

# Система поддержки принятия решений при управлении ремонтами теплоэнергетического оборудования

И.А. Щербатов

**Аннотация** — Системы поддержки принятия решений при управлении техническим обслуживанием и ремонтом оборудования сложных технических систем являются эффективным инструментом оптимизации затрат эксплуатирующих их предприятий и организаций. В последнее время интерес к данному классу информационных систем возрастает и в энергетике. В работе описывается архитектура системы поддержки принятия решений при управлении ремонтами теплоэнергетического оборудования. Система содержит продукционную базу знаний, которая используется для принятия решений о включении конкретной единицы энергетического оборудования в ремонтную программу. Применение данного математического аппарата позволяет реализовать механизм объяснения принятых решений. Разработан ряд классификаторов, которые позволяют автоматизировать процесс составления ремонтной программы. Для удобства реализована цветовая интерпретация результатов оценивания технического состояния. Показано применение данных классификаторов в составе системы поддержки принятия решений для составления ремонтных программ. Приведено описание ранжирования единиц энергетического оборудования на основе результатов классификации, обеспечивающее качественное формирование ремонтной программы. Описаны методические аспекты применения разработанных классификаторов и системы поддержки принятия решений. Показана роль лица, принимающего решение при эксплуатации разрабатываемой системы поддержки принятия решений.

**Ключевые слова**— система поддержки принятия решений, теплоэнергетическое оборудование, управление ремонтами, классификатор, отказ, нечеткие множества.

## I. ВВЕДЕНИЕ

Разработка систем управления техническим обслуживанием и ремонт (ТОиР) является актуальной задачей, т.к. обуславливает оптимизацию затрат предприятий энергетики на поддержание оборудования в надлежащем техническом состоянии (ТС).

Существуют различные направления исследований и реализации данных систем, однако большинство

практических реализаций относятся к классу систем поддержки принятия решений (СППР) [1]. Например, в работе [2] система поддержки управления ТОиР реализована с использованием технологий многоагентных систем в пакете DISIT (Distributed Intellectual System Integrated Toolkit) [3]. В СППР используются онтологии [4]–[6] как способ представления знаний о предметной области и продукционные правила как для генерации рекомендаций. Часто системы используют интегральные оценки (индексы технического состояния, ИТС) для диагностики ТС [7]. Программные продукты, представленные на рынке [8], также имеют широкий математического обеспечения. Например, ЕАМ-система Optima [9] реализована с использованием искусственных нейронных сетей.

Рассмотрим разработку СППР для теплоэнергетических систем, которая обеспечивает повышение качества принимаемых решений в области планирования мероприятий, обеспечивающих поддержание оборудования в надлежащем ТС.

## II. АРХИТЕКТУРА СППР

Назначение СППР – формирование ранжированных с использованием определенного критерия рекомендаций по включению конкретной единицы оборудования (ЕО) в ремонтную программу (РП) на основе прогноза [10] ее ТС (рекомендации выдаются на уровне высококвалифицированного эксперта в области планирования и организации ремонтов оборудования), обеспечивающих принятие ЛПР решения с требуемой эффективностью.

Роль ЛПР – выбор ранжированных на основе определенного критерия вариантов (ЕО, включение которых целесообразно в РП), предлагаемых в качестве рекомендаций СППР.

Разработанная СППР (рисунок 1) имеет модульную структуру и содержит базу данных (БД) и базу знаний (БЗ).

Статья получена 6 декабря 2022.

И.А. Щербатов, Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (e-mail: ShcherbatovIA@mpei.ru)

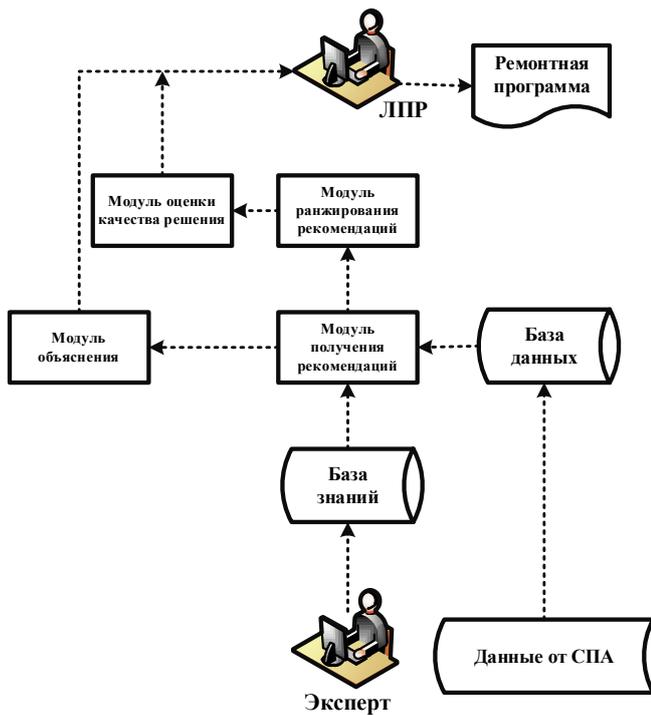


Рис. 1. Структура СППР

Разработанная СППР используется для формирования перечня оборудования, ремонт которого целесообразно провести в ближайшее время. Решение о включении конкретной ЕО в РП принимает ЛПР. В БД содержатся данные, поступающие от соответствующего интерфейсного блока системы предиктивной аналитики (СПА): наименование ЕО, оценивание ТС, которой производится с использованием аппаратного и программного обеспечения СПА; текущее (актуальное) ТС ЕО; прогноз ТС ЕО на определенный промежуток времени, который может запрашиваться ЛПР и равняться, например, времени прогнозируемого отказа или времени ближайшего планового ремонтного мероприятия; другие данные, использование которых повышает качество рекомендаций СППР.

В БЗ содержатся формализованные знания экспертов в области оценки необходимости организации мероприятий по приведению оборудования в надлежащее ТС и организации ремонтов. В БЗ содержатся продукционные правила (нечеткий логический вывод типа Мамдани) и классификаторы, основанные на условных переходах при попадании показателей, характеризующих необходимость организации ремонта, в заданные диапазоны значений. Формирование БЗ, а также ее коррекция производится экспертом (коллективом экспертов).

В «Модуле получения рекомендаций» с использованием формализованных знаний, хранящихся в БЗ, производится вычисление комплексного показателя, значение которого позволяет отнести ЕО к перечню, включаемому в состав РП. Расположение ЕО в порядке возрастания (убывания) значения комплексного показателя обеспечивается соответствующим алгоритмом в «Модуле ранжирования рекомендаций».

«Модуль оценки качества решения» предназначен для автоматического оценивания качества рекомендаций (выданные рекомендации и принятые решения сравниваются в автоматическом режиме и являются основанием для корректирования алгоритмов выработки решений и правил, наполняющих БЗ). В связи с тем, что в основу БЗ положены продукционные правила и условные классификаторы, то процесс объяснения решений, полученных в СППР, становится тривиальным. «Модуль объяснения» раскрывает принятые решения от результата до посылок, которые привели к его получению, реализуя механизм объяснения. Реализация «Ремонтной программы» оказывает управляющее воздействие, позволяет поддерживать ЕО в надлежащем ТС и минимизировать отказы и аварии. Рассмотрим математическое и алгоритмическое обеспечение модулей, входящих в состав СППР.

### III. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СППР

Для обеспечения качества получаемых управляющих решений в СППР реализованы несколько классификаторов:

- простой условный классификатор – использует в качестве критерия для включения ЕО в РП только информацию о прогнозе ее отказа (оборудования является критически важным или, например, отсутствует возможность расчета стоимости ремонта из-за различных объективных причин);
- комплексный условный классификатор – для включения в РП используются два критерия: вероятность отказа единицы оборудования; стоимость проведения ремонтных работ;
- продукционный классификатор – для включения ЕО в РП используются продукционные правила, а решение получается на основе алгоритма нечеткого вывода типа Мамдани.

Пусть существует возможность получения от СПА данных о вероятностях отказа  $n$  элементов объекта энергетики  $Q = \{Q_1, \dots, Q_n\}$  (для каждого элемента может быть установлена верхняя граница  $\bar{Q} = \{\bar{Q}_1, \dots, \bar{Q}_n\}$ , превышение которой требует постановки ЕО в ремонт. Кроме этого, в БД содержится бинарный признак для каждого элемента такой, что  $pr=1$ , если элемент является основным и  $pr=0$  в противном случае. Для всех классификаторов выходные значения  $\Lambda = [-1, 0, 1]$ , где 1 – ЕО следует включить в РП, -1 для случая, когда это делать не целесообразно и 0, когда решение принимает ЛПР.

Тогда простой условный классификатор формализуется правилами вида «Если  $Q \geq \dots$  И  $pr = \dots$ , ТО  $\Lambda = \dots$ » и может быть представлен следующим образом (табл. 1, для удобства будем рассматривать случай, для которого  $\bar{Q}_1 = \bar{Q}_2 = \dots = \bar{Q}_i = \bar{Q}_n = \bar{q} = const$ ). Для визуализации определения ТС ЕО может использоваться

цветовая интерпретация (рисунок 2).

ТАБЛИЦА 1 – ПРОСТОЙ УСЛОВНЫЙ КЛАССИФИКАТОР

№ правила	$Q$	$pr$	$\Lambda$
1	$\geq \bar{q} (1)$	1	1
2	$\geq \bar{q} (1)$	0	0
3	$< \bar{q} (0)$	1	-1
4	$< \bar{q} (0)$	0	-1

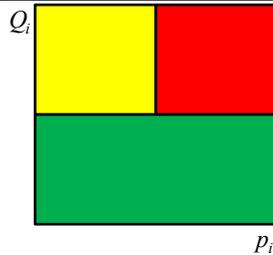


Рис. 2 – Цветовая интерпретация простого условного классификатора

При отказе (аварии) конкретной ЕО следует учитывать финансовые затраты не только непосредственно на ее ремонт, но и ряд совокупных потерь, к которым приводит отказ (авария) [11]. К этим потерям следует прибавить стоимость ремонта оборудования, которое способно отказать в результате функциональной взаимосвязи, а также финансовые потери в результате простоя не только отказавшего оборудования, но и того оборудования, которое не может функционировать без отказавшего. Поэтому при наличии возможности оценить или вычислить указанные потери следует использовать комплексный условный классификатор.

Обозначим  $F = \{F_1, \dots, F_n\}$  множество совокупных финансовых потерь, связанных с выходом из строя ЕО. Нормируем потери, приведя их к интервалу  $[0;1]$  для этого разделим каждое значение из  $\{F\}$  на  $\max(F_i), i = \overline{1, n}$  и получим  $\hat{F} = \{\hat{F}_1, \dots, \hat{F}_n\}$ .

Тогда комплексным критерием, который позволяет определять необходимость вывода в ремонт  $i$ -й ЕО  $\Gamma_i = Q_i + \hat{F}_i$ , где  $\Gamma_i \in [0; 2]$  – комплексный критерий.

Оба показателя (вероятность отказа и совокупные потери) имеют одинаковый вес при определении ЕО, которая будет включена в программу.

Рассмотрим геометрическую интерпретацию этого критерия. На рисунке 3 приведены граничные линии, а также линия, «отсекающая» ЕО, которые могут быть включены в РП (обозначены красным) и которые нецелесообразно в нее включать (обозначены зеленым).

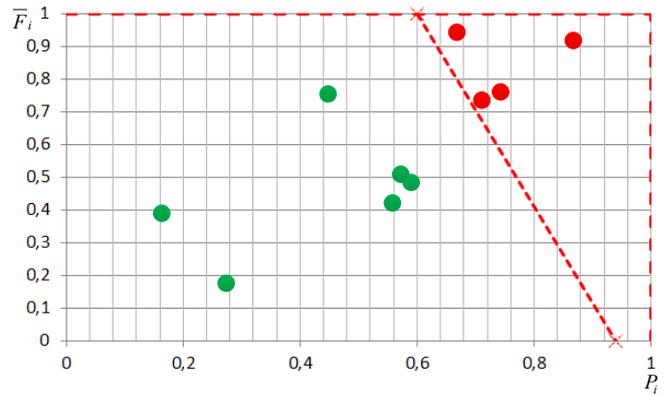


Рис. 3 – Геометрическая интерпретация комплексного критерия

При этом ЛПР осуществляет выбор из предлагаемого ему СППР списка. Для показанного на рисунке 3 примера может быть сформирован «раскрашенный» список ЕО, отсортированных по значению критерия  $\Gamma$  (табл. 2). При этом классификатор имеет вид:

$$\begin{cases} \Lambda_2 = 1, \Gamma_2 \geq \bar{\Gamma}_2 \\ \Lambda_2 = 0, \bar{\Gamma}_2 > \Gamma_2 \geq \underline{\Gamma}_2 \\ \Lambda_2 = -1, \Gamma_2 < \underline{\Gamma}_2 \end{cases}, \quad (1)$$

ТАБЛИЦА 2 – ОТСОРТИРОВАННЫЙ ПО УБЫВАНИЮ  $\Gamma$  ПЕРЕЧЕНЬ ЕО

P	0,8	0,6	0,7	0,4	0,5	0,5	0,1	0,27
F	0,9	0,9	0,7	0,7	0,5	0,4	0,3	0,18
$\Gamma$	1,7	1,6	1,4	1,2	1,0	0,9	0,5	0,45
$\Lambda$	1	1	1	0	0	0	-1	-1

Когда в БЗ присутствуют формализованные знания, которые могут повысить качество управляющих решений, то в этом случае целесообразно использовать продукционные правила вида «ЕСЛИ..., ТО...», а в качестве алгоритма нечеткого вывода алгоритм Мамдани. При этом показатели, задаваемые при таком подходе лингвистические переменные (ЛП): вероятность отказа, показывает, что хотя бы однократно возникнет отказ в пределах заданной для ЕО наработки; ТС, описывающее текущее состояние ЕО; потери, равные величине затрат на устранение последствий отказа ЕО (нормализованные для удобства проведения расчетов).

Для формализации ЛП используются термножества, состоящие из трех термов, а в качестве ФП трапециевидные (т.к. у нее имеется возможность описания «зоны неуверенности» эксперта – верхнее основание). Термножества ЛП: «Вероятность отказа» – «высокая, средняя, низкая»; «Техническое состояние» – «предаварийной, работоспособное, исправное»; «Потери» – «высокие, средние, низкие».

Рассмотрим примеры формализации ЛП и построения продукционного классификатора. Для удобства приведем графики ФП, которые являются более наглядными по сравнению с другими способами представления. Пример для ЛП «Вероятность отказа ЕО» (рисунке 4). Аналогичным образом производится формализация ЛП «Техническое состояние» и «Потери».

Общее число правил равно 27 (охватывает все множество возможных сочетаний термов входных ЛП) и представлено в форме.

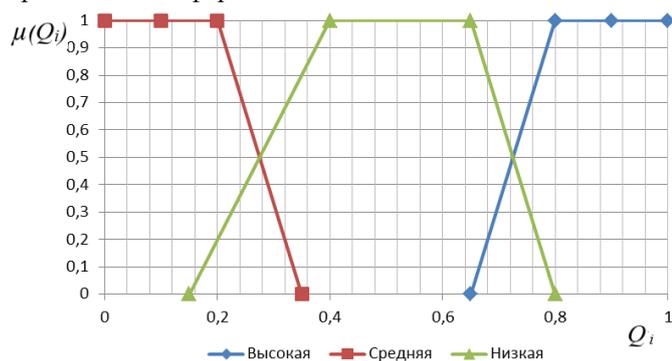


Рис. 4 – Функции принадлежности ЛП «Вероятность отказа»

В производственных правилах используется единственная выходная переменная  $\Gamma$  – приоритет для соответствующей ЕО. Чем больше приведенное к четкости значение  $\Gamma$ , которое содержится в интервале  $[0; 1]$ , тем выше целесообразность включения ЕО в РП.

Нечеткая модель может быть использована, т.к. выполнены условия прозрачности [12]: БЗ не содержит правил с одинаковыми антецедентами; каждый терм используется хотя бы в одном правиле; нечеткие множества являются нормальными; используемые термножества однозначно содержательно интерпретируются.

#### IV. РАНЖИРОВАНИЕ РЕКОМЕНДАЦИЙ

На основе значений, принимаемых классификаторами, ЛПР принимает решение о включении конкретной ЕО в РП. Для всех ЕО может быть получена стоимость ремонта.

В этом случае для ранжирования могут применяться два способа: по возрастанию, когда ЕО размещаются по увеличению стоимости ремонта; по убыванию, когда ранжирование производится по уменьшению величины стоимости ремонта. Полученный таким образом ранжированный список ЕО является основой для включения в РП. Таким образом, критерий ранжирования – затраты на ремонт ЕО.

Оценка качества рекомендаций (решений) синтезируемых ЛПР необходима для проверки целесообразности ее применения в системе организации ремонтов. Производится данная оценка может с использованием следующих стратегий:

- на основе ретроспективных данных, которые собраны до внедрения СППР;
- с учителем, когда решения, полученные СППР, предъявляются эксперту (коллективу экспертов);
- по результатам применения, когда оценивается ТС и надежность ЕО через определенный интервал времени, прошедший после реализации рекомендаций СППР.

При этом СППР может внедряться на предприятии энергетики, где функционируют ИС, способные стать

источником данных для работы синтезированных алгоритмов. Проверка этих алгоритмов и оценка качества получаемых решений (рекомендаций) может выполняться на основе имеющихся ретроспективных данных. Полученные решения сравниваются с теми, которые фактически реализованы на предприятии энергетики при формировании ремонтной программы. Результаты проведения такого исследования являются дополнительным фактором при принятии решения о целесообразности внедрения СППР или ее тиражирования и масштабирования по результатам пилотной эксплуатации на объекте энергетики. Критерием качества в этом случае является экспертная оценка рекомендаций СППР в сравнении с реализованной ремонтной программой, выданной группой экспертов, сформированной при непосредственном участии предприятия, на котором внедряется СППР. Вышеописанная стратегия является наиболее предпочтительной, т.к. качество решений проверяется без вмешательства в текущие процессы и без изменения сложившейся на предприятии энергетики системы организации ремонтов и поддержания оборудования в надлежащем техническом состоянии.

Вторая стратегия оценки качества синтезируемых решений – использование коллектива экспертов («учителя») в режиме пилотного внедрения, когда СППР и СПА как источник требуемых данных, впервые начинают применяться на предприятии энергетики. В результате оценки качества либо принимается решение о том, что выдаваемые рекомендации могут использоваться для формирования РП на предприятии энергетики, либо являются основанием, например, для корректировки заложенных в систему правил и ограничений, накладываемых на классификаторы, используемые СППР. Отчетная документация, фиксирующая процедурные аспекты использования СППР и оценки качества синтезируемых ею решений, является основанием для принятия решения о целесообразности полноценного внедрения СППР.

Наконец, третья стратегия – оценка качества синтезируемых решений после окончания конкретного интервала времени (по результатам применения), позволяющая отследить влияние реализации полученной с использованием СППР РП на ТС и надежность оборудования. Результаты использования этой стратегии не могут являться основанием для внедрения в связи с тем, что фактически они получены после начала полноценной эксплуатации СППР. Поэтому рассмотренная стратегия применима только на этапе функционирования для коррекции правил и классификаторов с целью повышения качества синтезируемых рекомендаций по формированию РП.

#### V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В РП включаются только те ЕО, которые на основе анализа текущего ТС или его прогнозирования на конкретный момент времени (не превышает время

реализации мероприятий в рамках ремонтной программы) могут отказать.

Полученный в результате ранжирования перечень является базовым для формирования ремонтной программы. Для этого каждой ЕО должна быть поставлена в соответствие стоимость проведения ремонтных работ.

Ранжированный (по заданным используемым в разработанной СППР критериям) перечень ЕО представляется нумерованным списком, в котором указываются стоимости их ремонтов. При этом на бюджет РП наложено ограничение по объему. Это означает, что не получится отремонтировать все оборудование, попавшее в список, полученный с использованием СППР. При наличии подобного рода ограничений существует два основных подхода формирования окончательного вида РП.

При первом способе в РП входят только те ЕО, суммарная стоимость ремонта которых не превышает величины имеющегося объема финансовых средств на проведение ремонтов. При использовании этого подхода из процесса формирования РП исключается ЛПР, который только утверждает к исполнению полученную СППР РП.

Второй способ отличается тем, что в процессе формирования РП участвует ЛПР. Это означает, что из сформированного СППР перечня оборудования для включения в РП могут быть убраны или добавлены конкретные ЕО и решение об этом принимает ЛПР. Однако для этого в руководящей рабочей документации ЛПР должны быть четко прописаны основания для внесения соответствующих изменения в сформированную СППР РП.

Предложенная архитектура реализована в прототипе системы поддержки принятия решений, который в настоящее время проходит апробацию и регистрацию в Федеральном институте промышленной собственности.

#### БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Protalinskiy O., Andryushin A., Shcherbatov I., Khanova A., Urazaliev N. Strategic decision support in the process of manufacturing systems management. Proceedings of 2018 11th International Conference "Management of Large-Scale System Development", MLSD 2018, 2018. – pp. 8551760.
- [2] Сергушичева М.А., Швецов А.Н. Иерархическая распределенная система поддержки управления техническим обслуживанием и ремонтом энергооборудования // Информационные технологии в проектировании и производстве: Науч.-техн. журн. / ФГУП «ВИМИ», 2009. – №3. – С. 14-19.
- [3] Загорюлько Ю.А., Ануреев И.А., Загорюлько Г.Б. Подход к разработке системы поддержки принятия решений на примере нефтегазодобывающего предприятия // Известия Томского политехнического университета, 2010. – Т. 316. – № 5. С. 127-131.
- [4] Проталинский О.М., Ханова А.А., Щербатов И.А., Проталинский И.О., Кладов О.Н., Уразалиев Н.С., Степанов П.В. Онтология процесса управления ремонтами в электросетевой компании // Вестник МЭИ, 2018. – № 6. – С. 110-119.
- [5] Массель Л.В., Ворожцова Т.Н., Пяткова Н.И. Онтологический инжиниринг для поддержки принятия стратегических решений в энергетике // Онтология проектирования, 2017. – Т. 7. – № 1 (23). – С. 66-76.
- [6] Пахтусов С.В., Евдакимов И.И., Аврамов М.В. и др. Экспертная система диагностики неисправностей газоперекачивающих

- агрегатов на компрессорных станциях // Интеллектуальные системы в производстве, 2017. – Т. 15. – № 1. – С. 20-25.
- [7] Гаврилюк Е.А., Маслов А.О., Пярин А.Р. Метод поддержки принятия решений при управлении диагностированием, техническим обслуживанием и ремонтом оборудования на примере систем контроля вибрации газоперекачивающих агрегатов // Газовая промышленность, 2018. – №3 (773) – С. 114-125.
- [8] Системы управления техническим обслуживанием и ремонтом (СУ ТОиР). URL: <https://soware.ru/categories/maintenance-management-systems> (дата обращения: 27.11.2022).
- [9] Проталинский О.М., Проталинская Ю.О., Проталинский И.О., Щербатов И.А., Кладов О.Н. Система управления производственными активами предприятий энергетики EAM Optima // Автоматизация и ИТ в энергетике, 2018. – № 9 (110). – С. 24-26.
- [10] Проталинский О.М., Щербатов И.А., Ханова А.А., Проталинский И.О. Адаптивная система прогнозирования надежности технологического оборудования объектов энергетики // Информатика и системы управления, 2019. – № 1 (59). – С. 93-105.
- [11] Voropai R., Shcherbatov I., Agibalov V., Belov M. Repair program formation on the basis of the technical condition classifiers // Studies in Systems, Decision and Control, 2021. – Т. 342. – pp. 107-116.
- [12] Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. — М. : Горячая линия. — Телеком, 2007. — 288 с.

# Decision support system for managing repairs of thermal power equipment

I.A. Shcherbatov

**Annotation** — Decision support systems in the management of maintenance and repair of complex technical systems equipment are an effective tool for optimizing the costs of enterprises and organizations operating them. Recently, interest in this class of information systems has been growing in the energy sector as well. The paper describes the architecture of the decision support system in the management of repairs of thermal power equipment. The system contains a production knowledge base, which is used to make decisions on the inclusion of a specific unit of power equipment in the repair program. The use of this mathematical apparatus makes it possible to implement a mechanism for explaining the decisions made. A number of classifiers have been developed that allow you to automate the process of compiling a repair program. For convenience, a color interpretation of the results of the evaluation of the technical condition has been implemented. The use of these classifiers as part of a decision support system for compiling repair programs is shown. The description of the ranking of units of power equipment based on the results of the classification, which ensures the qualitative formation of the repair program, is given. The methodological aspects of the application of the developed classifiers and the decision support system are described. The role of the decision maker in the operation of the developed decision support system is shown.

**Keywords**— decision support system, thermal power equipment, repair management, classifier, failure, fuzzy sets.

## REFERENCES

- [1] Protalinskiy O., Andryushin A., Shcherbatov I., Khanova A., Urazaliev N. Strategic decision support in the process of manufacturing systems management. Proceedings of 2018 11th International Conference "Management of Large-Scale System Development", MLSD 2018, 2018. – pp. 8551760.
- [2] Sergushicheva M.A., SHvecov A.N. Ierarhicheskaya raspredelennaya sistema podderzhki upravleniya tekhnicheskim obsluzhivaniem i remontom energooborudovaniya // Informacionnye tekhnologii v proektirovanii i proizvodstve: Nauch.-tekhn. zhurn. / FGUP «VIML», 2009. – №3. – S. 14-19.
- [3] Zagorul'ko YU.A., Anureev I.A., Zagorul'ko G.B. Podhod k razrabotke sistemy podderzhki prinyatiya reshenij na primere neftegazodobyvayushchego predpriyatiya // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2010. – T. 316. – № 5. S. 127-131.
- [4] Protalinskiy O.M., Hanova A.A., SHCHerbatov I.A., Protalinskiy I.O., Kladov O.N., Urazaliev N.S., Stepanov P.V. Ontologiya processa upravleniya remontami v elektrosetevoj kompanii // Vestnik MEI, 2018. – № 6. – S. 110-119.
- [5] Massel' L.V., Vorozhцова T.N., Pyatkova N.I. Ontologicheskij inzhiniring dlya podderzhki prinyatiya strategicheskikh reshenij v energetike // Ontologiya proektirovaniya, 2017. – T. 7. – № 1 (23). – S. 66-76.
- [6] Pahtusov S.V., Evdakimov I.I., Avramov M.V. i dr. Ekspertnaya sistema diagnostiki neispravnostej gazoperekachivayushchih agregatov na kompressornyh stanciyah // Intellektual'nye sistemy v proizvodstve, 2017. – T. 15. – № 1. – S. 20-25.
- [7] Gavrilyuk E.A., Maslov A.O., Pyarin A.R. Metod podderzhki prinyatiya reshenij pri upravlenii diagnostirovaniiem, tekhnicheskim obsluzhivaniem i remontom oborudovaniya na primere sistem kontrolya vibracii gazoperekachivayushchih agregatov // Gazovaya promyshlennost', 2018. – №3 (773) – S. 114-125.
- [8] Sistemy upravleniya tekhnicheskim obsluzhivaniem i remontom (SU TOiR). URL: <https://soware.ru/categories/maintenance-management-systems> (date: 27.11.2022).
- [9] Protalinskiy O.M., Protalinskaya YU.O., Protalinskiy I.O., SHCHerbatov I.A., Kladov O.N. Sistema upravleniya proizvodstvennymi aktivami predpriyatij energetiki EAM Optima // Avtomatizaciya i IT v energetike, 2018. – № 9 (110). – S. 24-26.
- [10] Protalinskiy O.M., SHCHerbatov I.A., Hanova A.A., Protalinskiy I.O. Adaptivnaya sistema prognozirovaniya nadezhnosti tekhnologicheskogo oborudovaniya ob"ektov energetiki // Informatika i sistemy upravleniya, 2019. – № 1 (59). – S. 93-105.
- [11] Voropai R., Shcherbatov I., Agibalov V., Belov M. Repair program formation on the basis of the technical condition classifiers // Studies in Systems, Decision and Control, 2021. – T. 342. – pp. 107-116.
- [12] Shtovba S.D. Designing fuzzy systems using MATLAB. — M. : Goryachaya liniya. — Telekom, 2007. — 288 p.