УДК 004.89
DOI: 10.15827/0236-235X.122.330-337

Дата подачи статьи: 07.02.18
2018. Т. 31. № 2. С. 330–337

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫМИ ПРОЕКТАМИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

М.В. Черновалова¹, аспирант, 0208margarita@bk.ru

¹ Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»,
ул. Красноказарменная, 14, г. Москва, 111250, Россия

Существующие в настоящее время подходы к управлению проектами ориентированы на последовательное выполнение всех его этапов и работ. При этом не учитывается влияние полученных ранее результатов и факторов неопределенности на показатели результативности инновационного проекта и степень его выполнимости.

Предлагаются разработанные алгоритмы, направленные на решение данных задач.

Первый алгоритм обеспечивает учет влияния факторов неопределенности на длительность работ инновационного проекта и затраты, связанные с их выполнением. Отличительной особенностью данного алгоритма является применение системы нечетких продукционных правил для определения возможного отклонения результатов отдельных работ проекта от заданных значений показателей. Это позволяет при управлении инновационным проектом учитывать факторы неопределенности внешней и внутренней среды при минимизации затрат, связанных с инновациями.

Второй алгоритм ориентирован на минимизацию длительности выполнения проекта или затрат, связанных с обеспечением его всеми необходимыми ресурсами. Основой для данного алгоритма является алгоритм List Scheduling, отличающийся использованием нечетких продукционных правил для обеспечения эффективного распределения имеющихся ресурсов в зависимости от заданных значений показателей результативности, а также прогнозирования времени выполнения конкретной работы при выделенном объеме ресурсов.

Предлагаемая информационная система ориентирована на комплексную автоматизацию процесса управления инновационными проектами. В статье также представлена архитектура системы, отражающая основные модули и потоки данных между ними.

В результате определен вариант построения структуры работ для каждого из этапов инновационного проекта. В целом это позволило уменьшить срок его реализации.

Ключевые слова: информационная система управления проектами, факторы неопределенности, график работ проекта, нечеткие продукционные правила, поддержка принятия решений, алгоритмическое обеспечение информационных систем.

Одним из основных способов повышения конкурентоспособности отечественных промышленных предприятий является внедрение инновационных проектов, в связи с чем все больше внимания уделяется вопросам разработки эффективного набора инструментов инновационного менеджмента. Сложность решения данной задачи обусловлена необходимостью одновременного контроля большого количества неоднородных компонентов в условиях динамичного изменения внешней среды, что делает практически невозможным прогнозирование конечных результатов таких проектов с требуемой точностью [1, 2]. В некоторых случаях с целью уменьшения степени неопределенности формируют диапазон значений показателей результативности, характеризующих эффективность выполнения инновационного проекта, но при этом их реальное значение может располагаться в любой из точек данного диапазона. На практике же чаще всего приходится управлять множеством плохо прогнозируемых переменных и их многочисленными комбинациями, что в значительной степени осложняет процесс планирования инновационного проекта. Кроме этого, управление такими проектами предполагает анализ большого количества несистематизированной и разрозненной информации, что не позволяет сформировать об-

щую картину всего процесса его реализации [3].

В условиях интенсивного развития информационных технологий для управления каждой из фаз жизненного цикла проекта в настоящее время используются различные программные продукты, ориентированные на повышение степени решения проблемы в целом. Применение современных методов и средств управления проектами обеспечивает формализацию выполнения отдельных его задач, например таких, как определение цели проекта, его структурирование, расчет необходимого объема финансирования, учет рисков, установление сроков выполнения этапов проекта и формирование графика его реализации с назначением ресурсов, мониторинг выполнения проекта [4].

В целом автоматизацию управления проектами можно разделить на три уровня: высший, средний и низший. На первом уровне предполагается использование комплекса программных средств, а также различных имитационных, статистических и аналитических моделей этапов и работ с целью выработки решений по реализации инновационного проекта. Второй уровень представлен распределенными интегрированными системами, где основными инструментами являются клиент-серверная архитектура, портативные компьютеры, системы телекоммуникаций и т.д. На третьем уровне приме-

няются технологии Internet/Intranet, что позволяет обеспечить доступ к информации об инновационных проектах без существенных затрат на его организацию [5].

Существует достаточно большое количество различных программных пакетов, ориентированных на автоматизацию управления процессами проектов, их расписаниями, ресурсами, рисками. При этом все большую популярность приобретают комплексные пакеты, строящиеся по модульному принципу и обеспечивающие эффективное управление посредством информационного обмена между модулями путем их интеграции [6–9].

В основе таких информационных систем чаще всего используют стандартные методы и алгоритмы. Так, при построении графика проекта и моделировании времени широко применяются метод критического пути, PERT, GERT, модели темпоральной логики; с целью снижения степени неопределенности и прогнозирования возможных результатов проекта используют различные интеллектуальные методы, например, генетические алгоритмы, нечеткую логику [10–14].

Несмотря на большое разнообразие информационных систем, предназначенных для управления проектами, все они ориентированы на информатизацию процессов. Основным недостатком существующих программных продуктов является отсутствие анализа зависимости времени выполнения стадий проекта от их характеристик, а также возможности построения расписания работ с учетом влияния факторов неопределенности и их оптимизации по длительности или затратам инновационных проектов в зависимости от потребностей и особенностей промышленных предприятий. В связи с этим становятся актуальными поиск эффективных подходов, позволяющих решать данные задачи, и разработка на их основе новых инструментов, которые обеспечивали бы поддержку принятия решений при реализации инновационных проектов на промышленных предприятиях с учетом их особенностей. Таким образом, при формировании информационной системы по управлению проектами необходимо обеспечить возможность выработки решений в условиях полной неопределенности, характеризующихся отсутствием в ряде случаев статистической информации, которая отражает длительность каждого из этапов и используемые для их реализации ресурсы, а также учет влияния характеристик результатов реализации предыдущих этапов на последующие.

С целью снижения степени неопределенности проекта можно использовать алгоритм, представленный на рисунке 1.

В данном случае для снижения степени неопределенности реализации инновационного проекта используются результаты анализа внутренней и внешней среды деятельности промышленного предприятия, в ходе которого выявляются различ-

ные факторы, оказывающие существенное влияние на результат выполнения каждой из работ инновационного проекта: $U = \langle \{Ec\}, \{Te\}, \{In\}, \{Do\} \rangle$, где $\{Ec\}$ – экономические факторы неопределенности; $\{Te\}$ – технологические факторы неопределенности; $\{In\}$ – международные факторы неопределенности; $\{Do\}$ – внутренние факторы неопределенности.

В процессе анализа производится сортировка элементов каждого подмножества по возрастанию степени их влияния. После этого путем объединения элементов из разных подмножеств формируется новое множество U_{an} , содержащее только те факторы неопределенности, которые оказывают существенное влияние на проект. Под каждый элемент из множества U_{an} разрабатывается комплекс мероприятий, направленных на предупреждение или устранение последствий влияния фактора неопределенности. В результате формируется множество M , представляющее собой совокупность всех разработанных мероприятий для j -й работы i -го этапа.

С целью предупреждения непредвиденных обстоятельств и снижения степени неопределенности, помимо определения планового времени выполнения каждой из работ проекта, рассматриваются и другие возможные сценарии его реализации, где при разных значениях показателей результативности j -й работы i -го этапа S_{ij} определяются соответствующие временные характеристики. В результате такого подхода вместо планового момента времени T_{ijpl} завершения j -й работы i -го этапа проекта определяется некоторый временной интервал ΔT_{ij} , который, исходя из самых оптимистических и самых пессимистических предположений, имеет минимальную (T_{ijmin}) и максимальную (T_{ijmax}) границы относительного планового времени выполнения (T_{ijpl}).

В связи с этим формируется отсортированный массив рассчитанных сроков по каждому фактору неопределенности для текущей работы. Далее в построенном массиве выбираются минимальный (T_{ijmin}^a) и максимальный (T_{ijmax}^a) элементы по каждому из подмножеств, которые формируют временные интервалы j -й работы i -го этапа $[T_{ijmin}^a, T_{ijmax}^a]$, зависящие от воздействия каждого из существенных для проекта факторов.

Данные интервалы корректируются с учетом разработанных мероприятий для предупреждения или ликвидации последствий от наступления какого-либо фактора неопределенности из соответствующего подмножества. В результате получаются новые временные интервалы $[T_{ijmin}^{a'}, T_{ijmax}^{a'}]$.

Затем осуществляется анализ влияния конкретного фактора из множества U_{an} на конкретный тип выделенных ресурсов, необходимых для реализации j -й работы i -го этапа. Формируется множество ресурсов R^* , подверженных влиянию фактора из

Q_{an} . В дальнейшем с помощью аналогичных разработанных производственных правил для определения времени начала и окончания конкретной работы рассчитываются общие затраты C'_{ij} , связанные с обеспечением j -й работы i -го этапа всеми типами необходимых ресурсов из множества R^* .

Далее определяются затраты, связанные с обеспечением j -й работы i -го этапа каждым отдельным типом ресурсов, не подверженных влиянию факторов неопределенности. Создается множество R' , в котором для каждого элемента определяются затраты. После этого рассчитывается сумма затрат C'_{ij} , связанных с обеспечением j -й работы i -го этапа всеми типами необходимых ресурсов, не подверженных влиянию факторов неопределенности. После этого рассчитывается общая итоговая стоимость обеспечения j -й работы i -го этапа всеми необходимыми ресурсами.

Затем осуществляется корректировка заданных значений показателей результативности S'_{ij} . В связи с тем, что от результатов каждой текущей

работы зависит длительность других работ, определяются новые значения интервалов для каждой $j+l$ -й работы. Для определения возможных моментов начала и окончания работы используются разработанные производственные правила вида ЕСЛИ ΔS_{ij}^1 есть w_{ij}^1 И ... И ΔS_{ij}^e есть w_{ij}^e И ... И ΔS_{ij}^E есть w_{ij}^E И ... И ΔT_{ij} есть v_{ij} ТО ΔT_{ij+l} есть g_{ij+l} , где ΔS_{ij}^e – наблюдаемое отклонение e -го показателя результативности j -й работы i -го этапа; w_{ij}^e – нечеткое терм-множество, соответствующее отклонению e -го показателя результативности j -й работы i -го этапа; e – номер конкретного типа показателя результативности ($e = 1, \dots, E$); ΔT_{ij} – наблюдаемое отклонение длительности выполнения j -й работы i -го этапа; v_{ij} – нечеткое терм-множество, соответствующее отклонению длительности реализации j -й работы i -го этапа; ΔT_{ij+l} – предполагаемое решение по определению времени начала выполнения $j+l$ -й работы i -го этапа; g_{ij+l} – значение времени начала выполнения $j+l$ -й работы i -го этапа.

С целью повышения оперативности и снижения затрат ресурсов различных типов при реализации этапов инновационного проекта был также разработан алгоритм, который отличается от алгоритма LS (List scheduling) использованием нечетких продукционных правил для обеспечения эффективного распределения имеющихся ресурсов организации в зависимости от заданных значений

показателей результативности и определения длительности реализации работ, исходя из объема предоставленных ресурсов. Это, в свою очередь, позволяет минимизировать время выполнения как самих этапов, так и всего проекта в целом.

Алгоритм минимизации длительности выполнения проекта или затрат, связанных с обеспечением его всеми необходимыми ресурсами (рис. 2),

Fig. 2. An algorithm for minimizing the duration of a project or the costs for providing it with all necessary resources

можно представить в виде следующей последовательности действий.

1. Формируется множество W , содержащее работы, перед которыми нет ни одной другой работы.

2. Выбирается работа W_{ij} .

3. Просматриваются значения показателей результативности S_{ij}^e для каждого ресурса.

4. Проводится оценка каждого ресурса на основании производственных правил: **ЕСЛИ** ΔS_{ij}^1 есть w_{ij}^1 **И** ... **И** ΔS_{ij}^e есть w_{ij}^e **И** ... **И** ΔS_{ij}^E есть w_{ij}^E **ТО** R_{ij} есть r_1 , где R_{ij} – предлагаемое решение по формированию объема необходимых ресурсов; r_1 – конкретное решение по формированию объема ресурсов, необходимых для реализации рассматриваемой работы.

5. Определяется время начала работы W_{ij} . Если перед W_{ij} нет ни одной работы, тогда $T_{ij}^{bg} = 0$, в противном случае временем начала выполнения работы T_{ij}^{bg} является время окончания выполнения предшествующей работы T_{ij}^{ed} .

6. Определяется направление минимизации времени или затрат.

В случае минимизации затрат. При условии, что имеются типы ресурсов, количества которых недостаточно, определяется момент времени T_{ij}^k , когда произойдет освобождение требуемого количества каждого k -го ресурса. Рассчитываются затраты C_{ij} , связанные с обеспечением работы W_{ij} необходимым объемом ресурсов, и проверяется условие $C_{ij} \leq C_{ac}$. В случае, если затраты превышают допустимый уровень C_{ac} , определяется момент времени T_{ij}^c , когда будет удовлетворяться данное неравенство. Производится сравнение T_{ij}^k и T_{ij}^c и определяется, какой из моментов наступает позже. После этого время начала реализации работы W_{ij} переносится на наиболее поздний момент.

В случае минимизации длительности проекта. Работа W_{ij} обеспечивается необходимым объемом ресурсов, и определяются соответствующие затраты. На основании производственных правил прогнозируется время выполнения работы p_{work} : **ЕСЛИ** ΔS_{ij}^1 есть w_{ij}^1 **И** ... **И** ΔS_{ij}^e есть w_{ij}^e **И** ... **И** ΔS_{ij}^E есть w_{ij}^E **И** ... **И** R_{ij} есть r_{ij} **И** ... **И** C_{ij} есть c_{ij} , **ТО** p есть p_{work} , где R_{ij} – наблюдаемое потребление ресурсов для реализации работы W_{ij} ; r_{ij} – нечеткое терм-множество, соответствующее выделенному объему ресурсов для реализации j -й работы i -го этапа; C_{ij} – наблюдаемое значение стоимости затрат, связанных с обеспечением работы W_{ij} заданным объемом ресурсов; c_{ij} – нечеткое терм-множество, соответствующее полученным значениям стоимости затрат; p – предполагаемое решение по определению длительности выполнения работы

W_{ij} ; p_{work} – длительность выполнения работы W_{ij} .

Сравнивается прогнозируемое время работы с допустимым временем ее выполнения p_{work}^{ac} . Если выполняется условие $p_{work} \leq p_{work}^{ac}$, то осуществляется переход к следующему этапу алгоритма, в противном случае данный этап выполняется с изменением объема потребляемых при реализации инновационного процесса ресурсов на Δr_{ij} .

7. Начинается выполнение работы W_{ij} на интервале времени $[T_{ij}^{bg}, T_{ij}^{bg} + p_{ij})$.

8. Занимаются ресурсы для выполнения работы W_{ij} $R_{ij}(\tau) = R_{ij}(\tau) - r_{ij}$, $\tau \in [T_{ij}^{bg} + p_{ij})$.

9. Завершается выполнение работы W_{ij} , которая, соответственно, исключается из множества W , высвобождая при этом ресурс $R_{ij}(\tau) = R_{ij}(\tau) + r_{ij}$.

10. Добавление во множество W всех последователей работы W_{ij} , для которых все предшествующие работы выполнены.

11. Проверка наличия работ во множестве W , то есть выполнение условия $W \neq \emptyset$. При условии наличия таких работ осуществляется переход к пункту 2, в противном случае алгоритм заканчивается.

На рисунке 3 представлена архитектура информационной системы, отражающая основные модули и потоки данных между ними.

Из рисунка видно, что указанная система состоит из четырех взаимосвязанных модулей, которые ориентированы на автоматизацию различных групп функций. Функционал первого модуля позволяет анализировать факторы неопределенности, которые оказывают непосредственное влияние на выполнение инновационного проекта. Вторым модулем является основополагающим. В данном случае автоматизируются все основные функции, связанные с планированием инновационного проекта:

- определение основных сроков как отдельных работ, этапов, так и самого процесса в целом;
- формирование основных показателей по каждому этапу и каждой работе;
- определение потребности в ресурсах и соответствующих им затрат;
- формирование системы показателей и определение их плановых значений;
- разработка конечного плана в соответствии с рекомендациями по оптимизации.

Сам модуль оптимизации посредством использования описанных выше алгоритмов позволяет:

- учитывать влияние факторов неопределенности при определении длительности проекта и необходимого объема ресурсов для его выполнения;
- оптимизировать график реализации инновационного проекта в условиях ограниченных ресурсов или повышать эффективность их использования в условиях ограниченного времени.

В данном случае входными данными являются сведения из единого хранилища данных, а разрабо-

танные рекомендации с помощью разработанной базы знаний служат основой для составления итогового плана проекта.

В системе также предусмотрен модуль мониторинга, основными задачами которого являются отслеживание процесса выполнения инновационного проекта и выявление отклонений.

Таким образом, предлагаемая архитектура информационной системы ориентирована на комплексную автоматизацию процесса управления инновационными проектами, которая обеспечивает не только его планирование и мониторинг, но и в зависимости от предъявляемых требований к проекту оптимизирует график его работ относительно времени или ресурсов с учетом воздействия на проект различных факторов неопределенности. Наличие временных БД позволяет накапливать информацию, которая может быть использована как при реализации конкретного инновационного проекта, так и для разработки последующих проектов. Все это способствует снижению степени неопределенности и повышению результативности выполнения инновационных проектов на промышленных предприятиях.

На основе предложенных алгоритмов была разработана система поддержки принятия решений, программный код которой реализован с помощью языка Java 8, а в качестве среды для проектирова-

ния и создания БД применялась бета-версия СУБД Oracle Database 11g Express Edition. Подключение БД Oracle из Java осуществляется с помощью одной из реализаций спецификации Java Persistence API (JPA) – Hibernate. Интеграция предложенной экспертной системы с используемыми системами в организации возможна благодаря сервис-ориентированной архитектуре, которая полностью поддерживается Oracle и осуществляется посредством enterprise service bus (ESB). В данном случае создаются сервисные интерфейсы для уже реализованных или новых функций и взаимодействие приложений происходит с помощью *application business connector (ABC) services*. Эти сервисы слабо связаны между собой и вызываются путем использования коммуникационных протоколов. Основным компонентом ESB является *ESB-сервер*, где происходит регистрация спроектированных сервисов.

Разработанная система поддержки принятия решений была практически апробирована при управлении инновационным проектом по разработке устройства, реализующего инфракрасный нагрев жидкости через свободную поверхность в условиях гидромеханического процесса.

Пример работы программы на этапе ОКР указанного инновационного проекта иллюстрирует экранная форма, отражающая оптимизированный график выполнения ОКР с учетом возможного вли-

яния факторов неопределенности (см. http://www.swsys.ru/uploaded/image/2018_2/2018-2-dop/17.jpg, http://www.swsys.ru/uploaded/image/2018_2/2018-2-dop/18.jpg). В данном случае для его построения на вход использовалась информация о запланированной длительности отдельных работ указанного этапа (табл. 1), а также о степени влияния каждого из выделенных факторов неопределенности, полученная в процессе экспертного оценивания (табл. 2).

Таблица 1

Длительность выполнения ОКР

Table 1

Duration of design and development work

Название	Обозначение	Длительность, дней
Разработка ТЗ на ОКР	W_{31}	1
Эскизное проектирование	W_{32}	10
Техническое проектирование	W_{33}	7
Формирование рабочей документации	W_{34}	3
Изготовление опытного образца	W_{35}	190
Проведение испытаний	W_{36}	90

Таблица 2

Степень влияния каждого фактора ОКР

Table 2

The influence degree of each design and development work factor

ОКР	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7
W_{31}	0	0	0,3	0	0	0,2	0,7
W_{32}	0	0	0,4	0	0,1	0,8	0,7
W_{33}	0	0,1	0,4	0,1	0,1	0,8	0,7
W_{34}	0	0	0	0	0	0,2	0,7
W_{35}	0,6	0,8	0,2	0,9	0,2	0,8	0,7
W_{36}	0,7	0,9	0,2	0,9	0,2	0,8	0,7

С учетом экспертной оценки наступления отдельных факторов как внешней, так и внутренней среды была определена степень влияния каждого из них на отдельные работы, а также просчитано итоговое время выполнения каждой из них с учетом этого влияния.

В качестве факторов, оказывающих влияние на данный инновационный проект, были выделены:

F_1 – появление дополнительного инвестора;

F_2 – поломка оборудования;

F_3 – получение нового научного результата;

F_4 – сбой поставок комплектующих;

F_5 – реализация программы государственной поддержки, затрагивающей рассматриваемый проект;

F_6 – изменение кадрового состава, задействованного в НИОКР;

F_7 – изменения основных потребностей потребителя, касающиеся инновационного проекта.

В таблице 2 представлены результаты анализа степени влияния каждого фактора неопределенности на конкретную работу.

Исследования показали, что общая длительность ОКР сократилась на 27 дней. Таким образом, в результате работы созданной системы поддержки принятия решений был определен вариант построения структуры работ для каждого из этапов инновационного проекта. В целом это позволило уменьшить срок его реализации на 82 дня, что составляет примерно 10,6 % от общей длительности.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-07-00928 А.

Литература

1. Какатунова Т.В., Селявский Ю.В., Гончаров А.М. Использование итерационного подхода к разработке и реализации сложного инновационного проекта // Вестн. РАЕН. 2015. № 2. С. 33–35.
2. Цеховой А.Ф., Аялбергенова А.Т. Роль и место проектного управления в создании современных информационных систем // Перспективы развития информационных технологий. 2014. № 17. С. 108–113.
3. Фалько С.Г., Федоров Б.С. Проектный подход к управлению инновационными процессами // Российское предпринимательство. 2003. № 4. С. 49–52.
4. Чуваков А.В. Концепция системы поддержки принятия решений, основанной на знаниях, при управлении предпринимательской стадией проектов // Системы управления и информационные технологии. 2013. Т. 53. № 3. С. 42–46.
5. Стоянова О.В., Длин М.И. Информационно-аналитическая система управления производственными проектами машиностроения в условиях неопределенности // Программные продукты и системы. 2015. № 3. С. 49–56.
6. Стоянова О.В., Васицына А.И. Метод поддержки принятия решений по управлению временными аспектами проектов на промышленных предприятиях // Программные продукты и системы. 2012. № 3. С. 178–184.
7. Какатунова Т.В., Офицеров А.В. Использование экономико-математической экспертной системы поддержки принятия решений по управлению изменениями проектов в промышленности // Транспортное дело России. 2017. № 6. С. 7–10.
8. Палюх Б.В., Длин М.И., Какатунова Т.В., Багузова О.В. Интеллектуальная система поддержки принятия решений по управлению сложными объектами с использованием динамических нечетких когнитивных карт // Программные продукты и системы. 2013. № 4. С. 162–167.
9. Длин 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.
10. Длин М.И., Стоянова О.В., Васицына А.И. Возможности использования временных логик для управления сложными проектами // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2011. № 8. С. 48–52.
11. Федюлов А.С., Борисов В.В. Анализ нечетких реляционных когнитивных карт // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2016. № 7. С. 7–14.
12. Борисов В.В., Денисенков М.А., Федюлов А.С. Нечеткие ситуационные сети на основе когнитивных карт // Естественные и технические науки. 2016. № 2. С. 118–123.
13. Длин М.И., Гимаров В.В., Глушко С.И. Алгоритмы поддержки принятия решений по управлению инфраструктурными проектами на основе моделей муравьиных колоний // Вестн. Саратовского гос. технич. ун-та. 2012. Т. 1. № 2. С. 423–427.
14. Гимаров В.В., Глушко С.И., Длин М.И. Применение алгоритмов муравьиных колоний при управлении сложными проектами // Транспортное дело России. 2012. № 4. С. 107–109.

**ALGORITHMIC SUPPORT OF THE INFORMATION SYSTEM
FOR MANAGING INNOVATION PROJECTS IN AN INDUSTRY**

M.V. Chernovalova¹, *Postgraduate Student, 0208margarita@bk.ru*

¹ *National Research University "MPEI", Krasnokazarmennaya St. 14, Moscow, 111250, Russian Federation*

Abstract. Current approaches to project management are focused on the consistent implementation of all phases. They do not take into account the influence of the results obtained earlier and uncertainty factors on innovation project performance indicators and the degree of its feasibility.

The paper considers two algorithms that are aimed at solving these problems.

The first algorithm takes into account the influence of uncertainty factors on innovation project work duration and implementation costs. A key feature of this algorithm is a system of fuzzy production rules to determine possible deviations of the results of individual project works from the set indicator values. When managing an innovative project, this allows taking into account external and internal uncertainties while minimizing innovation costs.

The second algorithm is focused on minimizing the duration of a project or resource costs. The basis for this algorithm is the List Scheduling algorithm. It differs by using fuzzy production rules to provide efficient allocation of available resources depending on the set values of performance indicators, as well as forecasting performance time of a particular work with the allocated resource level.

The article also presents the architecture of the proposed information system for project management. It implements the described algorithms and shows the main modules and data flows between them. It is focused on the complex automation of the process of managing innovative projects.

Keywords: project management information system, uncertainty factors, project schedule, fuzzy production rules, decision support, algorithmic support of information systems.

Acknowledgements. The study has been financially supported by RFBR the framework of the research project no. 18-07-00928 A.

References

1. Kakatunova T.V., Selyavsky Yu.V., Goncharov A.M. An iterative approach to development and implementation of a complex innovation project. *Vestn. RAEN* [Bulletin of RANS]. 2015, no. 2, pp. 33–35 (in Russ.).
2. Tsekhovoy A.F., Ayapbergenova A.T. The role and place of project management in creating modern information systems. *Perspektivy razvitiya informatsionnykh technology* [Prospects of IT Development]. 2014, no. 17, pp. 108–113 (in Russ.).
3. Falko S.G., Fedorov B.S. A project approach to innovation process management. *Rossiyskoe predprinimatelstvo* [Russian Journal of Entrepreneurship]. 2003, no. 4, pp. 49–52 (in Russ.).
4. Chuvakov A.V. The concept of a knowledge-based decision support system for managing a pre-investment project stage. *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii* [Management Systems and Information Technologies]. 2013, vol. 53, no. 3, pp. 42–46 (in Russ.).
5. Stoyanova O.V., Dli M.I. Information and analytical system for complex manufacturing machine-building projects management under uncertainty. *Programmnye produkty i sistemy* [Software & Systems]. 2015, no. 3, pp. 49–56 (in Russ.).
6. Stoyanova O.V., Vasitsyna A.I. Decision support method for managing temporary aspects of projects in industrial enterprises. *Programmnye produkty i sistemy* [Software & Systems]. 2012, no. 3, pp. 178–184 (in Russ.).
7. Kakatunova T.V., Ofitserov A.V. Use of the economic and mathematical expert decision support system for project change management in industry. *Transportnoe delo Rossii* [Transport Business of Russia]. 2017, no. 6, pp. 7–10 (in Russ.).
8. Palyukh B.V., Dli M.I., Kakatunova T.V., Baguzova O.V. An intelligent decision support system to manage complex objects using dynamic fuzzy cognitive maps. *Programmnye produkty i sistemy* [Software & Systems]. 2013, no. 4, pp. 162–167 (in Russ.).
9. Dli M.I., Stoyanova O.V. The techniques of expert data representation in the systems of decision making support for complex project management. *Neyrokompyutery: razrabotka, primeneniye* [Journal Neurocomputers]. 2016, no. 7, pp. 21–28 (in Russ.).
10. Dli M.I., Stoyanova O.V., Vasitsyna A.I. The possibility of using temporal logic for management complex projects control. *Neyrokompyutery: razrabotka, primeneniye* [Journal Neurocomputers]. 2011, no. 8, pp. 48–52 (in Russ.).
11. Fedulov A.S., Borisov V.V. Analysis of fuzzy relational cognitive maps. *Neyrokompyutery: razrabotka, primeneniye* [Journal Neurocomputers]. 2016, no. 7, pp. 7–14 (in Russ.).
12. Borisov V.V., Denisov M.A., Fedulov A.S. Fuzzy situation networks based on cognitive maps. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Natural and Technical Sciences]. 2016, no. 2 (92), pp. 118–123 (in Russ.).
13. Dli M.I., Gimarov V.V., Glushko S.I. Algorithms for decision support for the management of infrastructure projects based on models of ant colonies. *Vestn. Saratovskogo gos. tekhnich. un-ta* [Bulletin of Saratov State Tech. Univ.]. 2012, vol. 1, no. 2 (64), pp. 423–427 (in Russ.).
14. Gimarov V.V., Glushko S.I., Dli M.I. Application of algorithms of ant colony when managing complex projects. *Transportnoe delo Rossii* [Transport Business of Russia]. 2012, no. 4, pp. 107–109 (in Russ.).