Анализ состояния технического обслуживания гибридных автомобилей в России показывает, что одним из верных решений, направленных на повышение эффективности эксплуатации данных автомобилей является оптимизация периодичности технического обслуживания и перечня выполняемых работ. Это возможно при определении степени влияния различных факторов на результаты оценки технического состояния основных элементов ГСУ автомобилей.

1. Раков В.А. Методика оценки технического состояния гибридных силовых установок автомобилей: диссертация кандидата технических наук. Вологодский государственный технический университет, Вологда, 2012. – С. 15-18.
2. Карпунин К.Е. Принципы и алгоритм управления автомобилем с гибридной силовой установкой: диссертация кандидата технических наук. Московский государственный технический университет, Москва, 2009. – С. 26-29.
3. Иваненко М.А. Оценка эффективности применения автотранспортных средств с комбинированной силовой установкой: диссертация кандидата технических наук. Московский государственный технический университет, Москва, 2009. – С. 36-39.
4. Ноздрин Р. В. Исследование автомобиля с универсальной гибридной силовой установкой параллельного типа: диссертация кандидата технических наук. Московский государственный агроинженерный университет (МГАУ) имени В.П. Горячкина, Москва, 2009. – С. 30-35.
5. Hybrid cars. [Эл. Ресурс] URL: <https://www.hybridcars.com/july-2017-dashboard/> Дата обращения: 20.06.2020.

Пузырев Н.М., Мартынов Д.В., Барбашинова Н.Б., Емцев А.С.
Оценка эффективности мероприятий по обеспечению безопасных условий труда с использованием методов системного анализа
ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»
(Россия, Тверь)

doi: 10.18411/lj-11-2020-54

idsp: ljjournal-11-2020-54

Аннотация

При решении задач по обеспечению или повышению уровня производственной безопасности приходится учитывать большое количество факторов. Для их систематизации и учета предлагается и обосновывается применение методов системного анализа. Приводятся примеры использования морфологического метода для оценки и выбора оптимальных вариантов решения из множества возможных. Для оценивания технических и иных решений по улучшению условий труда, совершенствованию экологичности производства, внедрению природоохранных мероприятий предлагается методика расчета их эффективности.

Ключевые слова: производственная безопасность, улучшение условий труда, системный анализ, морфологический метод.

Abstract

A large number of factors have to be taken into account when solving tasks to ensure or improve the level of industrial safety. For their systematization and accounting, the application of system analysis methods is proposed and justified. Examples of using the morphological method for evaluating and selecting optimal solutions from a variety of possible solutions are given. To evaluate technical and other solutions for improving working conditions, improving the environmental friendliness of production, and implementing environmental protection measures, we propose a method for calculating their effectiveness.

Keywords: industrial safety, improvement of working conditions, system analysis, morphological method.

В решениях задач по созданию безопасных условий труда или их улучшению при эксплуатации производственных объектов в эргатических системах приходится

учитывать достаточно большое количество факторов, условий, ограничений, составляющих сложную взаимосвязанную структуру, без системного анализа которой невозможно достичь требуемого результата.

Системный анализ как научный метод познания, представляет собой последовательность действий по установлению структурных связей между элементами исследуемых сложных систем, в том числе таких, которые обеспечивают требуемый, достаточный уровень безопасности технических устройств, технологических процессов, которые обеспечивают создание безопасных условий труда персонала в процессе их эксплуатации. Системный анализ включает в себя совокупность методологических средств, используемых для подготовки и обоснования решений по сложным проблемам [1]. Одной из таких проблем является обеспечение производственной безопасности. Это состояние, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью персонала и окружающей среде

Любая реальная практическая задача, направленная на обеспечение или повышение уровня производственной безопасности может быть представлена в виде некоего образа, называемого *моделью системы*. Под моделями здесь следует понимать отображение всех характеристик, параметров систем, которые должны быть составлены таким образом, чтобы прослеживалась их взаимосвязь. Моделирование неизбежно сопровождается некоторым упрощением и формализацией взаимосвязей в системе. Эта формализация может быть осуществлена в виде логических, причинно-следственных и/или математических (функциональных) отношений. Под компонентами (элементами, составными частями) системы понимаются не только материальные объекты, но и связи между ними.

При системном подходе к оценке уровня безопасности эргатических систем критерии, оценивающие соответствие фактического уровня безопасности нормативным показателям, должны рассматриваться во взаимосвязи с технико-экономическими, экологическими, эргономическими и другими показателями и характеристиками.

Для решения такой актуальной проблемы, как снижение шума на рабочих местах промышленных объектов необходимо учитывать многие элементы системы, к которым можно отнести нормативно-правовую документацию, регламентирующую условия труда, характеристики технологического процесса, применяемого оборудования, его размещения, количественные характеристики шума, способы, средства и устройства защиты, организационные мероприятия, экономические, эргономические, экологические и другие показатели.

В системном анализе можно использовать различные методы, в том числе такие, как индуктивный, дедуктивный (метод «дерева отказов»), симплекс-метод, метод экспертных оценок, морфологический метод. Метод «дерева отказов» наиболее предпочтителен при оценке рисков аварий, происшествий, катастроф. Метод экспертных оценок характерен тем, что в процессе принятия решений приходится осуществлять выбор вариантов в условиях неопределённости, которая обусловлена наличием факторов, не поддающихся строгой количественной оценке. В этом случае все процедуры и методы направляются именно на выдвижение альтернативных вариантов решения проблемы, выявление масштабов неопределённости по каждому из вариантов и сопоставление вариантов по тем или иным критериям эффективности.

При выборе окончательных вариантов решения задачи можно использовать *морфологический анализ* [2, 3]. В его основе лежит упорядочение процесса выдвижения и рассмотрения различных вариантов решения задачи. Суть метода состоит в том, что в системе выделяют несколько характерных (структурных или функциональных) признаков. Каждый из них может характеризовать какой-то параметр или характеристику системы, от которых зависит решение проблемы. По каждому выделенному признаку составляют список его различных вариантов-альтернатив. Признаки с альтернативами располагают в таблицу - «морфологический ящик», который представляет собой матрицу. В зависимости от сложности задачи матрица

может быть как двухмерной, так и трехмерной. Перебирая всевозможные сочетания вариантов-альтернатив, можно выявить наиболее предпочтительные или инновационные варианты решения.

Пример составления «морфологического ящика» для решения задачи по снижению уровня шума на рабочем месте производственного объекта до приемлемых норм с применением шумопоглощения представлен в таблице 1.

Таблица 1.

Таблица морфологического анализа по снижению уровня шума

Конструктивные варианты	Возможные варианты шумопоглощения			
Материал	A1 – Пеноплекс	A2 – Минвата	A3 – Пенопласт	A4 – Мастика
Конструкция	B1 – Напольная	B2 – Настенная	B3 – Подвесная	B4 – Комбинированная (стены, потолок)
Форма	B1 – Параллелепипед вертикальный	B2 – Параллелепипед горизонтальный	B3 – Пирамида	-

Теоретически возможно провести расчет уровня снижения шума для максимально возможного числа вариантов решения N , которое равно произведению чисел элементов в каждой строке таблицы. В данном случае $N = 4 \cdot 4 \cdot 3 = 48$. Самой непростой частью работы является выбор и анализ полученных вариантов. Некоторые варианты можно не принимать во внимание как заведомо неприемлемые. Для выбора наиболее приемлемых вариантов целесообразно использовать метод экспертных оценок, как одну из разновидностей системного анализа. В нашем случае предпочтительными вариантами могут, например, быть:

- 1 вариант - материал – пеноплекс (A1), конструкция - напольная (B1), форма – пирамида (B3); запишем это в виде $A1 \cdot B1 \cdot B3$,
- 2-й вариант – материал - минвата (A2), конструкция - настенная (B2), форма – параллелепипед (B1); запишем как $A2 \cdot B2 \cdot B1$;
- 3-й вариант – материал – мастика (A4), конструкция – настенная (B2), запишем как $A4 \cdot B2$.

Далее необходимо провести их сравнительную оценку для выбора наиболее предпочтительного, предварительно рассчитав величину снижения уровня звукового давления ΔL для различных вариантов. Расчет ΔL можно проводить по известным методикам [4...7].

После выполнения расчетов величины ΔL из всех выбранных вариантов выбирается тот, который отвечает критерию соответствия нормативному уровню безопасности. Общее математическое выражение этого критерия можно представить в следующем виде:

$$K_{CH} = \frac{L_{\Phi} - \Delta L}{L_0},$$

где: K_{CH} – критерий соответствия нормативным требованиям;

L_{Φ} - фактический (до установки шумопоглотителей) показатель уровня звукового давления, дБ;

ΔL – величина, показывающая, насколько снизится уровень звукового давления в результате проведенного мероприятия, дБ;

L_0 – нормативный показатель уровня звукового давления, дБ.

Идеальным является уровень безопасности $K_{CH} = 0$, но в любом случае он должен отвечать условию $K_{CH} \leq 1$.

Одной из важных задач при оценивании технических и иных решений по улучшению условий труда, совершенствованию экологичности производства, внедрению природоохранных мероприятий является учет их экономической эффективности. Для этого вычисляется так называемый критерий эффективности затрат $K_{ЭЗ}$:

$$K_{\text{ЭЗ}} = \frac{C + E_{\text{Н}} \cdot K}{\text{Э}},$$

где C – текущие затраты на мероприятия по модернизации в течение года; $E_{\text{Н}}$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; K – капитальные вложения, определившие эффект от проведения мероприятий; Э – экономический эффект, полученный от внедренных мероприятий в течение года.

Наибольшая эффективность мероприятий, направленных на улучшение условий труда, экологической ситуации будет иметь место при $K_{\text{ЭЗ}} \rightarrow 0$. Для комплексной оценки эффективности условием оптимальности любой производственной системы является выполнение условия:

$$K_{\text{ОП}} = K_{\text{СН}} \cdot K_{\text{ЭЗ}}(\text{ОТ}) \cdot K_{\text{ЭЗ}}(\text{ЭК}) \rightarrow 0,$$

где $K_{\text{ЭЗ}}(\text{ОТ})$ – коэффициент затрат на улучшение условий труда, $K_{\text{ЭЗ}}(\text{ЭК})$ – коэффициент затрат на улучшение экологической ситуации.

В связи с тем, что при решении задач по улучшению условий труда, решению экологических проблем приходится учитывать достаточно большое количество факторов, условий, ограничений, составляющих сложную взаимосвязанную структуру, оценивание эффективности принимаемых решений можно провести с использованием морфологического метода системного анализа. Для этого численные показатели указанных выше критериев $K_{\text{СН}}$, $K_{\text{ЭЗ}}(\text{ОТ})$ и $K_{\text{ЭЗ}}(\text{ЭК})$ заносятся в морфологическую таблицу 2. Для каждого выбранного варианта (например, $A1 \cdot B1 \cdot B3$, $A2 \cdot B2 \cdot B1$ и $A4 \cdot B2$), которые в качестве примера были составлены выше, проводится их комплексная оценка эффективности анализируемых вариантов, учитывающая не только снижение уровня шума, но также их экономичность и экологичность.

Таблица 2

Таблица морфологического анализа снижения уровня шума для комплексной оценки

Показатели эффективности	Варианты решения		
	Вариант 1 $A1 \cdot B1 \cdot B3$	Вариант 2 $A2 \cdot B2 \cdot B1$	Вариант 3 $A4 \cdot B2$
$K_{\text{СН}}$	a1	a2	a3
$K_{\text{ЭЗ}}(\text{ОТ})$	b1	b2	b3
$K_{\text{ЭЗ}}(\text{ЭК})$	v1	v2	v3

Количество вариантов M , для которых можно провести комплексную оценку эффективности мероприятий по снижению шума, равно произведению количества вариантов в каждой строке таблицы 2: $M = 3 \cdot 3 \cdot 3 = 81$. Используя правила матричного исчисления, проводятся соответствующие расчеты и на их основе выбираются наиболее предпочтительные варианты решения поставленной проблемы. В случае необходимости дополнительно к этому можно использовать метод экспертных оценок как один из методов системного анализа.

1. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Петр Григорьевич Белов. - М.: Издательский центр «Академию», 2003. - 512 с.
2. Мухин В.И., Малинин В.С. Исследование систем управления. М: Издательство «Экзамен», 2003. 384 с.
3. Антонов, А.В. Системный анализ. Учебник для вузов / А.В.Антонов, М.:Высшая школа, 2004. – 454 с.
4. Белов, С.В. Средства защиты в машиностроении: Расчет и проектирование: справочник / С.В. Белов, А.Ф. Козьяков, О.Ф. Партолин [и др.]; под ред. С.В. Белова. М.: Машиностроение, 1989. 368 с.
5. Борьба с шумом на производстве: справочник / под ред. Е.Я. Юдина. М.: Машиностроение, 1985. 400 с.
6. Руководство по расчету и шумоглушению вентиляционных установок. М.: Книга по требованию, 2013. 55 с.
7. Руководство по расчету и проектированию шумоглушения в промышленных зданиях. М.: Книга по требованию, 2014. 130 с.