

УДК 681.518.2

# ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ СОСТОЯНИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

**С.А. Манцеров**

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева*  
Россия, 603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24  
E-mail: mca\_9@nntu.ru

**Л.С. Ломакина**

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева*  
Россия, 603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24  
E-mail: llomakina@list.ru

**Ключевые слова:** качество состояния, техническое состояние, экобезопасность объекта, интеллектуальное управление, модели вычислений, индекс технического состояния.

**Аннотация:** Предлагается подход для решения задачи управления качеством состояний технических и технологических объектов, на основе системы адаптивных моделей вычислений. Рассматриваются «мягкие» модели вычислений, включающие в себя искусственные нейронные сети (ИНС), нечёткие отношения и нейро-нечёткие системы, а также биоинспирированные, обеспечивающие высокую эффективность в задачах управления состоянием технических и технологических объектов. Особо выделяется задача прогнозирования состояний объектов на основе прогностических моделей вычислений.

## 1. Введение

На фоне тенденций к увеличению сложности современных промышленных технических и технологических объектов, а также тенденции к обширному внедрению систем внутренней самодиагностики данных объектов, остро возникает задача организации оперативного управления состоянием оборудования промышленного предприятия.

При этом, вопросы управления качеством состояний технических и технологических объектов на фоне развития высокотехнологичных производственных систем, являются весьма актуальными. Неотъемлемым свойством характеризующим качество состояния технического или технологического объекта, является его экологическая безопасность (экобезопасность).

Использование типовых подходов в задачах обеспечения качества состояний технических и технологических объектов определяет существенные временные затраты при поиске и обобщении оптимальных решений ввиду необходимости обработки больших объемов информации. Это не только увеличивает время проектирования и разработки новых технических решений, но и снижает эффективность управления состояниями технических и технологических объектов на этапах эксплуатации, и тем более утилизации.

В связи с этим особую значимость приобретает применение нового интеллектуального подхода, основанного на системе адаптивных моделей вычислений и технологиях, позволяющего обеспечить интеллектуальное управление качеством состояний технических и технологических объектов[1].

## 2. Классификация состояний технических и технологических объектов

### 2.1. Индекс технического состояния

Для управления качеством состояний технического объекта или технологического процесса необходимо провести оценку для дальнейшей классификации технического состояния.

В соответствии с ГОСТ 18322-2016 границы между состояниями технических и технологических объектов могут быть условными, а работоспособность может быть как полной, так и частичной. Таким образом, задача определения текущего состояния технического и/или технологического объекта носит нечеткий характер[2], что требует использования современных подходов для его оценки. Предлагается формализовать техническое состояние (ТС) объекта с помощью конечного множества значений параметров:

$$C = \{x_1; x_2; x_3; \dots; x_n\},$$

где  $x_n$  – значение технического параметра;  $n$  – количество параметров.

Для каждого технического и технологического объекта множество параметров индивидуально и каждый параметр имеет свою область значений и единицу измерения, то возникает задача систематизации разнородных данных. Если ТС количественно выразить числом, тогда в соответствии с ГОСТ 18322-2016 (рис. 1), где единице соответствует исправное ТС, что может быть выражено:

$$C = \{I_1; I_2; I_3; \dots; I_n\},$$

где  $I_n$  – индекс технического состояния объекта по параметру  $n$ ;  $n$  – количество параметров.

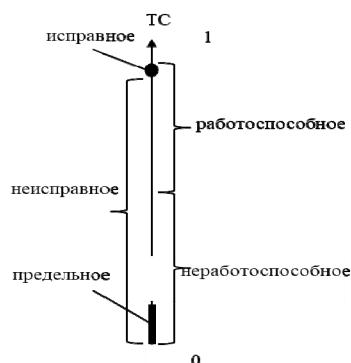


Рис. 1. ТС в соответствии с ГОСТ 18322-2016.

Таким образом индекс технического состояния (ИТС)  $I_i$  отражает степень соответствия  $i$ -го параметра требуемому значению, а тогда в терминах теории нечетких множеств может быть описан в виде:

$$\{(x, \mu_{\bar{A}}(x))\}, \forall x \in E,$$

где  $\mu_{\bar{A}}(x)$  – характеристическая функция принадлежности, принимающая свои значения во множестве  $M$ , которая указывает степень или уровень принадлежности

текущего значения параметра  $x$  требуемому значению (подмножеству  $\tilde{A}$ ),  $E$  – множество возможных значений параметра объекта [3].

## 2.2. Индекс экобезопасности

Неотъемлемым свойством характеризующим качество объекта является, является экологическая безопасность (экобезопасность). Представляет практический интерес представить данное свойство в виде обобщенного количественного показателя, учитывающего самые различные экологические характеристики технических и технологических объектов на всех этапах жизненного цикла. Предлагается подход к количественной оценке экобезопасности [3], на основе так называемого индекса экобезопасности, который включает множество единичных показателей декомпозиции и детального анализа объекта утилизации, процессов утилизации и депонирования, продуктов процесса утилизации и декарбонизации (рис. 2).

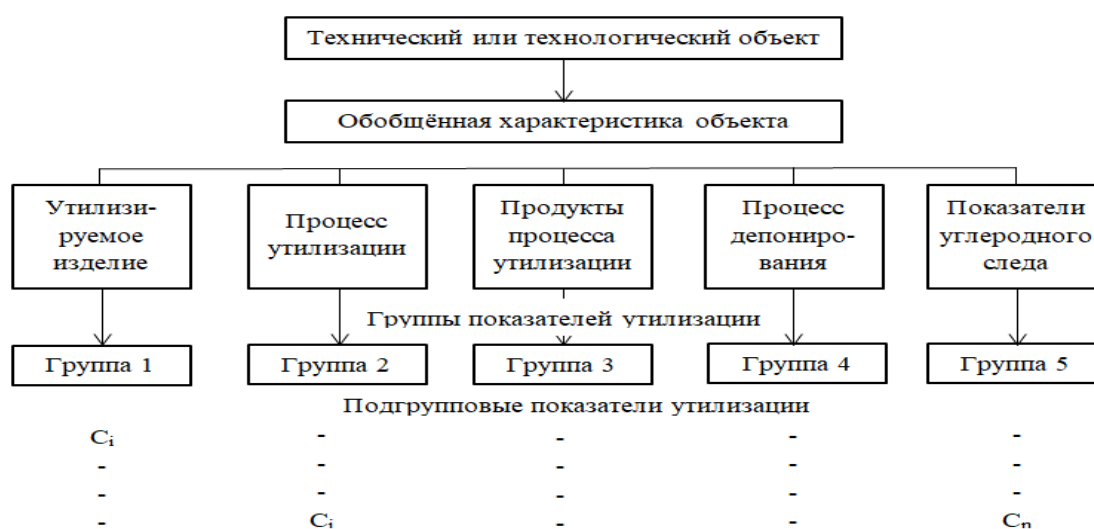


Рис. 2. Структура показателей оценки индекса экобезопасности.

## 3. Адаптивные модели вычислений

Для эффективного решения задач классификации состояний технических объектов и технологических процессов широко используются «мягкие» модели вычислений, включающие в себя искусственные нейронные сети (ИНС), нечёткие отношения и гибридные или нейро-нечёткие системы, а также биоинспирированные модели вычислений включающие различные виды эволюционно-генетических и популяционных алгоритмов [5].

### 3.1 «Мягкие» модели вычислений

В 1994 г. немецкий исследователь Д. Баршдорф провозгласил новую концепцию технической диагностики [6], основанную на нейросетевых технологиях и нечетких отношениях. Данная концепция положила начало использованию нейро-нечетких моделей вычислений. Нечеткие нейронные сети позволили разработать системы на нечеткой логике (НЛС) (рис. 3).

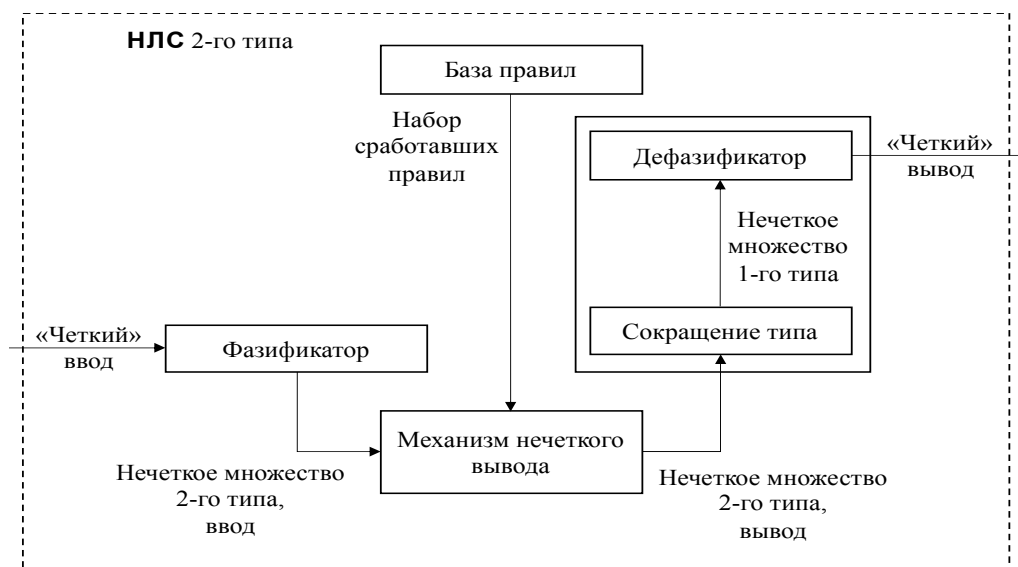


Рис. 3. Структура НЛС.

### 3.2. Оптимизационные модели вычислений

Оптимизационные модели вычислений, включают эволюционно-генетические и популяционные модели.

Предлагается модифицированный эволюционно-генетический алгоритм, который благодаря выбранному способу кодирования, применению случайных операторов поиска и адаптивной поисковой стратегии возможен резкий переход в другую область подмножества решений, что и позволяет выходить из локальных оптимумов. Применение комбинированных операторов поиска уменьшает среднее время схождения алгоритма и позволяет осуществлять поиск в условиях изолированности глобального оптимума (рис. 4).



Рис. 4. Модификация эволюционно-генетического алгоритма.

Многочисленные популяционные модели вычислений (муравьиные, роевые, кукушкин поиск и др.), характеризующиеся модульной структурой, что позволяет

получить большое число вариантов путем варьирования и комбинирования правил инициализации популяции, миграционных операторов и условий завершения поиска.

### **3.3. Прогностические модели вычислений на основе технологий ансамблевого машинного обучения.**

Проблемное состояние технического объекта рассматривается как некоторое критическое состояние или отказ оборудования, которому предшествовали те или иные признаки отклонения от нормы в течение рассматриваемого промежутка времени. Цель прогнозирования такого состояния заключается в распознавании признаков, указывающих на угрозу дестабилизации нормального состояния технического объекта.

Многие алгоритмы машинного обучения дают разные прогнозы каждый раз, когда модель обучается на одних и тех же данных или на немного отличающихся данных (дисперсия прогнозов). Алгоритмы обучения ансамбля могут давать более стабильные прогнозы, чем отдельная модель.

Ансамблевые методы машинного обучения представляют собой системы, построенные из нескольких независимых прогностических моделей для решения одной задачи. Обучение выбранных базовых моделей происходит на одних и тех же обучающих данных и, затем, происходит объединение их результатов или прогнозов. Такой подход позволяет получить лучшую прогностическую эффективность. За счет объединения нескольких моделей методы ансамблевого машинного обучения обычно дают более точные решения, чем одна модель.

## **4. Заключение**

Представлена система адаптивных моделей вычислений для интеллектуального управления качеством и экобезопасностью состояний технических и технологических объектов, позволяющих сформировать системный подход к интеллектуальному управлению. Эффективность внедрения интеллектуальных систем управления ТС выражается в снижении отказов оборудования на предприятии, а также повышении его качества состояния, что подтверждается примерами практической реализации.

## **Список литературы**

1. Ломакина Л.С., Манцеров С.А., Панов А.Ю. Интеллектуальное управление качеством и безопасностью состояний технических и технологических объектов. Воронеж: Научная книга, 2022. 210 с.
2. Манцеров С.А. Нейронечеткая классификация технических состояний объектов сложной структуры // Информационные технологии. 2023. № 2.
3. Ломакина Л.С., Манцеров С.А. Идентификация состояний объектов сложной структуры на основе нейронечетких технологий // Системы управления и информационные технологии. 2022. № 1 (87). С. 88-99.
4. Zadeh L. A. Fuzzy algorithms // Inform and Control. 1968. Vol. 12, No. 2.
5. Курейчик В.В, Курейчик В.М. и др. Биоинспирированные методы в оптимизации. М.: Физматлит, 2009. 384 с.
6. Barshdorf D. Neural networks and fuzzy logic. New concepts for technical troubleshooting // Instruments and control systems. 1996. No. 2. P. 48-53.
7. Ломакина Л.С., Манцеров С.А, Чернобаев И.Д. Нейро-нечеткие классификаторы. Теория и практика. Воронеж: Научная книга, 2022. 137 с.
8. Mantserov S.A., Gavriiliuk E.A. Fuzzy Reliability Model of Systems for Decision Support in Technical Diagnostics // CEUR Workshop Proceedings. 2018. Vol. 2258. P. 222–234. Mode of access: <http://ceur-ws.org/Vol-2258/paper28.pdf>.