

**А. С. Боровский**, д-р техн. наук, доц., e-mail: borovski@mail.ru,  
**Н. А. Шумилина**, ст. преподаватель, e-mail: shumilina\_na@mail.ru,  
Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

### Метод интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в проектах промышленных предприятий

*На основе нечеткой ситуационной сети предложен метод выработки управленческих решений в проектной деятельности промышленных предприятий с учетом риска отказа оборудования. Для управления проектами вводится нечеткое представление исходных данных, определяется множество характеристик, ситуаций и правил нечеткого логического вывода для определения состояния оборудования и состояния проекта. Управляющие воздействия (затраты на обслуживание и ремонт оборудования, загрузка оборудования в проекте) формируются с учетом риска отказа оборудования. В соответствии с проектно-ориентированным подходом состояние оборудования и проекта представлено трехуровневой структурой нечеткой ситуационной сети: ситуационный уровень, сетевой уровень, факторный уровень.*

**Ключевые слова:** риск отказа оборудования, нечеткая ситуационная сеть, стратегия управления, управленческие решения

#### Введение

Управление проектом промышленного предприятия является сложным процессом, протекающим в условиях неполноты и неточности информации. В таких условиях возможны разнообразные и значительные по величине риски. Как показывает отечественная и зарубежная практика управления проектами, использование эмпирических правил и интуиции в этом случае не помогает, поэтому развитию методов и средств поддержки процессов идентификации, оценки, анализа рисков проекта уделяется большее внимание [1–3]. Традиционно в управлении рисками проекта выделяют [4]:

- для идентификация рисков: SWOT-анализ проекта;
- для учета рисков: CPM-метод, PERT-метод, GERT-метод;
- для минимизации последствий рисков: перевод ответственности за риск другой стороне за определенную плату, хеджирование с помощью биржевых инструментов, распределение рисков между участниками проекта, резервирование средств на покрытие непредвиденных расходов и т. д.

В управлении рисками отказов оборудования промышленных предприятий применяют [5]:

- методы надежности и безопасности опасных конструкций;
- методы управления безопасностью и предупреждения отказов, аварий и чрезвычайных ситуаций;
- стандарты, устанавливающие основные положения и структуру процедур контроля технического состояния и технического обслуживания производственного оборудования на основе оценки риска, например, для внедрения метода RBIM или метода FMEA [6].

Вопросами разработки научных методов оценки технического состояния оборудования и рисков отказа занимается целый ряд ученых. В работах используются теоретические основы конструктивной безопасности [7], логико-вероятностные модели состояния оборудования и нечеткое моделирование оценок состояния оборудования [8], комбинация возможностного и вероятностного подходов для прогноза последствий отказов оборудования [9].

Опыт практической реализации управления производственными активами промышленных предприятий активно делится специ-

алисты Санкт-Петербургской компании НПП "СпецТек" и Оренбургской компании ОАО "Техдиагностика" [5, 10].

Проведенный анализ по управлению проектными рисками показал, что на сегодняшний день слабо разработан инструментарий интеллектуальной поддержки принятия решений управления рисками отказа оборудования в деятельности промышленных предприятий, развивающихся на основе проектно-ориентированного подхода. Весь инструментарий представляет собой лишь набор разрозненных методик, решающих отдельные задачи идентификации риска, качественного анализа и количественной оценки риска.

Решения менеджера проекта на инвестиционной фазе по составу оборудования как объекту инвестирования существенно влияют на эффективность проекта. На эксплуатационной фазе решения по фактическому уровню освоения производственных мощностей связаны с обоснованием поддержания готовности оборудования и эффективности проекта. Таким образом, актуальна поддержка принятия решений в стратегических задачах управления проектом, которая обеспечит оптимизацию затрат на техническое обслуживание, ремонт и владение активами при минимуме рисков.

При выборе методологических основ для разработки интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в проектах промышленных предприятий учитывалось, что объект управления представлен совокупностью подсистем и элементов, имеющих разнообразную физическую природу, варьируемые параметры и управляющие воздействия, совокупность частных критериев оптимальности, отражающих различные стороны эффективности и качества проекта в деятельности предприятия. Процесс принятия управленческих решений возлагается на менеджера проекта и должен приводить к выработке стратегии управления проектом с определенным уровнем риска.

Для управления сложными объектами и процессами различной природы, характеризующихся перечисленными особенностями, применяют [11, 18]:

- методы нечеткого моделирования, которые в значительной степени основаны на знаниях экспертов;
- методы ситуационного управления сложными объектами в контексте создания ин-

теллектуальных управляющих систем и систем поддержки принятия решений.

Методы нечеткого моделирования в определении риска отказа проекта по состоянию оборудования позволят преодолеть следующие неопределенности и неточности:

- неопределенность, связанную с практической неограниченностью числа состояний оборудования, с невозможностью учета всех факторов, действующих на состояние оборудования, с условностью мер надежности состояния оборудования и т. д.
- неточность, связанную с тем, что интенсивность отказов может быть постоянной и непостоянной, объем исходной информации может быть недостаточным для определения показателей интенсивности отказов и т. д.

Если рассматривать возможность оценки проектных рисков по коммерческой эффективности реализация проекта, то в этом направлении также наблюдается возможность использования аппарата нечеткой логики. В работах [12] приводятся аргументы и примеры в пользу использования возможностей данного аппарата.

В статье описан интеллектуальный метод управления проектами промышленных предприятий с учетом риска отказа оборудования на основе нечеткой ситуационной сети.

Интеграция предлагаемого решения возможна при наличии информационных подсистем следующего уровня:

1) подсистема диспетчерского управления для сбора данных о параметрах технологических процессов и состоянии оборудования, например, программные решения на платформах Wonderware, Siemens;

2) подсистема управления информацией, используемая для сбора, хранения и анализа производственных данных, например, средствами Historian, Active Factory + VBA. NET + Excel;

3) подсистема планирования проектов и генерации отчетов, например, программные средства MS Project Server, Oracle Primavera, HP PPM.

Из множества технико-экономических показателей проекта, показателей загрузки оборудования в проектном цикле, показателей режимов ремонта и обслуживания оборудования в соответствии с заданным уровнем риска определяется стратегия управления проектом. На основании представленной информации руководитель формирует управленческие решения, направленные на улучшение существен-

ных показателей коммерческой эффективности проекта, в рассматриваемой ситуации.

### 1. Особенности ситуационного управления состоянием оборудования проектов промышленных предприятий с учетом риска его отказа

С практической точки зрения описание ситуационного управления должно отражать изменение уровня значений параметров (характеристик) оборудования и параметров (характеристик) проекта [13–15].

В рассматриваемом случае под ситуацией следует понимать описание состояния оборудования в проекте в некоторый момент времени как объекта управления, для которого требуется определить стратегию загрузки, стратегию обслуживания и ремонта в соответствии с уровнем риска отказа оборудования в проекте [19, 20]. Системное представление задачи для применения интеллектуальных методов ситуационного управлению по фазам жизненного цикла проекта разработано в табл. 1.

Состояние оборудования в проекте представляем некоторым множеством ситуаций  $S = \{S^1, \dots, S^K\}$ . Из множества управлений  $R = \{R_1, \dots, R_n\}$  определяем  $R_i$ , соответствующее ситуации  $S^i \in S$ , которое способствует поддержанию заданного уровня эффективности проекта с учетом риска отказа оборудования. При

этом  $S^i$  — текущая ситуация, а  $S_{ц}^i$  — целевая ситуация, в которую необходимо перевести состояние оборудования и состояние проекта путем выстраивания стратегии загрузки, обслуживания и ремонта оборудования.

Для представления ситуаций использовано множество факторов  $Y = \{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7, y_8, y_9\}$ , характеризующих так называемые кривую интенсивности отказов и кривую жизненного цикла проекта:

- $y_1$  — эффективный возраст ( $T_{эф}$ );
- $y_2$  — интенсивность отказов оборудования ( $\lambda(t)$ );
- $y_3$  — сменность работы оборудования ( $T_{см}$ );
- $y_4$  — условия работы оборудования ( $T_{пр}$ );
- $y_5$  — характер производства ( $T_{тц}$ );
- $y_6$  — средняя наработка на отказ ( $T_{ср}$ );
- $y_7$  — среднее время ремонта ( $t_{ср}$ );
- $y_8$  — горизонт планирования проекта ( $T$ );
- $y_9$  — планируемая производственная мощность ( $ПМ_n$ ).

В множестве ситуаций  $S$  выделено минимальное подмножество эталонных ситуаций  $S_0$  по состоянию оборудования и по состоянию проекта:

- начальное состояние оборудования в проекте;
- износ оборудования в проектном цикле;
- простой оборудования в проектном цикле;
- поддержка состояния производственных мощностей;

Таблица 1

Представление ситуационного управления по фазам проекта

Фаза проекта	Инвестиционная фаза	Эксплуатационная фаза
Задача	Принятие решений по формированию состава оборудования при планировании проекта	Выработка управляющих воздействий по техническому обслуживанию и ремонту оборудования, а также по загрузке оборудования в рамках жизненного цикла проекта
Ситуации	В состав основных производственных фондов входит: только новое оборудование; ранее использовавшееся работоспособное оборудование; смешанное оборудование (и новое, и ранее использовавшееся работоспособное оборудование)	
Стратегии управления	Включить рассматриваемую позицию в перечень оборудования проекта/не включать	Время межремонтного цикла (увеличить/уменьшить) Загрузка оборудования (увеличить/уменьшить)
Характеристики ситуации	Состояние оборудования Планируемая загрузка Продолжительность проекта	Состояние оборудования Фактическая загрузка Продолжительность проекта
Параметры, характеризующие прогнозируемое состояние после управляющего действия	Уровень риска отказа оборудования Затраты на обслуживание оборудования Объем инвестиций в проект	Уровень риска отказа оборудования Уровень недоиспользования оборудования в проектном цикле Затраты на обслуживание оборудования
Целевые ситуации	Реализация проекта по зонам допустимого риска	Реализация проекта по зонам допустимого риска Закрытие проекта

- уровень освоения производственных мощностей;
- эффективность использования производственных мощностей.

Модель разрабатываем как нечеткую ситуационную сеть, в которой заданы следующие элементы структуры: множество ситуаций, множество управлений  $R = \{R_1, \dots, R_f\}$  и биективное соотношение вида  $L:S \rightarrow R$  [15, 16, 18].

Сеть представлена через  $S^1$  и  $S^2$  значениями нечеткого множества признаков ситуаций, включающего подмножество наблюдаемых переменных (факторов)  $Y$ . Признаки с привлечением экспертов переведены в лингвистические переменные вида

$$\langle \beta_i, B_i, D_i \rangle,$$

где  $\beta_i$  — обозначение признака;  $B_i = \{B_{1i}, B_{2i}, \dots, B_{mi}\}$  —  $m$ -мерное множество термов лингвистической переменной  $i$ -го признака с функциями принадлежности  $\mu_{B_{ij}}(p_i)$  ( $j \in \{1, 2, \dots, m\}$ );  $D_i$  — базовое множество признака.

Управляющие воздействия  $R_l$  ( $l \in \{1, 2, \dots, f\}$ ) с привлечением экспертной группы описаны лингвистическими переменными вида

$$\langle \gamma_l, A_l, D_l \rangle,$$

где  $\gamma_l$  — обозначение управляющего воздействия;  $A_l = \{A_{1l}, A_{2l}, \dots, A_{nl}\}$  —  $n$ -мерное множество термов с функциями принадлежности  $\mu_{A_{lq}}(r_l)$  ( $q \in \{1, 2, \dots, n\}$ );  $D_l$  — базовое множество признака.

Применение одного или одновременно нескольких управляющих воздействий из базового множества приводит к набору прогнозируемых состояний, характеризующихся двумя параметрами:

- уровень риска отказа оборудования ( $u_1$ );
- уровень затрат по проекту ( $u_2$ ).

При разработке нечеткой ситуационной сети были приняты следующие допущения:

- в проекте рассматривается один основной технологический процесс;
- риск отказа оборудования рассматривается в зависимости от времени его эксплуатации;
- режимы эксплуатации оборудования в проекте — нормальные, характеризующиеся номиналь-

ными значениями всех параметров в соответствии со стандартами, техническими условиями и инструкциями;

- ситуации описываются качественными категориями, характеризующимися интервальными значениями переменных (факторами) состояния оборудования и проекта.

Разработанная сеть не применяется для неспособного (сильно изношенного, разукomплектованного, после аварии) оборудования, подлежащего списанию и утилизации.

## 2. Трехуровневая иерархическая нечеткая ситуационная сеть принятия управленческих решений в проектах промышленных предприятий с учетом риска отказа оборудования

Выделяем три уровня иерархии в описании: ситуационный, сетевой и факторный [17]. Результат представлен на рис. 1.

Ситуация  $S$  в проекте сформирована по двум классам типовых ситуаций:

- $S^1$  — типовые нечеткие ситуации по состоянию оборудования в проекте;
- $S^2$  — типовые нечеткие ситуации по состоянию производственных мощностей (ПМ) проекта.

На сетевом уровне для  $S^1$  типовые нечеткие ситуации учитывают период работы оборудования после монтажа или ремонта, когда интенсивность отказов достаточно высокая, период нормальной эксплуатации оборудования с практически неизменной интенсивностью отказов, период старения отдельных узлов и

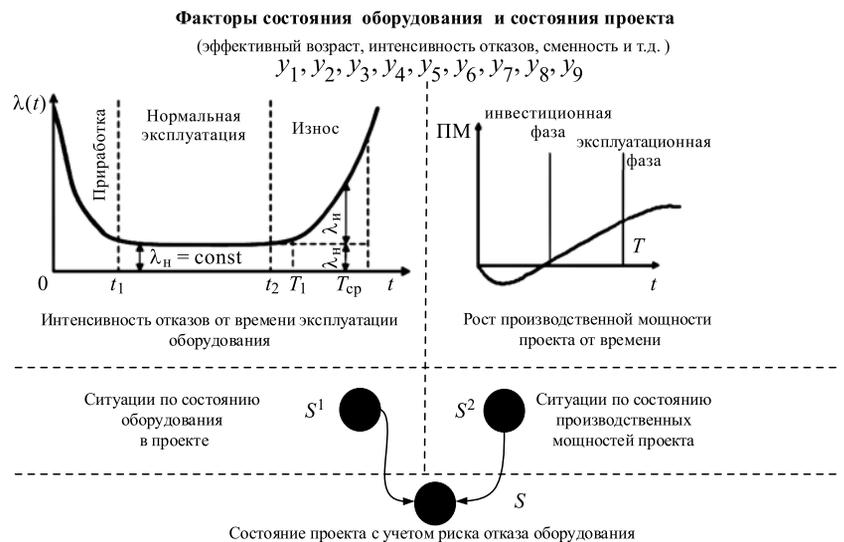


Рис. 1. Трехуровневая нечеткая ситуационная сеть

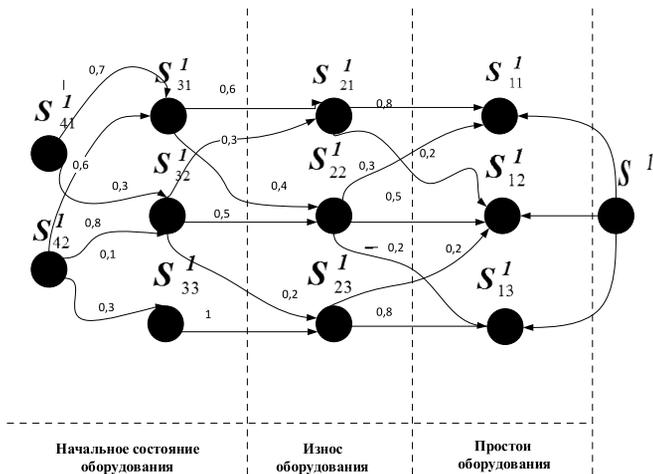


Рис. 2. Типовые нечеткие ситуации на сетевом уровне для  $S^1$

оборудования в целом. Результаты представлены на рис. 2:

- *1-й уровень* — типовые нечеткие ситуации, отражающие простои оборудования в проектном цикле:
  - $S^1_{11}$  — малое общее время простоя в проектном цикле;
  - $S^1_{12}$  — среднее время простоя в проектном цикле;
  - $S^1_{13}$  — длительное время простоя в проектном цикле.
- *2-й уровень* — типовые ситуации, отражающие износ оборудования:
  - $S^1_{21}$  — низкая скорость потери ресурса;
  - $S^1_{22}$  — средняя скорость потери ресурса;
  - $S^1_{23}$  — высокая скорость потери ресурса.
- *3-й и 4-й уровни* — типовые ситуации, которые учитывают начальное состояние оборудования в проекте:
  - $S^1_{31}$  — незначительные устранимые дефекты;
  - $S^1_{32}$  — значительные устранимые дефекты;
  - $S^1_{33}$  — неустранимые дефекты;
  - $S^1_{41}$  — незначительные недостатки монтажа;
  - $S^1_{42}$  — существенные недостатки монтажа.

На сетевом уровне для  $S^2$  типовые нечеткие ситуации учитывают влияние режима эксплуатации оборудования и режимов его обслуживания на освоение производственных мощностей проекта. Результаты представлены на рис. 3:

- *1-й уровень* — типовые ситуации, отражающие эффективность использования производственных мощностей в проекте:
  - $S^2_{11}$  — низкая эксплуатационная готовность оборудования в проекте;

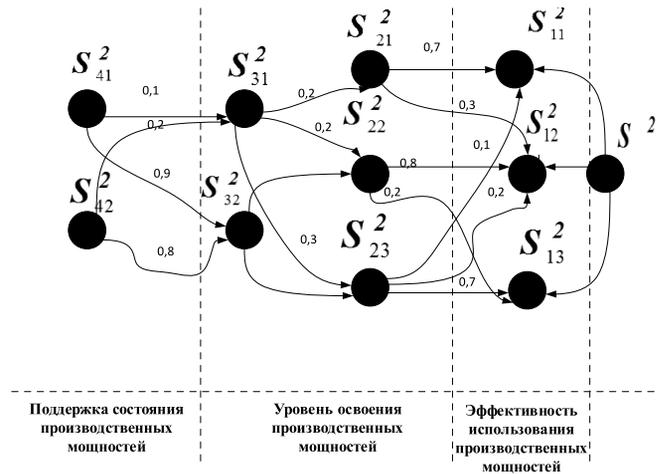


Рис. 3. Типовые нечеткие ситуации на сетевом уровне для  $S^2$

$S^2_{12}$  — средняя эксплуатационная готовность оборудования в проекте;

$S^2_{13}$  — высокая эксплуатационная готовность оборудования в проекте.

- *2-й и 3-й уровни* — типовые ситуации, отражающие уровень освоения производственных мощностей проекта:
  - $S^2_{21}$  — низкая скорость освоения производственных мощностей;
  - $S^2_{22}$  — средняя скорость освоения производственных мощностей;
  - $S^2_{23}$  — высокая скорость освоения производственных мощностей;
  - $S^2_{31}$  — незначительный срыв производственного процесса;
  - $S^2_{32}$  — существенный срыв производственного процесса.
- *4-й уровень* — типовые ситуации, определяющие уровень поддержки работоспособного состояния оборудования для освоения мощностей проекта:
  - $S^2_{41}$  — удовлетворительная работа ремонтных служб;
  - $S^2_{42}$  — неудовлетворительная работа ремонтных служб.

Таким образом, экспертным путем из всего многообразия ситуаций образованы эталонные ситуации. Распознавание текущей ситуации сводится к определению степени включения конкретной ситуации в эталонную по значению признаков и определению степени истинности высказывания (импликация и конъюнкция):

$$v(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j) = \bigwedge_Y v(\mu_{si}(Y), \mu_{sj}(Y));$$

$$v(\mu_{si}(Y), \mu_{sj}(Y)) = \&_{B_m} (\mu_{si(Y)}(B_m) \rightarrow \mu_{sj(Y)}(B_m));$$

$$\mu_{si(Y)}(B_m) \rightarrow \mu_{sj(Y)}(B_m) =$$

$$= \max(1 - \mu_{si(Y)}(B_m), \mu_{sj(Y)}(B_m)).$$

Определение степени включения осуществляется поэтапно, начиная с верхнего уровня иерархии эталонных ситуаций и заканчивая нижним. Под иерархией рассматривается причинно-следственная связь изменения состояния оборудования с момента включения его в состав основного технологического процесса проекта до завершения проекта, в зависимости от уровня загрузки и режима обслуживания и ремонта.

### 3. Пример формирования стратегии управления проектом с учетом риска отказа оборудования на основе нечеткой ситуационной сети

На примере проекта деревообрабатывающей производственной компании Оренбургской области рассмотрим применение разработанного метода. В данном примере стоит задача оптимизации состава производственного оборудования проекта за счет варьирования объема инвестиционных вложений в приобретение нового/дополнительного оборудования. Данная задача относится к инвестиционной фазе проекта. В качестве критериев принятия решения рассматриваем критерии коммерческой эффективности проекта.

Исследуем действующее оборудование, следовательно, нет необходимости рассматривать начальное состояние по недостаткам монтажа.

Признаки для  $S_{21}^1, S_{32}^1, S_{42}^1$  представляем следующими лингвистическими переменными:  $\langle y_4, y_7 \rangle, \langle y_1, y_2, y_6 \rangle, \langle y_3, y_4, y_5, y_6 \rangle$ . В табл. 2 пред-

ставлены результаты экспертной оценки параметров для каждого технологического объекта основных фондов проекта, являющихся входными лингвистическими переменными [20].

Методика формирования лингвистических переменных представлена в работе [21].

Текущую ситуацию описываем по состоянию оборудования на сетевом уровне  $S^1$  следующими признаками: " $S_{31}^1$  — незначительные устранимые дефекты", " $S_{22}^1$  — средняя скорость потери ресурса" и " $S_{12}^1$  — среднее время простоя в проектном цикле".

Текущие ситуации:

$S_{31}^1 = \{ \langle 0,8/T_4^1 \rangle, \langle 0,2/T_7^1 \rangle, \langle 0,1/T_3^1 \rangle \} /$   
незначительные устранимые дефекты};

$S_{22}^1 = \{ \langle 0,3/T_1^1 \rangle, \langle 0,8/T_2^1 \rangle, \langle 0,2/T_6^1 \rangle \} /$   
средняя скорость потери ресурса};

$S_{12}^1 = \{ \langle 0,1/T_1^1 \rangle, \langle 0,9/T_2^1 \rangle, \langle 0,2/T_3^1 \rangle \} /$   
среднее время простоя в проектном цикле}.

Фрагмент правил, сформулированных экспертами для оценки уровня начального состояния оборудования в проекте по уровню дефектов:

- *Правило 1.* Если  $\beta_4$  есть "специальное помещение",  $\beta_7$  есть "не проводились", то  $S^1$  есть " $S_{21}^1$  — незначительные устранимые дефекты";
- *Правило 2.* Если  $\beta_4$  есть "вредные условия",  $\beta_7$  есть "не проводились", то  $S^1$  есть " $S_{22}^1$  — значительные устранимые дефекты";
- *Правило 3.* Если  $\beta_4$  есть "условия повышенной загрязненности",  $\beta_7$  есть "не проводились", то  $S^1$  есть " $S_{23}^1$  — неустраняемые дефекты" и т. д.

Далее аккумулируем заключения с помощью операции дизъюнкции по сетевому уровню.

В предлагаемом подходе результаты вариантов управленческих решений — это относительное изменение объема инвестиций и по-

Таблица 2

Оценки лингвистических переменных для рассматриваемого проекта

Вид	Эффективный возраст	$\lambda(t)$	Сменность	Условия работы	Характер производства	Среднее время ремонта
Станок 1	31,2	$0,9 \cdot 10^{-5}$	2,2	1,5	0,9	30
Станок 2	37,3	$0,7 \cdot 10^{-6}$	1,9	1,5	0,7	20
Станок 3	22,2	$1 \cdot 10^{-9}$	2,9	1,5	1	50
Станок 4	37,2	$0,8 \cdot 10^{-6}$	2,5	3	0,83	30
Станок 5	25,5	$0,9 \cdot 10^{-6}$	2,9	4,5	0,9	9
Станок 6	23,2	$1 \cdot 10^{-8}$	3	5	1	5
Станок 7	37,3	$0,6 \cdot 10^{-7}$	0,8	3,5	0,67	50

Таблица 3

Результаты оценки эффективности для различных зон  
производственного риска

Наименование показателя	Минимальный	Допустимый	Недопустимый
$\Delta V_{\text{инв}}$ , %	-38	-53,8	-71,4
$\Delta NPV$ , %, $\Delta IRR$ , %	7,8 12,2	11,3 25,6	17,0 37,3
<i>V</i> — объем инвестиций; <i>NPV</i> — чистая приведенная стоимость; <i>IRR</i> — внутренняя норма доходности			

казателей эффективности проекта к базисному варианту проекта, рассчитанному без учета производственного риска. Результаты представлены в табл. 3.

Стратегия выработки управленческих воздействий на инвестиционной фазе рассматриваемого проекта — это затраты на техническое обслуживание и ремонт оборудования, а также объем инвестиций, которые необходимы для вложения в приобретение нового/дополнительного оборудования.

### Заключение

В статье разработано системное представление процесса управления проектом с учетом риска отказа оборудования. Метод интеллектуальной поддержки позволяет на основе множества требуемых показателей проекта и фактических данных о состоянии оборудования сформировать набор лингвистических характеристик. Характеристики с привлечением знаний экспертов оформляются в набор эталонных ситуаций, и создается ситуационная сеть. Ситуация в проекте рассматривается по двум классам:

- типовые нечеткие ситуации по состоянию оборудования в проекте;
- типовые нечеткие ситуации по состоянию производственных мощностей проекта.

На основании экспертных знаний и требований нормативной документации руководитель формирует управленческие решения по проекту, представленные стратегией загрузки оборудования, стратегией обслуживания и ремонта оборудования. Стратегия направлена на улучшение существенных показателей проекта в рассматриваемой ситуации по уровню риска отказа оборудования.

Перспектива развития разработанного метода интеллектуальной поддержки может быть

связана с ее внедрением в контур стратегического управления развитием промышленных предприятий в рамках ILS. Нечеткое ситуационное управление в этом случае позволяет отражать взаимодействие всех подсистем проекта и предприятия, используя возможности моделирования бизнеса и прикладных технологий контроля технологических процессов.

### Список литературы

1. Alan Moran. Risk management in Agile Projects // ISACA journal. 2016. Vol. 2. P. 14—17. URL: <https://www.isaca.org/Journal/archives/2016/volume-2/Documents/Journal-volume-2-2016.pdf> (дата обращения: 15.04.18).
2. Marian Andrei Gurau, Lucia Violeta Melnic. Management of risk in industrial projects evaluation // International journal of Academic Research in Management (IJARM). 2014. Vol. 3. N. 2. P. 167—175. URL: <http://elvedit.com/journals/IJARM/wp-content/uploads/2014/03/Management-of-Risk-in-Industrial-Projects.pdf> (дата обращения: 15.04.18).
3. Кориенко О. Ю., Макарова В. А. Актуальные вопросы оценки эффективности корпоративного риск менеджмента. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. 279 с. URL: <https://www.hse.ru/pubs/share/direct/document/175936493> (дата обращения: 15.04.18).
4. Матвеев С. "Территория" контроллинга // Управление предприятием. 2013. № 8 (31). URL: [http://upr.ru/upload/iblock/c4a/Matveev-\\_\\_\\_-0831\\_pBUX.pdf](http://upr.ru/upload/iblock/c4a/Matveev-___-0831_pBUX.pdf) (дата обращения: 15.04.18).
5. Лепихин А. М., Москвичев В. В., Доронин С. В. Надежность, живучесть и безопасность сложных технических систем // Вычислительные технологии. 2009. Т. 14, № 6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/nadezhnost-zhivuchest-i-bezopasnost-slozhnyh-tehnicheskikh-sistem> (дата обращения: 15.04.18).
6. Thomas A. Carbone, Donald D. Tippett. Project risk management using the project risk FMEA // Engineering Management Journal. 2004. Vol. 16. P. 28—35. URL: <http://www.tomcarbone.com/papers/Carbone-RFMEA-EMJDec04.pdf> (дата обращения: 15.04.18).
7. ОАО "Системы и технологии обеспечения безопасности. Техдиагностика". Система методов управления безопасностью технологического оборудования по критериям риска отказа. Проспект результатов разработок к 15-летию организации предприятия. г. Оренбург. 2006 г. 44 с.
8. Городецкий А. Е., Тарасова И. Л., Зинякова В. Ю. Комбинированное логико-вероятностное и лингвистическое моделирование отказов сложных систем // Информационно-управляющие системы. 2015. № 1. С. 35—42. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/kombinirovannoe-logikoveroyatnostnoe-i-lingvisticheskoe-modelirovanie-otkazov-slozhnyh-sistem> (дата обращения: 15.04.18).
9. Викторова В. С., Степанянц А. С. Модели и методы расчета надежности технических систем. М.: Издательская группа URSS, ООО "ЛЕНАНД", 2016. 256 с.
10. Кац Б. А., Антоненко И. Н., Молчанов А. Ю. Информационные системы управления производственными активами. История, состояние и перспективы // Автоматизация и новые технологии. 2015 г. ТПА 3 (78). URL: [http://trim.ru/sites/default/files/files/pdf/information\\_systems\\_asset\\_management.pdf](http://trim.ru/sites/default/files/files/pdf/information_systems_asset_management.pdf) (дата обращения: 15.04.18).
11. Карелин В. П. Интеллектуальные технологии и системы искусственного интеллекта для поддержки принятия решений // Вестник Таганрогского института управления и экономики. 2011. № 2. С. 79—84. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/intellektualnye-tehnologii-i-sistemy-iskusstvennogo-intellekta-dlya-podderzhki-prinyatiya-resheniy> (дата обращения: 15.04.18).

12. Недосекин А. О. Применение теории нечетких множеств к задачам управления финансами // Аудит и финансовый анализ. 2000. № 2. URL: <http://www.cfin.ru/press/afa/2000-2/08-2.shtml> (дата обращения: 15.04.18).
13. Русин А. Ю., Абдулхамед М., Барышев Я. В. Алгоритмы автоматизированной системы управления испытанием оборудования на надежность // Программные продукты и системы. 2016. № 2 (114). URL: <http://www.swsys.ru/index.php?page = article&id = 4143> (дата обращения: 15.04.18).
14. Шаханов В. И., Варфоломеев И. А., Ершов Е. В., Юдина О. В. Прогнозирование отказов оборудования в условиях малого количества поломок // Вестник Череповецкого государственного университета. 2016. № 6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/prognozirovanie-otkazov-oborudovaniya-v-usloviyah-malogo-kolichestva-polomok> (дата обращения: 15.04.18).
15. Меньшиков В. И., Меньшикова К. В. Практическое использование метода ситуационного управления в системах менеджмента безопасной эксплуатации // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2004. Т. 7, № 3. С. 370—374.
16. Боровский А. С., Тарасов А. Д. Принятие проектных решений на основе моделей "Ситуация — стратегия управления — действие" для модернизации физической защиты // Инфокоммуникационные технологии. 2012. Т. 10, № 3. С. 60—67.
17. Кригер Л. С., Квятковская И. Ю. Формализация типовых ситуаций в задачах управления движением общественного транспорта // Науч.-техн. ведомости Санкт-Петербург. гос. политехн. ун-та. 2012. № 3 (150). С. 106—110.
18. Мелихов А. Н., Бернштейн Л. С., Коровин С. Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М.: Наука, 1990. 272 с.
19. Гаибова Т. В., Шумилина Н. А. Адаптивное управление процессом освоения проектных мощностей с учетом производственного риска отказа оборудования // Интернет-журнал "Науковедение". 2015. Т. 7, № 3 (28). С. 96.
20. Гаибова Т. В., Шумилина Н. А. Формализация задачи управления проектным риском отказа оборудования // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 2. С. 90—93.
21. Шумилина Н. А., Арефьева А. В., Дружаев О. В. Расчтно-аналитическая работа экспертных групп (I-expert): прикладная программа / Свидетельство о государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ (Роспатент) № 2017663457. Заявлено 12.10.2017. Зарегистрировано 04.12.2017.
22. Гаибова Т. В., Шумилина Н. А. Оценка проектного риска отказа оборудования на основе теории нечетких множеств // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2013. № 2. С. 10—16.

A. S. Borowski, Professor, e-mail: borovski@mail.ru,  
N. A. Shumilina, Senior lecturer, e-mail: shumilina\_na@mail.ru,  
Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation

## Predictive Support for Decision-Making in Projects of Industrial Enterprises

*Based on the fuzzy situation network, a method for developing managerial decisions in the design activity of industrial enterprises was proposed, taking into account the risk of equipment failure. To manage projects, a fuzzy representation of the input data is introduced, a lot of characteristics, situations and rules of fuzzy inference are determined to determine the state of the equipment and the status of the project.*

*The task of situational management for the phases of the life cycle of the project:*

- making decisions on the composition of equipment when planning the project in the investment phase;
- development of control actions for maintenance and repair of equipment, as well as for the loading of equipment within the life cycle of the project during the operational phase.

*The strategies of situational management for the phases of the life cycle of the project:*

- include / not include the item under consideration in the list of project equipment in the investment phase;
- regulating time between overhaul (increase / decrease) and loading equipment (increase / decrease) during the operational phase.

*Situation characteristics: duration of the project, equipment status, planned equipment loading, actual equipment loading.*

*Parameters characterizing the forecasted state after the control action: at the investment phase (the level of risk of equipment failure, equipment maintenance costs, the amount of investment in the project), in the operational phase (the level of risk of equipment failure, the level of underutilization of equipment in the project cycle, equipment maintenance costs).*

*Target situations: implementation of the project by zones of acceptable risk or closure of the project.*

*In the developed fuzzy situation network three levels of hierarchy are distinguished: situational, network and factor.*

*The situation level in the project is formed by two classes of typical situations:*

- typical fuzzy situation in the state of equipment in the project;
- typical fuzzy situation in terms of production capacity of the project.

*The network level is developed on the basis of expert knowledge. Two networks have been developed. The first network reflects situations that depend on the initial state of equipment, wear and down time. The second network reflects the work of the repair services, the mode of operation of equipment and the speed at which production capacities are being developed.*

*The factor level characterizes the "failure rate curve of equipment" and "the life-cycle curve of the project".*

*Approbation of the method was carried out to assess the risk of equipment failure in the reconstruction project of one of the woodworking enterprises of the Orenburg region.*

**Keywords:** risk of equipment failure, fuzzy situation network, management strategy, management decisions

DOI: 10.17587/it.24.601-609

## References

1. **Alan Moran.** Risk management in Agile Projects, *ISACA Journal*, 2016, vol. 2, pp. 14–17, available at: <https://www.isaca.org/Journal/archives/2016/volume-2/Documents/Journal-volume-2-2016.pdf> (reference date: April 15, 18).
2. **Marian Andrei Gurau, Lucia Violeta Melnic.** Management of risk in industrial projects evaluation, *International Journal of Academic Research in Management (IJARM)*, 2014, vol. 3, no. 2, pp. 167–175, available at: <http://elvedit.com/journals/IJARM/wp-content/uploads/2014/03/Management-of-Risk-in-Industrial-Projects.pdf> (reference date: April 15, 18).
3. **Kornienko O. Y., Makarova V. A.** Actual issues of assessing the effectiveness of corporate law management: a monograph, Supplemented, St. Petersburg, Publishing house Polytechnic. University, 2015, 279 p., available at: <https://www.hse.ru/pubs/share/direct/document/175936493> (reference date: April 15, 18) (in Russian).
4. **Matveyev S.** "Territory" of controlling, *Enterprise Management*, 2013, no.8 (31), available at: [http://upr.ru/upload/iblock/c4a/Matveyev-\\_\\_\\_-0831\\_pBUX.pdf](http://upr.ru/upload/iblock/c4a/Matveyev-___-0831_pBUX.pdf) (date of access: 15.04.18) (in Russian).
5. **Lepikhin A. M., Moskvichev V. V., Doronin S. V.** Reliability, survivability and security of complex technical systems, *Computational Technologies*, 2009, vol. 14, no. 6, available at: <https://cyberleninka.ru/article/v/nadezhnost-zhivuchesti-i-bezopasnost-slozhnyh-technicheskikh-sistem> (reference date: April 15, 18) (in Russian).
6. **Thomas A. Carbone, Donald D. Tippett.** Project risk management using the project risk FMEA, *Engineering Management Journal*, 2004, vol. 16, pp. 28–35, available at: <http://www.tom-carbone.com/papers/Carbone-RFMEA-EMJDec04.pdf> (reference date: April 15, 18).
7. **OJSC** "Systems and technologies for ensuring security." System of methods for managing the safety of process equipment by the criteria of failure risk, Prospectus of results of development for the 15th anniversary of the organization of the enterprise. Orenburg, 2006, 44 p. (in Russian).
8. **Gorodetsky A. Ye., Tarasova I. L., Zinyakova V. Yu.** Combined logical-probabilistic and linguistic modeling of failures of complex systems, *Information-Control Systems*, 2015, no. 1, pp. 35–42, available at: <https://cyberleninka.ru/article/v/kombinirovannoe-logiko-veroyatnostnoe-i-lingvisticheskoe-modelirovanie-otkazov-slozhnyh-sistem> (date of access: 15.04.18) (in Russian).
8. **Gorodetsky A. Ye., Tarasova I. L., Zinyakova V. Yu.** Combined logical-probabilistic and linguistic modeling of failures of complex, *Information-Control Systems*, 2015, no. 1, pp. 35–42, available at: <https://cyberleninka.ru/article/v/kombinirovannoe-logiko-veroyatnostnoe-i-lingvisticheskoe-modelirovanie-otkazov-slozhnyh-sistem> (date of access: 15.04.18).
9. **Victorova V. S., Stepanyants A. S.** Models and methods for calculating the reliability of technical, Moscow, Publishing group URSS, LLC "LENAND", 2016, 256 p. (in Russian).
10. **Katz B. A., Antonenko I. N., Molchanov A. Yu.** Information systems for managing production assets. History, state and prospects, *Automation And New Technologists*, 2015, TPA 3 (78), available at: [http://trim.ru/sites/default/files/files/pdf/information\\_systems\\_asset\\_management.pdf](http://trim.ru/sites/default/files/files/pdf/information_systems_asset_management.pdf) (circulation date: April 15, 018).
11. **Karelin V. P.** Intellectual technologies and systems of artificial intelligence for decision support, *Bulletin of the Taganrog Institute of Management and Economics*, 2011, no. 2, pp. 79–84, available at: <https://cyberleninka.ru/article/v/intellektualnye-tehnologii-i-sistemy-iskusstvennogo-intellekta-dlya-podderzhki-prinyatiya-resheniy> (date of access: 15.04.18) (in Russian).
12. **Nedosekin A. O.** Application of the theory of fuzzy sets to the problems of financial management, *Audit and Financial Analysis*, 2000, no. 2, available at: <http://www.cfin.ru/press/afa/2000-2/08-2.shtml> (reference date: April 15, 018) (in Russian).
13. **Rusin A. Yu., Abdulhamed M., Baryshev Ya. V.** Algorithms of the automated control system for testing equipment for reliability, *Software Products and Systems*, 2016, no. 2 (114), available at: <http://www.swsys.ru/index.php?page=article&id=4143> (reference date: April 15, 018) (in Russian).
14. **Shakhanov V. I., Varfolomeev I. A., Ershov E. V., Yudin O. V.** Forecasting equipment failures in conditions of a small number of failures, *Bulletin of the Cherepovets State University*, 2016, no. 6, available at: <https://cyberleninka.ru/article/v/prognozirovanie-otkazov-oborudovaniya-v-usloviyah-malogo-kolichestva-polomok> (date of circulation: 15.04.18).
15. **Menshikov V. I., Menshikova K. V.** Practical use of the method of situational management in management systems by safe operation, *Bulletin of the Murmansk State Technical University*, 2004, vol. 7, no. 3, pp. 370–374 (in Russian).
16. **Borovsky A. S., Tarasov A. D.** Adoption of design solutions based on the models "Situation — control strategy-action" for the modernization of physical protection, *Infocommunication Technologies*, 2012, vol. 10, no. 3, pp. 60–67 (in Russian).
17. **Kruger L. S., Kvyatkovskaya I. Yu.** Formalization of typical situations in the tasks of managing the movement of public transport, *Nauch.-Tekhn. statements St. Petersburg. state. polytechnical. University*, 2012, no. 3 (150), pp. 106–110 (in Russian).
18. **Melikhov A. N., Bernshtein L. S., Korovin S. Ya.** Situational advisory systems with fuzzy logic, Moscow, Nauka, 1990, 272 p. (in Russian).
19. **Gaibova T. V., Shumilina N. A.** Adaptive management of the process of developing design capacities taking into account the production risk of equipment failure, *Internet-journal "Naukovedenie"*, 2015, vol. 7, no. 3 (28), p. 96 (in Russian).
20. **Gaibova T. V., Shumilina N. A.** Formalization of the task of managing the design risk of equipment failure, *Scientific and Technical Herald of the Volga Region*, 2015, no. 2, pp. 90–93 (in Russian).
21. **Shumilina N. A., Arefieva A. V., Druzhyayev O. V.** Calculation and analytical work of expert groups (1-expert): application program, Certificate of state registration in the Register of Computer Programs (Rospatent) No. 2017663457. Declared 12.10.2017. Reported on 12/4/2017 (in Russian).
22. **Gaibova T. V., Shumilina N. A.** Estimation of the design risk of equipment failure based on the theory of fuzzy sets, *Intellect. Innovation. Investments*, 2013, no. 2, pp. 10–16 (in Russian).