

# INVESTIGATION OF A SEMICONDUCTOR CERAMIC GAS CONCENTRATION CONVERTER

L.V. ILYASOV, Dr. Sc.

Tver State Technical University  
22, Af. Nikitin emb., Tver, 170026, Russian Federation; e-mail: lvi450714@mail.ru

The results of experimental studies aimed at revealing the operating principle of semiconductor ceramic gas concentration transducers are presented. The instructions for these converters (PP-1 and DMP-1) state that their principle of operation is based on an increase of the electrical conductivity of semiconductor ceramics at a temperature of 400–500 °C in the presence of reducing gases, in particular methane or propane. An experimental setup with a thermochemical pellistor detector and a research technique based on the use of a pulse method for entering samples of gases such as hydrogen, methane and propane, which made it possible to establish that catalytic combustion of these gases occurs in a semiconductor ceramic converter, and this causes an increase in the temperature of ceramics and its electrical conductivity are described. The dependences of the degree of catalytic combustion of gas on the sensing element of the semiconductor converter power supply voltage are obtained. It is proved that this sensitive element can change its electrical conductivity depending on the thermal conductivity of non-combustible gases such as nitrogen, helium, carbon dioxide. It is established that the sensitivity of the semiconductor converter of the concentration of combustible gases exceeds the sensitivity of the currently widely used pellistor detectors of combustible gases.

*Keywords:* semiconductor, ceramic, converter, gas, electrical conductivity, catalytic combustion.

Поступила в редакцию/received: 12.01.2023; после рецензирования/revised: 26.01.2023;  
принята/accepted: 02.02.2023

УДК 65.012.1

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ФИРМЫ

С.А. БАРКАЛОВ<sup>1</sup>, д-р техн. наук, И.В. БУРКОВА<sup>2</sup>, д-р техн. наук,  
П.Н. КУРОЧКА<sup>1</sup>, д-р техн. наук, Е.А. СЕРЕБРЯКОВА<sup>1</sup>, канд. экон. наук

<sup>1</sup> Воронежский государственный технический университет  
394006, Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84; e-mail: kpn55@rambler.ru

<sup>2</sup> Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН  
117997, Москва, ул. Профсоюзная, 65

© Баркалов С.А., Буркова И.В.,  
Курочка П.Н., Серебрякова Е.А., 2023

В статье рассматриваются вопросы, связанные с инновационным развитием фирмы. Подчеркивается, что период существования любого новшества определяется его жизненным циклом, на протяжении которого от предприятия требуются различные действия: на стадии инициации и разработки – вложение средств, на остальных стадиях

при успешной реализации инновации происходит возврат вложенных средств и прибыль. Возникает ситуация, когда большинство предприятий одновременно реализуют несколько новшеств. Вследствие этого максимальные вложения могут потребоваться в нескольких проектах, причем практически одновременно, что может привести предприятие к финансовым затруднениям. Во избежание данной ситуации необходимо на стадии планирования как можно точнее определять временные сроки начала и окончания этапов реализации процесса внедрения инновации. На примере внедрения инновационных ограждающих конструкций при строительстве жилых зданий повышенной этажности рассматривается задача определения временных параметров по стадиям реализации процесса внедрения разрабатываемого новшества.

*Ключевые слова:* инновационное развитие фирмы, поколение развития инновации, жизненный цикл инновации, ограждающие конструкции, модели поколений инноваций, прогноз продолжительности жизненного цикла инновации.

**DOI: 10.46573/2658-5030-2023-2-49-64**

## **ВВЕДЕНИЕ**

Функционирование любого предприятия представляет собой последовательность реализуемых проектов. Общепринятым считается, что жизненный цикл любого проекта в общем случае состоит из этапов инициации, планирования, исполнения, контроля и завершения.

Если рассматривать деятельность традиционной производственной фирмы, усилия которой направлены на создание нового вида продукции или услуг, то следует признать, что более характерным в этом случае станет использование понятия жизненного цикла изделия. Цикл состоит из стадий научных исследований, проектирования, производства, эксплуатации и утилизации [1, 2]. Выделение этапов жизненного цикла изделия помогает понять, как будут распределяться финансовые потоки на всем протяжении создания и использования продукта или услуги. Естественно, что на начальных фазах требуются значительные финансовые вложения для выведения изделия на стадию эксплуатации. Только через определенное время, которое может быть спрогнозировано достаточно приблизительно, предприятие начнет получать доход от этого изделия, позволяющий погасить обязательства. Руководству предприятия необходимо добиться того, чтобы запускаемое в производство изделие как можно раньше вышло на самоокупаемость. Другой задачей является отслеживание жизненного цикла продукта, чтобы не пропустить стадию, когда изделие нужно снять с производства.

Большинство фирм, как правило, являются многопродуктовыми, т. е. выпускают не единственный вид продукции, и у каждого изделия имеется свой жизненный цикл. Таким образом, основной задачей менеджмента предприятия является формирование производственной программы предприятия с учетом того, чтобы выпускаемые изделия находились на различных стадиях своего жизненного цикла. Это обеспечивает равномерное получение предприятием прибыли на всем временном отрезке планирования.

Трудно отыскать компанию, которая полностью придерживается одной стратегии, чаще всего используются различные виды. В строительной сфере большинство предприятий в области инноваций реализуют имитационную стратегию, т. е. в лучшем случае осуществляют внедрение уже апробированных результатов. Основная проблема, возникающая при этом, – отбор возможных вариантов инновационного развития предприятия, обеспечивающих сохранение положения на рынке и развитие (желательно опережающими темпами).

Следует отметить одно основное противоречие: новшество (новая технология) для наиболее эффективного использования должно быть внедрено в полном объеме, при этом необходимо, чтобы отдача от новшества стала поступать как можно быстрее – это усиливает конкурентные преимущества предприятия. Возникает закономерный вопрос: а что же делать? Здесь в качестве примера может быть использована идея поэтапного строительства крупных промышленных комплексов. Дело в том, что крупное промышленное предприятие также должно как можно быстрее начать сдавать продукцию, пусть и не в проектом объеме. Для этого предприятия проектируют и строят очередями. Очередь – это часть строящегося предприятия, которая уже может давать продукцию [3, 4].

При внедрении новшеств также появились вопросы: что надо сделать, чтобы какая-то часть уже внедренного начала использоваться в ходе работы предприятия, т. е. стала приносить доход? Такую очередь, реализованную по отношению к инновации, назвали поколением инновации.

Разделение новшества на поколения, которые подлежат последовательной реализации, создает спектр проблем, связанных с определением временных сроков и интенсивности финансирования на каждой стадии внедрения конкретного поколения инновации в ходе развития предприятия. Данные проблемы требуют соответствующего модельного обеспечения процесса планирования внедрения новшеств на конкретном предприятии.

Условно все множество показателей, характеризующих инновацию, можно разбить на три группы: функциональные ( $f_i$ ), конструктивные ( $c_i$ ) и технологические ( $t_i$ ). Все эти показатели являются взаимозависимыми, взаимообусловленными и зависящими от времени. Каждое новое поколение инновации имеет свойства предыдущих поколений и обладает собственными.

Модель может служить генератором целей и необходимых решений для создания продукции прогнозируемого научно-технического уровня и перехода к следующему поколению. Она является основой для формирования задач строительного предприятия с целью своевременного обеспечения необходимого научно-технического уровня создаваемой продукции и с целью обеспечения доминирования предприятия в конкретной сфере строительной отрасли.

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Рассмотрим возможный способ моделирования этапов инновационного развития предприятия. Каждый этап будет характеризоваться функциональными, конструктивными и технологическими особенностями, которые будут описываться своим набором показателей, обозначенных через  $f = \{f_1, f_2, \dots, f_p\}$  – множество параметров, характеризующих функциональные различия;  $c = \{c_1, c_2, \dots, c_g\}$  – конструктивные;  $t = \{t_1, t_2, \dots, t_s\}$  – технологические.

В данном случае функциональные показатели поколения будут обеспечиваться за счет того, что конструктивные и технологические достигнут определенных значений. В то же время получение новых технологических параметров дает возможность влиять на конструктивные и функциональные. В этом и заключается взаимозависимость и взаимообусловленность критериев.

Следовательно, существует причинно-следственная связь между критериями, описывающими  $v$ -е поколение инновационного развития фирмы, которую можно записать в виде

$$\Phi = (f^v, c^v, t^v) = 0. \quad (1)$$

Если соотношение (1) выполняется, то набор  $f^v, c^v, t^v$  реализуем.

Следует отметить, что зависимость вида (1) можно представить в виде импликаций

$$t^v \longleftrightarrow c^v \longleftrightarrow f^v. \quad (2)$$

Создание последующего поколения внедряемого новшества осуществляется на базе предыдущего за счет применения накопленных знаний и новых достижений в области науки и технологии. При этом может происходить добавление дополнительных параметров, характерных только для нового поколения, т. е. будут выполняться соотношения:

$$\begin{aligned} f^v = \{f_1^v, \dots, f_{p_v}^v\} &\longrightarrow f^{v+1} = \{f_1^{v+1}, \dots, f_{p_{v+1}}^{v+1}\} = \\ &= \{f_1^v + \Delta f_1^v, \dots, f_{p_v}^v + \Delta f_{p_v}^v, f_1^{v+1}, \dots, f_{p_{v+1}}^{v+1}\}; \\ c^v = \{c_1^v, \dots, c_{q_v}^v\} &\longrightarrow c^{v+1} = \{c_1^{v+1}, \dots, c_{q_{v+1}}^{v+1}\} = \\ &= \{c_1^v + \Delta c_1^v, \dots, c_{q_v}^v + \Delta c_{q_v}^v, c_1^{v+1}, \dots, c_{q_{v+1}}^{v+1}\}; \\ t^v = \{t_1^v, \dots, t_{r_v}^v\} &\longrightarrow t^{v+1} = \{t_1^{v+1}, \dots, t_{r_{v+1}}^{v+1}\} = \\ &= \{t_1^v + \Delta t_1^v, \dots, t_{r_v}^v + \Delta t_{r_v}^v, t_1^{v+1}, \dots, t_{r_{v+1}}^{v+1}\}. \end{aligned}$$

Для системы показателей, характеризующих новое поколение, также должно выполняться соотношение (1) вида

$$\Phi(f^{v+1}, c^{v+1}, t^{v+1}) = 0$$

и должна быть справедлива импликация типа (2).

Создание следующего поколения новшества возможно только на базе усовершенствования и модернизации уже существующего, с появлением новых признаков, характеризующих конструктивные и технологические особенности нового поколения инновации. По этой причине, например, связь  $\Phi(f^{v+1}, c^v, t^v) = 0$  в принципе нереализуема, так как новое поколение ( $v+1$ ) не приводит к появлению новых конструктивных и технологических свойств. Кроме того, одновременное осуществление набора  $(f^v, c^v, t^{v+1})$  или  $(f^v, c^{v+1}, t^{v+1})$  с позиций логики допустимо, но с учетом особенностей постановки задачи будет описывать ситуацию, связанную с нереализованными возможностями, а потому будет нерациональным.

Поясним сказанное на конкретных примерах.

Основные проблемы строительной организации появляются в сфере использования новых технологий. Возникает резонный вопрос о приоритетности различных фаз строительного производства при применении инноваций. Обычно в данном случае руководствуются количеством средств, необходимых для реализации определенного этапа строительства нового здания с использованием инноваций. Наиболее затратной стадией строительства здания всегда считалось создание каркаса и стен. Данный элемент укрупненного вида работ должен обеспечить необходимую прочность создаваемого здания, его тепло-, влажно-, паро- и шумоизоляцию. Эти требования могут находиться в противоречии друг с другом. Например, широко используемая в мире технология монолитного домостроения, помимо явных достоинств, имеет ряд существенных недостатков. Основной минус заключается в том, что построенные помещения будут напоминать изолированную капсулу, как в космическом корабле, что не очень пригодно для жилого помещения. При этом

возникают вопросы по тепло-, влаго-, паро- и шумоизоляции. Так как возведенная по монолитной технологии конструкция является практически непроницаемой, это порождает многочисленные проблемы, решать которые приходится созданием достаточно сложных систем вентилирования.

Использование технологии монолитного строительства требует применения дорогостоящего оборудования, вовлечения значительного числа рабочих и инженеров, имеющих высокую квалификацию. Данные факторы сказываются на стоимости выполняемых работ, приводят к увеличению затрат на строительство всего объекта и стоимости продаваемых квартир. Следовательно, все это отрицательно воздействует на покупательную способность населения, которая и без того достаточно низкая.

В качестве примера рассмотрим Воронежский район. Если обратиться к статистическим данным о работе строителей, то можно сказать, что основными объектами строительства по-прежнему остаются жилые. В 2021 году затраты населения на приобретение недвижимости составили 11,06 млрд руб. При этом строительными организациями всех форм собственности и силами населения были построены 1 864 тыс. м<sup>2</sup> (из них 981,5 тыс. м<sup>2</sup> построены населением), число квартир составило 23 411. В настоящее время средняя цена 1 м<sup>2</sup> в Воронеже составляет ~79 797 руб/м<sup>2</sup>, т. е. стандартная двухкомнатная квартира площадью примерно 60 м<sup>2</sup> будет стоить ~4,8 млн руб. (при средней зарплате по Воронежской области в 2021 году 40 829,8 руб.). Понятно, что в регионе найдется мало семей, которые могут располагать всей требуемой суммой сразу. Объясняется это многими причинами, например низкой платежеспособностью населения и высокими ценами, но основной является отсутствие механизмов накопления средств, т. е. различных инвестиционных программ. В этом случае остается брать ипотеку.

Остановимся более подробно на возможностях, которые может предоставить ипотечный кредит. Согласно данным Банка России, в октябре 2022 года в Воронежской области объем ипотечных кредитов составил 5,176 млрд руб., а количество 1 671. В процентах по отношению к сентябрю 2022 года произошло уменьшение количества на -13,64 %, объема – на -11,60 %. По сравнению с октябрём прошлого года воронежцы взяли меньше кредитов: 1 671 против 2 392 в октябре 2021 года (-30,14 %). Объем снизился на -13,79 %. Доступность ипотеки снижается, что приводит к ситуации уменьшения спроса на недвижимость.

Средняя величина займа составляет 3,10 млн руб., процентная ставка по ипотечным кредитам – 7,93 %, а средний срок ипотечного займа – более 23 лет. Доля процентов, которые должен выплачивать заемщик, будет составлять 245,8 тыс. руб. в год, или 20 485 руб. в месяц. Доля, приходящаяся на сам кредит, который нужно выплатить в течение 23 лет, – 3,1 млн руб., т. е. 11 232 руб. в месяц. Сложив две суммы, получаем, что ежемесячная выплата должна будет составлять 31 717 руб. Многие ли могут тратить практически всю зарплату на ипотечный кредит? Спрос на квартиры есть, люди хотят улучшить свои жилищные условия, но не имеют такой возможности.

Рынок недвижимости продолжает существовать, несмотря на катастрофически низкую платежеспособность населения. Объясняется это тем, что в стране практически полностью отсутствуют инвестиционные программы, направленные на сбережение накоплений, поэтому основную часть покупателей составляют люди, желающие оградить свои накопления от обесценивания, а не те, кто хочет улучшить жилищные условия. Таким образом, основной задачей строительной отрасли для расширения клиентской базы является снижение цен на жилье. Для этого необходимо проведение фундаментальных исследований, направленных на удешевление строительства жилья.

Предполагается разработка новых технологий, которые обеспечили бы дешевое и качественное строительство.

Внедряемая повсеместно технология монолитно-каркасного домостроения является наиболее перспективной. Она имеет достоинства монолитного домостроения и позволяет использовать наиболее современные технологии при создании ограждающих конструкций. Каркас здания, обеспечивающий его прочность, создается по монолитной технологии, а заполнение проемов может осуществляться гораздо более разнообразно.

На основании анализа развития технологии ограждающих конструкций на воронежском предприятии ОАО «Домостроительный комбинат» (ОАО «ДСК») проводится инновационная работа по изучению перспектив развития ограждающих конструкций. По результатам исследований можно выделить следующие поколения при разработке технологии создания ограждающих конструкций:

монолитные стены с использованием съемной опалубки;

монолитные стены с использованием несъемной опалубки из вспененного полистирола «Пластбау» или Velox (при строительстве зданий с числом этажей не более пяти);

монолитные стены с использованием несъемной пенополистирольной опалубки типа «АБС», «Изодом» (при строительстве зданий повышенной этажности, но не более шестнадцати этажей);

заполненные крупнопористым керамзитобетоном монолитные стены с использованием несъемной опалубки из цементно-стружечных плит (ЦСП) (при строительстве пятиэтажных зданий);

заполненные крупнопористым керамзитобетоном монолитные стены с использованием несъемной опалубки из ЦСП (при строительстве зданий повышенной этажности (до шестнадцати этажей включительно)).

В настоящий момент процесс инновационного развития на ОАО «ДСК» в области разработки эффективных ограждающих конструкций для строительства зданий повышенной этажности привел к созданию технологии использования несъемных опалубочных систем с последующим их заполнением крупнопористым керамзитобетоном с плотностью  $\gamma = 500 \text{ кг/м}^3$ . В этом случае получается монолитная стена с высокими эксплуатационными свойствами.

Предлагаемая технология не только позволяет получить конструкцию, обладающую необходимыми эксплуатационными параметрами, но и обеспечивает снижение трудозатрат, времени и стоимости выполнения работ по сравнению с кирпичной кладкой. Разработанный вариант технологии применим для малоэтажного строительства. В данный момент ведутся работы по совершенствованию технологии в целях ее распространения на строительство зданий любой этажности.

Считается, что жизненный цикл инновации состоит из стадий поиска инновационной идеи, определения возможности применения выбранной инновации в условиях конкретного предприятия, запуска ее в производство, использования и завершения периода эксплуатации.

Выделение в инновации поколений развития является основополагающим. Если разработчик укажет лишние поколения, это приведет к дополнительным затратам на исследования, которые не обеспечат создание следующего поколения с новыми функциональными возможностями. Если же разработчик пропустит поколение, значит, не все возможности новшества будут использованы. Определение временных границ каждого поколения является далеко не тривиальной задачей, но опыт исследований показал, что наиболее рациональным временем начала развития следующего поколения будет являться запуск в производство предыдущего. Именно модель развития

инновации по поколениям и дает возможность реализовать потенциал развития идеи в последующем поколении.

С точки зрения реализуемости все фазы жизненного цикла инновации неравноценны: последние три, как правило, реализуются стандартным инструментарием производственного менеджмента, первые две носят неформальный и неформализованный характер. Невозможно разработать алгоритм, следуя которому, можно точно получить какую-то инновацию. Все гораздо сложнее, так как ситуация характеризуется высокой степенью неопределенности, а полученные результаты, скорее всего, носят вероятностный характер. Именно успешная реализация первых двух этапов дает возможность рассчитывать на успех.

Наиболее характерными параметрами, описывающими процесс создания нового  $i$ -го поколения инновации, являются продолжительность каждой стадии  $S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{i5}$  и интенсивность, т. е. размер вкладываемых средств в единицу времени  $F_i(\tau)$  (рис. 1). В данном случае второй индекс в переменной  $S_{is}$  будет означать номер стадии жизненного цикла инновации. В дальнейшем будем считать, что рассматриваются все пять стадий.

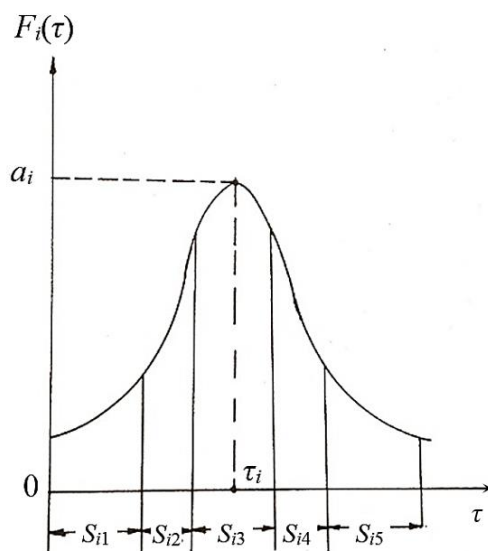


Рис. 1. Зависимость объема привлекаемых ресурсов от стадии жизненного цикла инновации

Представленная на рис. 1 кривая будет иметь в точке  $a_i$  экстремум (максимум), которому будет соответствовать точка  $\tau_i$  на временной шкале. Этим значением времени определяется момент наибольшей интенсивности вкладываемых в разработку средств.

Общий объем израсходованных средств будет численно равен площади, ограниченной кривой  $F_i(\tau)$  и осью времени  $\tau$ . Обозначив суммарные затраты на развитие  $i$ -го поколения новшества через  $A_i$ , можно записать [5, 6]:

$$A_i = \int_0^{\tau_i} F_i(\tau) d\tau .$$

Задача менеджмента предприятия будет заключаться в том, чтобы определить время начала развития поколения, длительность каждой из его стадий, интенсивность использования ресурсов на каждой из стадий, а также взаимные расположения кривых  $F_i(\tau)$ , относящихся к различным поколениям создаваемой инновации.

Ограничения, которые будут конкретизировать стоящую перед управленцами задачу, находятся из условий реального производства и экономического положения предприятия в целом.

Из рис. 1 можно установить, что для аппроксимации изучаемого процесса наиболее подходит кривая Гаусса. В этом случае интенсивность использования ресурсов определяется выражением вида

$$F_i(\tau) = F_i(\tau, \tau_i, \sigma_i, A_i) = \frac{A_i}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(\tau - \tau_i)^2}{2\sigma_i^2}\right\}. \quad (3)$$

Анализируя выражение (3), приходим к выводу, что каждое поколение инновации будет характеризоваться тремя параметрами: среднеквадратичным отклонением (стандартным отклонением)  $\sigma_i$ ; точкой, соответствующей максимальной интенсивности потребления ресурсов  $\tau_i$ ; величиной суммарных затрат  $A_i$ . С учетом известного из математической статистики свойства трех сигм можно предположить, что все основные события жизненного цикла новшества будут укладываться на временном интервале, численно равном  $6\sigma$ , при этом границы временного интервала развития поколения инновации будут определяться выражением  $\tau = [\tau_i - 3\sigma_i, \tau_i + 3\sigma_i]$ .

Таким образом, указанные три параметра ( $\sigma_i, \tau_i, A_i$ ) будут в полной мере характеризовать развитие каждого поколения. От менеджмента предприятия требуется определить эти параметры, а на их основе – взаимное расположение кривых, описывающих различные поколения новшества.

Наиболее неформальным является определение временных параметров научного поиска, т. е. величины  $S_{i1}$ . В данном случае следует исходить из начальных данных, которые, как правило, известны до стадии проектирования, т. е. известно, какое количество ресурсов предприятие может направить на эти цели, поэтому зафиксируем уровень, обозначив его через  $\alpha$ .

Рассмотрим вариант решения поставленной задачи, если  $\alpha$  представляет собой долю ресурсов, направленных на стадию научного исследования, от всех средств, используемых для развития данного поколения (рис. 2). В этом случае должно выполняться неравенство  $\alpha < 1$ . Можно записать

$$\alpha_{A_i} = \int_{\tau_i - 3\sigma_i}^{\tau_i - 3\sigma_i + S_{i1}} F_i(\tau) d\tau \approx \int_{-\infty}^{\tau_i - 3\sigma_i + S_{i1}} F_i(\tau) d\tau.$$

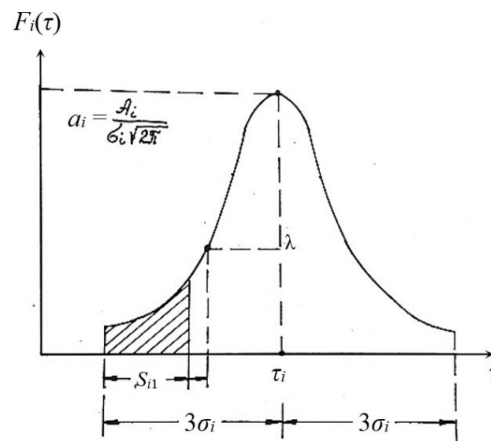


Рис. 2. Вычисление объема средств, направляемых на стадию научного поиска



Если линию, представленную на рис. 2, записать в форме функции Лапласа, то получим выражение

$$\Phi(w) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^w e^{-\frac{x^2}{2}} dx,$$

откуда следует

$$\alpha = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-3\sigma_i + S_{i1}} e^{-\tau^2/2\sigma_i^2} d\tau = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-3 + S_{i1}/\sigma_i} e^{-x^2/2} dx,$$

или

$$\alpha = \Phi(-3 + S_{i1}/\sigma_i).$$

В итоге время реализации стадии научного поиска можно определить из выражения

$$S_{i1} = \sigma_i(3 + \Phi^{-1}(\alpha)), \quad (4)$$

где величина  $\Phi^{-1}(\alpha) < 0$  определяется по таблице функции Лапласа.

Если же уровень использования ресурсов  $\alpha$  задавать как отношение максимальной интенсивности потребления ресурсов на стадии научного поиска к максимальной интенсивности использования ресурсов для разработки всего поколения, тогда будет справедливо соотношение

$$F_i(\tau_i - 3\sigma_i + S_{i1}) = \alpha \frac{A_i}{\sigma_i \sqrt{2\pi}}. \quad (5)$$

В этом случае, используя выражение

$$\exp\left\{-\frac{(-3\sigma_i + S_{i1})^2}{2\sigma_i^2}\right\},$$

получаем решение, позволяющее определить продолжительность стадии научного поиска:

$$S_{i1} = 3\sigma_i - \sigma_i \sqrt{2(\ln(1/\alpha))}^{\frac{1}{2}}.$$

Анализируя задачи, стоящие перед производственным менеджментом предприятия на этапе разработке инноваций, следует сформулировать возможные задачи, которые могут быть решены с использованием представленной модели поколений инноваций.

**Задача 1.** Пусть известны параметры  $i$ -го и  $(i + 1)$ -го поколений [7, 8]. Используя прогнозные значения для времени реализации  $(i + 2)$ -го и  $(i + 3)$ -го поколений новшества, а также величину используемых для этой цели ресурсов  $A_{i+2}$  и  $A_{i+3}$ , нужно определить стандартные отклонения для этих поколений, т. е.  $\sigma_{i+2}$  и  $\sigma_{i+3}$ . При этом должны быть выполнены условия, определяющие ограничения на минимальную продолжительность фазы научного поиска:

$$S_{51}, S_{61} \geq S_{\min}. \quad (6)$$

На первом шаге задача решается без учета ограничений (6).

Для последующего решения принимается гипотеза о том, что жизненные циклы поколений будут пропорциональны интервалам между пиками кривых  $F_i$  (рис. 3). Если предположить, что нам необходимо на базе сведений о третьем и четвертом поколениях получить значения стандартных отклонений для пятого и шестого поколений, то запишем гипотезу в следующем виде:

$$\frac{T_5}{T_4} = \frac{\sigma_5}{\sigma_4} = \frac{\tau_5 - \tau_4}{\tau_4 - \tau_3}; \quad \frac{T_6}{T_5} = \frac{\sigma_6}{\sigma_5} = \frac{\tau_6 - \tau_5}{\tau_5 - \tau_4}. \quad (7)$$

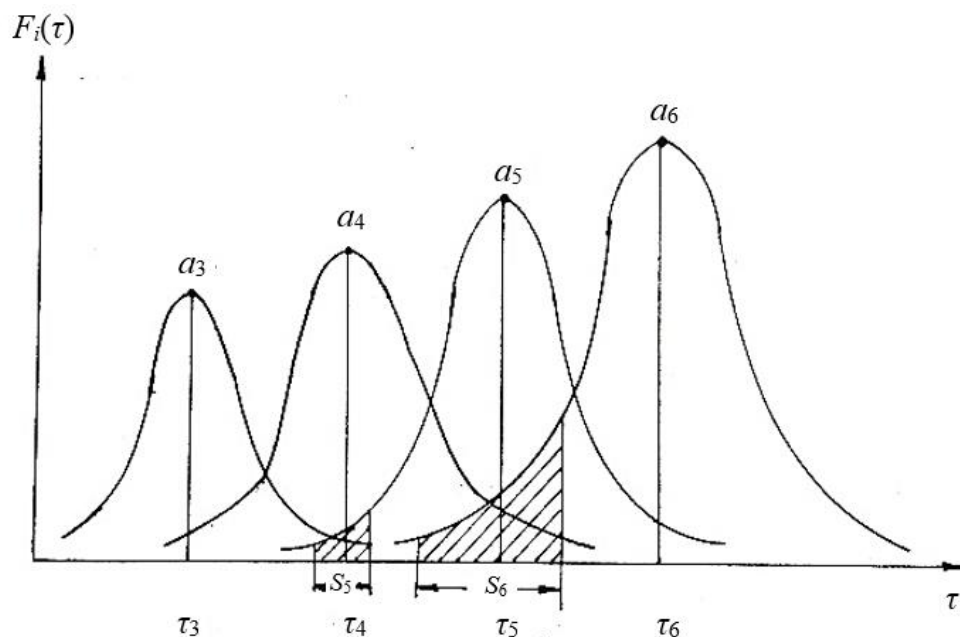


Рис. 3. Взаимное расположение различных поколений новшества

Соотношение (7) позволяет получить предварительное решение задачи, которое в общем случае может и не удовлетворять ограничению (6):

$$\sigma_5 = \sigma_4 \frac{\tau_5 - \tau_4}{\tau_4 - \tau_3}; \quad \sigma_6 = \sigma_5 \frac{\tau_6 - \tau_5}{\tau_5 - \tau_4}. \quad (8)$$

Найденные значения необходимо подставить в выражения (4) или (5), определяющие время фазы научного поиска (выбор выражения для подстановки будет зависеть от способа задания  $\alpha$ ). Это позволяет вычислить значения требуемых величин, которые для нашего примера будут  $S_{51}$ ,  $S_{61}$ .

В случае когда решение удовлетворяет ограничению (6), выражением (8) будет определяться искомое решение, в противном случае необходимо при фиксированных моментах стадии научного поиска увеличить стандартные отклонения  $\sigma_5$ ,  $\sigma_6$  и осуществить перенос времени  $\tau_5$ ,  $\tau_6$  до величин  $\sigma_5^0$ ,  $\sigma_6^0$  и  $\tau_5^0$ ,  $\tau_6^0$  таким образом, чтобы выполнялось условие (7). В этом случае величины  $\tau_5^0$ ,  $\tau_6^0$  будут являться поправками прогноза, полученного на предыдущем шаге  $\tau_5$ ,  $\tau_6$ :

$$t_5 = \tau_5 - 3\sigma_5; \quad t_6 = \tau_6 - 3\sigma_6.$$

Рассмотрим задачу определения поправки к прогнозу в том случае, когда уровень потребления ресурсов  $\alpha$  задается как доля использования ресурса на стадии

научного поиска от всего объема выделенного на эти цели ресурса, т. е. первый вариант, задаваемый соотношением (4). Необходимо вычислить минимальную поправку к стандартному отклонению, т. е. значение  $\sigma_i^0$ , обеспечивающее выполнение исходного ограничения вида (6).

Если величина времени на научный поиск определяется из соотношения (4), значение поправки  $\sigma_i^0$  вычисляется подстановкой  $S_{i1} = S_{\min}$  в уравнение (4), т. е. из выражения

$$\sigma_i^0 = \frac{S_{\min}}{3 + \Phi^{-1}(\alpha)}. \quad (9)$$

В этом случае максимальный уровень интенсивности использования ресурсов будет находиться в точке

$$\tau_i^0 = t_i + 3\sigma_i^0 = t_i + \frac{3S_{\min}}{3 + \Phi^{-1}(\alpha)}.$$

Подставляя значения  $t_i$  для пятого поколения, получим

$$\tau_5^0 = \tau_5 - 3\sigma_4 \frac{\tau_5 - \tau_4}{\tau_4 - \tau_3} + \frac{3S_{\min}}{3 + \Phi^{-1}(\alpha)}, \quad (10)$$

аналогично находим соответствующее значение и для шестого поколения:

$$\tau_6^0 = \tau_6 - 3\sigma_4 \frac{\tau_6 - \tau_5}{\tau_4 - \tau_3} + \frac{3S_{\min}}{3 + \Phi^{-1}(\alpha)}. \quad (11)$$

Выражения (9)–(11) дают решение задачи 1 в том случае, когда уровень потребления ресурсов задается как доля от всего запланированного на реализацию данного поколения инновации ресурса.

Если величина  $\alpha$  задается как отношение максимальной интенсивности потребления ресурсов на стадии научного поиска к максимальной интенсивности использования ресурсов для разработки всего поколения, то  $\sigma_i^0$  определяется уравнением (5), в которое вместо  $S_i$  подставлено  $S_{\min}$ :

$$\sigma_i^0 = \frac{S_{\min}}{3 - \sqrt{2 \ln(1/\alpha)}}. \quad (12)$$

В этом случае значения  $\tau_5^0$ ,  $\tau_6^0$  задаются выражениями:

$$\tau_5^0 = \tau_5 - 3\sigma_4 \frac{\tau_5 - \tau_4}{\tau_4 - \tau_3} + \frac{3S_{\min}}{3 - \sqrt{2 \ln(1/\alpha)}}; \quad (13)$$

$$\tau_6^0 = \tau_6 - 3\sigma_4 \frac{\tau_6 - \tau_5}{\tau_4 - \tau_3} + \frac{3S_{\min}}{3 - \sqrt{2 \ln(1/\alpha)}}. \quad (14)$$

Соотношения (12)–(14) определяют решение задачи 1 при задании уровня потребления ресурса по второму варианту; ограничения вида (6) в этом случае выполняются.

Как правило, в задачах, связанных с распределением ресурсов, весьма важным является ограничение бюджетного вида, т. е. ограничение на объем используемого ресурса. К сожалению, в приведенных выше подходах этот фактор не учитывается.

Рассмотрим возможный подход к решению данной задачи, когда на суммарное количество ресурса наложено ограничение: величина используемого ресурса не должна превышать заданной величины  $\theta(\tau)$ . В этом случае задача будет иметь ограничение в виде неравенства, которое можно записать в виде

$$F(\tau) = \sum_{i=4}^6 F_i(\tau) = \sum_{i=4}^6 \frac{A_i}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(\tau - \tau_i)^2}{2\sigma_i^2}\right\} \leq \theta(\tau). \quad (15)$$

Однако для применения соотношения (15) необходимо задаться видом зависимости  $\theta(\tau)$ , которая в общем виде неизвестна, а получить ее на реальных данных не представляется возможным. В этом случае приходится задаваться априорной аппроксимацией этого соотношения. Представим, что предприятие осуществляет вложение средств в развитие новой техники, индексируя их ежегодно на 2 %. Тогда для величины  $\theta(\tau)$  будет справедлива аппроксимация

$$\Delta\theta(\tau) = \theta(\tau)k\Delta\tau,$$

где  $k = 0,02$  и определяет темп прироста вложений в инновационное развитие.

Разделив предыдущее соотношение на  $\Delta\tau$  и переходя к пределу при  $\Delta\tau \rightarrow 0$ , получаем для  $\theta(\tau)$  дифференциальное уравнение относительно  $\theta$

$$\frac{d\theta}{d\tau} = k\theta,$$

которое дает решение

$$\theta(\tau) = \theta_0 e^{k\tau}, \quad (16)$$

где постоянная интегрирования  $\theta_0$  – интенсивность вложений в начальный момент времени.

При достаточно малой величине  $k\tau$  предельная интенсивность может быть представлена первыми двумя членами ряда Тейлора и примет вид

$$\theta(\tau) \approx \theta_0(1 + k\tau). \quad (17)$$

Приведенный алгоритм решения задач первого типа позволяет осуществлять вычисление параметров поколения новшества, что дает возможность менеджменту предприятия более целенаправленно влиять на процесс инновационного развития фирмы.

**Задача 2** (о выходе на заданный уровень). Имеются данные о предыдущих поколениях развития инновации, т. е., если в качестве предыдущих поколений рассматриваются третье и четвертое, то известны величины  $\tau_3, \sigma_3, A_3$  и  $\tau_4, \sigma_4, A_4$ . Если в качестве характеристики уровня инновационного развития предприятия принять момент времени, для которого характерно наибольшее значение интенсивности вложений средств, то необходимо для последнего поколения (в нашем случае шестого) определить данный момент времени и обеспечить при этом минимальное значение предельной интенсивности вложений  $\theta(\tau)$ . Иными словами, необходимо к заданному моменту времени обеспечить создание нескольких поколений инновационного развития фирмы при минимальных затратах, т. е. следует минимизировать интенсивность вложений в начальный момент времени. Формализованная постановка задачи может быть записана в следующем виде:

$$\theta_0 \rightarrow \min. \quad (18)$$

В качестве управляемых параметров выступают величины  $A_5, \sigma_5, \tau_5, A_6, \sigma_6$ , при этом полученное решение должно удовлетворять исходным ограничениям вида (6) и (15).

Решение задачи (18) предполагает итерационное решение первой задачи, которое в самом простом случае может состоять из одной итерации [9, 10].

В качестве целевой функции можно выбрать и другую величину. Если по исходным условиям известна величина ресурсов, направляемых на реализацию новшества, то, используя соотношение (17), согласно которому единственным варьируемым параметром остается  $k$ , приходим к целевой функции вида

$$k \rightarrow \min. \quad (19)$$

Если решение задачи вида (18) или (19) окажется меньше тех же величин, получаемых из соотношения (16), то это будет означать, что можно уменьшить величину  $\tau_6$  и тем самым ускорить инновационное развитие. Если же полученные в результате решения оптимизационной задачи (18) или (19) значения окажутся выше величин, получаемых по уравнению (16), то из этого будет следовать, что значение  $\theta(\tau)$  превышает реальные возможности системы. Скорректировать подобную ситуацию возможно только изменением значений коэффициентов, входящих в выражение, задающее зависимость  $\theta(\tau)$ . Это будет означать, что повышается эффективность используемых ресурсов, т. е. повышается производительность труда разработчиков.

**Задача 3** (о приближении к заданному уровню). Требуется за минимальное время по известным характеристикам предыдущих поколений обеспечить создание последнего поколения инновации.

Пусть известны параметры третьего и четвертого поколений. Необходимо найти минимальное время создания шестого поколения, т. е. целевая функция задачи принимает вид

$$\tau_6 \rightarrow \min$$

при ограничениях, задаваемых выражениями (6), (15), (17).

Варьируемыми параметрами задачи являются  $A_5, \tau_5, \sigma_5, A_6, \sigma_6$ .

**Задача 4** (о равномерности вложений). Необходимо обеспечить наиболее близкое к равномерному распределение ресурсов, направляемых на реализацию новшества, если имеются данные о предыдущих поколениях этой инновации, интенсивности вложений и времени реализации последнего поколения инновации.

Если заданы свойства третьего и четвертого поколений новшества, интенсивность вложений  $\theta(\tau)$ , определяемая из уравнения (17), и время, за которое необходимо создать новое поколение, т. е.  $\tau_6$ , то целевая функция задачи может быть записана в виде

$$\max |F(\tau) - \theta(\tau)| \rightarrow \min.$$

Управляемыми параметрами являются  $A_5, \tau_5, \sigma_5, A_6, \sigma_6$ .

Суть задачи состоит в достижении наиболее равномерной интенсивности средств, что, как правило, обеспечивает устойчивое функционирование системы.

В рамках рассматриваемой модели возможны и другие оптимизационные постановки задач типов 2–4 [11]. Все они относятся к многопараметрическим оптимизационным задачам и могут решаться методом целенаправленного перебора и другими методами.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ОАО «ДСК» прошло целенаправленное изучение возможности создания перспективных способов возведения зданий и сооружений. Его результаты дали возможность успешно внедрить на предприятии технологии монолитного домостроения в съемной опалубочной системе.

Был определен перспективный подход при создании ограждающих конструкций, базирующийся на использовании однослойных конструкций стен и приводящий к отказу от использования дорогостоящих материалов, основанных на полимерном теплоизоляционном сырье. Это позволяет снизить затраты на строительство здания.

Единственным серьезным недостатком предлагаемой технологии является то, что она применима для возведения ограждающих конструкций при строительстве зданий не выше пяти этажей. Понятно, что на данный момент для Воронежа это уже имеет невысокую востребованность. Следовательно, встает вопрос о разработке нового поколения данного новшества для применения его при возведении зданий повышенной этажности (до двадцати пяти этажей).

Разработка инновации для строительства современных ограждающих конструкций может быть представлена как процесс, разбитый на стадии создания:

ограждающей конструкции по монолитной технологии на основе тяжелого бетона в съемной опалубке;

ограждающей конструкции по монолитной технологии на основе тяжелого бетона в несъемной опалубке для зданий до пяти этажей (опалубки из вспененного полистирола «Пластбау», Velox);

ограждающей конструкции на основе монолитной стены, выполненной из тяжелого бетона в несъемной опалубке, при строительстве зданий повышенной этажности до двадцати пяти этажей (пенополистирольная опалубка «АБС», «Изодом»);

ограждающей конструкции на основе монолитной стены в несъемной опалубке из ЦСП с заполнением крупнопористым керамзитобетоном при возведении зданий до пяти этажей;

ограждающей конструкции на основе монолитной стены в несъемной опалубке из ЦСП с заполнением крупнопористым керамзитобетоном при строительстве зданий повышенной этажности до двадцати пяти этажей.

Таким образом, работа по созданию инновации в области разработки технологии возведения ограждающих конструкций на ОАО «ДСК» может быть разбита на пять поколений. При этом работы по четырем поколениям уже завершены, но возникает задача определения параметров пятого поколения на основе имеющихся данных по третьему и четвертому. Необходимо определить характеристики пятого поколения при условии ограничения на минимальную продолжительность фазы научного поиска.

Способ решения задачи был рассмотрен выше, поэтому применим предложенный алгоритм. Будем считать, что жизненные циклы поколений пропорциональны интервалам между пиками кривых  $F_i$  (см. рис. 3), тогда соотношение (7) может быть записано в виде

$$\frac{T_5}{T_4} = \frac{\sigma_5}{\sigma_4} = \frac{\tau_5 - \tau_4}{\tau_4 - \tau_3}.$$

Из этого соотношения находим интересующую нас величину  $\sigma_5$ :

$$\sigma_5 = \sigma_4 \frac{\tau_5 - \tau_4}{\tau_4 - \tau_3}.$$

На предприятии ОАО «ДСК» в ходе финансового планирования инноваций в качестве заданного уровня потребляемых ресурсов  $\alpha$  используется отношение максимальной интенсивности вложений на стадии научного поиска к максимальной интенсивности вложений всего поколения. Поэтому для данного случая подставим найденное значение для  $\sigma_5$  в формулу

$$S_{i1} = 3\sigma_i - \sigma_i \sqrt{2(\ln(1/\alpha))}^{\frac{1}{2}}.$$

Данное выражение дает первое приближение к решению исходной задачи. Для дальнейшего решения необходимо учесть ограничения на величину используемого ресурса, что позволяет вычислить поправку к полученному решению  $S_{51}$ . Практика показала, что на предприятии при выполнении этапа научного поиска используется до 80 % отпущенных на реализацию инновации средств, т. е.  $\alpha = 0,8$ .

Принимая во внимание имеющиеся сведения о параметрах третьего  $\tau_3 = 30$  и четвертого поколений, когда наибольшая интенсивность вложения средств была достигнута на 40-м месяце, т. е.  $\tau_4 = 40$  и  $\sigma_4 = 12$ , можно вычислить  $\sigma_5 = 14,4$ . Следовательно,  $S_{51} \approx 34$  месяца, т. е. для пятого поколения продолжительность этапа научного поиска составит 34 месяца. Возникает проблема уменьшения этого значения. Для этой цели вычислим поправку  $\tau_5^0$  к полученной величине прогноза  $\tau_5$ , используя приведенный выше алгоритм, и получим 33 месяца.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, с целью планирования внедрения новшеств на предприятии предлагается модель управления инновационным развитием на базе использования поколений разрабатываемого новшества, что дает возможность динамически изменять функциональные, конструктивные и технологические признаки создаваемой продукции. Показано, что модель поколений инновационного развития фирмы позволяет проследить развитие каждого последующего поколения, приведена математическая модель поколений инновационного развития фирмы. Разработаны процедуры прогноза продолжительности жизненного цикла поколения инновационного развития фирмы с учетом ограничений интенсивности вложений на каждой стадии жизненного цикла, определения момента достижения и уровня максимальной интенсивности затрат для прогнозируемых поколений инновационного развития фирмы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Моделирование оптимальной очередности реализации инновационных проектов / Т.А. Аверина [и др.] // *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2009. Т. 5. № 1. С. 54–58.
2. Баркалов С.А., Курочка П.Н., Мищенко В.Я. Генезис процессов организационно-технологического моделирования строительного производства // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2020. № 9 (741). С. 76–92.
3. Баркалов С.А., Курочка П.Н., Серебрякова Е.А. Построение рейтинговой оценки на основе потоковой модели // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника*. 2023. Т. 23. № 1. С. 31–41.
4. Трахинин Е.Л. Метод прогнозирования периодичности контроля состояния элементов системы распределенных ситуационных центров при их мониторинге // *Информационные системы и технологии*. 2022. № 1 (129). С. 77–82.
5. Бородин А.Р. Модели выбора и оценивания проектов // *Системы управления эволюцией организации: сборник трудов по материалам IV Международной*

конференции. Воронеж: Научная книга. 2007. С. 207–215.

6. Бурков В.Н., Буркова И.В. Задачи дихотомической оптимизации. М.: Радио и связь. 2003. 156 с.

7. Курочка П.Н., Чередниченко Н.Д. Задачи ресурсного планирования в строительном проекте // *XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014*. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 2014. С. 4745–4753.

8. Рожкова Т.С., Невров А.А., Ветров И.И. Разработка модели распределения ресурсов в многоузловой децентрализованной системе управления потоками данных мобильных устройств // *Системы управления и информационные технологии*. 2021. № 4 (86). С. 14–18.

9. Жилиякова Л.Ю., Кузнецов О.П. Теория ресурсных сетей. М.: РИОР: ИНФРА-М. 2017. 283 с.

10. Губанов Д.А., Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Социальные сети. Модели информационного влияния, управления и противоборства. М.: Физматлит. 2010. 228 с.

11. Новиков Д.А., Бреер В.В., Рогаткин А.Д. Управление толпой: математические модели порогового коллективного поведения. М.: ЛЕНАНД. 2016. 168 с.

**Для цитирования:** Баркалов С.А., Буркова И.В., Курочка П.Н., Серебрякова Е.А. Моделирование инновационного развития фирмы // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2023. № 2 (18). С. 49–64.

## MODELING THE INNOVATIVE DEVELOPMENT OF THE FIRM

S.A. BARKALOV<sup>1</sup>, Dr. Sc., I.V. BURKOVA<sup>2</sup>, Dr. Sc.,  
P.N. KUROCHKA<sup>1</sup>, Dr. Sc., E.A. SEREBRYAKOVA<sup>1</sup>, Cand. Sc.

<sup>1</sup> Voronezh State Technical University  
84, st. 20th Anniversary of October, Voronezh, 394006, Russian Federation;  
e-mail: kpn55@rambler.ru

<sup>2</sup> V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS  
65, st. Profsoyuznaya, Moscow, 117997, Russian Federation

The article considers issues related to the innovative development of the firm. It is emphasized that the period of existence of any innovation is determined by its life cycle, during which different actions are required from the enterprise: at the stage of initiation and development - investment of funds, at other stages of the successful implementation of innovation there is a return on investment and profit. There is a situation when most enterprises simultaneously implement several innovations. As a consequence, maximum investments can be required in several projects, and almost simultaneously, which can lead the enterprise to financial difficulties. To avoid this situation, it is necessary at the planning stage to determine as precisely as possible the timing of the beginning and end of the stages of implementation of innovation. On the example of the introduction of innovative enclosing structures in the construction of residential buildings of higher storey the problem of determining the time parameters on the stages of implementation of the process of implementing the developed innovation is considered.

*Keywords:* innovative development of a firm, generation of innovation development, innovation life cycle, enclosing structures, models of innovation generations, prediction of the duration of the innovation life cycle.