момент времени $\tau = \tau^-_-$ и начиная с момента $\tau = \tau^-_+$, т. е. при $\Delta^\downarrow_- = [\tau^0; \tau^-_-]$ и $\Delta^\downarrow_+ = [\tau^-_+; \infty)$, испытываемой эмоции свойственен скрытый, не проявляемый внешне, внутренний характер, при этом E не превосходит E^-. На интервале $\Delta^\uparrow = [\tau^-_-; \tau^-_+]$ эмоция носит открытый характер. При этом в промежутках времени $\Delta^\uparrow_- = [\tau^-_-; \tau^+_-]$ и $\Delta^\uparrow_+ = [\tau^+_+; \tau^-_+]$ эмоция, становясь внешне заметной (проявляемой), контролируема и имеет интенсивность от E^- до E^+. В интервале времени $\Delta^* = [\tau^+_-; \tau^+_+]$ эмоция превышает порог E^+, становясь неконтролируемой, и при $\tau = \tau^* \in \Delta^*$ достигает своего пика E^*.

Таким образом, справедливы включения $\Delta^\downarrow = \Delta^\downarrow_- \cup \Delta^\downarrow_+$, $\Delta^\uparrow = \Delta^\uparrow_- \cup \Delta^* \cup \Delta^\uparrow_+$, $\Delta = \Delta^\downarrow \cup \Delta^\uparrow$, а значения величин $\tau^-_- < \tau^+_- < \tau^* < \tau^+_+ < \tau^-_+$ и $E^- < E^+ < E^*$ определяются психологическим типом субъекта. Заметим, что параметр стабильности k для *KL*-модели может быть вычислен по многим психологическим опросникам, например, по личностному опроснику Айзенка.

На рис. 5 представлены две эмоции, переживаемые одним актором. Эмоция 2 практически сразу после возникновения переходит в неподконтрольную актору фазу $E \geq E^+$. С другой стороны, эмоция 1 ощущается актором более спокойно и не переходит в неконтролируемую фазу, проявляясь только контролируемо при $E \leq E^+$.

Значения E^-, E^+ определяются психологическим типом субъекта: сангвиник и флегматик представляют тип личности с

высоким уровнем стабильности и соответственно с высокими значениями E^-, E^+; холерик и меланхолик относятся к типам личности с низким уровнем стабильности и соответственно с низкими значениями E^-, E^+.

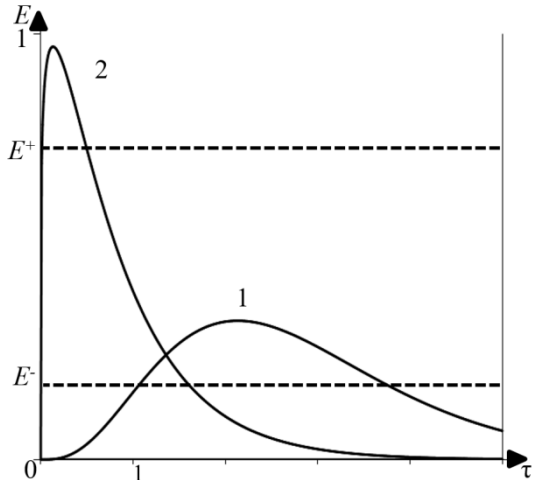


Рис. 5. Моделирование протекания эмоции 1 (k = 4,2; θ = 1,5) и эмоции 2 (k = 1,2; θ = 1,5)

Перейдем от описания модели протекания отдельной эмоции к моделированию процесса формирования кратковременной эмоциональной памяти и взаимовлиянию эмоций. Эмоциональная реакция актора на событие зависит не только от самого события, но и от предшествующих событий, отложившихся в памяти актора. В кратковременном периоде назовем данную психологическую реакцию эмоциональным состоянием.

В *KL*-модели считаем, что *эмоциональное состояние актора* к моменту времени t – это состояние субъекта, вызванное воздействием переменного числа эмоций в предшествующие и текущий моменты времени.

Имеем

$T_t = T(t, A)$, $A = F(F_1(E_i), F_2(E_2), \ldots, F_i(E_i))$,

где t – текущее время расчета;

A – определяемый функционалом F кумулятивный эффект предшествующих эмоций, т. е. всех эмоций от 1-й до текущей i-й, пережитых актором в промежуток времени $[0, t]$.

Таким образом, эмоциональное состояние актора в момент времени t есть результат взаимодействия всех эмоций в данный момент и предыдущего эмоционального состояния, при этом указанный рекурсивный закон, определяющий вид A, зависит от психологического типа актора.

Пусть возникшая в момент времени t_i эмоция E_i отражается в момент времени $t = t_i + \tau_i$ на эмоциональном состоянии субъекта T_t начиная с момента ее проявления $t^{\uparrow -} = t_i + \tau_i^-$. Считаем, что существенное влияние на субъективно оцениваемый акторами эмоциональный фон переживаемой ситуации может оказать лишь внешне заметная эмоция при $E_i > E_i^-$, т. е. эмоция, проявляемая актором на интервале времени $\tau_{i^-} < \tau_i < \tau_{i^-+}$, т. е. $t_i + \tau_{i^-} < t < t_i + \tau_{i^-+}$ (индекс i, как и ранее, в дальнейшем опускаем). Накапливаемую кратковременную эмоциональную память T к моменту времени t при $\tau \in \Delta\uparrow$ определим по формуле

$$T_t = e^{-\alpha(\tau - \tau_-^-)} \cdot I_\tau, \qquad (2)$$

где α – коэффициент затухания эмоции, зависящий от психологического типа актора;

I_τ – интенсивность переживания эмоции в момент τ, $I_\tau = \frac{1}{\tau - \tau_-^-} \cdot F_\tau$, где F_τ – кумулятивно накопленное эмоциональное напряжение от испытания эмоции актором на локальный момент τ, $F_\tau = \int_{\tau_-^-}^{\tau} E(t, k, \theta)dt$.

В случае если активно проявляемой эмоции нет, т. е. $\tau \in \Delta\downarrow$, эмоциональное состояние T_t в момент $t > t^{\downarrow -} = t_i + \tau_{i^-+}$ (индекс i далее опускаем) стремится по закону

$$T_t = T_{t\downarrow_-} \cdot e^{-\beta(t - \tau_+^-)} \qquad (3)$$

к значению $R = e^{-\beta(\tau_+^- - \tau_-^-)} \cdot I_{\tau_+^-}$, которое назовем *порогом остаточного кратковременного влияния эмоции*, где β – коэффициент затухания эмоции, зависящий от психологического типа актора.

По достижении эмоциональным состоянием T_t в момент времени $t^{R\downarrow}$ значения

R кратковременная эмоциональная память начинает стремиться к нулю по закону

$$T_t = R \cdot e^{-\delta\left(t-\tau_+^-\right)}, \qquad (4)$$

где δ – коэффициент затухания эмоции, зависящий от психологического типа актора.

Проекция текущей эмоции с характеристиками (k = 1,2 и θ = 1,5) на предыдущее нулевое эмоциональное состояние актора представлена на рис. 6.

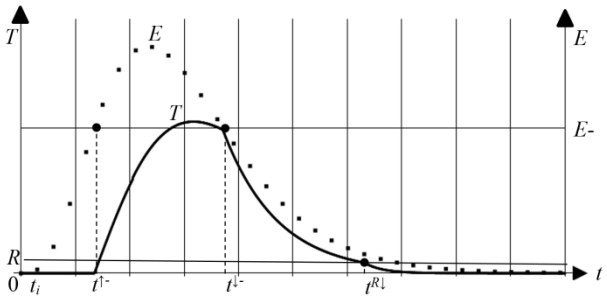


Рис. 6. Симуляция формирования эмоционального состояния T актора, испытывающего положительную эмоцию E (k = 4,2 и θ = 1,5)

Рассмотрим пример симуляции эмоционального состояния актора (рис. 7), испытывающего два возникающих события соответственно в моменты t_1 и t_2, которые по отдельности вызывают одинаковый положительный эмоциональный отклик с характеристиками (k = 1,2 и θ = 1,5).

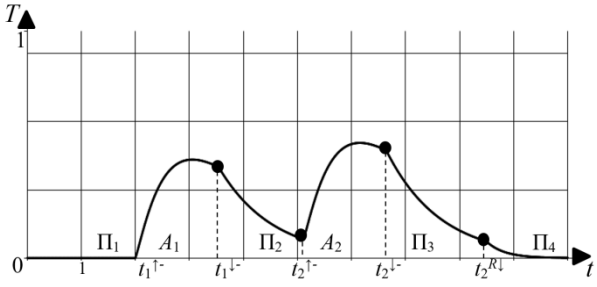


Рис. 7. Симуляция эмоционального состояния актора, испытывающего две положительные эмоции

В начальном периоде $П_1$ актор находится в обычном состоянии и не испытывает активных эмоций, так как его эмоциональное состояние равно нулю и в отсутствие воздействий на актора оно остается равным нулю до появления первой эмоции. Начиная с момента $t_1^{\uparrow-}$ и в период $A_1 = \Delta_1^{\uparrow}$ актор активно переживает первую положительную эмоцию E_1. Во время всего периода A_1 эмоция E_1 активна, и ее ощущение актором приводит к повышению его эмоционального состояния по закону (2). В момент $t_1^{\downarrow-}$ первая эмоция перестает активно проявляться, но тем не менее продолжает проявляться пассивно согласно (3) и (4). На эмоциональное состояние, вызванное первой эмоцией, накладывается активно переживаемая с момента $t_2^{\uparrow-}$ на интервале A_2 вторая эмоция, которая перестает активно проявляться с $t_2^{\downarrow-}$ на участке $П_3$. На участке $П_3$ эмоциональное состояние актора стабилизируется и стремится к порогу остаточного влияния эмоции согласно (3), а начиная с момента $t_2^{R\downarrow}$ на участке $П_4$ эмоциональное состояние актора стремится к нулю согласно (4). Отметим, что максимальная величина эмоционального состояния E^*, достигаемого актором при переживании эмоций E_1 и E_2, различается в результате того, что эти эмоции переживаются актором при разном «прошлом» T_t – кумулятивном эффекте всех пережитых эмоций. И действительно, социоэкономический агент переживает эмоции в контексте своего предыдущего опыта, эмоций и ощущений, которые в существенной мере и определяют его реакцию в будущем.

Рассмотрим другой вариант, при котором актор также испытывает две одинаковые эмоции (k = 1,2 и θ = 1,5), однако одну – положительную E_1, а другую – отрицательную E_2 (рис. 8).

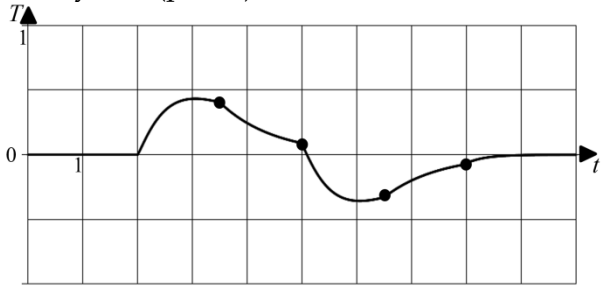


Рис. 8. Симуляция эмоционального состояния актора, испытывающего положительную и отрицательную эмоции

К примеру, в процессе выполнения рабочего задания работник получает похвалу, а затем выговор от своего работодателя. Видно, что первая эмоция, хоть и перестала быть активной, тем не менее смягчила реакцию на следующую за ней негативную эмоцию.

Таким образом, созданная *KL*-модель протекания эмоций и процесса формирования кратковременной эмоциональной памяти актора, а также основанная на ней информационная система позволили в рамках математической модели продемонстрировать основные тренды эмоционального состояния экономического субъекта.

Список литературы

1. Гипотезы и алгоритмы математической теории исчисления эмоций : монография / под общ. ред. О. Г. Пенского. – Пермь : Перм. гос. ун-т., 2009.

2. *Ильин Е. П.* Эмоции и чувства. – 2-е изд. – СПб. : Питер, 2008.

3. *Картвелишвили В. М., Крынецкий Д. С.* Материальная оценка труда как личностно-стимулирующий фактор // Вестник Российского государственного торгово-экономического университета. – 2015. – № 3 (91). – С. 89–98.

4. *Картвелишвили В. М., Крынецкий Д. С.* Мотивационно-личностные функционалы оплаты труда // Россия и СНГ: геополитическая и экономическая трансформация : труды Международной научно-практической конференции. – М. : Спецкнига, 2014. – С. 91–95.

5. *Картвелишвили В. М., Крынецкий Д. С.* Эмоции, характер, стимул: математические модели // Вестник Российского государственного торгово-экономического университета. – 2014. – № 10 (89). – С. 81–94.

6. *Картвелишвили В. М., Лебедюк Э. А.* Программные средства моделирования эмоционального тона социально-экономического взаимодействия субъектов // Менеджмент и Бизнес-Администрирование. – 2015. – № 3. – С. 132–137.

7. *Картвелишвили В. М., Моисеев Н. А.* Эмоции и время // Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. – 2012. – № 6 (48). – С. 86–93.

8. *Леонтьев В. О.* Десять нерешенных проблем теории сознания и эмоций. – URL: http://www.neuroscience.ru/filedata/fetch?id=87639 (дата обращения: 21.06.2016).

9. *Леонтьев В. О.* Формулы эмоций. – URL: http://www.raai.org/conference/cai-08/files/cai-08_paper_165.doc (дата обращения: 21.06.2016).

10. *Пенский О. Г., Черников К. В.* Основы математической теории эмоциональных роботов : монография. – Пермь : Перм. гос. ун-т., 2010.

11. *Gratch J., Stacy J.* A Domain-Independent Framework for Modeling emotion // Journal of Cognitive Systems Research. – 2004. – N 4. – P. 269–306.

12. *Ortony A.* Cognitive Structure of Emotions. – Cambridge : Cambridge University Press, 1990.

13. *Simon H. A.* Motivational and Emotional Controls of Cognition // Psychological Review. – 1967. – N 74 (1). – P. 29–39.

14. *Steunebrink B. R., Meyer J.-J. Ch., and Dastani M.* A Formal Model of Emotions: Integrating Qualitative and Quantitative Aspects. – Germany : Dagstuhl Seminar Proceedings, 2008.

15. *Toda M.* Design of a Fungus-Eater // Behavioral Science. – 1962. – N 7. – P. 64–183.

16. *Weisstein E. W.* Gamma Distribution. – URL: http://mathworld.wolfram.com/GammaDistribution.html (дата обращения: 10.02.2016).

References

1. Gipotezy i algoritmy matematicheskoy teorii ischisleniya emotsiy, monografiya [Hypotheses and Algorithms of Mathematic Theory of Emotion Estimation, monograph], edited by O. G. Penskiy. Perm', Perm. gos. un-t., 2009. (In Russ.).

2. Il'in E. P. Emotsii i chuvstva [Emotions and Feelings], 2nd edition. Saint Petersburg, Piter, 2008. (In Russ.).

3. Kartvelishvili V. M., Krynetskiy D. S. Material'naya otsenka truda kak lichnostno-stimuliruyushchiy factor [Material Estimation of Labour as Personality- Stimulating Factor]. *Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo torgovo-ekonomicheskogo universiteta* [Bulletin of the Russian State Trade and Economics University], 2015, No. 3 (91), pp. 89–98. (In Russ.).

4. Kartvelishvili V. M., Krynetskiy D. S. Motivatsionno-lichnostnye funktsionaly oplaty truda [Motivating-Personality Functionals of Remuneration]. *Rossiya i SNG: geopoliticheskaya i ekonomicheskaya transformatsiya, trudy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Russia and CIS: Geopolitical and Economic Transformation, works of the International Conference]. Moscow, Spetskniga, 2014, pp. 91–95. (In Russ.).

5. Kartvelishvili V. M., Krynetskiy D. S. Emotsii, kharakter, stimul: matematicheskie modeli [Emotions, Character, Stimulus: Mathematic Models]. *Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo torgovo-ekonomicheskogo universiteta* [Bulletin of the Russian State Trade and Economics University], 2014, No. 10 (89), pp. 81–94. (In Russ.).

6. Kartvelishvili V. M., Lebedyuk E. A. Programmnye sredstva modelirovaniya emotsional'nogo tona sotsial'no-ekonomicheskogo vzaimodeystviya sub#ektov [Software for Modeling Emotional Tone of Social and Economic Interaction of Entities]. *Menedzhment i Biznes-Administrirovanie* [Management and Business Administration], 2015, No. 3, pp. 132–137. (In Russ.).

7. Kartvelishvili V. M., Moiseev N. A. Emotsii i vremya [Emotions and Time]. *Vestnik Rossiyskogo ekonomicheskogo universiteta imeni G. V. Plekhanova* [Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics], 2012, No. 6 (48), pp. 86–93. (In Russ.).

8. Leont'ev V. O. Desyat' nereshennykh problem teorii soznaniya i emotsiy [Ten Unresolved Problems of the Theory of Consciousness and Emotions]. (In Russ.). Available at: http://www.neuroscience.ru/filedata/fetch?id=87639 (accessed 21.06.2016).

9. Leont'ev V. O. Formuly emotsiy [Emotions' Formulas]. (In Russ.). Available at: http://www.raai.org/conference/cai-08/files/cai-08_paper_165.doc (accessed 21.06.2016).

10. Penskiy O. G., Chernikov K. V. Osnovy matematicheskoy teorii emotsional'nykh robotov, monografiya [Principles of Mathematic Theory of Emotional Robots, monograph]. Perm', Perm. gos. un-t., 2010. (In Russ.).

11. Gratch J., Stacy J. A Domain-Independent Framework for Modeling emotion. *Journal of Cognitive Systems Research*, 2004, No. 4, pp. 269–306.

12. Ortony A. Cognitive Structure of Emotions. Cambridge, USA, Cambridge University Press, 1990.

13. Simon H. A. Motivational and Emotional Controls of Cognition. *Psychological Review*, 1967, No. 74 (1), pp. 29–39.

14. Steunebrink B. R., Meyer J.-J. Ch., and Dastani M. A Formal Model of Emotions: Integrating Qualitative and Quantitative Aspects. Germany, Dagstuhl Seminar Proceedings, 2008.

15. Toda M. Design of a Fungus-Eater. *Behavioral Science*, 1962, No. 7, pp. 64–183.

16. Weisstein E. W. Gamma Distribution. Available at: http://mathworld.wolfram.com/GammaDistribution.html (accessed 10.02.2016).