

## УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНЫМИ СИСТЕМАМИ: ПРЕДЕЛЫ И ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ В ПОВЕДЕНИЕ\*

**Алексеев М. А., Фрейдина Е. В.**

Новосибирский государственный университет экономики и управления «НИНХ»  
E-mail: m.a.alekseev@edu.nsuem.ru; evfreydina@socio.pro

**Хрущев С. Е.**

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет  
E-mail: s.khrushchev@g.nsu.ru

Современные представления о социально-экономических системах как о системах высокой сложности обуславливают поиск моделей управления, способных развивать адаптационные свойства для обеспечения гибкой их маневренности в окружающей среде, наполненной флуктуациями разных категорий и неопределенностью поведения ее субъектов. Адаптация, согласно законам эволюции, осуществляется в рамках некоторого предела, где действия рассматриваются как пороговое реагирование на изменения. В статье предел рассмотрен как развивающееся понятие, начиная от философской трактовки, математического представления и до назначения в управлении. Обобщены методы определения предела как числовой последовательности, представляемой в виде информационной гранулы, с использованием методов математической статистики и теории нечетких множеств. Раскрыта причинность перехода от модели управления с обратной связью, формируемой по существенным отклонениям, к модели робастного управления с прогнозируемыми вариантами траектории маневрирования системы в окружающей среде. Изложен методологический подход к определению робастного предела как числовой последовательности (множества), ее структуры с определением качественной оценки подмножеств, в контурах которых должна существовать и успешно развиваться социально-экономическая система с применением механизма робастного управления.

*Ключевые слова:* сложная система, управление, предел, адаптация, робастный предел, «плавающее равновесие»  
DOI: 10.32324/2412-8945-2021-1-21-30

## MANAGING COMPLEX SYSTEMS: THE LIMITS AND TRANSFORMATIONS OF INFORMATION INTO BEHAVIOR

**Alekseev M. A., Freydina Ye. V.**

Novosibirsk State University of Economics and Management  
E-mail: m.a.alekseev@edu.nsuem.ru; evfreydina@socio.pro

**Khrushchev S. Ye.**

Novosibirsk National Research State University  
E-mail: s.khrushchev@g.nsu.ru

Modern ideas about socio-economic systems as systems of high complexity determine the search for management models that can develop adaptive properties to ensure their flexible maneuverability in an environment filled with fluctuations of different categories and uncertainty of the behavior of its subjects. Adaptation, according to the laws of evolution, is carried out within a certain limit, where actions are considered as a threshold response to changes. In the article, the limit is considered as a developing concept, starting from the philosophical interpretation, mathematical representation and purpose in management. Methods for determining the limit as a numerical sequence, represented as an information granule, using methods of mathematical statistics and fuzzy set theory are generalized. The causality of the transition from a feedback control model formed by significant deviations to a robust control model with predicted variants of the system maneuvering trajectory in the environment is revealed. A methodological approach to the definition of a robust limit as a numerical sequence (set), its structure, with the definition of a qualitative assessment of subsets in the contours of which a socio-economic system should exist and successfully develop with the use of a robust control mechanism, is presented.

*Keywords:* complex system, control, limit, adaptation, robust limit, "floating equilibrium"  
DOI: 10.32324/2412-8945-2021-1-21-30

## Введение

В современном хозяйственном мире устойчивое поведение сложной открытой системы достигается организацией ее функционирования в режиме «плавающего равновесия» — аттрактора, выбор которого определяется некоторой «точкой разладки», а переход на новый аттрактор осуществляется посредством адаптационного процесса. Адаптация, согласно законам эволюции, осуществляется в рамках некоторого предела, где действия рассматриваются как пороговое реагирование на изменения. Такие понятия, как «предел» и «пороговое реагирование», являются базовыми для теории управления сложными социально-экономическими системами.

Предел — развивающееся фундаментальное понятие в философии, математике, физике, управлении, экономике, медицине и в других науках. В философских утверждениях выявление пределов означает «сосредоточение на самой вещи: есть нечто иное, но оно не имеет значения». Предел и в природе и в науке задается необходимостью существования посредством адаптации той или иной биологической, социально-экономической, технической системой. Адаптация системы в некоторый период времени происходит посредством смены траектории ее равновесного состояния без нарушения пороговых значений параметра-индикатора. Достигая пороговых значений, система переходит в критическое состояние.

Предел в теории управления выступает как преобразователь информации в поведение системы. Начало в постановке ключевой роли предела в управлении положено принципом кибернетики и моделью управления с обратной связью. На протяжении длительного периода роль предела сводилась к фиксированию малых флуктуаций объективной природы, к относительно жесткому пределу или пределу по А. М. Ляпунову. Непредсказуемая изменчивость с различными категориями флуктуации и агрессивность окружающей систему среды вызвали необходимость раздвижение граней жесткого предела с целью создать условие для демпфирования неслучайной природы факторов посредством превентивной разработки вариантов перевода системы на то или иное равновесное состояние. Управление в таком контексте именуется как робастное (прочностное) управление, объединяющее совокупность методов теории управления, целью которой является синтез такого регулятора, который обеспечивал сохранение выходных переменных системы в рамках робастного предела при всех типах неопределенности. Робастный предел — некоторая обоснованная «норма» экономических и организационных изменений гомеостатических показателей-индикаторов деятельности социально-экономических систем с позиций достижения поставленных целей.

От предела как необходимого элемента моделей управления необходимо перейти к его численному определению, естественно, к математике. Преемственность начинается с понятий

обычного и частичного пределов последовательности приближений к нужному значению. Так как организационное управление ведется в экспериментальной среде с погружением в цифровые массивы данных, относящихся к категории случайных величин, то естественно обращение к статистическим структурам определения пределов четкого и нечеткого множества. Так как любая социально-экономическая система развивается в силу своих ресурсных возможностей и по стадиям жизненного цикла, то числовые значения пределов представляются как переменная величина, что вызывает необходимость в качественной оценке числовой последовательности информационной гранулы — робастного предела конкретной системы. Для решения этой задачи на современном этапе привлекаются многочисленные концептные матрицы.

Из всего приведенного выстраивается проблема определения нужного значения предела последовательности для эффективного управления социально-экономической системой. Этим фактом объясняется стремление в статье к раскрытию методологических подходов к определению пределов как числовых последовательностей (множеств), их структуры с определением качественной оценки структуры информационной гранулы, в контурах которой должна существовать и успешно развиваться социально-экономическая система с применением робастного управления.

## Философские и математические аспекты предела

Понятие «предел» имеет 2500-летнюю историю, начиная отсчет от трудов Евклида и Аристотеля. Определение предела по Аристотелю: *первое*, предел — граница каждой вещи, за которой нет ничего, что относилось бы к данной вещи; *второе*, предел — сущность каждой вещи и суть ее бытия, ибо суть бытия вещи — предел познания вещи [2]. В первом определении предел отождествляется с понятием «граница», тем самым допускается их взаимозаменяемость; второе значение — предел как познание предмета, что отличает определяемое понятие от границы как пространства положения вещи. Понятия предела, границы, ограниченности являются одними из основных в «философии существования». Исключение взаимозаменяемости понятий «предел» и «граница» по-прежнему является предметом исследований в философии. Идея поиска отличительного основывается на фундаментальном понятии, что любая вещь выделяется среди других как пространственно (количественно), так и качественно.

Для познания различия между исследуемыми понятиями «предел» и «граница» воспользуемся изложенными в статье О. В. Боровковой [3] утверждениями о сущности этих понятий и их дефинициями данными, выдающимися философами прошлого: И. Кантом, Г. Гегелем и настоящего: М. Мамардашвили, А. Лосевым, Х. Плесне-

ром. В работах И. Канта и Г. Гегеля проявляется стремление к конкретизации понятия «предел» на основе установления его сущностного отличия от понятия «граница». И. Кант отмечает «родство» предела и границы и считает, что выделение предела и выделение границы — это две стороны одного процесса, его ограничения, но граница включает в себя пределы. Выявление пределов — это сосредоточение на самой вещи. Можно предполагать, что есть нечто иное, но оно не имеет значения. Исследование границы же, напротив, предполагает выявление местоположения вещи среди других вещей [6].

Понятие «граница» не остается без внимания Г. Гегеля как автора закона «О переходе накопленных количественных изменений в качественные изменения». Граница по Г. Гегелю — феномен дифференциации качества от других качеств. Он также указывает на границу как на пространство и рассматривает ее структуру. Нечто, не имеющее границы, «не отличается от своего иного» и определяется как «наличное бытие вообще» [цит. по: 3]. Но, называя границы пространствами (местами), Г. Гегель подчеркивает, что эти пространства особого рода, так как они всегда определяются не сами по себе, а другими пространствами — это переход из одного пространства в другое. Важным для раскрытия понятия «предел» является констатация Г. Гегеля о том, что, если граница содержит в себе моменты «нечто» и «иного», то предел отрицает «иное».

Приведем понятие «предел» и «граница» по определению А. Ф. Лосева [7]: «Положить предел чего-нибудь значит предположить, что есть какое-то инобытие вне этого „чего-нибудь“, в которое это „что-нибудь“ не переходит»; «...граница не принадлежит бытию, т. е. „ограничиваемым“ вещам, она есть нечто самостоятельное (пространство)» [цит. по: 3]. М. Мамардашвили указывает на то, что граница — это особое пространство, «нечто примыкающее к другому» [9].

Остановимся на наметившихся выводах в статье О. В. Боровковой и приведенных утверждениях философов об общности и различии понятий «граница» и «предел»:

- 1) понятия «граница» и «предел» имеют самостоятельное значение;
- 2) граница содержит в себе моменты «нечто» и «иного», предел отрицает «иное»;
- 3) выявление пределов — это сосредоточение на самой вещи: есть нечто иное, но оно не имеет значения;
- 4) исследование границы предполагает выявление местоположения вещи среди других вещей;
- 5) граница включает в себя пределы;
- 6) граница — это особое пространство, имеющее как общие топологические характеристики, так и специфические (каждое такое пространство особенно).

Выстроенное логическое суждение о понятии «предел» входит в контекст большого круга фундаментальных наук, начиная от математики и физики. Как свидетельствует история, понятие

«предел» в этих областях использовалось еще Ньютоном во второй половине XVII в. и математиками XVIII в., такими как Эйлер и Лагранж. Наступает следующая фаза развития логического суждения о пределе, состоящая в его символическом представлении, записи формулой. Как известно, предмет математики — это теоретический образ объекта, его абстрактное и идеализированное представление, его количественная и качественная характеристика. Для оценки объекта используется число. Гегель воспринимал математику как науку о величинах и числах. В математике понятие «предел» относится к числовой последовательности и функции. Первые строгие определения предела числовой последовательности дали Больцано в 1816 г. и Коши в 1821 г.

Приведем понятие предела, сформулированного в математике [5]. Под пределом числовой последовательности понимается предел последовательности элементов числового пространства. Числовое пространство — метрическое пространство, расстояние в котором определяется как модуль разности между элементами. Поэтому число  $a$  называется пределом последовательности  $\{x_n\}$ , если для любого  $\varepsilon > 0$  существует номер  $N_\varepsilon$ , зависящий от  $\varepsilon$ , такой, что для любого  $n > N_\varepsilon$  выполняется неравенство вида

$$|x_n - a| < \varepsilon. \quad (1)$$

Предел числовой последовательности ( $a$ ) как обычный предел — основное понятие математического анализа. Каждое вещественное число может быть представлено как предел последовательности приближений к нужному значению. Введено понятие «частичный предел» как предел одной из подпоследовательностей числовой последовательности. При этом если обычный предел характеризует точку, к которой элементы последовательности приближаются с ростом номера, то частичные пределы характеризуют точки, вблизи которых лежит бесконечно много элементов последовательности. Отметим два важных частных случая частичного предела: верхний и нижний пределы. Нижний предел подпоследовательности — это наименьшая из ее предельных точек, точная нижняя грань, а верхний — наибольшая, точная верхняя грань. Тогда нижний предел последовательности — это точная нижняя грань множества частичных пределов последовательности; верхний предел последовательности — это точная верхняя грань множества частичных пределов последовательности.

Понятия «обычный» и «частичный пределы» хорошо иллюстрируются в математической статистике. Если числовая последовательность случайных величин — четкое множество, описываемое статистическими законами распределения, то допустимо применять аппарат, накопленный статистической наукой. Результаты — выявление статистических закономерностей, отражающих протекание объективных законов природы. Как утверждают исследователи физических, метеоро-

логических, экономических явлений и явлений других наук, статистические закономерности приводят к более глубокому познанию результатов эксперимента и оцифрованной действительности, анализу случайных явлений для их адекватного описания и понимания.

В математической статистике от понятия «частичные пределы» с определением верхней и нижней границ переходим к понятию «доверительный интервал» — интервал со случайными границами, в котором с заданной вероятностью  $\gamma$  находится оцениваемый параметр  $x_n$ , т. е. имеем

$$P\{\underline{\Theta} \leq x_n \leq \bar{\Theta}\} = \gamma, \quad (2)$$

где  $\underline{\Theta}$ ,  $\bar{\Theta}$  — нижний и верхний пределы соответственно;  $x_n$  — число выборки;  $\gamma$  — доверительная вероятность, задаваемая априорно.

В общем случае доверительные интервалы, т. е. случайные границы некоторой совокупности данных, изменяются от выборки к выборке.

Случайные границы при нормальном законе распределения случайной величины рассматриваются как доверительные пределы с установленными верхним и нижним значениями, между которыми помещается центральная пропорция от совокупности [14]. Пример выражения доверительных пределов, когда вероятность попадания нормально распределенной случайной величины в 99,8-процентные доверительные пределы, имеет следующий вид:

$$P\{m - 3\sigma \leq x_n \leq m + 3\sigma\} = \gamma, \quad (3)$$

где  $m$  — математическое ожидание;  $\sigma$  — среднее квадратичное отклонение.

Выражением (3) описаны обычные (общие) пределы для случайной величины. Частичные пределы подпоследовательности, представленные в правилах доверительных пределов, имеют вид

$$P\{m - k\sigma \leq x_n \leq m + k\sigma\} = \gamma, \quad (4)$$

где  $k < 3$ .

Как только начинаем измерять те или иные параметры природного объекта (геологическая и экологическая среда) и формируемой хаотичной среды (товарный, финансовый и другой рынки), то получаем распределение случайной величины в виде нечеткого множества [15].

Частичные пределы являются конструкторами нечетких множеств. Методы теории нечетких множеств получают активное развитие в управлении, например в экспертных системах в качестве подсистемы «нечеткие регуляторы». Распределение случайной величины в виде нечеткого множества образуется, как только начинаем измерять те или иные параметры природного объекта (геологическая и экологическая среда) и формируемой хаотичной среды (товарный, фи-

нансовый и другие рынки). Для выработки управленческого решения нечеткое множество рассматривается как множество с возможностями «предельного перехода». Наличие предельных точек является эквивалентным наличию совокупности некоторых подмножеств с линейными трендами квазистабильного значения параметра.

Момент выхода параметра за грани очередного частичного предела (момент «разладки») — это момент нарушения устойчивости функционирования системы и перехода ее в другое, существенно отличающееся состояние. В новом состоянии система устойчива в течение некоторого периода времени. Для построения структуры нечеткого множества, состоящей из подмножеств, определяющих квазистабильность параметра, разработан алгоритм определения коэффициентов детерминации нелинейных трендов. Данные периоды определяются моментами «разладки» [15].

Теория нечетких множеств в определенном смысле сводится к теории случайных множеств. Однако при практическом применении аппарат теории нечетких множеств обычно используется самостоятельно, выступая конкурентом к аппарату теории вероятностей и прикладной статистики.

### Пределы в управлении сложными системами

*Равновесие, как категория порождения пределов в теории управления.* Числовое «господство» царит и в организационном управлении. Показатели функционирования и развития социально-экономической системы выражены показателями, являющимися количественной мерой ее деятельности.

Модели управления функционированием и развитием системы формируются под влиянием приоритетных экономических теорий, определяющих свойства управляемых систем, к которым они должны стремиться. Прежде всего это теория, жестко ориентированная на равновесное состояние, развитие которой начинается со времен А. Смита. «Концепция равновесия» и «Оптимизационный подход», по определению Р. Нельсона и С. Уинтера, являются главными структурными «опорами» в теории ортодоксальной экономики [10]. Равновесие системы рассматривается с нескольких позиций: тривиальное, асимптотически устойчивое и устойчивое. Первое, тривиальное равновесие ( $dx/dy = 0$ ), имеет место при сбалансировании всех видов ресурсов на стадии планирования, в основном на «бумаге». Общепринятым утверждением считается, что там, где система находится под воздействием случайного события, которое не может быть спрогнозировано или компенсировано без временного лага, полная стабилизация невозможна: можно только уменьшить колебания, но не устранить их полностью.

Со времен А. М. Ляпунова и в последующем кибернетикой признано, что к объективному свойству функционирования системы любого класса относятся малые флуктуации измеряемых параметров. Для малых флуктуаций определяется коридор (окрестность, пространство), направлен-

ный на обеспечение асимптотической устойчивости функционирования системы. Представление асимптотического равновесия для переменной  $x_n$  имеет вид

$$\underline{\Theta} \leq x_n \leq \bar{\Theta}, \quad (5)$$

где  $\underline{\Theta}$ ,  $\bar{\Theta}$  — нижний и верхний пределы соответственно.

Формула (5) отображает «жесткий предел» (предел по А. М. Ляпунову), полностью отвечающий условию  $|x_n - a| < \varepsilon$ , где  $\varepsilon$  — предельное малое отклонение, которое является основой кибернетической модели управления с обратной связью или управление по отклонениям. Обратная связь осуществляется на основе анализа данных о результатах ее работы в каждый период  $t_i, i = 1, 2, \dots, n$ . Относительно каждого измеренного параметра определяется мера отклонения от выстроенного равновесного его состояния. Возникает необходимость оценки отклонения как несущественное или существенное. Оценочным средством служат нижний и верхний пределы допустимых отклонений (формула 5).

Несущественные отклонения в период  $t_i, i = 1, 2, \dots, n$  посредством регулирования возможностями системы погашаются, и система входит в базовое или временное равновесное состояние в рамках предела. Опыт показал, что управлением с обратной связью без влияния внешних воздействий удастся удержать операционную деятельность системы в рамках заданного предела при условии перевода с одного дискретного равновесия на другое даже на протяжении месячного периода, т. е. получаем дискретно меняющееся равновесие. Существенное отклонение параметра — это когда его величина превышает допустимое отклонение  $\varepsilon$  и происходит в период  $t_i$  выход за грани предела. Для погашения существенного отклонения потребуются новые возможности, обеспечивающие адаптационные действия и расширение коридора предела.

Приоритет модели управления по отклонениям относится к периоду, когда управление осуществлялось хорошо организуемыми системами. В эпоху конца XX и начало XXI в. социально-экономические системы — это сложные саморегулирующиеся и самоорганизующиеся системы. В этих условиях, по выражению Р. Нельсона и С. Уинтера, на смену теории равновесного состояния по той причине, что она утратила контакт с эмпирическими разработками на уровне микроэкономики, создается эволюционная теория экономических изменений. В основу ее положены силы, порождающие движение. Так, фирмы «в каждый момент времени просто обладают определенными потенциальными возможностями и правилами принятия решений. Эти возможности и правила изменяются в течение времени как в результате целенаправленных усилий, предпринимаемых для решения стоящих

перед фирмой задач, так и по причине случайных событий» [10, с. 34].

Фундаментальным принципом, выражающим условие функционирования системы в рыночной экономике, является взаимодействие системы и внешней среды. Внешняя, полисубъектная среда проявляет свойства хаоса, выражающиеся в постоянном генерировании неопределенности, непредсказуемых флуктуаций (изменений, волатильности) параметров, турбулентности как различного масштаба «выбросы» информации о состоянии сил, воздействующих на систему.

Фундаментальная оценка роли случайного проявления и воздействия различного характера изменений на функционирование социально-экономической системы выражена академиком Н. Н. Моисеевым как «принципиальная стохастичность» и «принципиальная неустойчивость». Чтобы овладеть способностью к восприятию изменяющихся условий и обеспечить устойчивое функционирование, система должна обладать умением обучаться, осваивать принципиально новые модели и технологии управления, создавать особые фреймы знаний для гибкой оценки различных управленческих альтернатив и выбора среди них оптимальной.

Согласно законам эволюции и кибернетики, основным свойством для любого класса сложной системы, обеспечивающим устойчивость ее развития в современной конструкции внешней полисубъектной среды, является гибкая адаптация как способность управления сокращать временной лаг между периодическим наступлением существенного изменения и действием по встраиванию системы в равновесное состояние в новой ситуации.

Исходя из фундаментальных положений законов эволюции выведены принципы о роли предела в развитии способности системы к адаптации, состоящие в следующем:

1) способность системы к адаптации имеет «естественный предел»;

2) предел не единственный — выстраивается пространство, состоящее из параметров-индикаторов состояния системы, и по каждому из них устанавливается предел допустимых их значений, именуемое гомеостазом;

3) адаптация системы происходит посредством смены некоторой траектории жизнеспособности системы без нарушения пороговых значений предела;

4) установившаяся временная траектория равновесного состояния системы именуется как «плавающее равновесие» в рамках некоторого гомеостатического (предельного) пространства;

5) пределы адаптивного реагирования поддаются разрушению как под влиянием прямых связей, определяющих развитие системы, так и под воздействием дестабилизирующих факторов с изменением адаптивной нормы системы, при этом состоится или «бегство от негатива» или «движение к позитиву»;

б) система, маневрируя посредством реагирования на последовательность возмущений, достигая пороговых значений контрольных параметров, переходит в критическое состояние.

Адаптация системы в некоторый период времени происходит посредством смены траектории ее равновесного состояния без нарушения пороговых значений предела. Управление способно обеспечить гибкую адаптацию действующей системе при условии, что подготовлены сценарии по ее переводу с одного равновесного состояния в период  $t_i$  в другое в период  $t_i + \Delta_i$ . Временной лаг ( $\Delta_i$ ) рассматривается как фактор потери устойчивости функционирования системы. Для того чтобы сократить величину  $\Delta_i$ , потребуется переходить на сценарное планирование с определенной подготовкой информационного плацдарма для выработки решений. Такой плацдарм создается в модели робастного управления формированием информационных структур: адаптивного и робастного гомеостазов. Понятие гомеостаза для систем разного класса, которое впервые ввел У. Р. Эшби, означает свойство систем поддерживать жизненно важные параметры в определенном диапазоне, основанное на устойчивости внутренней среды системы по отношению к возмущающим воздействиям внешней среды.

Построение адаптивного гомеостаза сводится к конвергенции двух открытых систем: социально-экономической и внешней полисубъектной деловой среды. Робастный гомеостаз представляет информационную структуру, замыкающую гомеостатическое пространство операционной деятельности управляемой системы и являющуюся ее регулятором. И адаптивный и робастный гомеостазы формируются из нескольких параметров (показателей) индикаторов. По каждому параметру задается некоторая степень свободы — количество переменных его величин, введенных в информационную гранулу. Нижняя и верхняя грани набора некоторой последовательности независимых переменных именуется как робастный предел. Каждое число информационной гранулы робастного предела является индикатором для формирования того или иного сценария работы бизнес-системы в соответствующей характеру изменений ситуации.

На основе двух информационных структур формируется гомеостатическое пространство — оцифрованный каркас с заложенными в его основание адаптивным гомеостазом с экзогенными переменными и робастным гомеостазом с эндогенными переменными, в рамках которого действует механизм робастного управления с функциями конфигурирования. Адаптационная способность системы осуществляется в контурах гомеостатического пространства. Введением робастного предела создается расширенное гомеостатическое пространство для маневрирования операционной деятельности системы по предварительно выстроенным траекториям. Определим, что гомеостатическое пространство заключается в не-

котором ментально обусловленном каркасе восприятия и реагирования на протекающие процессы управления с заложенными в его грани адаптивными реакциями на экзогенное воздействие и робастными откликами на эндогенное возмущение внутри пространства, что образует механизм робастного управления с функциями конфигурирования.

Отметим, что робастный предел и адаптация неразрывно связаны: если разрушаются установленные пороговые значения робастного предела, то на смену им создаются новые. И придем к выводу, что адаптация представляет собой процесс трансформации информации в поведение в контурах, ограниченных робастными пределами, обеспечивающими устойчивое существование и воспроизведение системы. Эффективность адаптации оценивается следующими результатами:

- сокращением временного лага на принятие адаптивных решений, чтобы в наибольшей мере предотвратить их несоответствие сложившимся экономическим условиям;

- усилением оценки принимаемых адаптационных решений не с позиции соответствия глобальному оптимуму, а исходя из выбора лучшей из альтернатив, показатели действий которой не выходят за пределы выстроенного гомеостаза;

- исключением информационных ограничений при принятии адаптационных решений путем создания накопителей и преобразователя информации в некоторые структуры знаний, или фреймы;

- обеспечением непрерывности в подготовке альтернатив адаптационных решений.

*Робастный предел: определение и особенности формирования информационных гранул.* Робастный предел с позиции математической теории — частичный предел некоторой последовательности данных с позиции теории управления — некоторая обоснованная «норма» экономических и организационных изменений гомеостатических показателей-индикаторов деятельности социально-экономических систем для достижения поставленных целей [1].

Робастный предел раздвигает жесткий предел для малых объективно возникающих флуктуаций до некоторой величины, вмещающей флуктуации, вызванные субъективными условиями изменения параметров внутренней и внешней среды, и выступает как конструктор, формирующий адаптивный и робастный гомеостаз. Формулы робастного предела имеет вид

$$\bar{X} - \Delta_x \leq x_n \leq \bar{X} + \Delta_x, \quad n = 1, 2, 3, \dots, M, \quad (6)$$

$$P\{\bar{X} - \Delta_x \leq x_n \leq \bar{X} + \Delta_x\} = \gamma, \quad n = 1, 2, 3, \dots, M, \quad (7)$$

где  $\bar{X}$  — показатель равновесного состояния;  $\Delta_x$  — величина допустимого отклонения;  $x_n$  — число, внесенное в информационную гранулу;  $\gamma$  — доверительная вероятность, задаваемая априорно.

Из формулы (6) будем иметь

$$\bar{X} - \Delta_x = X_{\min}, \quad \bar{X} + \Delta_x = X_{\max}, \quad (8)$$

где  $X_{\min}, X_{\max}$  — предельные значения информационной гранулы, составляющей робастный предел.

Тогда робастный предел представим как

$$X_{\min} \leq x_n \leq X_{\max}. \quad (9)$$

Рассмотрим подходы и методы обоснования робастного предела параметров адаптивного и робастного гомеостазов. Как отмечалось выше, адаптивный гомеостаз является особой информационной структурой системной конвергенции — «процесса или результата взаимосближения, взаимовлияния, взаимопроникновения между собой открытых систем» [12, с. 483]: социально-экономической системы и полисубъектной внешней среды. Происходит структурно-информационное сопряжение сложной системы и среды. Связка

между такими системами должна следующей: критерии деятельности одной из взаимодействующих систем «должны отражать влияние любых, даже самых незначительных изменений разнообразия другой» [4, с. 148]. Влияние полисубъектной среды выражается посредством множества переменных действующих в ней сил (факторов). Часть из них совместно с показателями-индикаторами деятельности системы включается в адаптивный гомеостаз.

Выбор параметров ведется из следующего возможного списка (табл. 1). При этом установить робастный предел означает обосновать информационную гранулу выделенных значений параметров порядка, вводимых в адаптивный и робастный гомеостазы. Диапазон данных каждой информационной гранулы описывается некоторой функцией принадлежности и должен иметь как количественную, так и качественную оценку, которая позволит исследователю яснее понимать, какую позицию экономический субъект занимает или будет занимать в рыночном пространстве.

Таблица 1

**Состав параметров-индикаторов внешней и внутренней среды бизнес-системы для построения адаптивного гомеостаза бизнес-системы**

Финансовая политика	Состояние рынка	Возможности операционной деятельности системы	Результаты деятельности системы
Кредитная ставка	Доля рынка	Объем производимой продукции	Чистая прибыль
Инвестиции	Относительная доля рынка	Объем продаж	Норма прибыли
Курс валюты	Свободная доля рынка	Себестоимость продукции	
	Цена продукции	Стоимость качества	
		Затраты на материальные ресурсы	

Количественная оценка полностью основывается на статистических методах анализа, применяемых в следующей последовательности:

1) разработка программы исследований, включающая планирование (объект наблюдения, цели и задачи, период и время наблюдения) и организацию исследований;

2) проведение статистического наблюдения с определенной техникой сбора больших массивов данных и использованием прямых и косвенных методов;

3) систематизация (сводка и группирование) данных, по которым достигается возможность охарактеризовать совокупность данных в целом и получить обобщающие статистические показатели;

4) определить форму распределения вариационного ряда по значениям признака совокупности и оценить схожесть или различие кривой эмпирического распределения, варьирующего признак со стандартными закономерностями;

5) представление статистического материала в виде графиков, кривых функциональных связей между изменением варьирующего признака и изменением частот и эконометрических моделей, отражающих статистические закономерности;

б) обоснование методов статистического анализа структуры представленных совокупностей данных [16].

Последующий шаг — это оценка структуры совокупности данных (распределение на группы) по качественному признаку. Качественная оценка структуры совокупности данных в управлении социально-экономическими системами имеет свою историю, начиная от построения концептных матриц. Под концептом понимается логическая конструкция, выполняющая функцию признака различия ситуации компании в зависимости от предела изменения показателя ее экономического или рыночного положения. Концепты в матрицах имеют достаточно строгое определение, соответствующее количественному отношению выделенных «координат» логической пары факторов. В итоге формируется информационная модель из  $N$ -го количества гранул числовой последовательности.

Первые позиции в созданном матричном инструментарии занимают матрица BCG («рост рынка / относительная доля рынка»), Matrix Dupont — инструмент финансовой экспресс-диагностики (рентабельность активов / оборачиваемость активов), многокритериальная порт-

фельная матрица, разработанная компаниями General Electric и McKinsey (GE&M), матрица Ансоффа и ряд других. Следует отметить продолжающееся развитие матричного инструментария. Так, для обоснования стратегической направленности формируют интегрированную матрицу «Product Planning Matrix», объединяющую восемь частных матриц, используемых как главный инструмент методологии QFD (Quality Function Deployment), разработанной компанией Toyota. Синтез частных матриц активно представлен М. Мак-Донелдом в работе [8, с. 151—154] в виде каркасных моделей и служит как пример действующего в широкой практике совмещения качественной оценки структуры совокупности и логического механизма принятия стратегических решений. Таким образом, на настоящий период создан мощный инструментарий, преобразующий количественные оценки в концепты для подключения когнитивного мышления при принятии решений.

Следует отметить базовые особенности матричного инструментария.

*Первая.* Сочетание классики шаблона (образа) известной матрицы с индивидуальным обоснованием ее параметров для экономического субъекта в рамках отрасли. При этом ответственным решением является установление предела для числовой последовательности каждой информационной гранулы, так как дается качественная оценка экономического субъекта,

например критическое, допустимое и идеальное положение (Matrix Dupont) или низкая, высокая привлекательность и конкурентоспособность (матрица GE&M).

*Вторая.* Согласно принципу, что пределы адаптивного реагирования поддаются разрушению, потребуется постоянно актуализировать числовые значения робастного предела и проводить модельное воспроизведение сценариев, а на следующем шаге и планов работы бизнес-системы по тому или другому плавающему равновесию.

Робастный предел также является конструктором гомеостаза, замыкающего образованное гомеостатическое пространство и именуемого как робастный гомеостаз, выполняющий функции регулятора операционной деятельности, которая представляет целостный комплекс взаимосвязанных процессов преобразования входящих в продукцию (и/или услуги) ресурсов при ограниченных ресурсах. Задача выбора параметров-индикаторов состоит в выделении из множества операционных показателей, характеризующих операционную результативность и финансовую состоятельность бизнес-системы, тех, которые позволяют объяснить смысловые (числовые) значения и оцифровать робастный гомеостаз. Исходный состав параметров для отбора с целью построения робастного гомеостаза и их логическая связанность с параметрами адаптивного гомеостаза (см. табл. 1) приводится в табл. 2.

Таблица 2

Состав параметров-индикаторов операционной деятельности бизнес-системы

Параметр-индикатор RT-гомеостаза	Параметр-индикатор AT-гомеостаза
Объем производства готовой продукции	Объем производства продукции, емкость и доля рынка с ожидаемой и допустимой вариабельностью
Продуктивность коммерческой деятельности*	Емкость и темпы роста рынка по каждому виду продукции, стадия жизненного цикла продукции
Выручка от реализации готовой продукции	Цена на готовую продукцию, емкость и доля рынка с ожидаемой вариабельностью
Операционная себестоимость продукции	Цена на готовую продукцию, материальные и технические ресурсы с ожидаемой вариабельностью, качество продукции
Продолжительность цикла операционной деятельности	Объема производства продукции и величина инвестиций с ожидаемой вариабельностью
Дебиторская задолженность	Доля и емкость рынка с ожидаемой вариабельностью
Сумма покрытия	Цена на готовую продукцию и материальные и технические ресурсы с ожидаемой вариабельностью
Операционная прибыль	Чистая прибыль с допустимой вариабельностью
Мощность работоспособных технических ресурсов	Объем производства продукции, емкость и доля рынка с допустимой вариабельностью

\*Продуктивность коммерческой деятельности — это отношение реализованной продукции к произведенной.

Отслеживание отклонений фактических результатов от заданного планом равновесного состояния является традиционной, оперативной процедурой для оценки операционной системы предприятия. Постепенно управление по отклонениям получает свое развитие с позиции установления пределов допустимого диапазона изменений параметров-индикаторов. Такой подход описан Б. Райаном в книге по стратегическому

учету для руководителя [13]. Отмечается, что важной частью работы руководства компаний является «выяснение причин возникновения отклонений, даже если они являются благоприятными, и установление пределов допустимого диапазона их изменений (ПДДИ)» [13, с. 469]. Сформированная информационная структура, т. е. некоторый гомеостаз, включает отклонения следующих показателей: выхода готовой продук-

ции, оборачиваемости оборотных средств, валовой прибыли, цены и объема продаж, стоимости входных ресурсов и накладных расходов. Выносить решения относительно того, какой уровень отклонений можно считать несущественным, а функционирование устойчивым, Б. Райаном возлагает на руководство компанией и считает, что введение ПДДИ раскрывает определенные возможности для управления системой.

Определение робастного предела для допустимого изменения значений параметров-индикаторов операционной деятельности основывается на применении расчетного и статистического методов. Основанием нахождения пределов информационных гранул (нечетких терм) робастного гомеостаза является установление алгоритмической связи между параметрами адаптивного гомеостаза и возможными результатами операционной деятельности.

Отстройкой гомеостазов как носителей информационных гранул — нечетких множеств создается нечеткая гомеостатическая система. Поэтому для выбора ее «плавающего равновесия» (временного аттрактора) из множества сценариев потребуется подойти к активному применению в управлении открытыми сложными системами логического и математического аппарата теории нечетких множеств, прежде всего метода анализа иерархий (МАИ) и алгоритма нечеткого логического вывода (НЛВ). Пример решения задачи с использованием технологии нечеткого иерархического поиска для установления ограничений

на ряд бюджетных показателей, таких как цена, выручка, себестоимость, прибыль от продаж, приводится в [11].

### Заключение

Понятие «предел» относится к философской категории, вводится в математику как фундаментальная математическая структура, которой отведена ведущая роль в теории управления и экономике. Предел выведен теорией эволюции как конструктор, который задается необходимостью выживания и развития сложной системы любой природы посредством адаптации. Основываясь на фундаментальных положениях законов эволюции, выведены принципы о роли предела в развитии способности системы к адаптации.

Инновационное развитие моделей управления связано с пределом в контексте построения особых информационных структур: адаптивного и робастного гомеостазов — и на их основе оцифрованного гомеостатического пространства, в котором обеспечивается способность системы к «жизни» в зависимости от возможности к адаптации и степени агрессивности окружающей среды. Правильно определить предел и отстроить гомеостатическое пространство означает найти достаточно точное соотношение потенциала системы с ее целями по существованию и развитию в окружающей среде. В противном случае происходит или «зажим» возможностей или «растекание» по направлениям, которые система не в силах преодолеть.

### Список литературы

1. Алексеев М. А., Фрейдина Е. В., Тропин А. А. Понятийный каркас и модель механизма робастного управления экономическими системами // *Вопр. упр.* 2018. № 4. С. 72—82.
2. *Антология мировой философии* : в 4 т. М. : Мысль, 1969. Т. 1. Ч. 1. 576 с.
3. Боровкова О. В. «Граница» и «предел» как два способа ограничения // *Вестн. Том. гос. ун-та.* 2007. № 299 (1). С. 38—41.
4. Друкер П. Эффективное управление. Экономические задачи и оптимальные решения : пер. с англ. М. : ФАЙР-ПРЕСС, 1998. 288 с.
5. Ильин В. А., Садовничий В. А., Сендов Бл. Х. Глава 3. Теория пределов // *Математический анализ* / под ред. А. Н. Тихонова. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Проспект, 2006. Т. 1. С. 68—105.
6. Кант И. Прологомены ко всякой будущей метафизике, могущей появиться как наука // Кант И. Соч. в 6 т. М., 1965. С. 69—211.
7. Лосев Л. Ф. Самое само. М. : Мысль, 1994. С. 300—526.
8. Мак-Дональд М. Стратегическое планирование маркетинга : пер. с англ. СПб. : Питер, 2000. 320 с.
9. Мамардашвили М. К. Необходимость себя: Лекции, статьи, философские заметки. М., 1996. С. 7—154.
10. Нельсон Р., Уинтер С. Эволюционная теория экономических изменений : пер. с англ. М. : Дело, 2002. 536 с.
11. Одинцов Б. Е. Алгоритмическое встраивание бюджетов в стратегическое управление предприятием // *Управленческие науки.* 2019 (2). С. 14—22.
12. Прангшвили И. В. Системный подход и общесистемные закономерности. М. : СИНТЕГ, 2000. 538 с. Серия «Системные проблемы управления».
13. Райан Б. Стратегический учет для руководителей : пер. с англ. М. : Аудит ; ЮНИТИ, 1998. 616 с.
14. Томас Р. Количественные методы анализа хозяйственно деятельности : пер. с англ. М. : Дело и Сервис, 1999. 432 с.
15. Хрущев С. Е., Алексеев М. А., Логачёва О. М. Выявление точек «разладки» устойчивых периодов экономических систем при робастном управлении // *Вопр. статистики.* 2019. Т. 26. № 2. С. 27—36.
16. Шорохова И. С., Кисляк Н. В., Мариев О. С. Статистические методы анализа : учеб. пособие / М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. 300 с.

### Bibliography

1. Alekseev M.A., Freydyina E.V., Tropin A.A. Ponyatiyniy karkas i model' mekhanizma robastnogo upravleniya ekonomicheskimi sistemami // *Vopr. upr.* 2018. № 4, pp. 72—82.
2. *Antologiya mirovoi filosofii* : v 4 t. Moscow : Mysl', 1969. T. 1. Ch. 1. 576 p.

3. Borovkova O.V. «Granitsa» i «predel» kak dva sposoba ogranicheniya. Vestn. Tom. gos. un-ta. 2007. № 299 (1), pp. 38—41.
4. Druker P. Effektivnoe upravlenie. Ekonomicheskie zadachi i optimal'nye resheniya : per. s angl. Moscow : FAIR-PRESS, 1998. 288 p. (In Russ.)
5. Il'in V.A., Sadovnichii V.A., Sendov Bl.Kh. Glava 3. Teoriya predelov // Matematicheskii analiz / pod red. A. N. Tikhonova. 3-e izd., pererab. i dop. Moscow : Prospekt, 2006. T. 1, pp. 68—105.
6. Kant I. Prolegomeny ko vsyakoi budushchei metafizike, mogushchei poyavit'sya kak nauka // Kant I. Soch. v 6 t. Moscow, 1965, pp. 69—211.
7. Losev L.F. Samoe samo. Moscow : Mysl', 1994, pp. 300—526.
8. Mak-Donal'd M. Strategicheskoe planirovanie marketinga : per. s angl. Sankt-Peterburg : Piter, 2000. 320 p. (In Russ.)
9. Mamardashvili M.K. Neobkhodimost' sebya: Lektsii, stat'i, filosofskie zametki. Moscow, 1996, pp. 7—154.
10. Nel'son R., Uinter S. Evolyutsionnaya teoriya ekonomicheskikh izmenenii : per. s angl. Moscow : Delo, 2002. 536 p. (In Russ.)
11. Odintsov B.E. Algoritmicheskoe vstraiwanie byudzhetrov v strategicheskoe upravlenie predpriyatiem // Upravlench-eskie nauki. 2019 (2), pp. 14—22.
12. Prangishvili I.V. Sistemyi podkhod i obshchesistemnye zakonomernosti. Moscow : SINTEG, 2000. 538 p. Seriya «Sistemnye problemy upravleniya».
13. Raian B. Strategicheskii uchet dlya rukovoditelei : per. s angl. Moscow : Audit ; YuNITI, 1998. 616 p. (In Russ.)
14. Tomas R. Kolichestvennye metody analiza khozyaistvenno deyatel'nosti : per. s angl. Moscow : Delo i Servis, 1999. 432 p. (In Russ.)
15. Khrushchev S.E., Alekseev M.A., Logacheva O.M. Vyyavlenie toчек «razladki» ustoichivykh periodov ekonomicheskikh sistem pri robastnom upravlenii // Vopr. statistiki. 2019. T. 26. № 2, pp. 27—36.
16. Shorokhova I.S., Kislyak N.V., Mariev O.S. Statisticheskie metody analiza : ucheb. posobie / M-vo obrazovaniya i nauki Ros. Federatsii, Ural. feder. un-t. Ekaterinburg : Publ. Ural. un-ta, 2015. 300 p.

АЛЕКСЕЕВ Михаил Анатольевич — доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры статистики. Новосибирский государственный университет экономики и управления «НИИХ», Новосибирск, Российская Федерация. E-mail: m.a.alekseev@edu.nsuem.ru

Mikhail A. ALEKSEEV — Doctor of Economics, Associate Professor, Professor of the Department of Statistics. Novosibirsk State University of Economics and Management, Novosibirsk, Russian Federation. E-mail: m.a.alekseev@edu.nsuem.ru

ФРЕЙДИНА Елизавета Васильевна — доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории конвергентных технологий, Новосибирский государственный университет экономики и управления «НИИХ», Новосибирск, Российская Федерация. E-mail: evfreydina@socio.pro

Elizaveta V. FREYDINA — Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher at the Laboratory of Convergent Technologies, Novosibirsk State University of Economics and Management, Novosibirsk, Russian Federation. E-mail: evfreydina@socio.pro

ХРУЩЕВ Сергей Евгеньевич — кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры общей информатики, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск, Российская Федерация. E-mail: s.khrushchev@g.nsu.ru

Sergey Ye. KHRUSHCHEV — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of General Informatics, Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation. E-mail: s.khrushchev@g.nsu.ru