

Научная статья
УДК 330.46:517.977

С.В. Чупров
*Байкальский государственный университет,
г. Иркутск, Российская Федерация*

Синтез оптимального управления инновационными проектами промышленного предприятия: адаптивность и устойчивость

Аннотация. Освоение инноваций в возмущенной бизнес-среде встречает трудности неполноты априорной информации, что ухудшает условия достижения адаптивности и устойчивости промышленных предприятий. Проведение синтеза оптимального управления инновационными проектами на основе формулирования и анализа целевых функций, отображающих инвестиционное обеспечение инноваций и стремление наращивать изготовление инновационной продукции, указывает на выгодность взаимодействия вовлеченных в инновационный процесс сторон. С обменом информацией между ними удастся провести сочетание противоположных интересов сторон и принять предпочтительное компромиссное решение, улучшающее общую ситуацию с разработкой инновационного проекта и тем способствующую повышению адаптивности и устойчивости промышленных предприятий.

Ключевые слова. Адаптация, инвестиции, инновационный проект, информация, оптимальность, производственная система, промышленное предприятие, управление, устойчивость, целевая функция.

Информация о статье. Дата поступления: 14 декабря 2022 г.

Original article

S.V. Chuprov
*Baikal State University,
Irkutsk, Russian Federation*

Synthesis of Optimal Control of Innovative Projects of an Industrial Enterprise: Adaptability and Stability

Abstract. The development of innovations in a disturbed business environment encounters the difficulties of incomplete a priori information, which worsens the conditions for achieving adaptability and stability of industrial enterprises. Carrying out the synthesis of the optimal control of innovative projects based on the formulation and analysis of objective functions that reflect the investment support of innovations and the desire to increase the production of innovative products indicates the profitability of the interaction of the parties involved in the innovation process. With the exchange of information between them, it is possible to combine the opposing interests of the parties and achieve a preferable compromise solution that improves the overall situation with the development of an innovative project and thereby contributes to an increase in the adaptability and stability of industrial enterprises.

Keywords. Adaptation, investments, innovative project, information, optimality, production system, industrial enterprise, control, stability, objective function.

Article info. Received 14 December, 2022 .

В современном пространстве ошеломительных геополитических и технологических перемен повышенное теоретико-методическое значение приобретает экономико-математическое моделирование адаптивного управления инновационной деятельностью промышленных предприятий.

Стремление к поддержанию ими эффективной и устойчивой деятельности на фоне ожесточенной конкурентной борьбы актуализирует разработки модельных отображений взаимосвязи процессов управления и маневрирования производством с позиций достижения приоритетных целей предприятий. Испытывая растущее санкционное давление США, стран ЕС и напряжение экспортно-импортных коммуникаций, менеджмент отечественных индустриальных предприятий преследует замысел наращивания своего адаптационного потенциала с опорой на мобилизацию располагаемых производственно-финансовых ресурсов и оптимизацию инновационных решений в сильно возмущенной бизнес-среде.

Востребованные деловым и научным сообществом, аргументация, формулирование и выполнение задачи обеспечения устойчивости промышленного предприятия вместе с тем расширяют инструментарий производственного менеджмента, отвечая принципу дуального управления. Его идея и формализация принадлежат А.А. Фельдбауму, по словам которого «управляющие воздействия необходимы не только для научения объекта, но и для приведения его к требуемому режиму... Они должны быть в известной мере изучающими, но в известной мере и направляющими» [1, с. 400]. Дуальное управление целесообразно или даже необходимо в тех ситуациях, когда возмущающее воздействие является сложным, и сам объект отличается сложностью и изменчивостью своих характеристик. При этом одно и то же воздействие может быть двойственным, частично познавательным и частично направляющим [там же, с. 401].

Дуальное управление применяется при коррекции моделей управляющих подсистем, когда требуется повысить их точность ввиду расхождения модельного результата с реакцией выхода объекта, поведение которого модель математически воспроизводит. Проблема состоит в том, что вводимая в модель корректирующая поправка не гарантирует, что в последующем модельный результат будет точнее, чем на предыдущем этапе. Неполнота присуща априорной информации, которой обладает управляющая подсистема, и чтобы восполнить дефицит этой информации, проводится изучение управляемого объекта для получения дополнительных сведений о его свойствах. Так, на основе обзора поступающей информации об управляемом объекте анализируются его состояние и свойства и на следующем шаге вырабатывается адекватное управляющее воздействие на него.

В этом отношении в кибернетике адаптивное управление системой с неполной априорной информацией об управляемом объекте состоит в накоплении информации о нем для улучшения качества функционирования объекта [2, с. 452]. При заданных его состоянии и объеме информации о нем переход в новое состояние объекта под воздействием управления и возмущений сопровождается приращением информации и благодаря специальному выбору механизма адаптации достигается улучшение показателя качества управления. Признано, что применение принципа адаптации обеспечивает эффективный компромисс между качеством управления и устойчивостью системы, тогда как в самоорганизующихся системах характеристики управляемого объекта «плывут» и полностью устранить неопределенность информации не удастся, более того, она может возрастать [3, с. 12].

Эволюция и нестационарность функционирования производственных систем мотивировали поиск методов адаптации систем управления предприятий и алгоритмически обосновывали параметрическую и структурную адаптацию математического и программного обеспечения АСУП. В этом отношении концептуальный подход к определению понятия устойчивости производственных систем был специфицирован условием стохастичности внешней среды [4]. В момент времени t для периода $[t, t + \tau]$ управляющая подсистема с учетом предполагаемого состояния среды в этом периоде $R_{t, t + \tau}$ вырабатывает управляющие воздействия u_t , исходя из цели достижения экстремума показателя эффективности (критерия оптимальности)

$$\Phi(\varphi(x_t, u_t, R_{t, t + \tau})),$$

где φ — функция перехода состояний производственной системы (задается совокупностью всех компонентов модели); x_t — состояние производственной системы в момент времени t .

Тогда производственная система будет устойчивой, если для любого наперед заданного $\varepsilon > 0$ существует $\delta > 0$, и при любых $\tilde{x}_t \in X_t$, $\tilde{R}_{t, t + \tau} \in R$ из выполнения условия:

$$\|(\tilde{x}_t, \tilde{R}_{t, t + \tau}) - (x_t, R_{t, t + \tau})\| \leq \delta$$

следует:

$$\|\Phi(Y_x(\bar{x}_{t + \tau})) - \Phi(\varphi(x_t, u_t, R_{t, t + \tau}))\| \leq \varepsilon,$$

где $\|\cdot\|$ — некоторая норма; $Y_x(\bar{x}_{t + \tau})$ — фактическое значение переменной $x_{t + \tau}$.

Словом, производственная система является устойчивой, если при ограниченном отклонении (фиксируемом величиной δ) возмущенной траектории системы от расчетной показатель эффективности ее функционирования остается в пределах, определяемых величиной ε . Величина δ обычно считается заданной, либо ее находят по статистическим сведениям.

Между тем технология адаптивного управления производственной системой опиралась на применение имитационных моделей для анализа функционирования систем при реализации управляющих воздействий в возмущенном экономическом пространстве с учетом прогноза вмешательства помех в процесс выполнения плана и регулирующих воздействий. Поэтому принимая во внимание возмущения случайных факторов, постановка задачи приобретала вероятностный вид: производственная система устойчива, если для наперед заданных ε , α и любых возможных для данной системы возмущениях соблюдается условие:

$$P\{\|\Phi(Y_x(x_{t+\tau})) - \Phi(\varphi(x_t, u_t, R_{t,t+\tau}))\| \leq \varepsilon\} \geq \alpha, \alpha > 0,$$

где $P\{\cdot\}$ — вероятность.

Тем самым при влиянии на производственную систему случайных возмущений вероятность того, что условие ограниченного изменения показателя эффективности будет выдержано, должна быть не меньше некоторого порогового значения α .

В рамках этих представлений об адаптивном менеджменте приступим к построению экономико-математической модели управления инновационными проектами промышленного предприятия и обсуждению ее свойств оптимальности, адаптивности и устойчивости. В менеджменте предприятия в режиме текущего управления административный персонал занимается сбором и анализом поступающей информации о его состоянии в сфере производства и финансов и регулированием деятельности предприятия. Если вопреки действию допустимых внешних и внутренних возмущений, траектория движения показателей работы предприятия также остается допустимой (находится в «трубке допуска»), его функционирование является устойчивым в смысле Ляпунова. В ином случае, если хотя бы один раз возмущенная траектория «выбегает» за пределы допуска, деятельность предприятия полагают неустойчивой.

Между тем существенным в производственном менеджменте предприятия является учет активности объекта адаптивного управления — промышленного предприятия, оцениваемого производственно-финансовыми показателями функционирования. Воспользуемся известным в синтезе процесса управления сложными объектами теоретико-методическим подходом по Л.А. Раст-

ригину [5, с. 184–187] с целью выполнения постановки и анализа задачи управления инновационными проектами предприятия по соображениям их эффективности и удовлетворения требованиям оптимальности и устойчивости.

Не преминем отметить, что замечательные достижения в сфере компьютеризации, цифровых информационно-управляющих систем, интеллектуализации алгоритмов управления, информационно-коммуникационных технологий, средств электронной связи выступают драйверами креативной экономики и инновационного типа промышленного роста национальных хозяйств, стимулируют широкое генерирование и освоение инноваций и производство наукоемкой продукции, создавая и укрепляя конкурентные преимущества индустриальных предприятий. Специалисты осмысливают историю и тренды развития экономики знаний и рискованного инновационного предпринимательства, раскрывают проблемы внедрения прорывных технологий и коммерциализации инноваций, строят прогнозы продвижения сценариев новых технологических укладов [6–9].

Среди преград интенсивному разворачиванию производства наукоемкой продукции экономисты правомерно называют сложившиеся критические условия, препятствующие полноценному финансированию инновационных проектов и ограничивающие инвестиционные вложения в их успешную реализацию. Достаточно привести сведения официальной статистики, свидетельствующие о мизерных показателях инновационной деятельности в нашей стране в 2010–2021 гг. Удельный вес затрат на нее в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг варьировал в диапазоне от 1,6 % до 2,9 % (в 2021 г. — 2,0 %), в Иркутской области — от 1,0 % до 3,0 % (в 2021 г. — 1,7 %)¹. При этом в промышленности удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг в эти годы оставался стабильно низким: по РФ в диапазоне от 4,9 % до 8,9 % (в 2021 г. — 5,5%), в Иркутской области — от 0,1 до 3,0 % (в 2021 г. — 0,1%)². Вместе с тем внедрение технологических инноваций позволяет значительно снизить стоимость производства выпускаемой продукции, как, например, в авиастроении с изготовлением истребителя пятого поколения Су-57, который в 2,5 раза дешевле его американских аналогов F-35 и F-22³.

¹ Наука, инновации и технологии // Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/science>.

² Там же.

³ Су-57 стоит в 2,5 раза дешевле F-35, рассказали в Госдуме // Рамблер/новости. URL: <https://news.rambler.ru/weapon/40253791-su-57-stoit-v-2-5-raza-deshevle-f-35-rasskazali-v-gosdume/>.

В целом государственное финансирование научных исследований в процентах к расходам федерального бюджета в 2010–2021 гг. было явно недостаточным: от 2,30 % до 3,19 % (в 2021 г. — 2,53 %) и по прикладным исследованиям колебалось в интервале от 155 472,0 млн р. до 401 421,6 млн р.⁴ По сравнению с ними внутренние текущие затраты на научные исследования и разработки в этом периоде монотонно росли с умеренным темпом от 489 450,8 млн р. до 1193578,5 млн р., в Иркутской области в 2015–2021 гг. варьировали от 3 968,2 млн р. до 5 909,6 млн р. (в 2021 г. — 5 555,3 млн р.).⁵

Взвешенное решение задачи управления инновационными проектами зависит как от преследуемых целей и управленческих воздействий, так и от наличных ресурсов и параметров предприятия при осуществлении внедрения инновационных проектов. Сформулируем достижение двух логичных, но в определенной мере противоречащих друг другу целей: рачительности расходуемых финансовых средств и их предельно возможной отдачи, имея в виду удержание, а то и увеличение, доли инновационной продукции предприятия в общем объеме отгружаемой продукции. Очевидно, такую задачу можно трактовать как поиск компромиссного решения, отвечающего интересам двух сторон, под которыми понимаем расчетливых финансистов предприятия и его ретивых инноваторов.

В контексте синтеза управления задача становится оптимизационной, поскольку заданы, с одной стороны, цель Z^* минимизации инвестиционных вложений в инновационную деятельность, а с другой, цель стабилизации или наращивания изготовления инновационной продукции, равносильной цели Z_0^* минимизации выпуска продукции, не относящейся к таковой, с необходимыми для управления ограниченными ресурсами.

Для модельного отображения взаимодействия сторон в соответствии с математической схемой [5, с. 184–185] введем следующие обозначения:

Y — состояние производственной системы предприятия;

\bar{Y} — состояние внешней среды предприятия;

U — управляющее воздействие со стороны финансистов, занятых вложениями инвестиций в инновационные проекты;

W — внутренние параметры производственной системы предприятия;

R_u — ресурс, выделяемый финансистам на управление U инвестиционными вложениями;

⁴ Наука, инновации и технологии // Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/science>.

⁵ Там же.

R_w — ресурс, выделяемый инноваторам на управление W функционированием производственной системы при реализации в ней инновационных проектов.

Фиксируем, что состояние Y производственной системы будет зависеть от переменных X , U и W :

$$Y = F_0(X, U, W),$$

где F_0 — оператор производственной системы.

Для цели Z^* минимизации инвестиционных вложений и целевой функции управления Q_u общая формулировка постановки задачи с финансовой точки зрения принимает вид:

$$Z^* : Q_u(U, W) \rightarrow \min \Rightarrow U_w^*, \quad (1)$$

при условии, что выделенный ресурс R_u удовлетворяет управляющему воздействию U , т.е. имеет место $U \in R_u$. При этом из выражения (1) вытекает, что управляющее воздействие U_w^* правомерно зависит также от значений внутренних параметров W .

Рассуждая аналогичным образом в отношении цели Z_0^* инновационной деятельности предприятия и целевой функции Q_w , запишем:

$$Z_0^* : Q_w(U, W) \rightarrow \min \Rightarrow W_u^*, \quad (2)$$

где W_u^* — управляющее воздействие со стороны производственной системы предприятия, направленное на минимизацию выпуска неинновационной продукции и высвобождение мощностей для изготовления инновационной продукции. В этом случае также предполагается, что выделяемый ресурс R_w обеспечивает управление производственной системой с параметрами W : выполняется требование $W \in R_w$.

Примечательно, что управляющие воздействия U_w^* (1) и W_u^* (2) определяются одними и теми же переменными и обуславливают друг друга, что может порождать неустойчивость инновационной деятельности предприятия, специфицированное оператором F_0 и целевыми функциями Q_u и Q_w . Между тем, памятуя о противоположности целей Z^* и Z_0^* , возникает вопрос о существовании компромиссного решения, которое позволяет адаптировать предприятие к текущему состоянию внешней среды и улучшает качество управления им. Но если допустить устойчивость решений U_w^* и W_u^* , то можно указать на такое рациональное решение, которое хотя и уступает экстремальному, но согласуется со склонностями и финансистов к бережливости денежных средств, и инноваторов к емким инвестиционным вложениям, при уменьшении величины целевой функции Q_u .

Для экономической интерпретации U и W удобно принять их величину коэффициентами. Действительно, в излагаемой задаче и управление инвестициями для реализации конкретного инновационного проекта, характеризуемое долей вложений от предназначенных для инноваций финансовых ресурсов, и доля выпускаемой инновационной (или неинновационной) продукции в объеме отгруженной продукции, выражаются коэффициентами, в нашем случае U и W соответственно. Как преимущественно принимают в экономической аналитике, они ограничены единичным интервалом: $U \in [0, 1]$ и $W \in [0, 1]$.

Концептуально метод компромиссного управления предполагает взаимодействие обеих сторон, способных к партнерскому сотрудничеству, благодаря чему обеспечивается наиболее благоприятная ситуация по сравнению с иными U_w^* (1) и W_u^* (2) без учета активности сторон [5, с. 185].

Для примера пусть целевые функции управления Q_u и Q_w заданы формулами:

$$Q_u = (U - 1)^2 + (W - 1), \quad Q_w = U^2 + W^2. \quad (3)$$

Графики этих функций на координатной плоскости — концентрические окружности с центрами $(0,0)$ и $(1,1)$ — изображены на рис. 1.

В устойчивой точке В с координатами $(1, 0)$ находим значения целевых функций, не соответствующих их минимумам:

$$Q_u = (1 - 1)^2 + (0 - 1)^2 = 1 \text{ и } Q_w = 1^2 + 0^2 = 1.$$

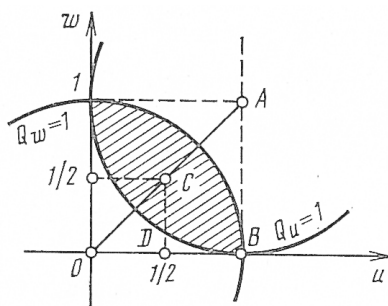


Рис. 1. Графики функций Q_u и Q_w на координатной плоскости [5, с. 186]

Однако при разумном взаимодействии сторон можно добиться желаемого уменьшения значений целевых функций. Из рис. 1 видно, что в заштрихованной области общих значений Q_u и Q_w существует точка С с координатами $(1/2, 1/2)$, в которой находим величины этих целевых функций:

$$Q_u = (0,5 - 1)^2 + (0,5 - 1)^2 = 1 \text{ и } Q_w = 0,5^2 + 0,5^2 = 0,5.$$

Визуально в этом можно убедиться, если представить вдоль оси OA заштрихованную область из рис. 1 (рис. 2). Такой ее ракурс показывает, что пересечение кривых Q_u и Q_w дает наименьшее значение, равное величине $1/2$.

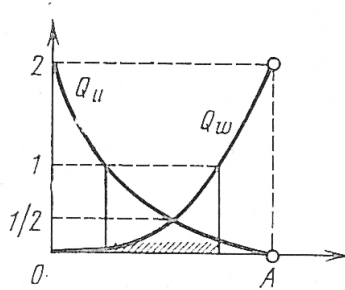


Рис. 2. Пересечение кривых Q_u и Q_w вдоль оси OA [5, с. 186]

В результате в точке C получаем выгодное компромиссное решение, которое в два раза ($1:0,5 = 2$) лучше предыдущего решения в точке B . Тем самым для поиска предпочтительного решения необходимо взаимодействие сторон, информирование друг друга о значениях их целевых функций и обоюдное желание минимизировать их суммарную величину Q в рамках располагаемых сторонами ресурсов R_u и R_w :

– при минимизации по управляющему воздействию U с точки зрения бережливости инвестиционных вложений в инновационные проекты:

$$Q(U, W) = Q_u(U, W) + Q_w(U, W) \rightarrow \min \Rightarrow U^* \quad (4)$$

– и при минимизации по внутренним параметрам производственной системы предприятия W , предполагая предельно возможное сокращение изготовления неинновационной продукции:

$$Q(U, W) = Q_u(U, W) + Q_w(U, W) \rightarrow \min \Rightarrow W^* \quad (5)$$

Минимальное значение функции Q (4) найдем по правилу поиска экстремума ее функции, приравнявая с учетом выражений (3) ее первую производную по U нулю:

$$\frac{dQ(U, W)}{dU} = \frac{d}{dU} [(U-1)^2 + (W-1)^2 + U^2 + W^2] = 4U - 2 = 0,$$

откуда $U = 0,5$ и тем самым для (4) имеем: $\min Q(U, W) = U^* = 0,5$.

С проведением аналогичных операций для выражения (5) получим то же значение, что и для U^* : $\min Q(U, W) = W^* = 0,5$. В итоге предпочтительное решение для обобщающих функций $Q(U, W)$ (4) и (5) и обеих сторон: $U^* = W^* = 0,5$

Между тем это решение нельзя признать устойчивым. Например, не удовлетворенное этим решением, производственная система может испытывать желание продолжать минимизацию величины своей целевой функции $Q_w(U, W)$, уменьшая производство неинновационной продукции. При этом возможен переход в точку D (рис. 1) с координатами $(1/2, 0)$, в которой значение целевой функции $Q_w(U, W)$ по формуле (3) еще меньше: $Q_w(U, W) = 0,25$.

Но тогда ухудшится значение целевой функции $Q_u(U, W)$ другой стороны (инвестиционного обеспечения внедрения инноваций): в точке D $(1/2, 0)$ ее величина возрастет и будет в 2,5 раза больше компромиссного 0,5, так как в этой точке по формуле (3) $Q_u(U, W) = 1,25$. В такой ситуации для обобщающих функций $Q(U, W)$ (4) и (5) найдем величину $Q(U, W) = 0,25 + 1,25 = 1,50$, которая в 3 раза больше значения 0,5 при согласованном взаимодействии сторон. Ясно, что со стороны финансового сопровождения инновационной деятельности предприятия будет рациональным возвращение в точку B с координатами $(1, 0)$, в которой, напомним, значение минимизируемой целевой функции $Q_u(U, W)$ меньше, чем 1,25, и равно $Q_u(U, W) = 1,0$.

Таким образом, с точки зрения общего успеха инновационной деятельности налицо выгода от заинтересованного взаимодействия сторон, благодаря чему растет информационный обмен между ними и достигается компромиссное управленческое решение, которое лучше по суммарному результату целевых функций обеих сторон.

В завершение констатируем, что преодоление барьеров наукоемкому развитию и цифровизации отечественной индустрии побуждает наращивать аналитические инструменты адаптивного управления промышленными предприятиями, прибегая к синтезу оптимального управления инновационными проектами. Предусматривая экономико-математическое моделирование процессов их разработки и освоения, в режиме компьютерных экспериментов оцениваются характеристики оптимальности и устойчивости проектов в сценарных условиях возмущенной бизнес-среды.

В этой связи представляются перспективными нелинейный анализ хаотизации и перестроек (катастроф, бифуркаций и др.) [10; 11], возбуждаемых инновациями эволюционирующих производственных систем, и интеллектуализация моделей оптимизации инновационных решений на базе алгоритмов нечеткой логики [12] с созданием гибридных инструментов моделирования и управления. Первые представляют ценность для понимания и толкования

метаморфоз производственной системы с неординарными быстрыми и медленными, плавными и скачкообразными ее нелинейными процессами со сменой устойчивых и неустойчивых состояний системы, вторые — для обработки интеллектуальными моделями адаптивного управления плохо формализуемой эвристической информации о приоритетах деятельности промышленных предприятий и ситуативных средовых факторах.

Список использованной литературы

1. Фельдбаум А.А. Основы теории оптимальных автоматических систем / А.А. Фельдбаум. — Москва : Физматгиз, 1963. — 552 с.
2. Энциклопедия кибернетики : в 2 т. / отв. ред. В.М. Глушков. — Киев, 1975. — Т. 2. — 623 с.
3. Экономико-математический энциклопедический словарь / гл. ред. В.И. Данилов-Данильян. — Москва : ИНФРА-М, 2003. — 688 с.
4. Скурихин В.И. Адаптивные системы управления машиностроительным производством / В.И. Скурихин, В.А. Забродский, Ю.В. Копейченко. — Москва : Машиностроение, 1989. — 208 с.
5. Растринин Л.А. Современные принципы управления сложными объектами / Л.А. Растринин. — Москва : Советское радио, 1980. — 232 с.
6. Глазьев С.Ю. О неотложных мерах по укреплению экономической безопасности России и выводу российской экономики на траекторию опережающего развития : доклад / С.Ю. Глазьев. — Москва : Русский биографический ин-т : Ин-т экономических стратегий, 2015. — 60 с.
7. Чистякова О.В. Развитие технополисов и наукоградов как фактор активизации инновационных процессов в России / О.В. Чистякова. — EDN OXGXIF // Известия Иркутской государственной экономической академии. — 2012. — № 2 (82). — С. 97–100.
8. Захарченко Л.А. Авиационная промышленность России как драйвер инновационного развития экономики / Л.А. Захарченко, О.А. Чепинога, Н.Р. Эпова. — DOI 10.17150/2500-2759.2018.28(4).701-710. — EDN XQBRXK // Известия Байкальского государственного университета. — 2018. — Т. 28, № 4. — С. 701–710.
9. Туренко Б.Г. Проблемы и перспективы развития малого инновационного предпринимательства / Б.Г. Туренко, Т.А. Туренко. — DOI 10.17150/2072-0904.2015.6(3).19. — EDN TVWRRD // Известия Иркутской государственной экономической академии (Байкальский государственный университет экономики и права). — 2015. — Т. 6, № 3. — С. 19.
10. Арнольд В.И. Теория катастроф / В.И. Арнольд. — Москва : Наука, 1990. — 128 с.
11. Структуры и хаос в нелинейных средах / Т.С. Ахромеева, С.П. Курдюмов, Г.Г. Малинецкий, А.А. Самарский. — Москва : Физматлит, 2007. — 488 с. — EDN MUWRPD.
12. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат; пер. с англ. — Москва : БИНОМ, 2009. — 798 с.

References

1. Feldbaum A.A. *Fundamentals of the theory of optimal automatic systems*. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1963. 552 p.
2. Glushkov V.M. (ed.). *Encyclopedia of Cybernetics*. Kiev, 1975. Vol. 2. 623 p.
3. Danilov-Danilyan V.I. *Economic and Mathematical Encyclopedic Dictionary*. Moscow, Infra-M Publ., 2003. 688 p.

4. Skurikhin V.I., Zabrodskii V.A., Kopeichenko Yu.V. *Adaptive control systems for machine-building production*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1989. 208 p.
5. Rastrigin L.A. *Modern Principles of Complex Objects Management*. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1980. 232 p.
6. Glazev S.Yu. *On the Urgent Measures to Enhance the Economic Security of Russia and Set the Russian Economy on Course to Priority Development*. Moscow, Russian Biographical Institute, Institute of Economic Strategies Publ., 2015. 60 p.
7. Chistyakova O.V. Development of Technopolises and Technology Cities as a Factor of Enhancing Innovation Processes in Russia. *Izvestiya Irkutskoy gosudarstvennoy ekonomicheskoy akademii = Izvestiya of Irkutsk State Economics Academy*, 2012, no. 2, pp. 97–100. (In Russian). EDN: OXGXIF.
8. Zaharchenko L.A., Chepinoga O.A., Epova N.R. Russian Aviation Industry as a Driver of Innovative Economic Development. *Izvestiya Baikalskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Baikal State University*, 2018, vol. 28, no. 4, pp. 701–710. (In Russian). EDN: XQBRXK. DOI: 10.17150/2500-2759.2018.28(4).701-710.
9. Turenko B.G., Turenko T.A. Problems and Prospects of Developing Small Innovative Business. *Izvestiya Irkutskoy gosudarstvennoy ekonomicheskoy akademii (Baikalskiy gosudarstvennyy universitet ekonomiki i prava) = Izvestiya of Irkutsk State Economics Academy (Baikal State University of Economics and Law)*, 2015, vol. 6, no. 3, pp. 19. (In Russian). EDN: TVWRRD. DOI: 10.17150/2072-0904.2015.6(3).19.
10. Arnold V.I. *Catastrophism*. Moscow, Nauka Publ., 1990. 128 p.
11. Akhromeeva T.S., Kurdyumov S.P., Malinetskii G.G., Samarskii A.A. *Structures and Chaos in Nonlinear Media*. Moscow, Fizmatlit Publ., 2007. 488 p.
12. Piegat A. *Fuzzy Modeling and Control*. New York, 2001. 728 p. (Russ. ed.: Piegat A. *Fuzzy Modeling and Control*. Moscow, BINOM Publ., 2009. 798 p.).

Информация об авторе

Чупров Сергей Витальевич — доктор экономических наук, профессор, кафедра менеджмента и сервиса, Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: ChuprovSV@yandex.ru.

Information about the Author

Sergey V. Chuprov — Doctor of Economics, Professor, Department of Management and Service, Baikal State University, Irkutsk, Russian Federation, e-mail: ChuprovSV@yandex.ru.

Для цитирования

Чупров С.В. Синтез оптимального управления инновационными проектами промышленного предприятия: адаптивность и устойчивость / С.В. Чупров. — DOI 10.17150/2713-1734.2022.4(4).283-294 // *System Analysis & Mathematical Modeling*. — 2022. — Т. 4, № 4. — С. 283–294.

For Citation

Chuprov S.V. Synthesis of Optimal Control of Innovative Projects of an Industrial Enterprise: Adaptability and Stability. *System Analysis & Mathematical Modeling*, 2022, vol. 4, no. 4, pp. 283–294. (In Russian). DOI: 10.17150/2713-1734.2022.4(4).283-294.