

# **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПОИСК ИННОВАЦИЙ И УПРАВЛЕНИЕ ЭВОЛЮЦИЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ\***

*Палюх Б.В., д.т.н., профессор*

*e-mail: pboris@tstu.tver.ru*

*Иванов В.К., к.т.н., доцент*

*e-mail: mtivk@tstu.tver.ru*

*Егерева И.А., к.т.н., доцент*

*e-mail: irina.egereva@gmail.com*

*Тверской государственный технический университет*

## **1. ВВЕДЕНИЕ**

Новые методы поиска и синтеза прорывных технологий и инновационных идей являются одной из приоритетных задач при разработке механизма эффективного управления эволюцией промышленной производственно-технологической системы.

В статье излагаются ключевые элементы подхода к созданию системы интеллектуальной информационной поддержки инноваций на предприятии, основанного на интеграции механизмов поиска инновационных решений, методов управления эволюцией производственно-технологической системы с использованием созданного хранилища инновационных решений, алгоритмов согласованной оптимизации и идентификации технологических параметров. Рассмотрена возможность использования предложенного подхода применительно к базовому варианту модели функционирования производственно-технологической системы.

## **2. ИННОВАЦИИ И УПРАВЛЕНИЕ ЭВОЛЮЦИЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Инновация - это новая или улучшенная продукция, технология ее производства или применения, нововведение или усовершенствование в сфере организации и (или) экономики производства и (или) реализации продукции, обеспечивающие экономическую выгоду, создающие условия для такой выгоды или улучшающие потребительские свойства

---

\* Работы выполнены при финансовой поддержке РФФИ, проекты № 13-07-00342 и № 14-01-00328.

продукции [1]. Инновационная деятельность представляет собой комбинацию технологий, областей их применения, рынков, организационной структуры.

В работах [4, 9, 11, 12 и др.] рассматривалась проблема эволюции производства путем капитализации знаний, опыта и интеллекта производственного персонала, предложена и исследована формальная модель механизма эволюции интеллектуального производства. Определены условия, при которых обеспечивается прогрессивное развитие производства, активно использующего знания. В настоящей статье акцент делается на задачи организации информационного воздействия на субъективное представление лиц, принимающих решения, о том, какие решения должны быть приняты. Основой такого информационного воздействия являются средства поиска и извлечения знаний из различных хранилищ данных и включение их в системы поддержки принятия решений.

В этой связи отметим важную роль R&D-менеджмента, базисная модель которого включает конкурентный анализ и прогнозирование технологического развития, основанные на наукометрических аналитических сервисах и семантических системах поиска коммерчески ценной информации. При этом очевиден относительно новый мировой тренд - эффективное использование глобального и уже существующего инновационного потенциала.

### **3. МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Представим производственно-технологическую систему как совокупность центра  $Z$  и множества групп агентов  $A$ . Каждый активный и автономный агент  $a_k \in A_n$  любой группы  $A_n \in A$  участвует в обеспечении функционирования некоторой технологической стадии производственного процесса. Отметим, что  $Z$  включает в себя совет директоров (топ-менеджеров), а  $A$  представляет собой оперативный управляющий и обслуживающий персонал (технологи, механики, специалисты отдела контрольно-измерительных приборов и т.п.).

План всей активной системы будет описываться вектором  $x$  в пространстве  $X$  размерности  $N$ , а возможности агента  $a_k$  описываются технологическим множеством  $X_k \subseteq X$  размерности  $N_k$ . При этом любой допустимый план  $x_k \in X_k$  для агента  $a_k$  должен удовлетворять локальным ограничениям  $L$  (например, допустимые температура или давление процесса, скорость реакции и т.п.) и общим ограничениям вида  $G$  (например, задания по выпуску продукции, лимитированность ресурсов, связи по материальным потокам между технологическими

узлами и т.п.). При управлении эволюцией производственной системы возникает задача приведения к соответствию фактического вектора оцениваемых параметров состояния системы с плановым с учетом имеющихся ограничений  $L$  и  $G$ .

Пусть агент может находиться в  $m$  состояниях  $y = \{y_i, 1, m\} \in Y(p) \subseteq R$ , образующих его модель ограничений. Здесь  $p$  – потенциал агента, проявление которого будет зависеть от управления  $u \in U$  со стороны  $Z$ ,  $R$  – преимущества системы, а  $Y(p)$  – компактное и выпуклое множество предельных возможностей агента. Реализацию  $p$  представим в виде счетной системы  $Y(p_1) \subseteq Y(p_2) \subseteq \dots \subseteq Y(p)$ , где  $p_1, p_2, \dots$  – последовательность реализаций потенциальных возможностей агента, возрастающих за счет управления  $u$  (рис. 1).

В момент  $t$  из центра  $Z$  подается управление, которое включает: план  $y_t$ , определяющий результаты деятельности агента; потребляемые ресурсы  $x_t$ ; режимы ведения технологического процесса  $\alpha_t$ ; управление поведением агента  $u_t$ ; помеха, значение которой в момент  $t$  известно агенту и неизвестно центру  $Z$ .

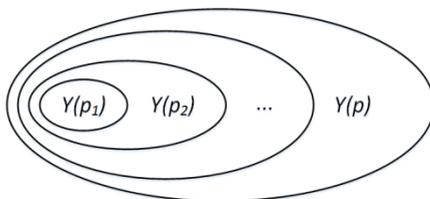
После анализа реализуемости возможных режимов ведения технологического процесса агент выбирает состояние  $y_t \in Y(p(u_t), x_t)$ .

Центр  $Z$  наблюдает  $y_t$  и определяет оценку  $\alpha_{t+1}$  в момент  $t+1$  с помощью процедуры оценки технологических возможностей агента:  $\alpha_{t+1} = I(y_t, x_t, \alpha_t)$ . На основе оценок потенциала агента, процедур планирования и регулирования центр определяет агенту вознаграждение за достижение плановых показателей. Более подробное описание представленной модели функционирования производственно-технологической системы приведено в [2].

Практическая невозможность для центра  $Z$  получить точное представление о технологических возможностях агентов и принять соответствующее решение предполагает необходимость разработки специальных процедур обмена экспертной информацией.

#### 4. ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ИННОВАЦИЙ

В настоящее время увеличился спрос на услуги по разработке интегрированных систем управления, внедрению новых финансовых



**Рис.1. Рост предельных возможностей агента.**

технологий, оценке бизнеса, маркетинговые исследования. Некоторые исследования (например, [3, 4]), показали наличие ряда проблем рынка консалтинговых услуг, такие как отсутствие четкой ценовой политики, однотипность консалтинговых программ, недостаточно развитая научно-методическая база.

В этой связи ключевую роль могут сыграть эффективные алгоритмы, ориентированные на экспертный тематический поиск инновационных решений в глобальных и локальных специализированных хранилищах данных. При выполнении тематического поиска пользователи неизбежно сталкиваются со следующими объективными проблемами:

- Трудность подбора согласованных ключевых понятий для формулировки поисковых запросов;
- Границы структурной сложности поисковых запросов;
- Разрозненность и неоднородность искомых сведений, наличие альтернатив с сопоставимой релевантностью.

Решая указанные проблемы, следует правильно интерпретировать результаты поиска, имея в виду совместную оценку релевантности документов, найденных разными запросами, корректности ранжирования поисковой системы, доступность для оценки всех релевантных результатов, наличие эффективных решений в других областях для успешного использования в данной области. В проекте [5, 6] для создания хранилищ инновационных решений предлагается технология генерации поисковых запросов, фильтрации и ранжирования результатов поиска.

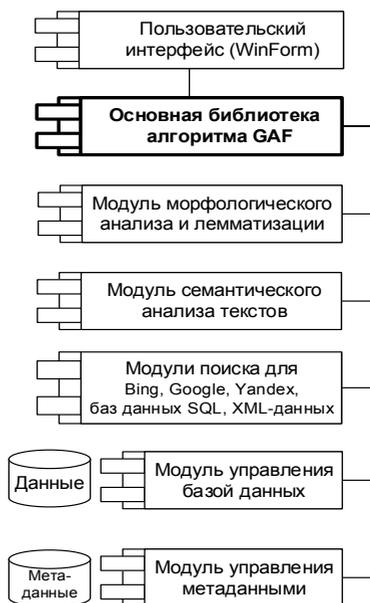
Основная идея генерации поисковых запросов – организация с помощью специального генетического алгоритма эволюционного процесса, формирующего в поисковой системе устойчивую и эффективную популяцию запросов для получения высокорелевантных результатов. В ходе этого процесса кодированные запросы, последовательно подвергаются генетическим изменениям и выполняются в поисковой системе. Оценивается семантическая релевантность промежуточных результатов поиска, вычисляются значения целевой функции и осуществляется отбор наиболее пригодных запросов.

Исходную популяцию из  $N$  поисковых запросов можно представить множеством  $Q$ , где  $|Q| = N$ ,  $N < |Q_0|/2$ ,  $q \in Q$ . Пусть поисковый запрос  $q = \{k_1, k_2, \dots, k_m\}$  - случайно образованная комбинация ключевых понятий из поискового образа  $Q_0$ . Результат поискового запроса есть множество документов  $R$ ,  $|R| = D$ . Значение целевой функции  $w_i$  определяет качество запросов и вычисляется для

каждого  $i$ -го найденного документа (результата запроса)  $r_i \in R$ :  $w_i = F(g, p, s, a)$ , где  $g = g(R)$  – определяется позицией в ранжированном списке результатов запроса;  $p = p(R_1, R_2, \dots, R_N)$  – определяется вхождением данного результата в списки результатов большинства запросов;  $s = s(r_i, Q_0)$  – определяется семантической близостью к адаптивно модифицируемому  $Q_0$ ;  $a$  – фактор среды. Целевая функция для каждого запроса:  $w = \frac{1}{D} \sum_{i=1}^D w_i$ , где  $D$  - количество результатов

запроса. Эволюционная операция скрещивания реализуется дискретной рекомбинацией - обменом терминами между запросами; для репродукции запросов используется генотипный аутбридинг. Наиболее адекватная операция мутации – это вероятностная замена синонимом случайно выбранного термина запроса. При формировании новой популяции запросов используется элитарный отбор. Условием остановки алгоритма в общем случае считается стабильность популяции. Этот генетический алгоритм описан в [6, 7], а результаты некоторых исследований его эффективности приведены в [10].

В [8] представлен прототип программной реализации описанного генетического алгоритма. В частности, определены основные шаги и параметры алгоритма, компоненты программного обеспечения и показаны результаты предварительных исследований алгоритма. Этот прототип реализован в виде программного продукта Genetic Algorithm Framework (GAF), основные компоненты которого следующие: пользовательский интерфейс; основная библиотека GAF; модуль морфологического анализа и лемматизации; модуль семантического анализа сходства текстов; модуль поиска; модуль управления базой данных; модуль управления метаданными (рис. 2).



**Рис. 2. Основные компоненты приложения, реализующего генетический алгоритм GAF**

Базовым компонентом хранилища данных, которое предназначено для накопления описаний инновационных технологических решений с целью оценки их применимости в производстве, является платформа Apache Lucene/Solr, которая представляет собой высокопроизводительную систему с развитой функциональностью для текстового поиска. Эта кроссплатформенная технология, получившая широкую известность и мировое признание, обладает важными преимуществами, такими, как фасетный поиск, индикация хитов, кластеризация результатов. Для ранжирования результатов поиска Lucene использует настраиваемую модель векторного пространства документов со стандартной весовой функцией Okapi BM25). Основные задачи, которые решаются в отношении хранилища данных: унификация и спецификация форматов сбора, хранения, передачи и представления данных файлов и индексов; разработка технических регламентов для сбора и обработки данных.

## **5. УПРАВЛЕНИЕ ЭВОЛЮЦИЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Построение предпочтительных состояний технологической системы центром  $Z$  целесообразно выполнять на базе локально-оптимальных задач, уже решенных агентами  $a_k$ , с полученной от них дополнительной информацией, которая позволяет агенту уточнить свои возможности и сформировать окончательное решение.

Полный цикл формирования агентом информации о своих возможностях включает следующие этапы:

1. Агент на  $r$ -м шаге получает от центра  $Z$  вариант плана и управляющее воздействие. На основании этого агент формирует множество  $P_k^r$  своих потенциальных и множество  $X_k^r$  предельных технологических возможностей. Здесь осуществляется формирование  $p^r \in P_k^r$ ,  $x^r(p)$  и  $y^r(x)$ .

2. Осуществляется решение задачи поиска потенциально-предпочтительного набора действий  $x^* = x(p)$ . Если такого решения нет, следует попытаться найти компромиссное решение (см. ниже) соответствующего начальным множествам  $P_k^r$  и  $X_k^r$  и перейти к этапу 3, в противном случае переходим к этапу 5.

3. Здесь проводится анализ направлений возможного расширения  $P_k^r$  путем изучения свойств обстановки и организации поиска новой информации (знания) для  $P_k^{r+1} \supseteq P_k^r$ .

4. Если расширение  $P_k^r$  возможно и существует  $P_k^{r+1}$ , удовлетворяющее условию этапа 3, то переходим к этапу 1.

5. После построения множеств  $P_k^{r+1}$  и  $X_k^{r+1}$  осуществляется выполнение процедуры поиска минимально-предпочтительной точки в пространстве оценок ценности состояния.

6. На основе поиска дополнительной информации определяется возможность расширения множеств  $P_k^{r+1}$  и  $X_k^{r+1}$ . В случае положительного результата осуществляется переход к этапу 1.

Описанный выше алгоритм на этапе 2 использует три типа механизмов, применение которых порождает интерактивный процесс для построения компромиссного решения задачи управления технологической системы:

Механизм анализа. Здесь агент  $a_i$ , на шаге  $r$  обрабатывает сведения и сопоставляет их с результатами, полученными на шаге  $r-1$  для построения множеств  $P_k^r$  и  $X_k^r$ . Строится предварительное представление о желательных значениях показателей.

Механизм целеполагания. С учетом результатов анализа определяются условия, при которых возможно достижение желательных предпочтительных состояний (компромиссных решений). Для этого рассчитывается идеальная точка в пространстве оценок  $\tau_i^* = \max \tau_i(x(p))$ ,  $i = \overline{1, L}$ , где максимизация выполняется по

$p \in P_k$ ,  $x \in X_k$ . То есть,  $\tau_i^*$  - наибольшее значение оценки по координате  $i$ , которое может быть получено с помощью намеченных действий. Эта точка и образует центр области поиска предпочтительных состояний.

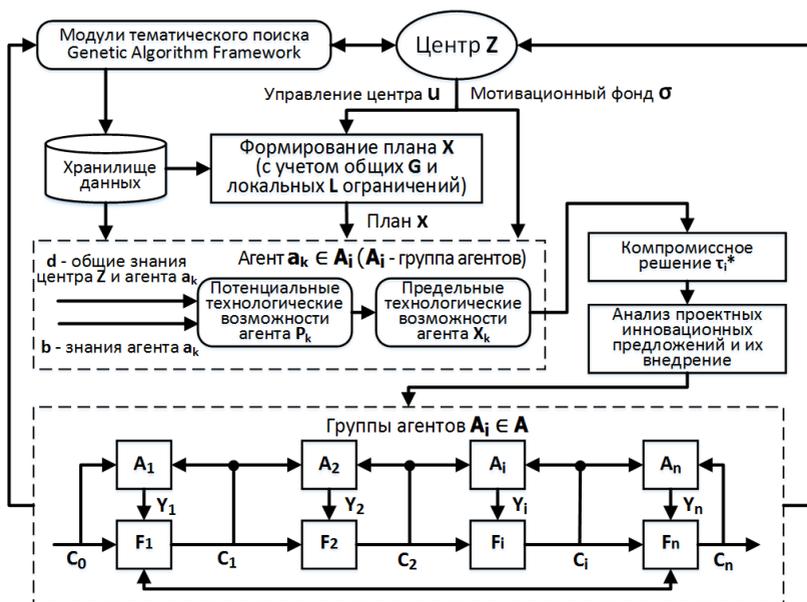
Механизм самоорганизации для предварительно созданных условий приводит к получению новых знаний о правилах расширения множеств  $P_k$  и  $X_k$ . Данный механизм может иметь различные формы: экспериментальные исследования на объекте; анализ обстановки для  $k$ -го агента; подготовка экспертами рекомендаций по улучшению технологических режимов; процедуры опроса персонала и т.п.

## **6. ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ИННОВАЦИЙ**

Методология построения системы информационной поддержки инноваций для управления эволюцией производственно-технологической системы реализована на частном примере управления

$n$ -стадийным технологическим процессом переработки сырья  $C_0$  в готовую продукцию  $C_n$  (рис. 3).

Каждой стадией  $c_i$  управляет группа агентов  $A_i$ . Центр  $Z$  с учетом локальных  $L$  и общих ограничений  $G$ , а также с учетом анализа полученной в результате тематического поиска информации устанавливает план  $x$ . Агент  $a_k$  обладает общими знаниями  $d$  (известными как агенту  $a_k$ , так и центру  $Z$ ), знаниями  $b$  (известными только агенту  $a_k$ ) и знаниями, которые получены в результате применения поисковых алгоритмов при формировании информации о возможностях агента при выполнении технологических функций.



**Рис. 3. Формальная схема управления  $n$ -стадийным процессом**

Центр осуществляет управление и ростом потенциальных возможностей агента  $P_k$  (например, на основе найденных новых методик мотивационного управления, стимулирующего управления) и предельными технологическими возможностями  $X_k$  (например, внедрение новых способов и возможностей эксплуатации оборудования, технологических узлов; модернизация имеющегося оборудования; корректировка технологических стадий).

Информация, получаемая при тематическом поиске, используется при (а) управлении центром ростом потенциальных и

предельных технологических возможностей агента; (б) выработке производственного плана (например, внедрение решений, влияющих на ограничения); (в) формировании агентом информации о своих возможностях (изучение опыта других аналогичных предприятий; повышение квалификации, изучение профессиональной литературы).

Допустим, что в результате анализа найденных и предложенных технологами (группой агентов  $A_i$ , отвечающей за обеспечение функционирования стадии  $F_i$ ) инновационных подходов руководителем технологической службы (центром  $Z$ ) было принято решение о необходимости замены некоторых компонентов, технологического процесса на стадии  $F_i$ , на другие, обладающие улучшенными свойствами. В результате удалось повысить показатели качества готовой продукции, при этом себестоимость готовой продукции  $C_n$  снизилась за счет снижения затрат на закупку вспомогательных компонентов, также применяемых на данной стадии.

Руководителем предприятия (центром  $Z$ ) при поддержке аналитической службы, использующей в своей работе систему информационной поддержки инноваций, было найдено и принято решение о включении в технологическую схему дополнительных операций и ступеней обработки сырья  $C_0$ , что позволило увеличить объем готовой продукции  $C_n$ , не снижая заданный уровень ее качества. За счет улучшения технологических и экономических показателей произошло увеличение прибыли предприятия на 19,2% (экспериментальное наблюдение проводилось в течение 6 кварталов). А увеличение мотивационного фонда предприятия  $\sigma$  привело к поиску других инновационных решений.

## 7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интеллектуальная информационная поддержка инноваций на предприятии, основанная на интеграции механизмов поиска инновационных решений, моделей и методов управления эволюцией производственно-технологической системы, применения алгоритмов согласованной оптимизации и идентификации производственно-технологических параметров позволяет стимулировать поиск инноваций и тем самым улучшить технологические и экономические показатели функционирования промышленного предприятия.

### Литература

1. Кулагин, А.С. Немного о термине «инновация» // Инновации. - 2004. - № 7 (24). - С. 56-59.
2. Палюх, Б.В., Виноградов, Г.П., Егерев, И.А. Управление эволюцией химико-технологической системы // Теоретические основы химической

технологии, 2014. – Т.48. – №3. – С. 349-355. [Paliukh, B.V., Vinogradov, G.P., Egereva, I.A. Managing the Evolution of Chemical Engineering System // Theor. Found. Chem. Eng. 2014. Vol.48, №3. – pp. 325-331].

3. Магомедов, А. М., Колыванов, В. Ю. Проблемы и особенности развития российского рынка консалтинговых услуг // Региональные проблемы преобразования экономики : Науч. ж-л РАН Дагестан. НЦ. Ин-т соц.-экон. исследований / гл. ред. С. В. Дохолян.– 2009.– N4(21).– С.176-183.

4. Виноградов, Г.П. Методы и алгоритмы принятия решений в автоматизированных системах управления производствами с непрерывной технологией на основе субъективных представлений: монография. / Г.П. Виноградов. Тверь: ТГТУ, 2013. 256 с.

5. Палюх, Б.В. Архитектура интеллектуальной системы информационной поддержки инноваций в науке и образовании // Программные продукты и системы. – 2013. – № 4. – С. 197-202.

6. Approaches to the Intelligent Subject Search / V. K. Ivanov, B. V. Palyukh, A.N. Sotnikov // Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS'2014) (September 7-10, 2014, Warsaw, Poland). Annals of Computer Science and Information Systems. Volume 3. Position Papers, DOI 10.15439/978-83-60810-57-6. - Warsawa, 2014. - P. 13-20.

7. Иванов, В.К. Основные шаги генетического алгоритма фильтрации результатов тематического поиска документов : статья // Инновации в науке. - Новосибирск, 2013. - № 25. - С. 8-15.

8. Прототип программной реализации генетического алгоритма для документального поиска / Б.В. Палюх, В.К. Иванов, П.И. Мескин // Четырнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2014 (24-27 сентября 2014 г., г. Казань, Россия). Труды конференции. Т. 3. – Казань, 2014. – С. 191-199.

9. Цыганов В.В. Адаптивные механизмы функционирования промышленных объединений. М.: ИПУ РАН, 2000.

10. Исследование эффективности генетического алгоритма для тематического документального поиска / В.К. Иванов, Б.В. Палюх // V международная научно-техническая конференция «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» (OSTIS-2015) (19–21 февраля 2015 г. Минск. Республика Беларусь). Материалы конференции. – Минск, 2015. – С. 471-476.

11. Акбердина, В.В. Синергетические модели формирования и развития экономико-технологической реальности: монография. – Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2010. – 248 с.

12. Голов Р. С. Инновационно-синергетическое развитие промышленных организаций (теория и методология) / Р. С. Голов, А. В. Мыльник.–М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2013. - 420 с.