

Машины и Установки проектирование, разработка и эксплуатация

Сетевое издание
МОО "Стратегия объединения"
<http://maplants-journal.ru>

Ссылка на статью:

//Машины и установки: проектирование,
разработка и эксплуатация.
Электрон. журн. 2024. № 3. С. 33 – 39.

DOI:

Представлена в редакцию: 20.11.2024

Принята к публикации: 21.11.2024

© МОО «Стратегия объединения»

УДК 621. 8-1/-9

Методика оценки эксплуатационного состояния наземных транспортно-технологических средств на основе теории нечетких множеств

Хоцеловский С.Е.*,
Сладкова Л.А.

[*stepa_hocelovski@mail.ru](mailto:stepa_hocelovski@mail.ru)

Российский университет транспорта
(Москва, Россия)

Выполнение фронта работ при ликвидации последствий ЧС в установленные сроки зависит от состояния комплекта средств механизации. Оценка состояния наземных транспортно-технологических средств можно проводить с помощью теории нечетких множеств, создавая на ее основе модели для оценки различных показателей по субъективным ощущениям и при наличии незначительной информации о технике, личном составе и их совместной работе. Предлагаемые в статье математические модели, полученные на основании теории нечетких множеств, и методика их разработки апробированы на конкретных данных, что позволяет выявить значимые факторы, которые относят к числу ненормируемых, но оказывающих существенное влияние на состояние технических средств.

Предлагаемая методика позволяет исключить субъективное мнение специалистов-экспертов, которое используется при построении моделей в настоящее время.

Ключевые слова: методика, эксплуатационное состояние, ненормативные факторы, чрезвычайные ситуации, строительная и дорожная техника.

Изучение документов нормативно-правовой базы ГО ЧС России позволило выявить, что в настоящее время при выборе техники, привлекаемой из сторонних организаций, для ликвидации последствий ЧС отсутствуют критерии оценки их состояния. Выявлено, что при оценке состояния техники не учитываются ненормируемые показатели, методика оценки которых в настоящее время не определена и, которые однозначно вносят коррективы в процесс принятия единственного верного решения. Для этого необходимо с высокой долей вероятности оценивать сложившуюся ситуацию. Отсутствие математической модели, позволяющей оценить влияние взаимосвязанных ненормируемых факторов процесса ликвидации последствий ЧС не позволяют разработать требования для принятия единственного решения при проведении мероприятий по управлению операциями при ликвидации последствий ЧС с технической стороны (виды техники, ее состояние и т.д.) и со стороны человеческого фактора (состояние человека на момент подготовки техники для работы).

Например, авторы [1] предлагают оценивать «надежность» человека при работе с техникой как вероятность его безотказной работы, используя закон Пуассона считая, что «интенсивность потока его отказов» рассматривается, как наработка до наступления k -го отказа (болезни, депрессии и др.), который применим для технических объектов.

Очевидно, что поступающая с места произошедшей ЧС исходная информация неопределенна. В этом случае применение детерминированных законов распределения неприемлемо, так как факторы, влияющие на принятие решения о состоянии техники, носят не четко выраженный характер. Известно, что нечеткие величины характеризуются не вероятностным законом распределения [2], основанном на объективной статистике, а функцией принадлежности [3].

Рассмотрим методику оценки эксплуатационного состояния наземных транспортно-технологических средств для принятия решения на момент ликвидации последствий ЧС в условиях неопределенности информации, но при этом считаем, этот процесс является системой «человек – техника», надежность совместной работы которой является залогом успеха.

Применительно к различным видам строительной и дорожной техники к критериям надежности относятся безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. Применительно к человеку к показателям надежности можно отнести, например: психофизиологическое состояние – ψ -фактор (заболевания, травматизм во время проведения работ и т.д.), профессиональную подготовленность – π -фактор (отстранения от работы, опоздания и т.п.), социальную пригодность – δ -фактор (качество выполняемых работ). Указанные факторы, характеризующие деятельность человека в момент подготовки техники к выходу на линию, являются ненормируемыми и носят характер неопределенности.

Совместное рассмотрение совокупности всех факторов на основе математического моделирования, могут оказать влияние на слаженность работы системы «человек – техники» при ликвидации последствий ЧС и получить желаемые результаты. Общий коэффициент оценки состояния человека $\eta(t)$ предлагается оценивать как произведение этих факторов и представляет собой функционал, изменяющийся во времени

$$\eta(t) = \psi(t)\delta(t)\pi(t). \quad (1)$$

Предлагаемая ниже математическая модель позволит рассчитать оптимальное число состава техники для ликвидации ЧС при наименьших затратах с учетом объемов разрушений, принять решение о надёжности техники, позволяющую связать конкретную ситуацию и результат по диагностическим признакам разрушений, с учетом допущенных ранее ошибок. Сочетание признаков и их взаимное влияние позволят проводить анализ ситуации. Создание базы экспертных знаний разрабатывается в электронном виде с использованием программного обеспечения и представляет собой своеобразный искусственный интеллект. Предлагаемая математическая модель для оценки результатов ликвидации последствий ЧС должна содержать показатели, входящие в критерии оценки по типовым должностным инструкциям. В общем виде она может быть представлена зависимостью:

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i X_i, \quad (2)$$

где a_i – коэффициенты, характеризующие уровень значимости X_i фактора, по которым можно оценить показатели надежности строительной и дорожной техники с учетом «надежности» персонала.

Для примера введем кодирование предполагаемых нормативных критериев оценки показателей, оказывающих влияние на состояние техники:

X_1 – качество выполнения задания по подготовке машины;

- X_2 – виды средств механизации, привлекаемых для ликвидации последствий ЧС;
 X_3 – безаварийная работа техники;
 X_4 – стремление обслуживающего персонала при подготовке для обеспечения ее надежной работы;
 X_5 – возможность травматизма, заболеваний персонала;
 X_6 – соблюдение дисциплины.

Как правило, надежность и достоверность в четкой информационной среде обеспечивается применением теории планирования эксперимента. Используя теорию нечетких множеств, апробируем алгоритм экспертной информации при оценке эксплуатационного состояния техники и управления этим состоянием.

Цель этой задачи состоит в оперативном определении вероятности принятия верного решения по субъективным ощущениям при наличии нечеткой информации о работе по обеспечению эксплуатационных показателей техники.

Наиболее просто обстоит вопрос с критерием X_1 – «выполнение задания». Этот критерий достаточно полно отражен в нормативных документах. Остальные показатели в настоящее время оценивают косвенными способами, хотя, на наш взгляд, они являются теми критериями, которые позволяют оценить степень надежности выполнения задач при оценке состояния техники на момент ее ввода в эксплуатацию. Совокупное действие указанных критериев можно оценить функцией вида:

$$П = \varphi(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6). \quad (3)$$

Выявим факторы, влияющие на каждый из рассматриваемых критериев (табл. 1).

Таблица 1. Факторы, определяющие основные критерии типовых должностных инструкций

№ п/п	Критерий	Факторы критериев	Определение критерия
	X_2		Виды средств механизации, привлекаемых для ликвидации последствий ЧС
1		X_{21}	Наличие техники в организациях
2		X_{22}	Отдаленность организации от района бедствия
3		X_{23}	Профессионализм машинистов
	X_3		Безаварийная работа техники
4		X_{31}	Профессионализм обслуживающего персонала
5		X_{32}	Отношение к оборудованию
6		X_{33}	Соблюдение требований технологической эксплуатации машин (оборудования)
7		X_{34}	Соблюдение режимов эксплуатации машин (оборудования)
	X_4		Стремление обслуживающего персонала при подготовке для обеспечения ее надежной работы
8		X_{41}	Воспитание в семье и школе
9		X_{42}	Социальные условия
10		X_{43}	Личное стремление (генетическая предрасположенность)
11		X_{44}	Семейное положение
12		X_{45}	Жилищные условия
13		X_{46}	Финансовое положение
	X_5		Состояние рабочих, обслуживающих технику (возможность травматизма, заболеваний персонала и т.п.)
13		X_{51}	Выполнение инструкций
14		X_{52}	Чувство опасности
15		X_{53}	Аккуратность (внимательность) при выполнении рабочих операций
16		X_{54}	Умение правильно оценивать производственную ситуацию «на трезвую голову»
17		X_{55}	Алкогольная зависимость
18		X_{56}	Табакокурение
19		X_{57}	Наркотическая зависимость
20		X_{58}	Социальное положение
21		X_{59}	Уровень заработной платы

22		$X_{5\ 10}$	Возраст
23		$X_{5\ 10}$	Стаж работы
24		$X_{5\ 11}$	Генетическая предрасположенность
	X_6		Соблюдение дисциплины
25		X_{61}	Долг
26		X_{62}	Материальное благосостояние
27		X_{63}	Боязнь быть наказанным

Факторы, приведенные в таблице 1, являются взаимозависимыми, сочетание которых представляет собой задачу искусственного интеллекта. Например, фактор $X_{5\ 11}$ (стаж работы) не оказывает влияние на воспитание в семье и школе, а также на собственные психофизиологические особенности. Однако этот фактор оказывает влияние на умение работать.

Для определения уровня значимости каждого фактора определим степень его зависимости и влияния на другие факторы. Для этого оставим таблицу, в которой в вертикальных и горизонтальных столбцах расположим 27 рассматриваемых выше факторов, обозначая их в соответствии с таблицей. При этом пусть в горизонтальной строке расположим «зависящие» факторы, а в вертикальном столбце – «влияющие» факторы. Состоявшееся влияние факторов в составленной таблице будем отмечать знаком «+». Если влияние не наблюдается, то клетку оставляем пустой.

Для выявления значимого фактора и его веса просуммируем количество «+» по соответствующим вертикальным и горизонтальным столбцам, получив значения $\sum X_i$ и $\sum X_j$. Результаты обработки приведены в таблице 2.

Таблица 2. Взаимосвязь факторов, влияющих на надежность персонала и управление персоналом

№ фактора	Влияющий фактор	Зависящие факторы					$\sum X_i$
		2	3	4	5	6	
2	Оснащение средствами механизации	3	5	7	19	5	39
3	Безаварийная работа оборудования	2	8	5	6	7	28
4	Стремление к достижению цели	16	10	23	40	8	97
5	Возможность травматизма персонала	25	32	30	61	13	161
6	Дисциплинированность	8	9	12	20	3	48
Накопленные суммы по $\sum X_j$		54	64	72	146	36	373
Накопленные суммы по $\sum X_i + \sum X_j$		84	92	170	204	84	637
Вероятностное значение фактора		0,132	0,144	0,267	0,320	0,132	1,00

Результаты обработки показали, что эффективность выполнения работы должна быть не ниже установленных пределов. Вероятностное значение каждого фактора определим по отношению:

$$P(X_{i,j}) = \frac{\sum_{i=1}^n X_i + \sum_{j=1}^n X_j}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (X_i + X_j)} \quad (4)$$

Факторы, приведенные в табл. 2 и, обработанные по зависимости (4), позволили получить математическую модель вероятности оценки состояния наземных транспортно-технологических машин:

$$Y = 0,0 X_1 + 0,132 X_2 + 0,144 X_3 + 0,267 X_4 + 0,320 X_5 + 0,132 X_6. \quad (5)$$

Несмотря на линейную форму представления модели (5), влияющие факторы X_i не являются линейными функциями, что свидетельствует о сложности изучаемого явления.

Модель, представленная выражением (5), свидетельствует о том, что при полном соблюдении условий вышеназванных факторов, можно добиться результата без каких-либо потерь. При этом следует учесть, что наибольшее влияние на оценку состояния техники оказывает низкий уровень составляющих четвертого и пятого критериев: стремление обслуживающего персонала при подготовке для обеспечения ее надежной работы и состояние рабочих, обслуживающих технику.

Проведенный анализ полученной модели (5) оценки состояния техники показал, что предлагаемая зависимость является сочетанием «ситуация – действие», т.е. она позволяет определить вероятность происходящего события (проведение оценки состояния техники). Оценка адекватности модели показала, что уровень предсказаний достаточно высок, так как ошибка не превышает 3%.

Исследуя более подробно этот функционал в совокупности с другими критериями видно, что данное уравнение является адекватной математической моделью решаемой задачи, где основным критерием адекватности выступает степень совпадения расчетных по модели вероятностей и фактических случаев, происходящих на производстве.

Заключение

1. Результаты, полученные с применением теории нечетких множеств, позволяют получить больше информации, чем точная детерминированная или интервальная оценки, что позволяет создать модели для оценки различных показателей по субъективным ощущениям и при наличии незначительной информации о оценке состояния техники перед ее работой. Предлагаемая методика обладает доступностью, воспроизводимостью, высокой степенью достоверности (ошибка не превышает 3%), невысокой трудоемкостью в использовании и не требует привлечения специалистов и проведения дорогостоящих анализов.

2. Разработанная методика обработки факторов, влияющих на оценку эксплуатационных показателей техники, в виде математической модели позволяет оценить вероятность увеличения эффективности работы исключив субъективное мнение специалистов-экспертов, которое используется при построении моделей.

3. Решена задача оперативного определения вероятности принятия верного решения при наличии нечеткой информации при оценке эксплуатационных показателей строительной и дорожной техники.

Список литературы

1. Куракина Т. Ю. Экспертная система для принятия диагностических решений врачом неонатологом: Автореф. дисс. канд. мед. наук. Москва : 1999. – 17 с.
2. Гвоздик А.А. Решение нечетких уравнений / А.А. Гвоздик // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика, 2022. - № 5. – С. 29-37.
3. Кендалл М. Статистические выводы и связи / М. Кендалл, А. Стюарт. – Москва : Наука, 1973. – 900 с.

АВТОРЫ

Хоцеловский Степан Евгеньевич, аспирант Российского университета транспорта,
stepa_hocelovski@mail.ru.

Сладкова Любовь Александровна, профессор Российского университета транспорта,
доктор технических наук, профессор, rich.cat2012@yandex.ru.

Machines & Plants Design & Exploiting

*Electronic journal
International Public Organization
“Integration strategy”
<http://maplants-journal.ru>*

*Link to the article:
//Machines and Plants:Design and Exploiting.
2024. № 3. pp. 33 – 39.*

DOI:

Received: 20.11.2024

Accepted for publication: 21.11.2024

© International Public Organization “Integration strategy”

Methodology for assessing the operational state of ground transport and technological facilities based on the theory of fuzzy sets

Stepan E. Khotselovsky*,
Lyubov A. Sladkova

[*stepa_hocelovski@mail.ru](mailto:stepa_hocelovski@mail.ru)

Russian University of Transport, Moscow,
Russian Federation

The performance of the front of work during the elimination of the consequences of emergencies in the established time depends on the state of the set of mechanization means. Assessment of the state of ground transport and technological means can be carried out using the fuzzy set theory, creating models on its basis for assessing various indicators based on subjective feelings and in the presence of insignificant information about equipment, personnel and their joint work. obtained on the basis of the theory of fuzzy sets, and the method of their development are tested on specific data, which makes it possible to identify significant factors that are classified as non-normalizable, but have a significant impact on the state of technical means. The proposed methodology makes it possible to exclude the subjective opinion of experts, which is currently used in the construction of models.

Keywords: methodology, operational condition, non-standard factors, emergency situations, construction and road equipment.

References

1. Kurakina T. Y. Expert system for making diagnostic decisions by a neonatologist: Abstract. Dissertation of the Candidate of Medical Sciences. Moscow : 1999. – 17 p.
 2. Gvozdik A.A. The solution of fuzzy equations / A.A. Gvozdik // Izv. of the USSR Academy of Sciences. Technical Cybernetics, 2022. - No. 5. – pp. 29-37.
 3. Kendall M. Statistical conclusions and connections / M. Kendall, A. Stewart. – Moscow : Nauka, 1973. – 900 p.
-

AUTHORS

Stepan E. Khotselovsky, postgraduate student of the Russian University of Transport, stepa_hocelovski@mail.ru

Lyubov A. Sladkova, Professor of the Russian University of Transport, Doctor of Technical Sciences, Professor, rich.cat2012@yandex.ru