

СТАТЬЯ

УДК 338.24
DOI 10.17513/fr.43798

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ
ФИНАНСОВЫХ И ИНВЕСТИЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ
В ИННОВАЦИОННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ
В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

Воронов В.С., Викторов Е.И.

*Российская государственная академия интеллектуальной собственности, Москва,
e-mail: voronov.v@rgiis.ru*

Цели работы – создание формализованного описания предметной области инновационной экосистемы и разработка интеллектуальной системы поддержки решений венчурного фонда о финансировании инновационного проекта с учетом результатов патентования изобретения. В качестве субъектов инновационной экосистемы в работе рассматриваются: малое инновационное предприятие (стартап); независимый эксперт-техноброкер; институциональный инвестор (венчурный фонд); патентное ведомство. Для исследования процессов поддержки решений инвестора в работе применен аппарат байесовских диаграмм влияния (Bayesian influence diagram). С использованием параметров реального проекта, реализуемого стартапом, поэтапно представлен алгоритм формирования исходного графа модели, заполнения таблицы условных вероятностей, связанных с узлом случайной переменной, и таблиц состояния узлов полезности. Анализ разработанной системы проводится по результатам логических выводов, полученных на действующей модели, реализованной в программной среде Netica. С помощью вычислительных проверок подтверждены логика причинно-следственных и информационных связей между всеми узлами диаграммы, а также адекватность выводов, получаемых с помощью построенной модели. В отличие от обычной байесовской сети доверия, построенная диаграмма влияния позволяет не только обновить убеждения лица, принимающего решения при поступлении новых свидетельств, но также предоставляет возможность определять варианты решений, которые дают наибольшую ожидаемую полезность.

Ключевые слова: байесовская диаграмма влияния, байесовская сеть доверия, инновационная экосистема, логико-вероятностная модель, патент на изобретение, система поддержки решений

Исследование проведено в рамках выполнения научно-исследовательской работы «Развитие механизмов платформенной и сетевой экономики в Российской Федерации: проблемы и пути решения», согласно Государственному заданию для ФГБОУ ВО «Российская государственная академия интеллектуальной собственности» (10-ГЗ-2022).

**MODELLING A SYSTEM FOR SUPPORTING FINANCIAL
AND INVESTMENT DECISIONS IN INNOVATIVE ECOSYSTEMS
UNDER CONDITIONS OF HIGH UNCERTAINTY**

Voronov V.S., Viktorov E.I.

*Russian state academy of intellectual property, Moscow,
e-mail: voronov.v@rgiis.ru*

The objective of the work is to create a formalized description of the innovation ecosystem subject area and to develop an intelligent system for supporting the decisions of a venture fund on financing an innovation project, taking into account the results of patenting an invention. The following entities of the innovation ecosystem are considered in the work: a small innovative enterprise (startup); an independent expert-technobroker; an institutional investor (venture fund); a patent office. To study the processes of supporting investor decisions, the work uses the apparatus of Bayesian influence diagrams. Using the parameters of a real project implemented by a startup, the algorithm for forming the initial model graph, filling the table of conditional probabilities associated with the random variable node, and the utility node state tables is presented step by step. The analysis of the developed system is carried out based on the results of logical inferences obtained on the current model implemented in the Netica software environment. Computational checks confirmed the logic of cause-and-effect and informational relationships between all nodes of the diagram, as well as the adequacy of the inferences obtained using the constructed model. Unlike the usual Bayesian belief network, the constructed influence diagram allows not only to update the decision maker's beliefs when new evidence is received, but also makes it possible to determine the decision options that provide the greatest expected utility.

Keywords: bayesian influence diagram, bayesian belief network, decision support system, innovation ecosystem, logic probabilistic model, patent for an invention

The study was conducted as part of the research work «Development of mechanisms of the platform and network economy in the Russian Federation: problems and solutions», according to the State assignment for the Russian State Academy of Intellectual Property (10-GZ-2022).

Введение

Развитие инновационных экосистем неразрывно связано с процессами генерации новых идей, изобретений и других результатов интеллектуальной деятельности (РИД). Коммерциализация таких объектов всегда обусловлена высокой неопределенностью, что существенно затрудняет принятие управленческих решений лицами, ответственными за финансирование инновационных проектов любого уровня [1, с. 6–27; 2]. Часто инвестиционные компании, венчурные фонды не имеют исходной информации для подтверждения своей уверенности в дееспособности не только молодежных стартапов, но и крупных инновационных фирм, предлагающих свои новые разработки, изобретения, для коммерциализации [3]. Лицам, принимающим решения, приходится буквально по крупицам собирать и анализировать разноплановую информацию, как правило, не несущую точных количественных оценок [4]. В таких случаях принципиально необходимо использовать интеллектуальные системы поддержки решений, в которых логико-вероятностные расчеты сочетаются с оценками субъективного мнения экспертов [5].

Аппарат байесовских сетевых моделей, разработанный в конце прошлого столетия, успешно применяется для решения множества задач поддержки решений в условиях неопределенности [6, с. 83–125; 7, с. 254–268]. Тем не менее, примеры использования данного аппарата для задач, связанных с инновационной, изобретательской деятельностью, весьма немногочисленны. В частности, в работе южнокорейских исследователей была построена байесовская сетевая модель для прогнозирования вероятности регистрации патента или отклонения патентной заявки патентным ведомством [8]. По мнению авторов, интеллектуальная система на базе такой модели позволяет минимизировать усилия заявителей по регистрации патентов.

В другой работе авторы использовали факторный анализ и байесовскую сетевую модель для анализа ключевых слов в описаниях патентов на интеллектуальные технологии управления рисками катастроф. Такие технологии помогают защитить людей, способствуют предотвращению стихийных бедствий и минимизации ущерба [9]. В более поздней работе байесовская сеть была применена с целью поддержки решений о выборе партнеров для ведения исследований и разработок в альянсах между крупными компаниями и малыми/средними предприятиями. В этой модели патентная информация использовалась для предварительного отбора кандидатов в альянс [10].

В отечественной литературе была представлена байесовская модель инновационной экосистемы, которая позволяет учитывать не только сигналы о появлении новых технологий (изобретений) у стартапа, но и причинно-следственные связи между всеми субъектами инновационной экосистемы. Модель помогает венчурному фонду извлекать новые знания и обоснованно уменьшать неопределенность при принятии решений о финансировании стартапа с учетом текущего состояния его патентного портфеля [11].

В перечисленных выше работах был применен аппарат байесовской сети доверия, которая представляет собой модель вероятностных причинно-следственных связей между случайными переменными в предметной области задачи. Однако существует и более сложный вид байесовских сетей – диаграммы влияния (Influence diagram), которые, помимо узлов случайных переменных, включают узлы (функции) решений и полезности [12].

Целями работы являются создание формализованного описания предметной области инновационной экосистемы и разработка интеллектуальной системы поддержки решений венчурного фонда о финансировании инновационного проекта с учетом результатов патентования изобретения.

Материалы и методы исследования

В работе применен метод логико-вероятностного моделирования с использованием аппарата байесовских диаграмм влияния. Вычислительная часть задачи реализована в программной среде Netica (Norsys) [13]. В качестве субъектов в структурной модели инновационной экосистемы выступают: малое инновационное предприятие (стартап); независимый эксперт – технологический брокер; институциональный инвестор (венчурный фонд); патентное ведомство.

Результаты исследования и их обсуждение

Конструирование диаграммы влияния

С помощью байесовской диаграммы влияния в работе моделируется процесс принятия решения венчурным фондом о продолжении финансирования инновационного проекта, связанного с научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами. Фонду предварительно известно, что в ходе реализации проекта была создана новая технология и в патентное ведомство уже подана заявка на изобретение. В связи с этим при принятии решения венчурный фонд должен учитывать:

– выводы независимого эксперта – технологического брокера [14];

– результаты рассмотрения заявки на изобретение в патентном ведомстве.

Помимо прочего, венчурный фонд должен учитывать, что подача и рассмотрение патентной заявки также требуют существенных затрат времени и средств. В целом, по предварительным оценкам фонда, для продолжения финансирования данного проекта потребуется 70 млн руб.

Выводы независимого эксперта являются априорными. Основываясь на собственной информации и опыте работы, он считает, что данный проект:

– с вероятностью 50% может оказаться неудачным, поскольку технология является новой и еще никем не апробирована;

– с вероятностью 30% может принести средний доход на уровне 50 млн руб.;

– с вероятностью 20% может оказаться очень успешным и принесет доход на уровне 200 млн руб., что покроет все расходы венчурного фонда и позволит получить прибыль.

Вероятностные оценки независимого эксперта внесены в таблицу безусловных вероятностей родительского узла случайной переменной успешности реализации проекта диаграммы влияния (рис. 1). Однако мнения технологического брокера недостаточно, поэтому желательно получить решение патентного ведомства по заявке на изобретение, сделанное стартапом. Затраты на исследования и разработки, создание изобретения и подготовку патентной заявки оцениваются в 10 млн руб., но получение патента (в литературе это событие часто называют патентным сигналом) может существенно повлиять на обоснованность принятия решения о финансировании проекта [15]. Поэтому в дополнение к узлу

решения о финансировании проекта (Support or No) в модель добавлен узел решения об ожидании результата рассмотрения патентной заявки (Wait or No). Таким образом, полная диаграмма влияния включает:

– узел случайной переменной вероятности успешной реализации проекта (Project success), отражающий гипотезы независимого эксперта (родительский узел);

– узел случайной переменной ожидаемых результатов рассмотрения патентной заявки (Application result);

– узел решений об ожидании результатов рассмотрения патентной заявки (Wait or no);

– узел решений о финансировании проекта венчурным фондом (Support or no);

– узел полезности U1, представляющий возможные затраты на создание РИД и патентование изобретения (Application cost);

– узел полезности U2, представляющий ожидаемые результаты реализации проекта (Project income).

Результатом рассмотрения патентной заявки (Application result) является решение патентного ведомства. В частности, это решение может:

– оказаться положительным (positive), что повысит шансы на успешную коммерциализацию изобретения;

– содержать запрос дополнительных материалов (delay), что продлит ожидание на неопределенное время;

– оказаться отрицательным (negative) по причине отсутствия новизны в изобретении.

Кроме того, венчурный фонд может с некоторым риском включиться в финансирование проекта, не дожидаясь решения патентного ведомства (nowait), целиком полагаясь на удачу и мнение независимых экспертов.

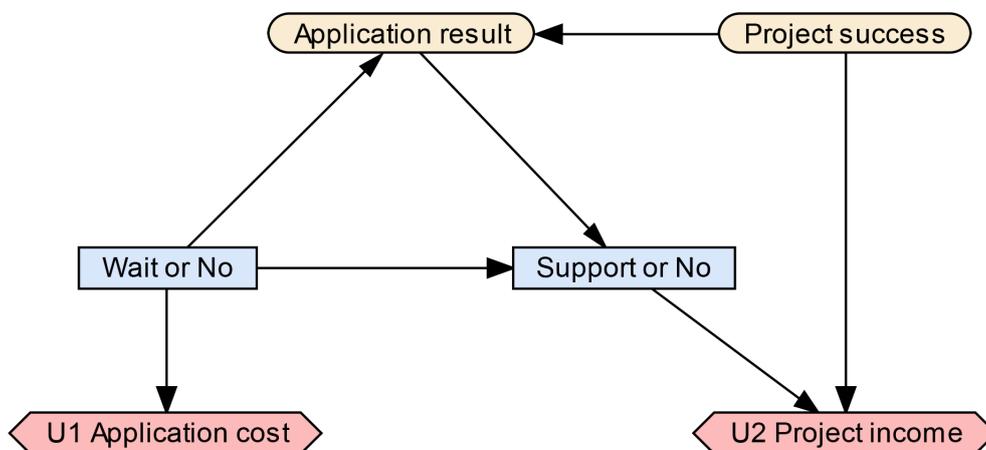


Рис. 1. Исходный граф диаграммы влияния с двумя узлами полезности
 Источник: составлено авторами

Таблица 1

ТУВ для узла вероятностей получения решений патентного ведомства

Успешность проекта (Project success)	Ожидание да/нет (Wait or no)	Результат рассмотрения			
		positive	delay	negative	no wait
Низкая (low)	yes	10	30	60	0
Низкая (low)	no	0	0	0	100
Средняя (mid)	yes	30	40	30	0
Средняя (mid)	no	0	0	0	100
Высокая (high)	yes	50	40	10	0
Высокая (high)	no	0	0	0	100

Источник: составлено авторами.

Поскольку узел случайной переменной вероятностных состояний результатов рассмотрения заявки является зависимым от узла априорных вероятностей успеха реализации проекта и от узла решения об ожидании результата рассмотрения заявки, необходимо составить таблицу условных вероятностей (ТУВ, табл. 1). Таблица отображает вероятностные связи прогнозов результата рассмотрения заявки и вероятности успеха проекта.

Таблица 2 полезностей U1 отображает возможные варианты затрат на создание РИД и патентование изобретения, поэтому в ней будет всего два значения.

Таблица 2

Состояния узла полезностей U1

Заявка да/нет	U1, млн руб.
yes	-10
no	0

Источник: составлено авторами.

Таблица 3

Состояния узла полезностей U2

Успешность проекта (Project success)	Ожидание да/нет (Wait or no)	U2, млн руб.
Низкая (low)	yes	-70
Низкая (low)	no	0
Средняя (mid)	yes	50
Средняя (mid)	no	0
Высокая (high)	yes	200
Высокая (high)	no	0

Источник: составлено авторами.

Таблица полезностей U2 отображает ожидаемые результаты рассмотрения патентной заявки в зависимости от вариантов

решения о финансировании проекта и вероятностных прогнозов независимого эксперта (табл. 3). Ее данные говорят о том, что при неудачном завершении проекта ожидаемый убыток равен полной стоимости затрат, и лишь при реализации со средним результатом или очень успешной реализации проекта возможно получение дохода по проекту, соответственно, 50 или 200 млн руб.

Анализ действующей модели поддержки решений

После заполнения всех таблиц в программной среде Netica диаграмма инициализируется и далее используется как действующая логико-вероятностная модель поддержки решений венчурного фонда (рис. 2). В таблице узла Support or No первоначально выведены пустые ячейки, поскольку окончательное решение о финансировании проекта принять невозможно, пока не получено решение патентного ведомства. Однако возможные ожидаемые результаты в узле Wait or No уже получены, они выведены машиной в его таблицу и говорят о том, что максимального результата можно ожидать только при положительном решении патентного ведомства.

Для подтверждения решения фонда ожидать результаты рассмотрения заявки нужно кликнуть (т.е. ввести свидетельство) в строке Wait узла решений Wait or No (рис. 3). После этого машина выводит в таблицу решения о финансировании проекта подтверждение ожидаемой выгоды этого решения при отсутствии других свидетельств, т.е. в условиях полной неопределенности.

Однако далее можно показать, что выгода решения фонда ожидать результаты рассмотрения заявки увеличится более чем в семь раз при вводе свидетельства (positive) о том, что в результате рассмотрения заявки получено положительное решение патентного ведомства о выдаче патента (рис. 4).

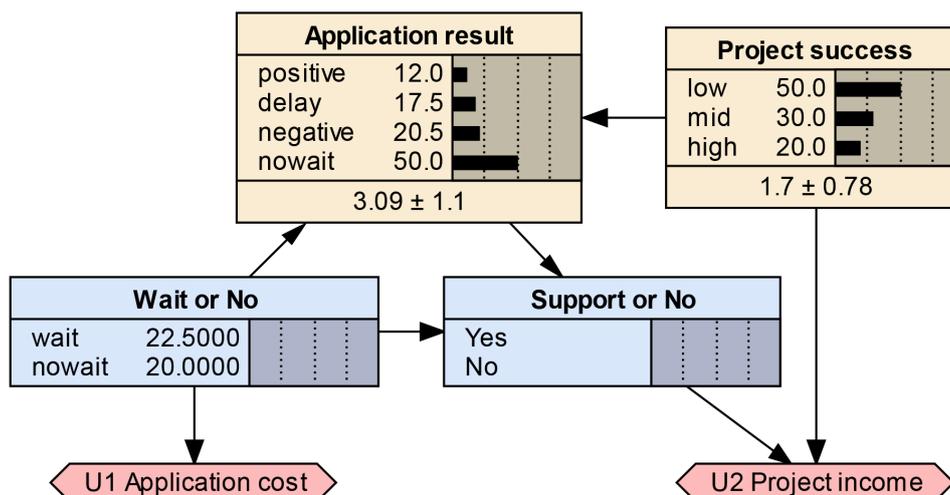


Рис. 2. Диаграмма влияния после инициализации модели
Источник: составлено авторами

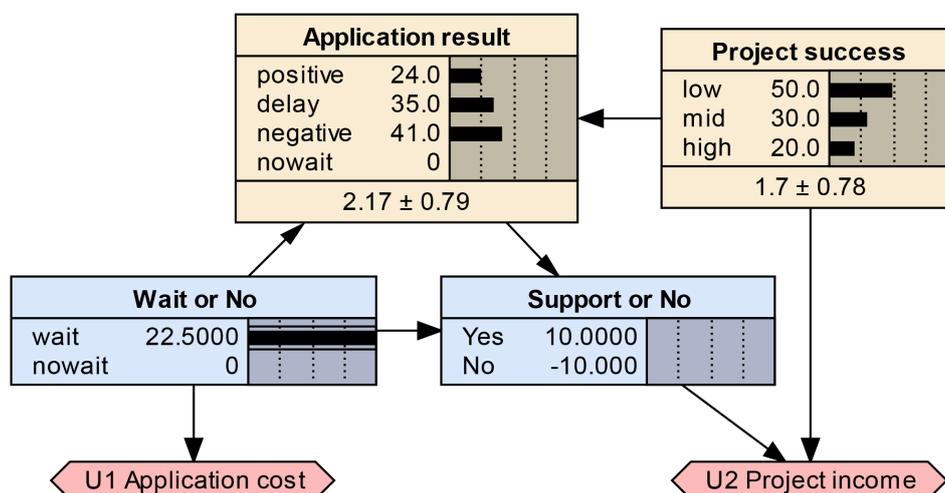


Рис. 3. Подтверждение решения фонда ожидать результаты рассмотрения заявки
Источник: составлено авторами

Проверим, как получено это значение. Сначала рассчитаем ожидаемый результат реализации проекта с учетом полных вероятностей, полученных в узле Project success:

$$E(\text{Yes} \mid \text{positive}) = 0,208 \cdot (-70) + 0,375 \cdot 50 + 0,417 \cdot 200 = 87,5 \text{ (млн руб.)}$$

Из этой величины вычитаем затраты в сумме 10 млн руб. на создание РИД и подготовку патентной заявки (U1) и получаем 77,5 млн руб., выведенные машиной в узле Support or No. По такому же алгоритму проверим ожидаемый результат при получении запроса дополнительных материалов (рис. 5):

$$E(\text{Yes} \mid \text{delay}) = 0,429 \cdot (-70) + 0,343 \cdot 50 + 0,229 \cdot 200 = 32,9 \text{ (млн руб.)}$$

Соответственно, с учетом затрат на создание РИД и подготовку заявки (-10 млн руб.) получаем 22,9 млн руб., что и выведено машиной в узле решения.

Наконец, при получении отрицательного решения патентного ведомства по такому же алгоритму получим -40,49 млн руб. (состояние диаграммы не приводится). Используя полученные значения, можно проверить ожидаемую полезность с учетом полных вероятностей результатов рассмотрения заявки до поступления свидетельств (рис. 3):

$$E(\text{Yes}) = 0,24 \cdot 77,5 + 0,35 \cdot 22,9 + 0,41 \cdot (-40,49) = 10 \text{ (млн руб.)}$$

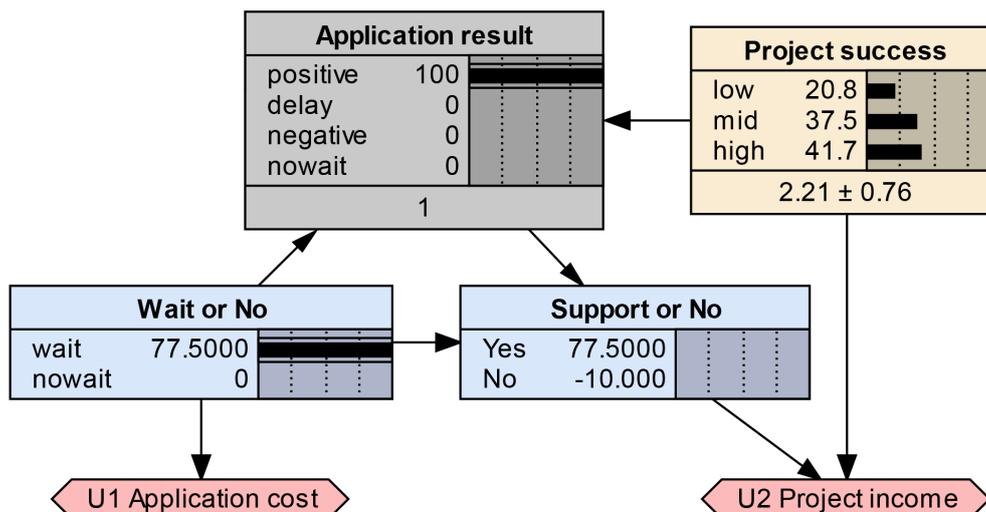


Рис. 4. Поступление положительного сигнала о результате рассмотрения заявки
 Источник: составлено авторами

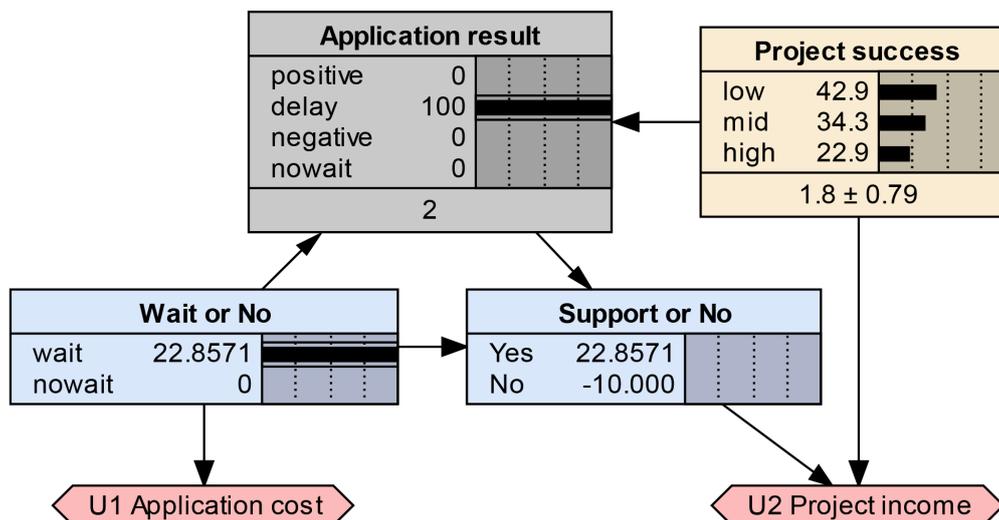


Рис. 5. Поступление свидетельства о результате рассмотрения заявки
 Источник: составлено авторами

Таким образом, достаточно простые проверки помогают подтвердить логику причинно-следственных и информационных связей между всеми узлами диаграммы, а также проверить адекватность выводов, полученных с помощью построенной модели. Используемая программная среда позволяет быстро, буквально в один-два клика, переобучать систему новыми данными, дополнять ее новыми узлами переменных и соответствующими связями. При этом одновременно происходит накопление базы знаний всей системы, что является положительным свойством байесовских сетевых моделей.

Заключение

В работе впервые представлена байесовская диаграмма влияния, позволяющая моделировать процесс принятия решений венчурного фонда о финансировании (продолжении финансирования) проекта, выполняемого стартапом в рамках исследований и разработок. В отличие от обычной байесовской сети доверия, предложенная модель включает узлы, представляющие функции решений и полезностей. В частности, в систему включены узел решения об ожидании фондом результата рассмотрения заявки на изобретение стартапа в патентном ведомстве и узел решения о финан-

сировании проекта. Функции полезности представляют, соответственно, узел затрат на создание РИД и патентование изобретения и узел ожидаемых результатов реализации проекта в целом.

Апробация с использованием реальных финансовых параметров проекта показала, что даже в своей минимальной конфигурации предложенная модель поддержки решений позволяет не только обновлять убеждения венчурного фонда при поступлении новых свидетельств, но также дает возможность определять и сравнивать варианты решений, которые дают наибольший ожидаемый финансовый результат. Работа с системой не требует от инвестора наличия навыков программирования на алгоритмических языках высокого уровня, что существенно упрощает ее практическое использование.

Список литературы

1. Мотовилова О.В. Управление инновациями и интеллектуальной собственностью фирмы: монография. М.: Прспект, 2021. 350 с.
2. Спиридонова Е.А., Кайрыш Е.В. Экономическое обоснование формирования портфеля результатов интеллектуальной деятельности // Инновации. 2021. № 7. С. 86-95.
3. Булыгина О.В. Анализ реализуемости инновационных проектов по созданию наукоемкой продукции: алгоритмы и инструменты // Прикладная информатика. 2016. Т. 11, № 4 (64). С. 87-102.
4. Халин В.Г., Черновалова М.В., Шманев С.В. Алгоритмическое и информационное обеспечение управления инновационными проектами в условиях неопределенности // Прикладная информатика. 2018. Т. 13. № 3 (75). С. 5-15.
5. Дли М.И., Стоянова О.В. Способы представления экспертных данных в системах поддержки принятия решений по управлению сложными проектами // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2016. № 7. С. 21-28.
6. Тулупьев А.Л., Николенко С.И., Сироткин А.В. Основы теории байесовских сетей. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2019. 399 с.
7. Сукар Л.Э. Вероятностные графовые модели. Принципы и приложения: пер. с англ. М.: ДМК Пресс, 2021. 338 с.
8. Kim G., Park S., Jun S., Kim Y., Kang D., Jang D. A Study on Forecasting System of Patent Registration Based on Bayesian Network // Intelligent Information Management. 2012. Vol. 4. P. 284-290. DOI: 10.4236/iim.2012.425040.
9. Park S., Jun S. Patent keyword analysis of disaster artificial intelligence using bayesian network modeling and factor analysis // Sustainability. 2020. Vol. 12 (2). № 505. DOI: 10.3390/su12020505.
10. Lee K., Park I., Yoon B. An Approach for R&D Partner Selection in Alliances between Large Companies, and Small and Medium Enterprises (SMEs): Application of Bayesian Network and Patent Analysis // Sustainability. 2016. Vol. 8 (2). № 117. DOI: 10.3390/su8020117.
11. Воронов В.С., Чернявский С.В., Викторов Е.И., Шулуc А.А. Моделирование процессов изобретательской деятельности в инновационных экосистемах // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2024. № 67. С. 285-299. DOI: 10.17223/19988648/67/17.
12. Hansen E.A., Shi J., Kastrantas J. Strategy graphs for influence diagrams // Journal of Artificial Intelligence Research. 2022. Vol. 75. P. 1177-1221. DOI: 10.1613/jair.1.13865.
13. Norsys Software Corp. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://norsys.com/netica.html> (дата обращения: 15.02.2025).
14. Каширин А.И., Баранов Е.А., Каширин П.А., Филимонов А.В. Технологический брокеридж – механизм решения научно-технических проблем и задач // Инновации. 2020. № 8 (262). С. 3-12. DOI: 10.26310/2071-3010.2020.262.8.001.
15. Hall B.H. Is there a role for patents in the financing of new innovative firms? // Industrial and Corporate Change. 2019. Vol. 28 (3). P. 657-680. DOI: 10.1093/icc/dty074.