

УДК 629.76

П. Г. Хорольский

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГЕНЕРИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ИННОВАЦИЙ

Розроблена математична модель породження технічних інновацій у системі евристичного проектування, зокрема – складних технічних систем, проектним колективом. На основі аналогії використано загальне рівняння процесу для узагальненого параметра – інформації. Одиницею інформації прийнята технічна інновація.

Ключові слова: *інновація, технічне рішення, математична модель, проектний колектив, інформація, інтелектуальний вирішувач, винахідник.*

Разработана математическая модель зарождения технических инноваций в системе эвристического проектирования, в том числе – сложных технических систем, проектным коллективом. На основе аналогии использовано общее уравнение процесса для обобщенного параметра – информации. Единицей информации принята техническая инновация.

Ключевые слова: *инновация, техническое решение, математическая модель, проектный коллектив, информация, интеллектуальный решатель, изобретатель.*

The article is devoted to development of mathematical model of generation of technical innovations in the system of the heuristic planning, including difficult technical systems, by a project collective. On the basis of analogy the general is used equalizations of process for the generalized parameter – information. By information unit the technical innovation is accepted.

Key words: *innovation, technical decision, mathematical model, project collective, information, intellectual resolver, inventor.*

Постановка проблеми в общем виде и ее связь с важными научными и практическими заданиями. Любой труд начинается с идеи о его выполнении [1]. Для обеспечения выживания и развития любой наукоемкой отрасли в условиях жесткой конкурентной борьбы необходимо проведение инноваций, в том числе и разработка новых методик проектирования. Изначально процесс развития рассматривается как «осуществление новых комбинаций» [2]. Инновацию определяют, в частности, как коммерциализацию новых комбинаций. Когда изменение происходит только на уровне технологии, его называют изобретением. И только при подключении к ней бизнеса она

становится инновацией. Проблема состоит в поиске инноваций, приводящих к максимальному приросту выпуска конкурентоспособной продукции.

В свою очередь, проектирование определяется как процесс порождения новых комбинаций. В соответствии с принятой его методологией должно быть рассмотрено несколько альтернативных вариантов, из которых должен быть выбран один искомый. Проблема состоит в порождении достаточно малого числа таких альтернатив, содержащих оптимальный вариант или его элементы, из которых он может быть сформирован. Для выживания и развития каждого конструкторского бюро необходимо создание эффективной системы эвристического проектирования. Под ним понимается разработка новых решений, которые не могут быть получены на основе существующих или располагаемых знаний и информационных технологий в заданные сроки, т. е. на уровне изобретений.

Для обеспечения эффективного построения и развития рассматриваемой системы необходимо проведение математического моделирования происходящих в ней процессов.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросы математического моделирования производства новых технических решений при проектировании сложных ракетно-космических систем рассматривались в [3; 4], где показано, что в условиях развитой системы эвристического проектирования и 100 %-го госзаказа эта система может быть описана как масштабный усилитель новой технической информации. Однако этот результат не может быть использован для математического моделирования и прогнозирования результативности труда, а, главное, не может быть использован для административного управления процессом проектирования. Учитывая эквивалентность процессов проектирования и управления [5], по сути, это не позволяет обоснованно проводить собственно эвристическое проектирование.

Целью настоящего исследования является разработка концептуального подхода к созданию математической модели (ММ) формирования технических инноваций (ТИ) в организованном коллективе разработчиков новых продуктов, т. е. изобретений. Учитывая, что сейчас принято расширенное толкование термина «проектирование» – как разработка любого нового проекта практически в любой сфере человеческой деятельности, не выделяя в первую очередь технического приложения, из-за близости общих методологических принципов менеджмента [6], то речь должна идти о проектном коллективе (ПК) вообще, даже если он таковым не называется.

Постановка задачі. Рассматривается ПК, решающий новые и сложные задачи, требующие или имеющие следствием своего решения появление технических инноваций. Необходимо разработать ММ, позволяющую хотя бы на качественном уровне моделировать и прогнозировать рассматриваемый процесс.

Изложение основного материала исследований. Генерирование технических инноваций происходит в общественной среде. Общественные процессы сродни биологическим. Разработка математической модели в этих научных областях часто осуществляется на основе аналогии. Моделированию биологических систем свойственны ряд особенностей [7].

В [8] показано, что широкий спектр физических и технологических процессов описывается одинаковыми уравнениями, что позволяет рассматривать некий обобщенный процесс как процесс изменения некоторого обобщенного параметра.

Применительно к задаче нашего исследования в качестве такого обобщенного параметра (ОП) имеет смысл выбрать информацию I , циркулирующую в системе проектирования, проектной среде, в системе, среде разработки вообще. Тогда для каждого элемента процесса можно записать общее уравнение, которое «можно понимать как расширение уравнений неразрывности» потоков ОП, «выражающих принцип сохранения» [8]. Это уравнение имеет следующий вид [8]:

$$\operatorname{div} [\Gamma \vec{v}] - \operatorname{div} [\delta \operatorname{grad} \Gamma] + \omega \varepsilon \Delta \Gamma + G = -\frac{\partial \Gamma}{\partial t}, \quad (1)$$

где Γ – обобщенная плотность I ; δ – проводимость потока; \vec{v} – линейная скорость; ω – поверхность передачи на единицу объема; ε – обобщенный коэффициент переноса; $\Delta \Gamma$ – движущая сила, разность интенсивных величин – обобщенной плотности; G – характеристика источника: количество ОП, вновь образующееся в единице объема системы в единицу времени, – по сути, дифференциал потока по объему.

Рассматривая движение информации как поток массы знаний, уравнение (1) можно записать несколько иначе [8]

$$\operatorname{div} [\rho \vec{v}] - \operatorname{div} [D_c \operatorname{grad} \rho] + \omega \beta \Delta \rho + G = -\frac{\partial \rho}{\partial t}, \quad (2)$$

где ρ – плотность потока этой массы; D_c – коэффициент самодиффузии; β – коэффициент самоотдачи.

После определения общего уравнения вопрос о его применимости сводится к интерпретации ОП и коэффициентов, а также к определению их значений.

Патенты и лицензии на изобретения есть товар, содержащий ценную для действий информацию [9].

В нашем случае источником инноваций и любой принципиально новой информации является человек – интеллектуальный решатель (ИР) любой задачи, пользуясь терминологией [11]. Применительно к теме настоящего исследования ИР суть изобретатель – индивидуальный генератор новой информации (ИГНИ).

Будем рассматривать только ту новую информацию, которая содержит данные, характеризующие новые технические инновации. Обозначим ее I_{new} . Поэтому, по сути, необходимо определить изменение числа ИР и их продуктивности.

Очевидно, что в любой структурной единице организационной системы разработки нового изделия ИГНИ могут появиться либо среди ее персонала, либо извне. Поэтому в качестве основы, ближайшего аналога для построения искомой модели имеет смысл принять математические модели изменения численности населения, в нашем случае – из [12]. Определим основные общие факторы, влияющие на изменение численности персонала организации-разработчика. Первый из них – это текущая общая численность персонала, учитывающая поступление и убыль работников N . Определим их численности через $N_i, i = \overline{1, m}$, где m – количество таких источников трудовых ресурсов и $N = \sum_{i=1}^m N_i$.

Примем, что в качестве единицы – элементарного отсчета – времени dt может быть выбран любой его период, за который численность практически неизменна. Будем пока считать, что ПК обладает всеми финансовыми возможностями для реализации своей деятельности. Тогда соответствующая ММ может быть записана так:

$$\frac{dN}{dt} = \sum_{i=1}^m v_i N_i - \mu N, \quad (3)$$

где v_i – коэффициенты, определяющие долю трудовых ресурсов, потребляемую ПК; μ – коэффициент, определяющий убыль численности ПК.

Вторым определяющим фактором является сложность решаемых задач, которая в общем случае может быть выражена прогнозируемой трудоемкостью [13] и может быть выражена через необходимые трудовые затраты. Очевидно, должно выполняться условие:

$$\sum_{i=1}^m v_i N_i = \zeta(\Xi - \xi N), \quad (4)$$

где ζ – средняя зарплата работника ПК; Ξ – необходимая трудоемкость, выражаемая через ожидаемые трудозатраты; ξ – средняя временная загрузка работника.

С учетом (4) уравнение (3) можно записать как

$$\frac{dN}{dt} = \zeta(\Xi - \xi N) - \mu N. \quad (5)$$

В наиболее простом случае численность ИГНИ N_{in} может быть определена из уравнения:

$$G = \frac{dN_{in}}{dt} = -\mu_{in}N_{in} + \alpha \frac{N}{T_{in}},$$

$$\frac{dI_{new}}{dt} = \kappa N_{in}, \quad (6)$$

где μ_{in} – коэффициент, определяющий убыль численности ИГНИ; α – коэффициент, определяющий долю персонала ПК, переходящего в режим генерирования ТИ, т. е. в разряд ИГНИ; T_{in} – время, необходимое для перехода в указанный режим; κ – средняя по ПК производительность ИГНИ в части генерирования ТИ.

Известно [14], что во всем коллективе по производительности в части подачи изобретений можно выделить следующие группы работников: собственно проектанты и конструкторы, расчетчики-теоретики и прочие с соответствующими численностями $N_j, j = \overline{1, 3}$. Кроме того, немалое значение имеет общение изобретателей с экспертами патентно-исследовательских подразделений, профильных государственных и общественных организаций. Оно, очевидно, способствует росту числа ТИ. Обозначим общую численность этих подразделений через N_4 .

Отметим при этом, что изобретатели численностью N_{in} в общем случае входят во все рассмотренные группы работников.

Кроме сложности, на темп генерирования ТИ влияет новизна решаемых задач, которую можно определить, например, как требуемый новый технический уровень (ТУ)

$$J = \sum_k^K \lambda_k \frac{\Delta\Pi_k}{\Pi_k}, \quad \sum_k^K \lambda_k = 1, \quad (7)$$

где $\lambda_k, k = \overline{1, K}$, – весовой коэффициент, определяющий значимость соответствующего параметра; $\Pi_k, \Delta\Pi_k$ – достигнутый уровень выходной характеристики задачи и требуемое приращение над этим уровнем.

J можно представить в следующем виде

$$J = J_1 + J_2, \quad (8)$$

где J_1 – часть ТУ, достигаемая известной методологией оптимального проектирования; J_2 – часть ТУ, достигаемая только посредством ТИ.

Поскольку большое число ТИ направлено на упрощение известных ТР, то любой уровень сложности мотивирует изобретательство. Ее также можно представить аналогично J в виде суммы двух соответствующих слагаемых $\Xi = \Xi_1 + \Xi_2$.

Компоненту Ξ_1 можно рассматривать либо как ожидаемые трудозатраты (ОТЗ) на достижение части ТУ, обеспечиваемой известной методологией оптимального проектирования, либо как затраты текущего (живого) труда людей. Тогда Ξ_2 либо характеризует ОТЗ на создание ТИ, либо соответствует таковым для создания интеллектуальной составляющей труда соответственно. Известно, что сжатием информации и повышением интенсификации труда невозможно заменить интеллектуальную составляющую [1].

В немалой степени появлению ТИ способствует объем информации доступный изобретателю. В условиях широкого доступа к Интернет особое значение приобретает информация ограниченного доступа или распространения, отражающая в немалой степени задел ПК, его опыт и знания.

Представим весь объем доступной информации в виде следующей суммы $\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3$, где Φ_1 – объем информационного фонда ограниченного распространения, доступный разработчикам ПК; Φ_2 – объем информационного фонда вне ПК доступный его работникам и не представленный в Интернете; Φ_3 – объем доступной информации в Интернет.

Очень важным фактором, влияющим на темп появления ТИ, являются специальные, направленные на это мероприятия, которые могут быть проведены соответствующими структурами ПК, например, патентным отделом или эквивалентным ему по роду деятельности [15]. Мероприятия ориентированы на разные группы и слои персонала, различающиеся по возрасту, стажу, квалификации, административному положению и другим признакам. Каждое мероприятие общим числом H может быть охарактеризовано некоторым свойственным ему объемом информации и значимостью ε_i . Причем примем, что $M_i, i = \overline{1, 4}$ – это мероприятия, ориентированные на группы работников ПК, соответствующие N_i .

В итоге можно записать следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dN_i}{dt} &= \sum_{j=1, j \neq i}^4 a_j N_j + c_i (\Xi - \xi N) - b_i N_i, \quad i = \overline{1, 3}, \\ \frac{dN_{in}}{dt} &= \sum_{i=1}^4 \sigma_i \frac{N_i}{T_i} + \sum_{i=1}^3 \left(N_i \sum_{j=i+1}^4 \varphi_{ij} \frac{N_j}{T_{ij}} \right) + N_{in} \sum_{i=1}^4 \phi_i (1 - \sigma_i) \frac{N_i}{T_{ij}^{in}} + \sum_{k=1}^2 \pi_k \frac{J_k}{T_k^J} + \\ &+ \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^4 c_{ij}^{in} \frac{\Xi_i N_j}{T_{ij}^{\Xi}} + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 d_{ij} \frac{\Phi_i N_j}{T_{ij}^{\Phi}} + \sum_{i=1}^u \varepsilon_i \frac{M_i N_i}{T_i^M} + \delta_H \sum_{i=u+1}^H \varepsilon_k \frac{M_i}{T_i^M} - w N_{in}, \\ \frac{dI_{new}}{dt} &= \bar{\kappa} N_{in} + \sum_{i=1}^4 \bar{\sigma}_i N_i + \sum_{i=1}^3 \left(N_i \sum_{j=i+1}^4 \bar{\varphi}_{ij} N_j \right) + N_{in} \sum_{i=1}^4 \bar{\phi}_i (1 - \bar{\sigma}_i) N_i + \quad (9) \\ &+ \sum_{k=1}^2 \bar{\pi}_k J_k + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^4 \bar{c}_{ij}^{in} \Xi_i N_j + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 \bar{d}_{ij} \Phi_i N_j + \sum_{i=1}^H \bar{\varepsilon}_i M_i, \\ \delta_H &= \begin{cases} 0, & \text{if } H = u; \\ 1, & \text{if } H > u, \end{cases} \end{aligned}$$

где a_j, c_i – коэффициенты влияния на изменение численности соответствующих групп работников, определяемых стоящими при них сомножителями, а также сложности решаемых задач, соответственно; $\sigma_i, \varphi_{ij}, \phi_i, \pi_k, c_{ij}^{in}, d_{ij}, \varepsilon_i$ – коэффициенты влияния на изменение численности ИГНИ факторов, смысл которых определяется стоящими при них сомножителями, соответственно; b_i, w – коэффициенты, отражающие убыль работников групп, определяемых стоящими при них сомножителями, и ИГНИ, соответственно; $\bar{\kappa}$ – коэффициент, отражающий инициативность и инерцию творческого мышления, т. е. влияние на темп появления ТИ внутренней самостоятельной работы ИГНИ; $\bar{\sigma}_i, \bar{\varphi}_{ij}, \bar{\phi}_i, \bar{\pi}_k, \bar{c}_{ij}^{in}, \bar{d}_{ij}, \bar{\varepsilon}_i$ – коэффициенты влияния на темп появления ТИ факторов, смысл которых определяется стоящими при них сомножителями, соответственно.

Слагаемые, соответствующие произведениям переменных, отражают учет связей между соответствующими им факторами.

Перейдем теперь к вопросу об измерении информации. Ее можно наблюдать, но нельзя измерить (информацию), тогда энергию можно измерить, но нельзя наблюдать [1].

В качестве единицы измерения I_{new} можно принять количество сгенерированных ТИ без различения их значимости. Обоснование этому

выбору следует из закона Ципфа [16]: ожидаемый максимальный уровень значимости изобретений пропорционален их общему числу.

Определив $G = q \frac{dI_{new}}{dt}$, где q – коэффициент приведения к необхо-

димой размерности, можно использовать его при решении уравнений (1), (2). В качестве управлений могут рассматриваться мероприятия, кадровая политика (через численности групп), выделяемые трудозатраты и информационный фонд ПК, а также уровни новизны и сложности принимаемых к решению задач.

Переходя теперь к обоснованию адекватности предложенной ММ отметим, что, в соответствии с вышеизложенным по этому вопросу, она обеспечивается достаточно большим числом степеней свободы.

Выводы. Сформирована постановка задачи разработки математической модели порождения технических инноваций как следствия решения задач проектным коллективом.

Установлена эквивалентность изобретений и технических инноваций. Проанализированы особенности математических моделей социальных и биологических систем.

Определено использование аналогии как принципа построения модели. За основу модели принято описание проектирования как процесса, что позволило использовать в качестве модели общего уравнения процесса для обобщенного параметра. В качестве такового принята информация.

Решение уравнения возможно при соответствующем описании источников новой информации. Это обстоятельство и сложность собственно получения решения побудили пойти на упрощение модели. Следующим аналогом выбрана нестационарная математическая модель роста населения Земли. На ее основе разработаны полная и упрощенная модели, описывающие динамику численности новых изобретателей и объема порожденной ими информации. При этом определены основные факторы, влияющие на изменение численности персонала организации-разработчика, и основные группы ПК, взаимодействие которых приводит к искомому эффекту. Определены также основные управления, влияющие на изменение количества ТИ, и единица измерения I_{new} – количество вновь порожденных ТИ. Обоснована адекватность созданной модели.

Перспективы дальнейших исследований в данном направлении.

Ее дальнейшее совершенствование видится на пути интерпретации неопределенных выше коэффициентов и параметров и более детального

учета всех определяющих факторов и групп ПК, а также ТИ разного уровня значимости.

Библиографические ссылки

1. **Марюта А. Н.** Модели макроэкономических решений (информационно-системный подход) / А. Н. Марюта, Ю. Д. Зубенко– Днепропетровск, 2008. – 257 с.

2. **Гудков А. Г.** К вопросу формулирования принципов инновационно-технологической оптимизации / А. Г. Гудков // Известия вузов. Машиностроение. – 2003. – № 11. – С. 49–64.

3. **Репетя Е. И.** Регулирование процесса изобретательства в рамках системы эвристического проектирования / Е. И. Репетя, П. Г. Хорольский // Космонавтика и ракетостроение. – 1997. – № 11. – С. 135 – 144.

4. **Репетя Е. И.** Разработка математической модели производства новых технических решений при проектировании сложных ракетно-космических систем / Е. И. Репетя, П. Г. Хорольский // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. тр. – 2002. – Вып 21. – С. 103–112.

5. **Автономов В. Н.** Создание современной техники: основы теории и практики. / В. Н. Автономов – М., 1991. – 304 с.

6. **Джонс Дж. К.** Методы проектирования. / Дж. К. Джонс – М., 1986. – 326 с.

7. **Новосельцев В. Н.** Математическое моделирование в биологии: системы, способные жить и умирать / В. Н. Новосельцев // Автоматика и телемеханика. – 2006. – № 6. – С. 3 – 26.

8. **Бенедек П.** Научные основы химической технологии / П. Бенедек, А. Ласло; пер. с венгер. под ред. П. Г. Романкова, М. И. Курочкиной. – М., 1970. – 376 с.

9. **Хохлачов В.** Багатогранне «ніщо», або додана вартість інформації В. Хохлачов // Вісн. НАН України. – 1997. – № 1–2. – С. 46 – 50.

10. **Данилин С. Н.** О современном понятии информации// Информационные технологии. – 2003. – № 11. – С. 53 – 57.

11. **Ефимов Е. И.** Решатели интеллектуальных задач / Е. И. Ефимов – М., 1982. – 320 с.

12. **Гольдин В. Я.** Нестационарная математическая модель роста населения Земли / В. Я. Гольдин, Г. А. Пестрякова // Математическое моделирование. – 1998. – № 3. – С. 39 – 47.

13. **Плотников В. Н.** Оптимизация оперативно-организационного управления / В. Н. Плотников, В. Ю. Зверев. – М., 1980. – 150с .

14. **Репетя Е. И.** Система организации изобретательской деятельности при проектировании / Е. И. Репетя, П. Г. Хорольский // Космическая техника. Ракетное вооружение. – Вып. 1. – Д., 1996.– С. 74–81.

15. **Репетя Е. И.** Управление инновационным процессом при проектировании сложных ракетно-космических систем / Е. И. Репетя, П. Г. Хорольский // Космонавтика и ракетостроение 2001. – № 22. – С. 166 – 173.

16. **Финогеев А. Г.** Закономерности развития информационного пространства и системы управления семантикой сайтов / А. Г. Финогеев // Информационные технологии. – 2003. – № 7. – С. 19 – 26.

Надійшла до редколегії 08.06.11