УДК 338.2

МОДЕЛЬ УЧЕТА РЕГРЕССА ИССЛЕДОВАНИЙ В ПЕРИОД ОТСУТСТВИЯ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Е.Н. Шомова

Предложена и исследована динамическая модель изменения эффективности прикладных исследований в рамках инновационного проекта, учитывающая график финансирования НИР.

Ключевые слова: научно-исследовательская работа, математическое моделирование, эффективность, проект, инновации.

ВВЕДЕНИЕ

При проведении научно-исследовательских работ большое значение имеют преемственность, правильная последовательность исследований и их согласованность. Нарушение цепочки исследовательских процессов может привести к задержке в получении результатов и снижению их качества. Одна из наиболее распространенных причин приостановки исследований состоит в нерегулярном финансировании или прекращении финансирования проекта. Вопросы финансирования инноваций затрагиваются в работах [1—8] и др. Исследователями были выявлены особенности инновационных проектов, рассмотрены проблематика и методология управления инновационными проектами. К сожалению, большинство авторов не уделяют должного внимания таким типичным ситуациям, сопровождающим отечественные инновационные проекты, как нерегулярное финансирование и недофинансирование работ, не учитывается динамика поступления средств на проведение исследовательского этапа инновационного проекта. Однако график поступления финансовых средств, возможные перерывы в финансировании, сопутствующий перерывам регресс прикладных научных исследований оказывают заметное влияние на их результативность. Поэтому актуальны исследования, направленные на создание аналитических, вероятностных моделей, адекватно описывающих наблюдаемые зависимости между прикладными исследованиями эффективностью инновационного проекта и обладающие прогностическими свойствами.

1. ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Прикладные научные исследования, как правило, включают в себя ряд этапов: сбор (получение) исходных данных, освоение нового лабораторного оборудования и методик его использования, длительные опыты, многочисленные проверки и т. п. Таким образом, результаты прикладных исследований появляются не сразу после получения средств на проведение исследований, а с некоторым запаздыванием. Длительность этого запаздывания зависит от сложности (трудоемкости) исследований. В моделях, описанных в работе [9], принимался во внимание только общий объем финансирования на весь период исследований. Предлагаемая в настоящей статье модель пренебрегает трансакциями на освоение финансовых ресурсов, предполагается, что финансовые поступления непосредственно результируются в научные исследования и их эффективность не меняется с течением времени. Для описания динамических процессов традиционно пользуются дифференциальными уравнениями. Инерционность процессов чаще всего описывают дифференциальными уравнениями первого порядка: линейным апериодическим звеном (звеном запаздывания), нелинейным логистическим уравнением или другими нелинейными уравнениями. Эти уравнения представляют собой модели следящих систем, на вход которых поступает заданное значение некоторого параметра, а на выходе появляется динамически меняющееся реальное значение этого параметра, которое с течением времени приближается к заданному значению. В нашем случае заданным значением является статическое значение вероятности $p(r)$, которое соответствует полностью завершенным исследованиям с объемом финансирования r. Поэтому предлагается динамическая модель финансирования исследований инновационного проекта в виде системы дифференциальных уравнений:

$$\dot{p} = p(L(r, p_0, \lambda) - p)/T_1,$$
$$\dot{r} = \nu(t), \qquad (1)$$

где $L(r, p_0, \lambda) = \dfrac{p_0}{e^{-\lambda r}(1-p_0)+p_0}$, $r(t)$ — средства, полученные на проведение исследований к моменту t с начала финансирования, $\nu(t)$ — скорость поступления средств, руб./мес. Параметр λ характеризует максимальную скорость возрастания логистической функции, которая наблюдается при $r = \dfrac{1}{\lambda}\ln\dfrac{1-p_0}{p_0}$ и равна $\dfrac{\lambda}{4}$. Величина λ определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{1}{R}\ln\left(\frac{p_k(1-p_0)}{p_0(1-p_k)}\right).$$

Величина p_0 представляет собой вероятность до начала финансирования исследований, т. е. $p_0 = p(0)$.

Обозначим через $p_{11}(r)$ вероятность правильного, а через $p_{12}(r)$ вероятность ошибочного принятия решения по результатам исследований в случае истинности проверяемой гипотезы. Аналогичным образом обозначим через $p_{21}(r)$ вероятность ошибочного, а через $p_{22}(r)$ вероятность правильного принятия решения в случае ложности проверяемой гипотезы.

В выражении (1) T_1 — постоянная времени, определяющая скорость приближения вероятности $p(t) = p(r(t)) = p_{11}(r(t)) = p_{22}(r(t))$ к заданному (статическому) значению $L(r, p_0, \lambda)$, соответствующей объему финансирования r. Величина T_1 характеризует сложность исследований.

Ясно, что в рамках предложенной модели (как и в реальных ситуациях) ни при каком объеме финансирования не удастся достичь вероятности $p(t) = 1$ за конечное время. Поэтому можно считать, что успешное завершение прикладных исследований характеризуется достижением достаточно высокого конечного уровня вероятности $p = p_к$, например, $p_к = 0{,}95$ или $p_к = 0{,}99$.

В предложенной модели нарушение регулярности финансирования заключается в отсутствии средств на проведение исследований в течение некоторого интервала времени. В такие периоды усилия исследователей направляются не столько на получение новых результатов, сколько на поддержание в рабочем состоянии или консервацию лабораторного оборудования, сохранение объектов исследования, результатов экспериментов и т. п. Не все материалы и объекты исследований (физические, химические, биологические субстанции) удается сохранить. Кроме того, возможен уход сотрудников из проекта. Некоторые результаты, например, социологические или маркетинговые, могут устареть. После возобновления финансирования эти исследования приходится повторять. Все это приводит к замедлению или даже к снижению результативности (регрессу) исследований.

С учетом изложенного вполне логично провести аналогию между процессами снижения вероятности правильного принятия решения о продолжении или прекращении проекта (описанными в работе [9]) и процессами забывания накопленной информации, а также утраты полученных ранее знаний человеком.

Процесс забывания, как и регресс эффективности прикладных научных исследований, — сложный и слабоформализованный процесс. Первые успешные попытки описать процесс забывания были предприняты Германом Эббингаузом в 1885 г. [10]. Он доказал, что объем сохраненной в памяти информации уменьшается со временем и этот процесс можно описать с помощью экспоненциальной кривой, получившей название «кривой забывания». Она отражает эмпирически установленную зависимость количества сохраненного в памяти материала от времени [11].

Помимо Эббингауза многие исследователи также приходят к выводу, что забывание носит экспоненциальный характер [12, 13].

В работе [14] предложено ограничивать снизу константой убывающую по экспоненте функцию, описывающую забывание автобиографических событий:

$$R(t) = e^{-kt} + \mathrm{const}, \qquad (2)$$

где R — доля сохраненной информации, t — время с момента запоминания, k — скорость забывания. В соответствии с этой зависимостью имеется некоторый уровень остаточной информации, неснижаемый со временем.

Для учета регресса эффективности исследований при отсутствии финансирования в модель (1) были внесены изменения, основанные на аналогии с процессом забывания информации. В новой модели с момента прекращения финансирования t_1 вероятность $p(t)$, описывающая эффективность исследований, экспоненциально убывает от достигнутого значения $p(t_1)$ до некоторого остаточного значения, которое меньше, чем $p(t_1)$. Экспоненциальное убывание происходит с показателем $1/T_з$ (постоянной времени $T_з$). Считалось,

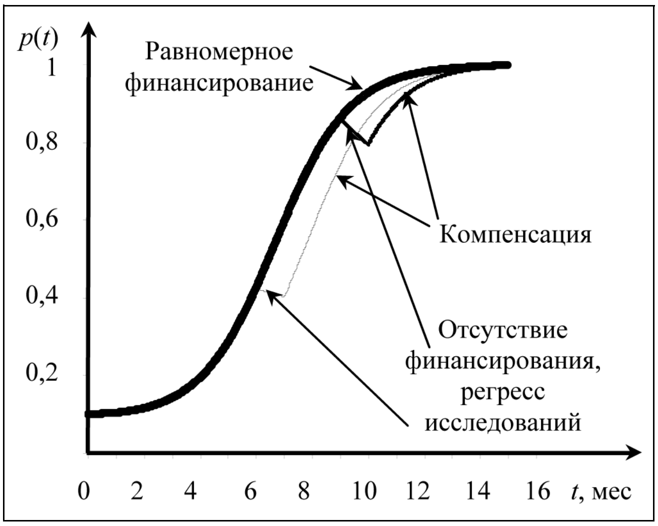

Рис. 1. Изменение функции $p(t)$ для различных вариантов моделирования нерегулярности финансирования

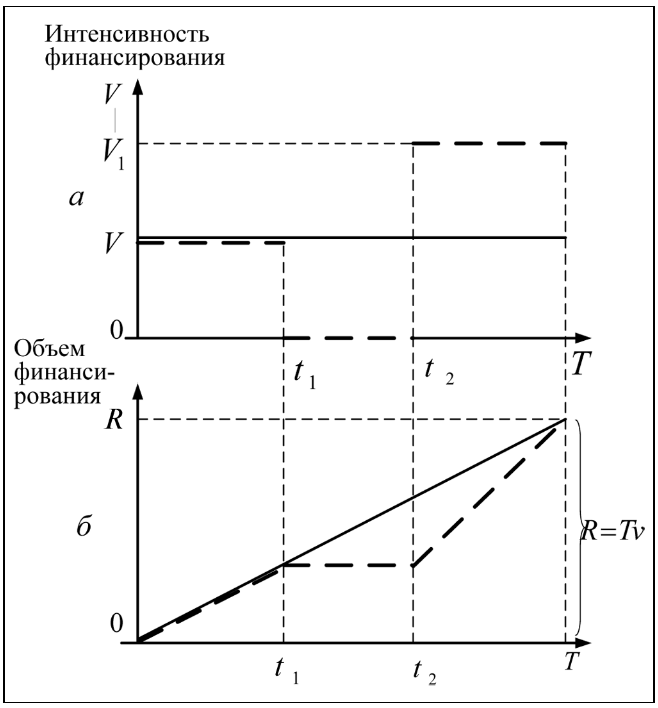

Рис. 2. Интенсивность (*а*) и объем (*б*) финансирования: —— — непрерывное финансирование, $v(t) = \mathrm{const}$; – – – — финансирование с перерывом и последующей компенсацией

что остаточная эффективность не может быть меньше начального значения p_0. Поэтому в модели остаточное значение определялось по формуле $p_{ост} = \max\{p_0, \mu p(t_1)\}$, где $0 < \mu < 1$. При моделировании использовались значения $\mu = 0{,}3$ и $T_з = 3$ (т. е. регресс происходит в 3 раза медленнее, чем увеличение эффективности). Экспоненциальная функция (2), описывающая регресс или забывание, является решением линейного дифференциального уравнения первого порядка $\dot{p} = (p_{ост} - p)/T_з$ с начальным условием $p(0) = p(t_1)$.

Рис. 1 иллюстрирует поведение функции $p(t)$ в случаях, когда учитывается и не учитывается регресс эффективности исследований при отсутствии финансирования. Для сравнения показано изменение функции $p(t)$ в случае равномерного финансирования.

Эффективность исследований может быть охарактеризована двумя взаимосвязанными факторами: временем $t_к$ достижения заданной вероятности $p_к$ или значением вероятности $p(T)$ в планируемый момент T окончания прикладных исследований в рамках инновационного проекта.

Рассматривались два варианта нерегулярного финансирования. В первом из них до наступления планового момента T окончания исследований недополученные за период без финансирования средства не компенсируются. Второй вариант предусматривает компенсацию недополученных за период без финансирования средств путем более интенсивного финансирования после момента t_2 (после окончания периода без финансирования). Интенсивность финансирования и поступающие средства нарастающим итогом при нерегулярном финансировании показаны на рис. 2.

Для компенсации к моменту T недополученных в интервале времени от момента t_1 до момента t_2 средств финансирование исследований при $t_2 < t \leqslant T$ должно осуществляться с интенсивностью $v(T - t_1)/(T - t_2)$.

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Моделирование проводилось путем численного решения системы дифференциальных уравнений (1) при различных значениях параметров модели на примере прикладных исследований для гипотетического инновационного проекта. Параметры исследовательского этапа этого проекта: число участников от 3 до 15 чел. с заработной платой от 20 до 80 тыс. руб./мес; заработная плата составляет примерно половину стоимости всего проекта, а необходимый объем финансирования — от 0,12 до 2,4 млн руб./мес. Для простоты полагалось, что объем финансирования составляет 1 млн руб./мес, а планируемая длительность T исследовательского этапа равна 12 мес. Предполагалось, что к моменту завершения этапа израсходован весь объем R запланированных средств и проект достиг своих целей с вероятностью $p_к = 0{,}95$ (или 0,99).

Анализировались два параметра, характеризующие эффективность финансирования исследований:

— задержка окончания исследовательского этапа;

— снижение вероятности p в плановый момент $T = 12$ мес окончания исследований.

Далее под задержкой Δt окончания исследовательского этапа понимается абсолютное или относительное значение разности между моментом достижения вероятностью конечного значения $p_к = 0,95$ в случае нерегулярного (с месячным перерывом) финансирования и моментом достижения вероятностью того же значения в случае непрерывного финансирования.

Согласно условиям моделирования недофинансирование исследований в случае отсутствия финансирования в течение одного месяца составляет примерно 8,33 % ≈ 1/12 · 100 %. Это приводит как к задержке Δt окончания исследований на 6,4—7,4 %, так и к снижению вероятности в плановый момент завершения исследовательского этапа на 0,9—6,5 %. На рис. 3 показана зависимость вероятности в момент $T = 12$ мес от номера месяца, в течение которого не было финансирования. Влияние номера месяца без финансирования на задержку окончания исследований Δt иллюстрирует рис. 4.

Из приведенных результатов моделирования видно, что как задержка окончания этапа, так и вероятность $p(T)$ в плановый момент завершения исследований зависят от того, где происходит перерыв в финансировании — в начале исследований или ближе к концу. Более высокая вероятность в момент $T = 12$ мес и меньшая задержка Δt наблюдаются, если перерыв в финансировании наступает ближе к концу исследований (см. рис. 3 и 4). Это объясняется тем, что до наступления «позднего» перерыва в финансировании вероятность достигает достаточно больших значений. Кроме того, даже после прекращения финансирования рост вероятности продолжается, хотя и не такой интенсивный, как при непрерывном финансировании. Дело в том, что в момент прекращения финансирования t_1 динамическое значение вероятности $p(t_1)$ меньше статического значения веро-

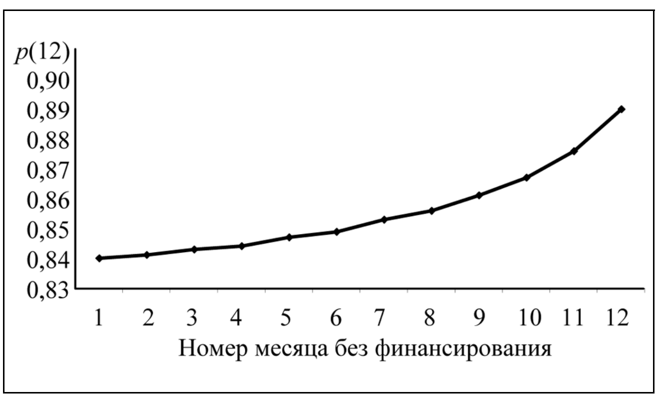

Рис. 3. Влияние положения во времени перерыва в финансировании на вероятность принятия правильного решения по итогам исследований в момент $T = 12$ мес

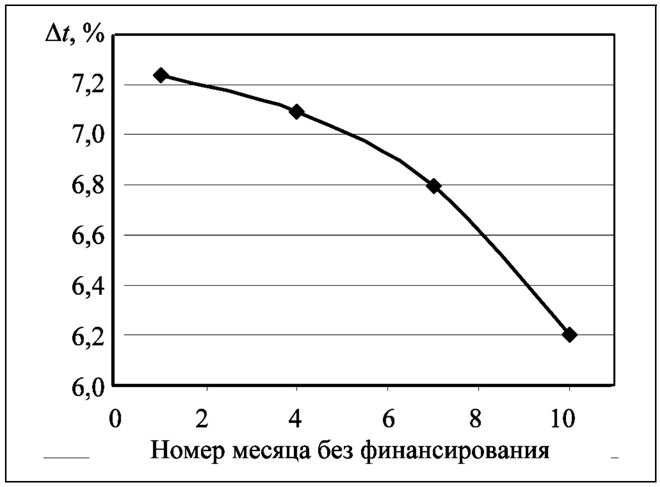

Рис. 4. Влияние положения во времени перерыва в финансировании на задержку окончания исследований

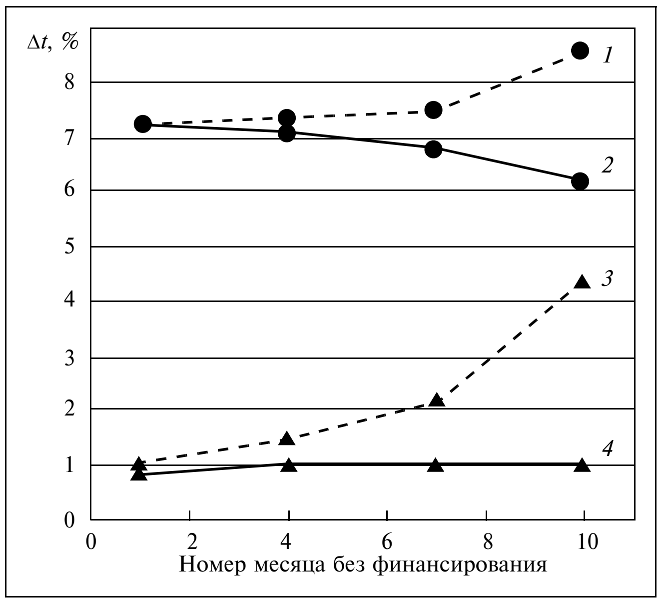

Рис. 5. Задержка окончания исследований, когда перерыв в финансировании: *1* — не компенсируется; *2* — компенсируется; *3* — не компенсируется, учитывается регресс исследований в период отсутствия финансирования; *4* — компенсируется, учитывается регресс исследований в период отсутствия финансирования

ятности $p_{ст}(t_1) = L(vt_1, p_0, \lambda)$, соответствующего полученному к моменту t_1 объему средств. Без финансирования статическое значение вероятности остается постоянным, а динамическое значение, возрастая (по «инерции»), приближается к нему.

Результаты моделирования с учетом регресса и различного положения во времени интервала без финансирования показаны на рис. 5. Видно, что учет регресса эффективности исследований на интервалах без финансирования принципиально меняет вид зависимости увеличения продолжительности исследований от положения интервала в финансировании.

С приближением перерыва к плановому сроку окончания исследовательского этапа продолжительность исследований до достижения заданного конечного уровня эффективности возрастает. Это объясняется тем, что при приближении к плановому сроку окончания этапа достигается большая эффективность и, следовательно, абсолютный размер регресса увеличивается, и на его компенсацию после возобновления исследований требуется больше времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена динамическая модель изменения эффективности прикладных исследований в рамках инновационного проекта в зависимости от графика поступления финансовых средств. Моделирование позволяет оценить влияние нерегулярности финансирования исследований на их эффективность.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аньшин В.М., Дагаев. А.А.* Инновационный менеджмент: учебное пособие. — М.: Дело, 2006. — 584 с.
2. *Bass F.M.* A New Product Growth Model For Consumer Durables // Management Science. — 1969. — Vol. 15. — P. 215—227.
3. *Валента Ф.* Управления инновациями. — М.: Прогресс, 1985. — 178 с.
4. *Коссов В.В.* Основы инновационного менеджмента. — М.: Магистр, 2009. — 423 с.
5. *Cooper R.G., Edgett S.J.* Maximizing productivity in product innovation // Research-Technology Management. — 2008. — Vol. 51, N 2. — P. 2—15.
6. *Cooper R.G., Edgett S.J.* Ideation for product innovation: What are the best methods? // Visions Magazine «Insights into Innovation». — March, 2008. — P. 12—17.
7. *Tidd J., Bessant J., Pavitt K.* Managing Innovation // Second ed. — John Wiley & Sons Ltd, 2003. — P. 388.
8. *Шумпетер И.* Теория экономического развития. — М.: Прогресс, 1982. — 72 с.
9. *Шомова Е.Н.* Вероятностная модель влияния финансирования научного исследования на эффективность инновационного проекта // Проблемы управления. — 2013. — № 3. — С. 27—32.
10. *Эббингауз Г., Бэн А.* Ассоциативная психология. — М.: АСТ, 1998. — 526 с.
11. *Черемошкина Л.В., Осинина Т.Н.* О забывании учебного материала // Экспериментальная психология. — 2011. — № 3. — С. 97—125.
12. *Thompson C.P., Skowronski J.J., Larsen S.F., Betz A.L.* Autobiographical Memory: Remembering What and Remembering When. — New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1996.
13. *Моль А.* Социодинамика культуры. — М.: Прогресс, 1973. — 403 с.
14. *Карпенко М.П., Чмыхова Е.В., Терехин А.Т.* Модель возрастного изменения восприятия времени // Вопросы психологии. — 2009. — № 2. —С. 81—87.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Р.М. Нижегородцевым.

Шомова Елена Николаевна — вед. специалист,
ООО «Объединенный центр исследований и разработок»,
г. Москва, ☎ (495) 730-61-01; ✉ Shomova@gmail.com.