

ФОРСАЙТ ЭВОЛЮЦИИ ИННОВАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОЦЕЛЕВОГО ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА*

Сергей Николаевич ЯШИН^а;

Егор Викторович КОШЕЛЕВ^б,

Дмитрий Андреевич СУХАНОВ^с

^а доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой менеджмента и государственного управления,
Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского (ННГУ),
Нижний Новгород, Российская Федерация
jashinsn@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7182-2808>
SPIN-код: 4191-7293

^б кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента и государственного управления,
Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского (ННГУ),
Нижний Новгород, Российская Федерация
ekoshelev@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5290-7913>
SPIN-код: 8429-5702

^с кандидат экономических наук, преподаватель,
НОЧУ ДПО «Биота – Плюс»,
Нижний Новгород, Российская Федерация
svx85@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4600-0108>
SPIN-код: 4012-2672

* Ответственный автор

История статьи:

Рег. № 288/2020
Получена 14.05.2020
Получена
в доработанном виде
28.05.2020
Одобрена 11.06.2020
Доступна онлайн
30.05.2023

УДК 332.142.2

JEL: C63, E17, O21, O36

Специальность 5.2.3

Ключевые слова:

форсайт, многоцелевой
генетический алгоритм

Аннотация

Предмет. Внедрение технологий имитационного моделирования в бизнес-процессах, основанных на обработке большого массива данных.

Цели. Обосновать применение имитационного моделирования в государственном управлении в конкретных федеральных округах.

Методология. Использованы многоцелевой генетический алгоритм, прогнозные функции, Парето-фронты прогнозных функций.

Результаты. Доказано, что применение имитационного моделирования позволит увеличить среднедушевые доходы, а это приведет к приросту населения. При этом происходит также информационное и логистическое взаимодействие, что подтверждает практическую действенность модели открытых инноваций.

Выводы. Необходимо перенаправить инвестиционные ресурсы и затраты на НИР в те регионы, где экономико-финансовых ресурсов не хватает. Для Приволжского федерального округа в результате форсайта получено, что суммарный положительный резерв по НИР в нем составляет 8 412 млн руб. Его следует направить в Самарскую область. Тогда синергетический эффект всего Приволжского федерального округа будет равен 429 344 млн руб.

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2020

* Статья подготовлена по материалам журнала «Финансы и кредит». 2020. Т. 26. Вып. 6.

Для цитирования: Яшин С.Н., Кошелев Е.В., Суханов Д.А. Форсайт эволюции инновационной системы федерального округа с использованием многоцелевого генетического алгоритма // *Экономический анализ: теория и практика*. – 2023. – Т. 22, № 5. – С. 913 – 932.
<https://doi.org/10.24891/ea.22.5.913>

В настоящее время фундаментальные исследования по проблемам стратегического развития все в большей мере перемещаются в предметную область региональной экономики. Необходимо детальное рассмотрение данных вопросов для создания модели стратегического управления процессами развития системы промышленных регионов в составе федеративного государства.

Актуальность данного научного исследования обусловлена современными потребностями инвестирования приоритетных стратегий инновационного развития России и ее регионов, а также целесообразностью использования для этих целей соответствующих экономико-математических и информационных моделей, которые также будут учитывать факторы социально-экономического развития территории. Это связано прежде всего с необходимостью обеспечения стабильности экономического развития в рамках государственной и территориальной целостности страны при реализации политики экономического роста.

В региональной науке и практике ощущается острый недостаток математических и информационных моделей, которые позволили бы не только спрогнозировать динамику развития инновационных региональных систем, но и спланировать процесс их эволюции исходя из региональных социально-экономических ценностей, сформированных на протяжении длительного периода времени.

Одним из наиболее важных подходов в настоящее время является внедрение технологий имитационного моделирования в бизнес-процессах, основанных на обработке большого массива данных (Big Data). Данный подход применяется в различных коммерческих структурах (крупных компаниях и банках). В данной работе предлагается применение имитационного моделирования в государственном управлении: на уровне межрегионального взаимодействия в конкретных федеральных округах.

Важной разновидностью эвристических алгоритмов имитационного моделирования являются генетические алгоритмы (GA), которые представляют собой эволюционный метод поиска, используемый для решения задач оптимизации с использованием механизмов, напоминающих биологическую эволюцию.

Важным понятием в GA считается функция приспособленности (fitness function), по-другому называемая функцией оценки. Она представляет меру приспособленности данной особи в популяции. В задачах оптимизации функция приспособленности, как правило, максимизируется и называется целевой функцией [1].

Сам генетический алгоритм состоит из нескольких шагов:

- 1) подготовительный шаг — формирование начальной популяции;
- 2) отбор;
- 3) скрещивание;
- 4) мутация;
- 5) оценка решений и остановка алгоритма¹.

Был разработан стандартный ГА. В нем реализована мутация и скрещивание независимо друг от друга в отличие от большинства реализаций ГА, в которых мутацию используют как вспомогательную процедуру для отдельных особей в популяции. В алгоритме использовалась хромосомная мутация с парным обменом [2].

Ученые Р.К. Ахуа, Дж.Б. Орлин и А. Тивари [3] разработали «жадный» ГА. В нем реализованы следующие идеи: генерирование начальной популяции случайным образом; новые схемы кроссинговера; схема иммиграции; периодическое использование локального поиска для определенных особей из популяции; использование идеи соревнований среди различных популяций и главная идея, которая заключается в том, чтобы сместить баланс от разнообразия к лучшим вариантам решения.

В настоящее время ГА — это целый класс алгоритмов, направленный на решение разнообразных задач [4—6]. Примерами различных ГА могут являться следующие алгоритмы:

- 1) канонический ГА. Данная модель алгоритма является классической. Она была предложена Дж.Х. Холландом в работе [7];
- 2) генитор. В модели генитор (genitor) используется специфичный способ отбора [8];
- 3) метод прерывистого равновесия;
- 4) гибридный алгоритм;
- 5) СНС [9]. Расшифровывается как Cross-population selection, Heterogeneous recombination and Cataclysmic mutation;
- 6) ГА с нефиксированным размером популяции.

Одной из серьезных проблем, возникающих при использовании ГА, является преждевременная сходимость. Существуют три основных способа устранения этой

¹ Морев В.А. Применение генетического алгоритма к задачам оптимизации. Реализация генетического алгоритма для задачи коммивояжера // Вестник Амурского государственного университета. Серия Естественные и экономические науки. 2012. №. 57. С. 18—22.

проблемы: увеличение размера популяции, применение самоадаптирующихся ГА и создание «банка» заменяемых особей.

Наибольший практический интерес представляют самоадаптирующиеся алгоритмы. Одним из способов их организации является применение неоднородной мутации [10]. Также используется стратегия инцеста как механизм самоадаптации оператора мутации [11–13].

Эволюционное программирование используется как методика обучения общей нейронной сети. Этот подход может дать более быстрые, более эффективные, но при этом надежные процедуры обучения, которые учитывают произвольные межсоединения и нейроны, обладающие дополнительными возможностями обработки [14–16].

Эволюционные алгоритмы являются относительно новыми, но очень мощными методами, используемыми для решений многих реальных проблем поиска и оптимизации. Часто эти проблемы имеют многочисленные цели, что приводит к необходимости получения набора оптимальных эффективных решений. Было обнаружено, что использование эволюционных алгоритмов является высокоэффективным способом поиска множества эффективных решений в одном прогоне моделирования [17].

Форсайт представляет собой набор подходов, обеспечивающих условия для долгосрочного прогнозирования ситуаций в процессе принятия стратегических решений. В работе [18] была предложена методика форсайта, основанная на прогнозировании значений функций капитализации компаний кластера и на вычислении оптимального эквивалентного портфеля компаний кластера с использованием арбитражных технологий.

Однако данная методика не является достаточно эффективной для форсайта эволюции крупных инновационных систем, к которым относятся федеральные округа страны. В данном случае необходимо учитывать различные эффекты межкластерного взаимодействия, к числу которых прежде всего следует отнести экономико-финансовое, информационное и логистическое взаимодействия.

Кроме того, в работе С.Н. Яшина, Е.В. Кошелева и Р.В. Костригина [19] с использованием имитационного моделирования было наглядно продемонстрировано, что основным показателем успешности развития отдельно взятого федерального округа является естественный прирост его населения.

Таким образом, учитывая последний результат, мы предлагаем модель форсайта эволюции инновационной системы федерального округа, основанную на использовании многоцелевого генетического алгоритма. Этапы данного форсайта представлены на *рис. 1*.

Поскольку в работе [19] было установлено, что наибольшее влияние на естественный прирост населения оказывают среднедушевые денежные доходы населения (в месяц), будем ориентироваться в первую очередь на максимизацию этой функции (y_1) в каждом регионе федерального округа, где есть инновационно-

индустриальные кластеры. Другими двумя факторами, которые примем во внимание при построении модели, будут инвестиции в основной капитал (y_2) и внутренние текущие затраты на научно-исследовательские разработки (НИР) (y_3).

В этом случае мы охватываем межкластерное взаимодействие по трем обозначенным ранее направлениям — экономико-финансовое, информационное и логистическое, — поскольку выявленный резерв по функциям y_2 и y_3 в целях повышения синергетического эффекта федерального округа планируется перенаправить в те регионы, где экономико-финансовых ресурсов не хватает. Это позволит в итоге увеличить среднедушевые доходы населения в этих регионах, что приведет в свою очередь к приросту населения в них. Если же подобным образом перераспределяются затраты на НИР, то происходят информационное и логистическое взаимодействия, подтверждающие практическую действенность модели открытых инноваций в рамках федерального округа.

Переходя к сути предлагаемой модели форсайта, опишем его этапы, представленные на *рис. 1*.

Этап 1 — подготовка статистических данных для кластеров. Мы уже обозначили основные три составляющие модели — y_1 , y_2 и y_3 . Однако по причине того, что эти данные представлены в деньгах, их необходимо скорректировать на инфляцию. Тогда будет видна реальная динамика данных показателей.

Этап 2 — получение прогнозных функций для кластеров. Именно эти функции для y_1 , y_2 и y_3 в дальнейшем будут использоваться при реализации многоцелевого генетического алгоритма, поэтому важно их построить максимально достоверно. Для этого будем ориентироваться на значение коэффициента детерминации R^2 .

Этап 3 — получение Парето-фронтон прогнозных функций. Для этого используем многоцелевой генетический алгоритм. Данный этап форсайта является центральным с технической точки зрения. Опишем его более детально.

Пусть мы хотим максимизировать несколько целевых функций одновременно, каждая из которых имеет глобальный экстремум. Целевые функции имеют свои индивидуальные экстремумы. Однако в многоцелевой проблеме любое решение в диапазоне между крайними экстремумами функций одинаково оптимально. Нет единого решения этой многоцелевой проблемы. Задача многоцелевого генетического алгоритма — найти набор решений в определенном диапазоне (в идеале с хорошим разбросом). Набор решений также известен как фронт Парето. Все решения на фронте Парето оптимальны.

Мы используем визуализацию двух опций графика. Первая опция строит фронт Парето (ограниченный любыми тремя целями) у каждого поколения. Вторая опция строит интервал от глобального экстремума каждой анализируемой функции до другого крайнего экстремума соответствующей функции графика.

Этап 4 — планирование синергетических эффектов кластеров. Детальный анализ Парето-фронта для конкретного региона позволяет определить оптимальное значение среднедушевого денежного дохода его населения (y_1). Для полученного

значения дохода можно определить плановые показатели y_2 и y_3 . Тогда максимально возможный синергетический эффект для каждого региона, где есть инновационно-индустриальные кластеры, вычисляется по формуле:

$$S = y_{2, plan} - y_{2, fact} + y_{3, plan} - y_{3, fact}, \quad (1)$$

где фактические значения принимаются за последний анализируемый год.

Этап 5 — планирование синергетического эффекта федерального округа. Если для конкретного региона по показателям y_2 или y_3 будет наблюдаться превышение фактического значения над плановым, расценим эту разницу как резерв. Его следует перенаправить в те регионы, где по данному показателю присутствует превышение планового значения над фактическим. Это в свою очередь скорректирует синергетические эффекты регионов — получателей средств. Подобный механизм перераспределения инвестиций в основной капитал и затрат на НИР позволит федеральному округу развиваться как частично замкнутой инновационной системе с уменьшением внешнего федерального и частного финансирования.

В результате корректируется метод оценки синергетического эффекта для каждого региона — получателя средств на величину принятого от регионов-доноров резерва, то есть:

$$S = y_{2, plan} - y_{2, fact} + y_{3, plan} - y_{3, fact} - \sum_{i=1}^n R_i, \quad (2)$$

где R_i — принятая величина резерва от i -го региона-донора (млн руб.);

n — количество регионов федерального округа, где есть инновационно-индустриальные кластеры.

После этого скорректированные синергетические эффекты регионов складываются и получается максимально возможный синергетический эффект для всего федерального округа:

$$S_{FD} = \sum_{i=1}^n S_{i, new}. \quad (3)$$

Рассмотрим процесс форсайта эволюции инновационной системы с использованием многоцелевого генетического алгоритма на примере Приволжского федерального округа (ПФО).

Согласно перечню, утвержденному Правительством РФ, в России действуют 25 пилотных инновационных территориальных кластеров по регионам РФ. Тогда будем рассматривать в ПФО только те регионы (области или республики), в которых расположены кластеры из данного перечня (*табл. 1*).

Этап 1 — подготовка статистических данных для кластеров. Используя показатели «Статистического обозрения» Федеральной службы государственной статистики, сгруппируем необходимые данные о естественном приросте населения

(z), среднедушевых денежных доходах населения (в месяц) (y_1), инвестициях в основной капитал (y_2) и о внутренних текущих затратах на НИР (y_3) за 10 лет с 2009 по 2018 г. При этом для сравнимости данных скорректируем показатели, измеряемые в рублях, на инфляцию (*табл. 2*). В результате для восьми регионов ПФО имеем матрицу данных для форсайта размерности 80×4 в ценах 2018 г. (*табл. 3*). В данной таблице представлены данные только для Нижегородской области.

Этап 2 — получение прогнозных функций для кластеров. С этой целью используем интернет-сервис WolframAlpha. Так, например, для Нижегородской области на основании данных *табл. 3*, для y_1 получены три лучшие прогнозные функции, представленные на *рис. 2*. Наибольший коэффициент детерминации $R^2 = 0,988022$ у полинома 4-й степени, поэтому его принимаем в качестве наилучшей прогнозной функции. Аналогично получают прогнозные функции для y_2 и y_3 .

Построим теперь прогнозные функции y_1 , y_2 , y_3 на одном графике в Matlab (*рис. 3*). Поскольку программа Matlab, в которой будет реализован многоцелевой генетический алгоритм, решает только задачи на минимум, все три графика перевернуты. Таким образом, минимизируем отрицательные функции. Кроме того, для наглядности две функции из трех мы умножили на 10.

В результате на *рис. 3* видно, что мы одновременно ищем минимумы для трех функций. Необходимый нам Парето-фронт будет расположен между крайними минимумами из трех, то есть примерно на сегменте $[4,5; 8,5]$ по горизонтальной оси.

Этап 3 — получение Парето-фронтов прогнозных функций. Для реализации многоцелевого генетического алгоритма сначала создаем М-файл-функцию. Затем строим необходимый Парето-фронт между оптимальными y_1 и y_2 (*рис. 4*). Аналогично можно получить Парето-фронт между оптимальными y_1 и y_3 (*рис. 5*) и между оптимальными y_2 и y_3 (*рис. 6*). Также на *рис. 4–6* представлены интервалы от глобального экстремума каждой анализируемой функции до другого крайнего экстремума соответствующей функции графика. Данные интервалы будут использоваться на следующем этапе форсайта.

Как уже указывалось ранее, все решения, представленные на Парето-фронте, оптимальны. Однако нас интересует ситуация, в которой у населения региона будет максимальный среднедушевой доход (y_1). Это накладывает серьезные коррективы на процесс анализа Парето-фронта. Так, например, на *рис. 4* видно, что при движении по оптимальному Парето-фронту в направлении увеличения инвестиций в основной капитал (y_2) доход населения сначала растет, затем несколько снижается. Это говорит о том, что для Нижегородской области существует оптимальный размер инвестиций, выше которого доход населения будет снижаться, что приведет в итоге к снижению темпа прироста населения данного региона.

Также при анализе Парето-фронта на *рис. 5* можно сделать аналогичный вывод в отношении затрат на НИР в регионе (y_3). Если двигаться по Парето-фронту в

направлении увеличения затрат на НИР, нетрудно заметить, что доходы населения при этом сначала несколько увеличиваются, а далее серьезно снижаются. Это означает, что в отношении финансирования НИР в Нижегородской области следует быть еще более осторожным. Нельзя превышать оптимум НИР, представленный на Парето-фронте.

Что же касается анализа графика на *рис. 6*, то здесь ситуация более прозрачна. Инвестиции в основной капитал и затраты на НИР — конкурирующие цели, что представляется достаточно естественным, так как нельзя одновременно успешно, с хорошей отдачей, финансировать фундаментальные затраты с возможным эффектом через длительное время, то есть НИР, и текущие потребности производств, то есть инвестиции в основной капитал.

Таким образом, главным выводом для Нижегородской области на текущем этапе форсайта согласно *рис. 4–6* будет то, что в данном регионе существует оптимум инвестиций в основной капитал и НИР для получения максимального дохода населения.

Выводы, полученные аналогичным способом на данном этапе форсайта для всех восьми регионов ПФО, где присутствуют инновационно-индустриальные кластеры, сгруппированы в *табл. 4*.

Кроме того, сформулируем наиболее важные выводы на данном этапе форсайта.

1. У Нижегородской области есть предел оптимальных инвестиций и НИР, выше которого развитие региона невозможно.
2. Наибольшая отдача от НИР наблюдается для Республики Мордовия, Самарской области и Республики Башкортостан.
3. Наиболее инвестиционно привлекательным регионом является Республика Татарстан при условии открытости НИР других регионов ПФО.

Этап 4 — планирование синергетических эффектов кластеров. Данные вычисления на основе результатов предыдущего этапа форсайта произведем в *табл. 5* по формуле (1).

Этап 5 — планирование синергетического эффекта федерального округа. Для Самарской области наблюдается наибольший недостаток текущих затрат на НИР по сравнению с оптимальным планом. Он составляет 10 673 млн руб. Его можно частично восполнить за счет резервов по НИР у Нижегородской и Ульяновской областей, Удмуртской Республики, республик Татарстан и Башкортостан. В сумме такой резерв составляет 8 412 млн руб. Его следует направить в Самарскую область. Тогда ее синергетический эффект по формуле (2) составит

$$S_{\text{new}} = 343\,045 - 259\,152,3 + 24\,419,4 - 13\,746,4 - 8\,412 = 86\,153,7 \text{ млн руб.}$$

Также можно резерв величиной 8 412 млн руб. частично распределить на НИР в Республику Мордовию и Пермский край, а остаток направить в Самарскую область.

Но синергетический эффект всего ПФО в этом случае будет таким же, как в случае, если весь резерв направить на НИР в Самарской области.

Складывая результаты предпоследнего столбца *табл. 5*, по формуле (3) получаем, что синергетический эффект всего ПФО составит $S_{FD} = 429\,344$ млн руб.

Подобное перераспределение ресурсов внутри ПФО позволит ему выйти на плановые показатели среднедушевых денежных доходов населения (в месяц), которые отражены в первом столбце *табл. 5*. А это в свою очередь приведет к максимальным значениям естественного прироста населения в регионах ПФО, которые достаточно легко найти для каждого из восьми анализируемых регионов в *табл. 1*.

Сформулируем наиболее важные практические выводы, полученные в результате исследования.

Одним из наиболее важных подходов в настоящее время является внедрение технологий имитационного моделирования в бизнес-процессах, основанных на обработке большого массива данных (Big Data). В данной работе предлагается применение имитационного моделирования в государственном управлении: на уровне межрегионального взаимодействия в конкретных федеральных округах.

Основным показателем успешности развития отдельно взятого федерального округа является естественный прирост его населения. Для этого предлагается модель форсайта эволюции инновационной системы федерального округа, основанная на использовании многоцелевого генетического алгоритма.

Этапы данного форсайта включают в себя подготовку статистических данных для кластеров, получение для них прогнозных функций, получение Парето-фронтов прогнозных функций, планирование синергетических эффектов кластеров регионов и всего федерального округа.

В этом случае в целях повышения синергетического эффекта федерального округа планируется перенаправить инвестиционные ресурсы и затраты на НИР в те регионы, где экономико-финансовых ресурсов не хватает. Это позволит в итоге увеличить среднедушевые доходы населения в регионах федерального округа, что приведет в свою очередь к приросту населения в них. Если же перераспределяются затраты на НИР, то происходят также информационное и логистическое взаимодействия, подтверждающие практическую действенность модели открытых инноваций в рамках федерального округа.

Для Приволжского федерального округа в результате форсайта получено, что суммарный положительный резерв по НИР в нем составляет 8 412 млн руб. Его следует направить в Самарскую область. Тогда синергетический эффект всего ПФО будет равен 429 344 млн руб.

Таблица 1**Инновационные территориальные кластеры по регионам ПФО****Table 1****Regional innovation clusters by region of the Volga Federal District**

Регион	Инновационный кластер
Нижегородская область	Нижегородский индустриальный инновационный кластер в области автомобилестроения и нефтехимии
Республика Мордовия	Энергоэффективная светотехника и интеллектуальные системы управления освещением
Ульяновская область	Консорциум «научно-образовательно-производственный кластер «Ульяновск-Авиа» Ядерно-инновационный кластер Димитровграда
Самарская область	Инновационный территориальный аэрокосмический кластер
Пермский край	Инновационный территориальный кластер ракетного двигателестроения «Технополис «Новый Звездный» Фотоника
Удмуртская Республика	Удмуртский машиностроительный кластер
Республика Татарстан	Камский инновационный территориально-производственный кластер
Республика Башкортостан	Нефтехимический территориальный кластер

Источник: Российская кластерная обсерватория. URL: <https://cluster.hse.ru>

Source: The Russian Cluster Observatory data. URL: <https://cluster.hse.ru> (In Russ.)

Таблица 2**Годовые темпы инфляции, %****Table 2****Annual inflation rate, percent point**

Показатель	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Инфляция	8,78	6,1	6,58	6,45	11,36	12,91	5,38	2,52	4,27

Источник: Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://www.gks.ru>.

Source: The Federal State Statistic Service data. URL: <https://www.gks.ru> (In Russ.)

Таблица 3**Данные для форсайта в ценах 2018 г.****Table 3****Foresight data at 2018 values**

Год	Среднедушевые денежные доходы населения (в месяц), руб. (y_1)	Инвестиции в основной капитал, млн руб. (y_2)	Внутренние текущие затраты на НИР, млн руб. (y_3)	Естественный прирост населения, чел. (z)
2009	26 646,5	364 200	41 456,1	-22 094
2010	27 399	293 805,4	46 022,7	-22 942
2011	28 948,2	356 243,3	48 495,1	-17 869
2012	32 204,6	389 268,9	57 557,7	-13 890
2013	34 216,8	385 562,5	52 691,9	-13 457
2014	35 548,8	364 555,9	66 121,7	-12 846
2015	34 663,1	257 909,3	64 064	-10 714
2016	32 503,3	234 809,1	70 891,4	-11 420
2017	31 967,1	254 493	67 023,1	-13 556
2018	31 631	259 045,4	66 202,2	-15 917

Источник: авторская разработка*Source:* Authoring**Таблица 4****Выводы для 8 регионов ПФО на основе анализа Парето-фронтов прогнозных функций****Table 4****Conclusions for the eight regions of the Volga Federal District based on an analysis of predictive function Pareto frontiers**

Регион	Выводы
Нижегородская область	Существует оптимум инвестиций и НИР для максимального дохода населения
Республика Мордовия	Инвестиции нужно снижать, а НИР увеличивать для максимизации дохода населения
Ульяновская область	Инвестиции надо сначала повышать, затем несколько снижать. НИР при этом нужно снижать
Самарская область	Инвестиции нужно снижать, а НИР увеличивать для максимизации дохода населения
Пермский край	Инвестиции нужно снижать, а НИР увеличивать, затем несколько снижать
Удмуртская Республика	Инвестиции и НИР нужно снижать для максимизации доходов населения
Республика Татарстан	Инвестиции нужно повышать, а НИР снижать для максимизации доходов населения
Республика Башкортостан	Инвестиции нужно снижать, а НИР увеличивать для максимизации доходов населения

Источник: авторская разработка*Source:* Authoring

Таблица 5**Расчет синергетических эффектов кластеров и всего ПФО****Table 5****Calculation of the cluster and Volga Federal District synergies**

Регион	Среднедушевые денежные доходы населения (в месяц), руб.		Инвестиции в основной капитал, млн руб.		Внутренние текущие затраты на НИР, млн руб.		Синергетический эффект, млн руб.	
	План	Факт	План	Факт	План	Факт	План	Резерв
Нижегородская область	35 165,7	31 631	350 000	259 045,4	63 000	66 202,2	87 752,4	3 202,2
Республика Мордовия	20 189,9	18 048	70 032,2	51 210,1	1 075	970,7	18 926,4	-104,3
Ульяновская область	26 447,4	22 846	108 000	81 105,4	9 901,5	11 291,2	25 504,9	1 389,7
Самарская область	36 356,8	27 507	343 045	259 152,3	24 419,4	13 746,4	86 153,7	-10 673
Пермский край	36 845,6	28 777	244 113	238 007,9	14 100	12 754,5	7 450,6	-1 345,5
Удмуртская Республика	27 225,2	24 415	102 100	97 892,8	1 320,8	2 295,3	3 233,7	974,5
Республика Татарстан	37 271,1	33 130	723 603	629 731	14 200	17 038,8	91 033,2	2 838,8
Республика Башкортостан	33 294,9	28 645	377 164	267 868,1	10 350	10 356,8	109 289,1	6,8

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 1**Этапы форсайта эволюции инновационной системы федерального округа****Figure 1****Steps of foresight of the federal district's innovation system evolution**

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 2**Графики трех лучших прогнозных функций y_1** **Figure 2****Graphs of the top three predictive functions y_1**

Least-squares best fits:

$$22.5305 x^4 - 509.507 x^3 + 3580.26 x^2 - 7310.19 x + 30\,988.5 \quad (\text{quartic})$$

$$-275.454 x^2 + 3656.17 x + 22\,068.9 \quad (\text{quadratic})$$

$$-13.8365 x^3 - 47.1512 x^2 + 2603.22 x + 23\,256. \quad (\text{cubic})$$

Fit diagnostics:

	AIC	BIC	R^2	adjusted R^2
quartic	157.303	159.118	0.988022	0.978439
quadratic	175.041	176.251	0.879295	0.844808
cubic	176.969	178.482	0.886476	0.829714

Plot:

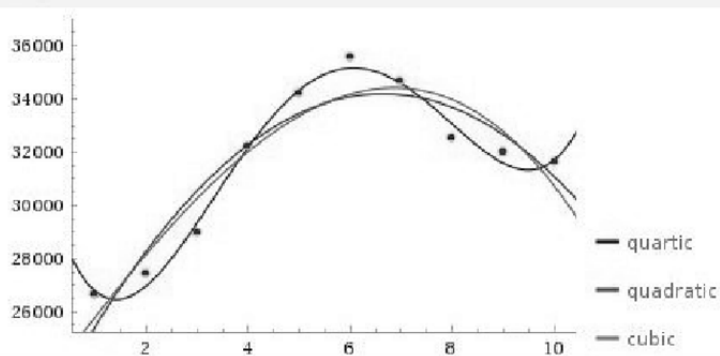
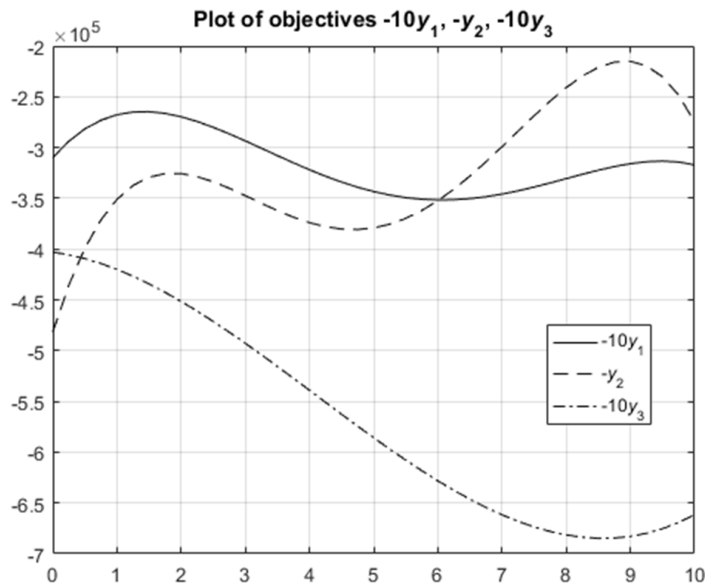
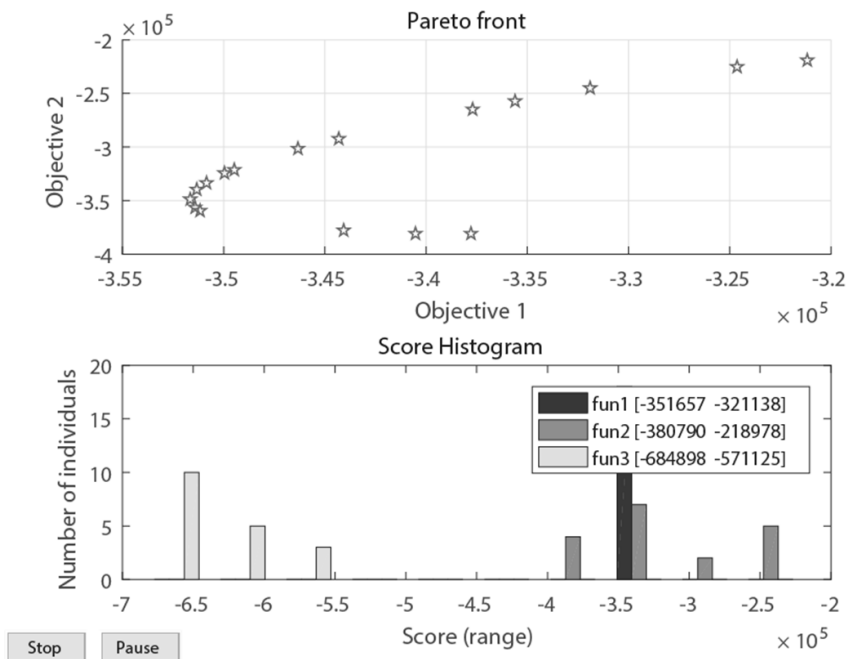
*Источник: авторская разработка**Source: Authoring*

Рисунок 3**Графики анализируемых функций y_1 , y_2 , y_3** **Figure 3****Graphs of the analyzed functions y_1 , y_2 , y_3** 

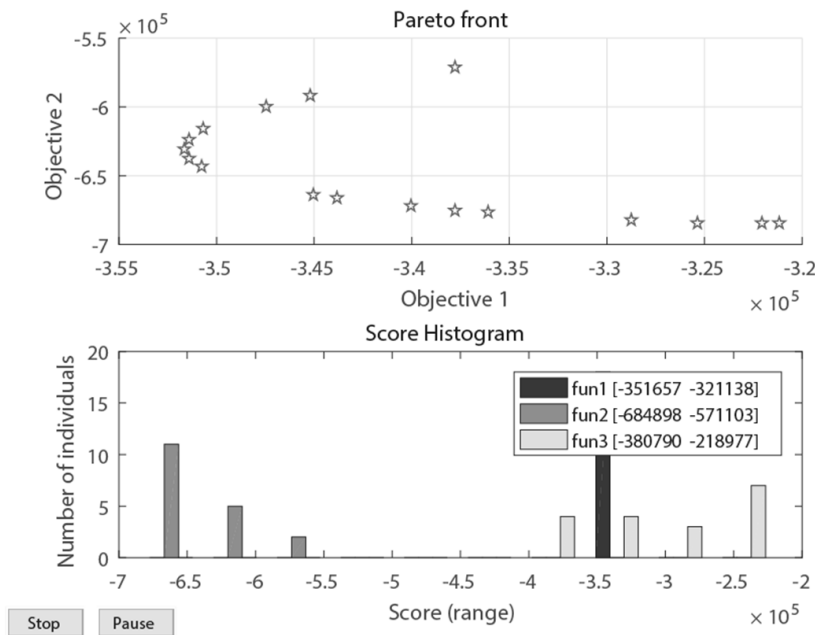
Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 4**Парето-фронт между оптимальными y_1 и y_2** **Figure 4****Pareto frontier between optimal y_1 and y_2** 

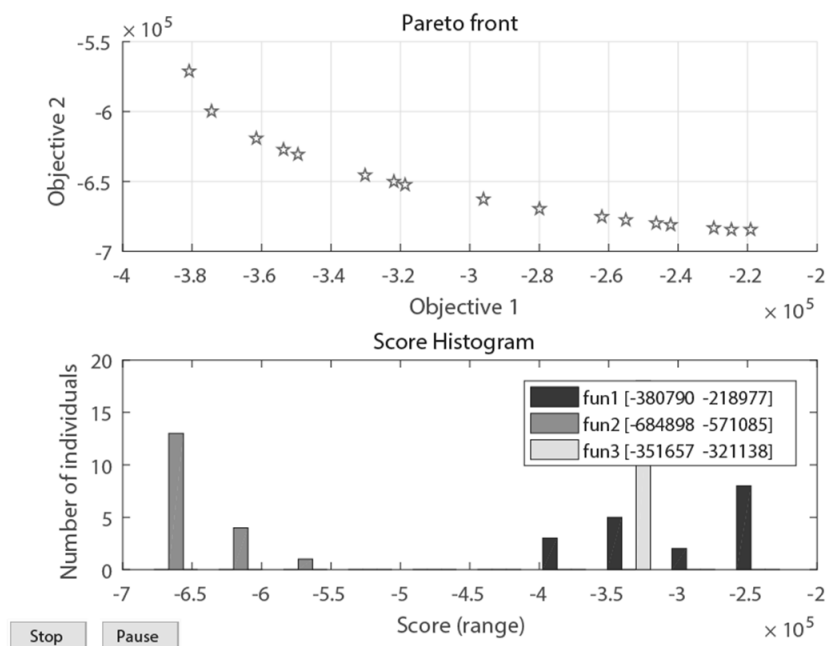
Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 5**Парето-фронт между оптимальными y_1 и y_3** **Figure 5****Pareto frontier between optimal y_1 and y_3** 

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 6**Парето-фронт между оптимальными y_2 и y_3** **Figure 6****Pareto frontier between optimal y_2 and y_3** 

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Список литературы

1. Rutkowska D., Pilinski M., Rutkowski L. Sieci Neuronowe, Algorytmy Genetyczne i Systemy Rozmyte. Warszawa, Lodz, Wydawnictwo Naukowe PWN, 1999, 410 s.
2. Кравец О.Я., Сафронова А.П. Обзор методов структурного синтеза для решения квадратичных задач о назначениях // Современная наука: Актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2013. № 9–10. С. 66–72.
3. Ahuja R.K., Orlin J.B., Tivari A. A Greedy Genetic Algorithm for the Quadratic Assignment Problem. *Working Paper Sloan School of Management*, 1995, vol. 2, pp. 13–17. URL: <http://hdl.handle.net/1721.1/2579>
4. Grafeeva N., Grigorieva L., Kalinina-Shuvalova N. Genetic Algorithms and Genetic Programming. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 2013, vol. 3, no. 9, pp. 465–480. URL: https://kipdf.com/genetic-algorithms-and-genetic-programming_5afcbc9c8ead0ebd108b458f.html
5. Gwiazda T.D. Algorytmy Genetyczne. Wstep do Teorii. Warszawa, Biblioteka Sztucznej Inteligencji, 1995, 112 s.
6. Koza J.R. Genetic Programming II. Automatic Discovery of Reusable Programs. Cambridge, Massachusetts, MIT Press, 1994.
7. Holland J.H. Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence. Cambridge, The MIT Press, 1992, 228 p.
8. Whitley D. A Genetic Algorithm Tutorial. *Statistics and Computing*, 1994, vol. 4, pp. 65–85. URL: <https://sci2s.ugr.es/sites/default/files/files/linksInterest/Tutorials/Whitley94.pdf>
9. Eshelman L.J. The CHC Adaptive Search Algorithm. How to Have Safe Search When Engaging in Nontraditional Genetic Recombination. *Foundations of Genetic Algorithms*, 1991, vol. 1, pp. 265–283. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-050684-5.50020-3>
10. Michalewicz Z. Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs. 3rd Ed. New York, Springer-Verlag, 1996, 387 p. URL: <https://web.ist.utl.pt/adriano.simoes/tese/referencias/Michalewicz%20Genetic%20Algorithms%20+%20Data%20Structures%20=%20Evolution%20Programs%20%283ed%29.PDF>

11. Mantel B., Periaux J., Sefrioui M. et al. Evolutionary Computational Methods for Complex Design in Aerodynamics. 36th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, 1998, 15 p.
12. Periaux J., Chen H.Q., Mantel B., Sefrioui M., Sui H.T. Combining Game Theory and Genetic Algorithms with Application to DDM-Nozzle Optimization Problems. *Finite Elements in Analysis and Design*, 2001, vol. 37, iss. 5, pp. 417–429.
URL: [https://doi.org/10.1016/S0168-874X\(00\)00055-X](https://doi.org/10.1016/S0168-874X(00)00055-X)
13. Periaux J. Genetic Algorithms for Electromagnetic Backscattering Multiobjective Optimization. *Genetic Algorithms for Electromagnetic Computation*, 1998, no. 6, pp. 30–39.
14. Baeck T., Fogel D.B., Michalewicz Z. Evolutionary Computation 2: Advanced Algorithms and Operators. Taylor & Francis, 2000, 304 p.
15. Fogel D.B., Fogel L.J., Porto V.W. Evolving Neural Networks. *Biological Cybernetics*, 1990, no. 63, pp. 487–493. URL: <https://doi.org/10.1007/BF00199581>
16. Fogel D.B. Evolutionary Computation. Towards a New Philosophy of Machine Intelligence. IEEE Press, 1995, 272 p.
17. Kalyanmoy D. Multiobjective Optimization Using Evolutionary Algorithms. New York, John Wiley & Sons, Inc., 2001, 518 p.
18. Кошелев Е.В., Трифонов Ю.В., Яшин С.Н. Методика форсайта развития кластера с использованием арбитражных технологий // Инновации. 2017. № 11 С. 42–53.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-forsayta-razvitiya-klastera-s-ispolzovaniem-arbitrazhnyh-tehnologiy>
19. Яшин С.Н., Кошелев Е.В., Костригин Р.В. Составление линейного функционала ценности инновационно-индустриального кластера для региона // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2019. № 12.
URL: <http://uecs.ru/innovacii-investicii/item/5774-2019-12-21-11-28-53>

Информация о конфликте интересов

Мы, авторы данной статьи, со всей ответственностью заявляем о частичном и полном отсутствии фактического или потенциального конфликта интересов с какой бы то ни было третьей стороной, который может возникнуть вследствие публикации данной статьи. Настоящее заявление относится к проведению научной работы, сбору и обработке данных, написанию и подготовке статьи, принятию решения о публикации рукописи.

FORESIGHT OF THE FEDERAL DISTRICT'S INNOVATION SYSTEM EVOLUTION USING A MULTIOBJECTIVE GENETIC ALGORITHM

Sergei N. YASHIN^{a,*},

Egor V. KOSHELEV^b,

Dmitrii A. SUKHANOV^c

^a National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod (UNN),
Nizhny Novgorod, Russian Federation
jashinsn@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7182-2808>

^b National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod (UNN),
Nizhny Novgorod, Russian Federation
ekoshelev@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5290-7913>

^c Non-State Educational Private Institution for Further Professional Education BIOTA-PLUS,
Nizhny Novgorod, Russian Federation
svx85@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4600-0108>

* Corresponding author

Article history:

Article No. 288/2020
Received 14 May 2020
Received in revised form
28 May 2020
Accepted 11 June 2020
Available online
30 May 2023

JEL classification: C63,
E17, O21, O36

Keywords: foresight,
multiobjective genetic
algorithm, intercluster
interaction, simulation

Abstract

Subject. The article deals with issues related to the introduction of simulation technologies in business processes based on the data bulk processing.

Objectives. The aim is to propose the use of simulation modeling in public administration, namely at the level of interregional cooperation in certain federal districts.

Methods. For the study, we employ a proposed model of foresight of the federal district's innovation system evolution, based on the multiobjective genetic algorithm.

Results. The paper proves that the use of simulation modeling will increase per capita income, and this will lead to population growth. At the same time, there is also information and logistical interaction, which confirms the practical effectiveness of the open innovation model.

Conclusions. It is necessary to redirect investment resources and research costs to regions where economic and financial resources are scarce. For the Volga Federal District, as a result of foresight methods, it was obtained that the total positive reserve for research amounts to 8,412 million RUB. It should be sent to the Samara Oblast. Therefore, the synergetic effect of the entire Volga Federal District will be 429,344 million RUB.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2020

Please cite this article as: Yashin S.N., Koshelev E.V., Sukhanov D.A. Foresight of the Federal District's Innovation System Evolution Using a Multiobjective Genetic Algorithm. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 2023, vol. 22, iss. 5, pp. 913–932.
<https://doi.org/10.24891/ea.22.5.913>

Acknowledgments

The article was adapted from the *Finance and Credit* journal, 2020, vol. 26, iss. 6.

References

1. Rutkowska D., Pilinski M., Rutkowski L. Sieci Neuronowe, Algorytmy Genetyczne i Systemy Rozmyte. Warszawa, Lodz, Wydawnictwo Naukowe PWN, 1999, 410 s.
2. Kravets O.Ya., Safronova A.P. [An overview of methods for the synthesis of structural solutions of quadratic assignment problem]. *Sovremennaya nauka: Aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki = Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Sciences*, 2013, no. 9-10, pp. 66–72. (In Russ.)
3. Ahuja R.K., Orlin J.B., Tivari A. A Greedy Genetic Algorithm for the Quadratic Assignment Problem. *Working Paper Sloan School of Management*, 1995, vol. 2, pp. 13–17. URL: <http://hdl.handle.net/1721.1/2579>
4. Grafeeva N., Grigorieva L., Kalinina-Shuvalova N. Genetic Algorithms and Genetic Programming. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 2013, vol. 3, no. 9, pp. 465–480. URL: https://kipdf.com/genetic-algorithms-and-genetic-programming_5afcbc9c8ead0ebd108b458f.html
5. Gwiazda T.D. Algorytmy Genetyczne. Wstep do Teorii. Warszawa, Biblioteka Sztucznej Inteligencji, 1995, 112 s.
6. Koza J.R. Genetic Programming II. Automatic Discovery of Reusable Programs. Cambridge, Massachusetts, MIT Press, 1994.
7. Holland J.H. Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence. Cambridge, MIT Press, 1992, 228 p.
8. Whitley D. A Genetic Algorithm Tutorial. *Statistics and Computing*, 1994, vol. 4, pp. 65–85. URL: <https://sci2s.ugr.es/sites/default/files/files/linksInterest/Tutorials/Whitley94.pdf>
9. Eshelman L.J. The CHC Adaptive Search Algorithm. How to Have Safe Search When Engaging in Nontraditional Genetic Recombination. *Foundations of Genetic Algorithms*, 1991, vol. 1, pp. 265–283. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-050684-5.50020-3>
10. Michalewicz Z. Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs. 3rd Ed. New York, Springer-Verlag, 1996, 387 p. URL: <https://web.ist.utl.pt/adriano.simoes/tese/referencias/Michalewicz%20Z>.

%20Genetic%20Algorithms%20+%20Data%20Structures%20=%20Evolution
%20Programs%20%283ed%29.PDF

11. Mantel B., Periaux J., Sefrioui M. et al. Evolutionary Computational Methods for Complex Design in Aerodynamics. 36th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, 1998, 15 p.
12. Periaux J., Chen H.Q., Mantel B., Sefrioui M., Sui H.T. Combining Game Theory and Genetic Algorithms with Application to DDM-Nozzle Optimization Problems. *Finite Elements in Analysis and Design*, 2001, vol. 37, iss. 5, pp. 417–429.
URL: [https://doi.org/10.1016/S0168-874X\(00\)00055-X](https://doi.org/10.1016/S0168-874X(00)00055-X)
13. Periaux J. Genetic Algorithms for Electromagnetic Backscattering Multiobjective Optimization. *Genetic Algorithms for Electromagnetic Computation*, 1998, no. 6, pp. 30–39.
14. Baeck T., Fogel D.B., Michalewicz Z. *Evolutionary Computation 2: Advanced Algorithms and Operators*. Taylor & Francis, 2000, 304 p.
15. Fogel D.B., Fogel L.J., Porto V.W. Evolving Neural Networks. *Biological Cybernetics*, 1990, no. 63, pp. 487–493. URL: <https://doi.org/10.1007/BF00199581>
16. Fogel D.B. *Evolutionary Computation: Towards a New Philosophy of Machine Intelligence*. IEEE Press, 1995, 272 p.
17. Kalyanmoy D. *Multiobjective Optimization Using Evolutionary Algorithms*. New York, John Wiley & Sons, Inc., 2001, 518 p.
18. Koshelev E.V., Trifonov Yu.V., Yashin S.N. [Methods foresight of the cluster using the arbitrage technology]. *Innovatsii = Innovations*, 2017, no. 11, pp. 42–53.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-forsayta-razvitiya-klastera-s-ispolzovaniem-arbitrazhnyh-tehnologiy> (In Russ.)
19. Yashin S.N., Koshelev E.V., Kostigrin R.V. [Compilation of linear functional of the value of the innovation and industrial cluster for the region]. *Upravlenie ekonomicheskimi sistemami: elektronnyi nauchnyi zhurnal*, 2019, no. 12. (In Russ.)
URL: <http://uecs.ru/innovacii-investicii/item/5774-2019-12-21-11-28-53>

Conflict-of-interest notification

We, the authors of this article, bindingly and explicitly declare of the partial and total lack of actual or potential conflict of interest with any other third party whatsoever, which may arise as a result of the publication of this article. This statement relates to the study, data collection and interpretation, writing and preparation of the article, and the decision to submit the manuscript for publication.