

**В.В. Баранов, д-р техн. наук**

*Центр исследований устойчивости и нелинейной динамики при институте машиноведения Российской академии наук им. А. Благонравова, г. Москва, Россия*

**А.П. Кравченко, д-р техн. наук, Е.А. Кравченко, асп.**

*Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, г. Луганск, Украина*

## Методология решения задач повышения эффективности транспортных систем применением методов теории принятия решений

Рассматривается проблема управления эффективностью транспортных систем в эксплуатации на основе моделей и методов принятия решений.

**транспортные системы, повышение эффективности, принятие решений**

**Введение.** Транспорт как крупная и непрерывно действующая динамическая система является связующим звеном процесса расширенного воспроизводства и занимает особое место в экономическом развитии государства. Однако за весь эксплуатационный цикл затраты на производство, техническое обслуживание и ремонт превышают стоимость новой машины в несколько раз. Причиной этого являются процессы изнашивания деталей и деградации агрегатов и систем, что приводит к отказам и катастрофам, моменты которых случайны. Найти действенные рычаги повышения эффективности и безопасности работы транспортных средств является важной и актуальной задачей в экономии трудовых и материальных ресурсов [1]. Это порождает необходимость периодического выполнения специальных мероприятий в поиске совершенных систем по предотвращению отказов и катастроф. Их содержание предполагает мониторинг состояния, диагностику ситуаций работоспособности, выполнение воздействий по восстановлению работоспособности и

---

© В.В. Баранов, А.П. Кравченко, Е.А. Кравченко, 2010

обеспечению безопасности, и выбору режимов использования транспортных средств [2, 3]. Отсюда возникает проблема принятия решений по выбору управляющих действий, ориентированных на предотвращение катастроф и достижение "наибольшей" эффективности системы. Процесс принятия решений - это выбор варианта решения из нескольких возможных. Он складывается из характерных этапов и носит как итеративный характер. При принятии решений используются определенные методы, которые классифицируются по нескольким признакам. В зависимости от ситуации, в которой принимаются решения, они подразделяются на стандартные и нестандартные.

**Постановка задачи.** Стандартные решения принимаются в часто повторяющихся производственных ситуациях. Знание и использование стандартных правил свидетельствуют о высокой квалификации инженерно-управленческого персонала. Это, во-первых, сокращает время на принятие решения, разработку и реализацию соответствующих мероприятий; во-вторых, уменьшает вероятность принятия ошибочных решений; в-третьих, у специалиста высвобождается время для принятия решений в новых или сложных производственных и рыночных ситуациях, требующих сбора информации, ее анализа, расчетов, объединяемых понятием "исследование операций". Это так называемые нестандартные решения. Такая проблема обозначается термином "превентивная безопасность" [4, 5, 6].

Особенность проблемы состоит в том, что требования безопасности не могут рассматриваться в качестве цели. Действительно, если в качестве цели рассматривать требование обеспечения безопасности, то способ достижения такой цели очевиден и состоит в отключении системы от процесса перевозок. Но при этом эффективность использования системы будет «нулевой». Отсюда следует, что проблема управления безопасностью должна рассматриваться в контексте интересов, связанных с использованием системы. С формальной стороны это требует введения класса систем, в которых мотивация поведения определяется интересами. Такие системы называются "мотивированными интересами".

Типичным примером подобных систем является транспортное средство, рассматриваемое в процессе эксплуатации. При этом оно обладает той дополнительной особенностью, что является сложной системой в том смысле, что состоит из набора подсистем, каждая из которых имеет свой индивидуальный ресурс работоспособности и надежности. Если каждую такую систему рассматривать изолированно с точки зрения интересов единственного субъекта, то такая подсистема является унитарной. Но в совокупности такие подсистемы объединены в единую систему, которая используется для реализации интересов для некоторого субъекта, которые являются доминирующими для подсистем. В этих условиях транспортное средство является корпоративной системой. Эти условия порождают достаточно сложную проблему динамического принятия решений, требующую адекватной методологии формализации и конструктивных методов. Требуемая методология вначале развивается для унитарных систем [7, 8, 9].

**Метод решения задачи.** Унитарная система рассматривается в виде целостного объекта, используемого для реализации интересов единственного субъекта. Предполагается, что динамика унитарной системы определяется эволюцией ее внутренних состояний. Методология формализации проблемы основывается на следующих предположениях и аксиомах:

– **предположение 1.** Объект является деградирующим. Динамика его состояний описывается марковским процессом с непрерывным временем и поглощающим состоянием. В момент попадания в поглощающее состояние траектории процесса обрываются. Моменты обрыва являются моментами отказа либо катастрофы системы;

– **предположение 2.** Задано множество альтернативных управляющих воздействий  $U$ , ориентированных на управление эволюцией объекта путем непосредственного изменения его состояний;

– **предположение 3.** На множестве состояний  $S$  существуют отношения эквивалентности. Однако задана лишь шкала  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$  наименований классов эквивалентности, которая упорядочена в соответствии с направленностью эволюции состояний.

Из последнего предположения следует, что разбиение множества состояний на классы эквивалентности не задано и требует построения:

1) *определение 1.* Наименования  $x \in X$  классов эквивалентности называются ситуациями;

2) *определение 2.* Указание принадлежности состояния  $s \in S$  классу эквивалентности, наименование которого определяется ситуацией  $x \in X$ , называется диагностикой ситуации. Правило диагностики определяется гомоморфизмом  $\langle S, < \rangle \rightarrow \langle X, R \rangle$ , где  $(<)$  – отношение порядка на  $S$ ,  $R$  – отношение порядка на  $X$ ;

– **предположение 4.** Диагностика ситуаций выполняется в дискретные моменты времени с шагом времени  $\Delta T$ ;

– **предположение 5.** Для каждой ситуации  $x \in X$  задано множество управляющих альтернатив  $U_x \subset U$  для применения в состояниях из соответствующего класса эквивалентности:

**Аксиома 1.** Управляющие альтернативы  $u \in U$  выбираются в зависимости от ситуаций  $x \in X$ . Применение управляющих альтернатив  $u \in U$  порождает управляемый марковский процесс дискретным временем;

– **предположение 6.** Задано множество структурных альтернатив  $G = T \Theta$ , где  $T$  – множество допустимых значений шага принятия решений и  $\Theta$  множество структурных вариантов системы. Альтернативы  $g \in G$  ориентированы на управление эволюцией объекта путем изменения параметров переходной функции процесса;

**Предположение 7.** Переходная функция управляемого процесса зависит от управляющей альтернативы  $y \in Y$ , как от условия, и структурной альтернативы  $g \in G$ , так от параметра. Она обозначается  $q^g(S|S, Y)$ :

**Аксиома 2.** Структурные альтернативы выбираются из множества  $G$  независимо от состояний и ситуаций в качестве параметра;

**Аксиома 3.** Интересы субъекта многоаспектны и состоят из трех аспектов: управления, диагностики и структурного выбора. Эти аспекты определенным способом зависимы, но не противоположны;

– **предположение 8.** На множестве управляющих альтернатив  $Y$  задана априорная функция полезности  $w^g(Y|S, X)$ , зависящая от ситуаций  $x \in X$  и состояний  $s \in S$ , как от условий, и от структурных альтернатив  $g \in G$ , так от параметра. Она задает предпочтения на управляющих альтернативах  $y \in Y$  в соответствии с условием:

$$w^g(y' | s, x) > w^g(y | s, x) \Rightarrow y' > y, \text{ где } y', y \in Y_x, x \in X, s \in S_x.$$

Результаты диагностики могут оказаться "выгодными" либо "не выгодными" с точки зрения реализации интересов. Но из априорных соображений оценить "выгодность" либо "невыгодность" диагностики ситуаций не представляется возможным. Тем не менее, поскольку задана функция полезности  $w^g(S|X, Y)$ , то можно ввести априорную оценку "сожалений" по поводу возможных потерь полезности при выборе ситуации  $x \in X$  в заданном состоянии  $s \in S$  и при заданной альтернативе  $y \in Y$ . Такая оценка описывается функцией вида:

$$r^g(s, x, y) = |w^g(s, x, y) - \max_{y \in Y_x} \max_{x \in X_s} w^g(s, x, y)|, (s, x, y) \in S \times X \times Y.$$

Набор перечисленных объектов образует базу информации  $I$  для принятия решений.

В соответствии с аксиомой 3 формализация проблемы требует введения трех стратегий: структурного выбора, управления ситуациями и диагностики ситуаций. Они определяются следующими конструкциями:

– *стратегия мониторинга и структурного выбора:* последовательность

$$\{g_1^n = (g_n, \dots, g_1), g \in G; n = 1, 2, \dots\};$$

– *решающая функция управления:* однозначное отображение  $\pi$ .

$$X \rightarrow Y, \pi(x) \in Y_x, x \in X;$$

– *стратегия управления:* последовательность

$$\{\pi_1^n = (\pi_n, \dots, \pi_1), n = 1, 2, \dots\}.$$

– *решающая функция диагностики:* гомоморфизм

$$\delta: \langle S, R \rangle \rightarrow \langle X, R \rangle;$$

– *стратегия диагностики:* последовательность

$$\{\delta_1^n = (\delta_n, \dots, \delta_1), n = 1, 2, \dots\}.$$

Тройка стратегий  $\langle \{\pi_1^n\}, \{\delta_1^n\}, \{g_1^n\} \rangle$  – политика управляющих решений.

**Критерии качества:**

– *качество стратегии управления  $\pi_1^n$*  описывается средней полезностью вида:

$$\varphi_n(\pi_1^n | g_1^n, \delta_1^n)(s) = \frac{1}{n} M_s^{(\pi_1^n | g_1^n, \delta_1^n)} \sum_{t=0}^{n-1} W^{g_{n-t}}(s_t, \delta_{n-t}(s_t), \pi_{n-t}(\delta_{n-t}(s_t))), s \in S,$$

где  $W^{g_{n-t}}$  – функция полезности, заданная в базе  $I$ , а математическое ожидание берется по вероятностной мере на траекториях;

– *качество стратегии мониторинга и структурного выбора  $g_1^n$*  описывается ожидаемой средней полезностью вида:

$$\mu_n(\pi_1^n | g_1^n, \delta_1^n) = \int_S \varphi_n(\pi_1^n | g_1^n, \delta_1^n)(s) \beta_n(ds),$$

где  $\beta_n(ds)$  - вероятностная мера на множестве  $S$  в моменты  $n = 1, 2$ .

– качество стратегии диагностики  $\delta_1^n$  описывается средним риском вида:

$$\psi_n(\delta_1^n | g_1^n, \pi_1^n)(s) = \frac{1}{n} M_s^{(\delta_1^n | g_1^n, \pi_1^n)} \sum_{t=0}^{n-1} r^{s_{n-t}}(s_t, \delta_{n-t}(s_t), \pi_{n-t}(\delta_{n-t}(s_t))), s \in S,$$

где  $r^{s_{n-t}}$  – функция сожалений, заданная в базе  $I$ .

### Постановка задачи:

Политика принятия решений  $\langle \pi_1^n, \delta_1^n, g_1^n \rangle$ , удовлетворяющая условиям:

$$\begin{cases} \varphi_n(\pi_1^n | g_1^n, \delta_1^n)(s) \geq \varphi_n(\pi_1^n | g_1^n, \delta_1^n)(s), s \in S, \forall \pi_1^n, n = 1, 2, \dots, \\ \mu_n(g_1^n | \pi_1^n, \delta_1^n) \geq \mu_n(g_1^n | \pi_1^n, \delta_1^n) \forall g_1^n, n = 1, 2, \dots, \\ \square_n(\delta_1^n | \pi_1^n, g_1^n)(s) \leq \square_n(\delta_1^n | \pi_1^n, g_1^n)(s), s \in S, \forall \delta_1^n, n = 1, 2, \dots, \end{cases} \quad (1)$$

называется в смысле Нэша равновесной.

Равновесная политика определяет "наилучшее" решение проблемы превентивной безопасности и эффективности в том смысле, что она обеспечивает достижение устойчивых динамических компромиссов по критериям стратегической полезности и стратегического риска на неограниченном горизонте использования системы.

Задача состоит в отыскании равновесной политики управляющих решений. Сформулированная задача определяет лишь общую постановку задачи. Для ее практического решения требуется задание базы принятия решений  $I$  в явном виде. Ее задание составляет второй этап решения проблемы. Он состоит в построении в явном виде переходной функции  $q^s(S|S, Y)$  и функции полезности  $w^s(S, X, Y)$ .

Модель переходной функции  $q^s(S|S, Y)$  строится в предположении, что множество состояний  $S$  является единичным отрезком  $S = [0, 1] \subset R^1$  и процесс деградации описывается марковским процессом с монотонными, обрывающимися траекториями. Обрыв траектории происходит в случайный момент времени и отвечает попаданию в поглощающее состояние.

В этих предположениях получена в явном виде переходная функция  $q^{(\mu, \lambda)}(t, \Gamma | s)$ ,  $\Gamma = (a, b) \subset S$  процесса деградации, которая зависит от двух параметров: скорости износа  $\mu > 0$  и интенсивности отказов  $\lambda > 0$  [10, 11].

С использованием этих параметров построена функция полезности, определяемая разностью между "доходом" от использования объекта с альтернативой использования  $u, U$ , и "расходами" на применение альтернатив безопасности  $v, V$  и структурной альтернативы  $\theta, \Theta$  при условии отсутствия отказа (т.е.  $s < 1$ ). Если же имеет место отказ (т.е.  $s = 1$ ), то в состав расходов включается также ущерб средней величиной  $\chi > 0$ .

В рассматриваемых условиях построены методы вычисления равновесной политики управляющих решений в соответствии с постановкой задачи (1), которая сформулирована для унитарных систем.

Однако реальные системы являются сложными и состоят из набора подсистем, каждая из которых имеет свои индивидуальные интересы. При этом для подсистем существуют общие доминирующие интересы, объединяющие набор подсистем в целостную систему. Подобные системы называются корпоративными. В этих условиях возникает уже существенно более сложная проблема корпоративного принятия решений. Ее решение требует построения устойчивых компромиссов в каждый момент принятия решений на неограниченном горизонте времени.

**Вывод.** Представленный методологией учет условий принятия решений, обеспечивает богатые конструктивные возможности описания и решения практических транспортных задач.

Список литературы

1. Баранов В.В., Гогайзель А.В., Дьяченко Г.В., Кравченко А.П., Малык В.Р. Проблемы комплексного повышения ресурса и надежности автотехники на основе технологического обеспечения // Всесоюзная научно-техническая конференция «Технологическое обеспечение ресурса и надежности машин» // Тезисы докладов, г. Воронеж, 1 – 3 окт. 1980. – М.: КМС КСНТО, 1980. – С. 12 – 16.
2. Кравченко О.П., Гогайзель А.В., Малык В.Р. Методи інтенсивного забезпечення працездатності автомобільних причіпів // Навчальний посібник. – Київ: УМК МО, 1990. – 116 с.
3. Баранов В.В., Кравченко А.П., Горбунов Н.И., Кравченко Е.А. Повышение эффективности и безопасности транспортных средств применением методов принятия решений // Матер. междунар. науч.-практ. конф. «Проблемы горного дела и экологии горного производства», 6 – 7 июня 2008 г., г. Антрацит. – Донецк: Изд - во Норд-Пресс, 2008. – С. 143 – 147.
4. Баранов В.В. Процессы принятия решений, мотивированных интересами. - М.: Физматлит, 2005. – 296 с.
5. Матросов В.М., Баранов В.В. Модель и методы принятия управляющих решений в проблеме превентивной безопасности // Проблемы управления. 2006. №5. – С. 2 – 11.
6. Баранов В.В., Кравченко А.П. Модели и методы принятия решений в проблеме диагностики, эффективности и безопасности автомобильного транспорта // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. Частина 2. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2008. – С. 45 - 48 с.
7. Баранов В.В., Матросов В.М. Модель динамики в задачах управления деградирующими системами // Проблемы управления. 2007. №4. – С. 2 – 7.
8. Баранов В.В., Матросов В.М. Модели полезности и риска в задачах управления деградирующими системами // Проблемы управления. 2007. №5. – С. 5 – 20.
9. Баранов В. В. О проблеме и методах корпоративного выбора. // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2006. №2. – С. 103 – 116.
10. Кравченко А.П. Развитие теории обеспечения эксплуатационной надежности автопоездов // Вестник Красноярского государственного технического университета. Вып. 39. транспорт. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005. – С. 606 – 615.
11. Бажинов А.В., Кравченко А.П. Надежность автомобильных поездов / Монография. – Луганск: Изд – во «Ноулидж», 2009. – 412 с.

*В. Баранов, А. Кравченко, Е. Кравченко*

**Методологія рішення задач підвищення ефективності транспортних систем застосуванням методів теорії прийняття рішення**

Розглядається проблема управління ефективністю транспортних систем в експлуатації на основі моделей і методів прийняття рішень.

*V. Baranov, A. Kravchenko, E. Kravchenko*

**Methodology of problems solution on effectiveness increase of transport systems using the methods of decision making theory**

The paper deals with the problem of efficiency and safety of transport systems operation on the basis of models and methods of decision making.

Одержано 05.11.09