
ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ, МЕХАНИЗАЦИИ И КОМПЬЮТЕРИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ЛИТЬЯ

УДК 681.518.5; 004.891

П. В. Русаков

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ЭКСПЕРТНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЛИТЕЙНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ФОРМОВКИ

Рассмотрены проблемы обеспечения надежности литейно-технологических систем низкотемпературной формовки. Показан метод экспертной оценки надежности путем декомпозиции технологических систем на составляющие объекты. Работа ориентирована на обеспечение надежности систем в условиях компьютеризации литейного производства.

Ключевые слова: низкотемпературная формовка, надежность, экспертный анализ, литейно-технологическая система, автоматическое управление, техническая диагностика.

Розглянуто проблеми забезпечення надійності ливарно-технологічних систем низькотемпературної формовки. Показано метод експертної оцінки надійності шляхом декомпозиції технологічних систем на складові об'єкти. Робота орієнтована на забезпечення надійності систем в умовах комп'ютеризації ливарного виробництва.

Ключові слова: низькотемпературна формовка, надійність, експертний аналіз, ливарно-технологічна система, автоматичне керування, технічна діагностика.

The article deals with the problem of ensuring the reliability of foundry technology systems low temperature molding. Considered the method of evaluating the reliability of expert technological systems by decomposition into constituent objects. Work is focused on ensuring the reliability of systems in terms of computerization foundry.

Keywords: low-temperature molding, reliable, expert analysis, foundry technology system, automatic control, technical diagnostics.

Низкотемпературная формовка экологически целесообразна для изготовления стержней и литейных форм методом замораживания. Она может также принести наибольший экономический эффект при производстве ответственных отливок категорий КП4, КП5, КП6 [1]. Сущность данной технологии состоит в придании формовочной смеси, используемой для изготовления стержней и форм, харак-

тера необратимого перехода системы из текучего жидкообразного состояния в твердую фазу, то есть отвердения заготовок путем замораживания [2, 3]. Для этих целей используют специальное оборудование, которое структурно объединяют в литейно-технологические системы низкотемпературной формовки [4, 5]. К литейно-технологическим системам и комплексам низкотемпературной формовки предъявляют повышенные требования надежности, что, в первую очередь, связано с взаимодействием низкотемпературной формы с высокотемпературным жидким расплавом в процессе литья и формирования отливки. Так, для поддержания надежности систем низкотемпературного формообразования проводят мониторинг и контроль свойств формовочной смеси на стадии смесеприготовления. Данное требование является обязательным для получения качественной низкотемпературной литейной формы и, соответственно, высококачественных отливок.

В то же время проблемы надежности литейно-технологических систем (ЛТС) низкотемпературной формовки охватывают достаточно широкий круг вопросов, касающихся эффективности экспертных систем контроля надежности машин, процессов и аппаратов, которые требуют дальнейшего изучения [6].

Анализируя экспертные системы надежности технологического оборудования и их функционирование в действующих литейных комплексах, можно отметить, что задачи экспертизы в них сводятся к контролю надежности технической системы с учетом деятельности операторов или анализу своевременности (надежности) выполнения людьми процедурных работ по достижению заданной цели.

Для ЛТС большее значение имеет первая постановка задачи. Практические разработки и опыт применения экспертных систем свидетельствуют также о том, что важнейшей проблемой является надежность сложных управляющих программ, работающих в реальном масштабе времени. Можно говорить о надежности программ как об их свойстве выполнять требования в течение определенного интервала времени в реальных условиях эксплуатации. Однако из-за наличия скрытых ошибок в программах могут возникать аварийные ситуации и сбои в технологии низкотемпературной формовки.

Надо также отметить, что первичный анализ надежности ЛТС целесообразно проводить дифференциально по следующим отдельно рассматриваемым группам:

- технической системы;
- системы «человек и техника» как надежность технической системы с учетом деятельности операторов;
- алгоритмов (планов систем работ);
- управляющих программ.

Полученный вектор значений показателей надежности может быть использован непосредственно для суждения о надежности всей автоматизированной ЛТС или применен в качестве входных данных для оценки средних потерь, которые косвенно характеризуют надежность системы.

При разработке метода исследования надежности технических средств необходимо также учитывать, что современные ЛТС разрабатываются обычно для конкретной организации, то есть системы являются уникальными проблемно ориентированными. В то же время элементы технических средств в большинстве случаев являются серийными.

Основное проявление ненадежности – выход элементов системы из строя, приводящие в итоге к отказу работы всей ЛТС. Эффективным способом профилактики отказов является инженерно-технический анализ работы системы, который повышает надежность своевременным выявлением признаков и устанавливает характер отказов. Изучение причин возникновения отказов и исследование влияния отказов отдельных элементов и аппаратов на отказ ЛТС может кроме существенного повышения надежности также увеличить экологическую безопасность технологической системы в целом.

С ростом количества элементов, которые должны своевременно анализироваться и находиться под контролем человека, возрастает вероятность совершения ошибки обслуживающим персоналом. Для снижения роли человеческого фактора в обеспечении надежности низкотемпературной формовки необходима система экспертной оценки и проверки действий лиц, принимающих решения, которые находятся под управлением контроллеров и процессорных систем.

На начальном этапе разработки модели также предпочитают выпуск показательной версии экспертной системы (ЭС) с минимальным содержанием знаний в базах и небольшим количеством производционных правил. В дальнейшем проведение последовательной модернизации начальной версии позволит функционально обеспечивать возможность контроля надежности отдельно взятых узлов и элементов ЛТС.

Развитие начальной версии также предполагает переход на уровень накопления специализированных знаний по процессам производства и формированию в ЭС искусственного интеллекта.

На рис. 1 приведена семантическая структура факторов обеспечения надежности ЛТС низкотемпературной формовки. Как видно из представленной схемы, надежность процесса получения качественных отливок в низкотемпературных литейных формах определяется и зависит от множества эксплуатационных, технических и технологических факторов.

Эксплуатационные факторы, определяющие надежность процесса низкотемпературной формовки, связаны с условиями производства, но это не исключает их зависимость от воздействия параметров окружающей среды, в частности, радиации, электромагнитных полей и т. п. К эксплуатационным факторам относятся вибрационные перегрузки, действие электрического тока и электромагнитного поля, влияние на полупроводниковые компоненты машин радиации, гравитационных сил, температуры. Аппараты, входящие в состав ЛТС, в условиях повышенной агрессивности окружающей среды защищают от протекания процессов коррозии разрушающие детали и узлы технологических аппаратов. Исследуя особенности эксплуатации индукционных печей открытого типа, входящих в состав ЛТС, можно отметить, что на флуктуацию параметров надежности процессов приготовления расплава влияет определенная группа эксплуатационных факторов: охлаждение печи, вибрация катушек индуктора, эрозионное разрушение футеровки, излучение электромагнитного поля в окрестности плавильной печи, тепловые излучения в окружающую среду.

Эксплуатационные вибрационные перегрузки могут быть причиной снижения надежности ЛТС и в процессах вибрационного уплотнения песчаной формовочной смеси при изготовлении литейных форм [7]. Так, при отработке оптимальных режимов вибрационной формовки установили, что в переходных режимах вибрационного нагружения могут возникать высокие деформации элементов литейной формы, вызванные вибрацией формовочной машины. Проведенные эксперименты подтвердили предположение о том, что деформации литейной формы, в первую очередь, вызваны резонансными колебаниями модели, расположенной внутри опочного пространства. Результаты опытов были также подтверждены исследованиями напряженно-деформированного состояния (НДС) в нестационарных режимах вибронгружения литейной формы.

Рассматривая группу технических факторов надежности ЛТС, можно отметить, что они определяются конструктивными особенностями аппаратов, входящих в состав технологической системы низкотемпературной формовки, включают, в первую очередь, средства диагностики функционирования узлов и агрегатов.

К техническим факторам относятся:

- структура системы диагностирования ЛТС и номенклатура ее рабочих режимов;
- способы резервирования элементов, блоков, устройств;

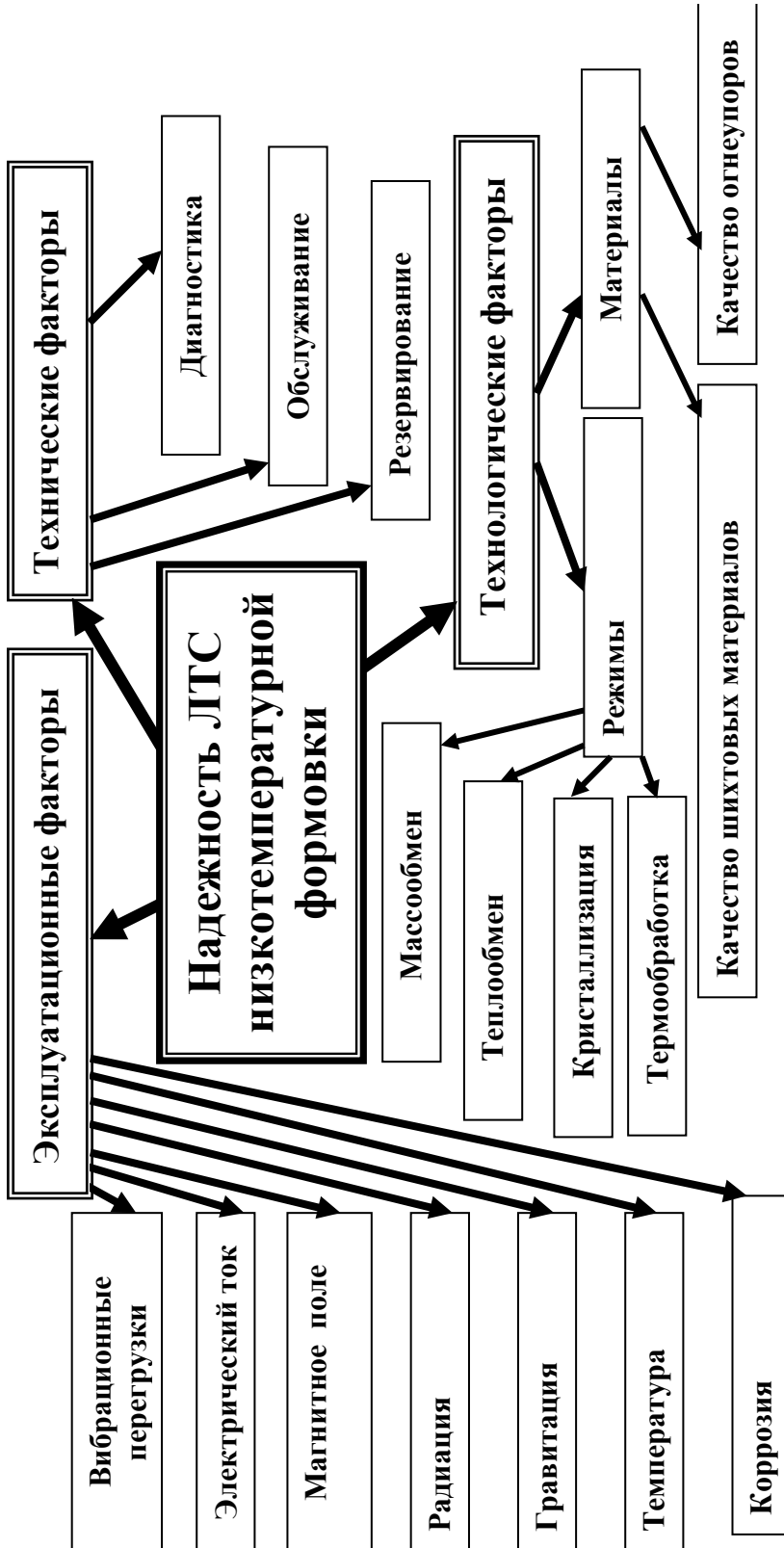


Рис. 1. Семантическая структура факторов обеспечения надежности литейно-технологической системы низкотемпературной формовки

- способы контроля и восстановления работоспособности ЛТС;
- технические характеристики комплектующих элементов;
- способы защиты от неблагоприятных воздействий (заземление машин и аппаратов, вентиляция, экранирование, теплозащита и т. д.);
- качество алгоритмического описания технологического процесса обработки данных и выработки управленческих решений (качество информационной технологии).

Кроме того, на показатели надежности влияет уровень технического обслуживания, если невозможно повысить надежность иным способом.

Еще одной важной группой для обобщения знаний по способам обеспечения надежности при построении экспертных систем является совокупность технологических факторов. Комплексный анализ ЛТС низкотемпературной формовки показывает, что данная группа включает ряд (см. рис. 1.) таких факторов, как качество подготовки формовочных материалов, предварительную очистку и охлаждение, организацию оптимальных технологических режимов, которые, в свою очередь, создают благоприятные условия для тепло- и массообмена, кристаллизации, термообработки и т. д.

На основании анализа результатов теоретических и экспериментальных исследований были выделены технологические факторы, влияющие в значительной степени на прочность и надежность низкотемпературной литейной формы: качество формовочного песка; отношение песок – вода; объем воздухововлечения; режим перемешивания и увлажнения песчаного наполнителя; степень уплотнения и режим низкотемпературной обработки. Необходимо дополнительно отметить, что в процессе перемещения опок показатели НДС низкотемпературной литейной формы также оказывают воздействие на прочностные свойства модели, ее положение и изменение размерной точности. Вышеперечисленные параметры влияют практически только на прочность, но они не изучены в достаточной степени как факторы, влияющие на процесс образования и развития трещин.

Следует отметить, что оценка состояния и диагностика любых объектов опираются на соответствующую их классификацию. Например, в основу разработки экспертной программы идентификации и оценки состояния литейных форм «Диагностика уплотнения» положены принципы определения изменения объема пористого пространства в формовочной смеси на стадии ее уплотнения [8-10].

Рассмотрим алгоритм процесса диагностирования ЛТС низкотемпературной формовки на примере структурно-логической схемы, показанной на рис. 2. Основная задача диагностирования в процессе функционирования ЛТС – определение технического состояния аппаратов и машин, а также прогнозирование дальнейших изменений их состояний. Это позволяет управлять техническим состоянием машин. Существует достаточное множество объективных и субъективных причин, способных повлиять на изменение технического состояния машин и аппаратов низкотемпературной формовки. Как видно на рис. 2, наиболее важными из них являются такие, как ошибка оператора; отключение подачи электрической энергии; отсутствие материалов; неисправность контрольно-измерительных приборов (КИП).

Предварительное диагностирование ЛТС и ее составных частей по признакам функционирования системы (шум, вибрация и т. п.) позволяет установить характер работы отдельных узлов системы и по собранной информации определить причины возникающих отказов. Модуль диагностирования является наиболее востребованным информационно-техническим звеном и указывает на возможные причины неправильного функционирования и отказов ЛТС по результатам наблюдений. Данный модуль связан с подсистемой сбора информации о неисправностях, с их классификацией и сопоставлением с гипотезами появления отказов.

Процесс диагностирования устанавливает характер отказа, затем составляется

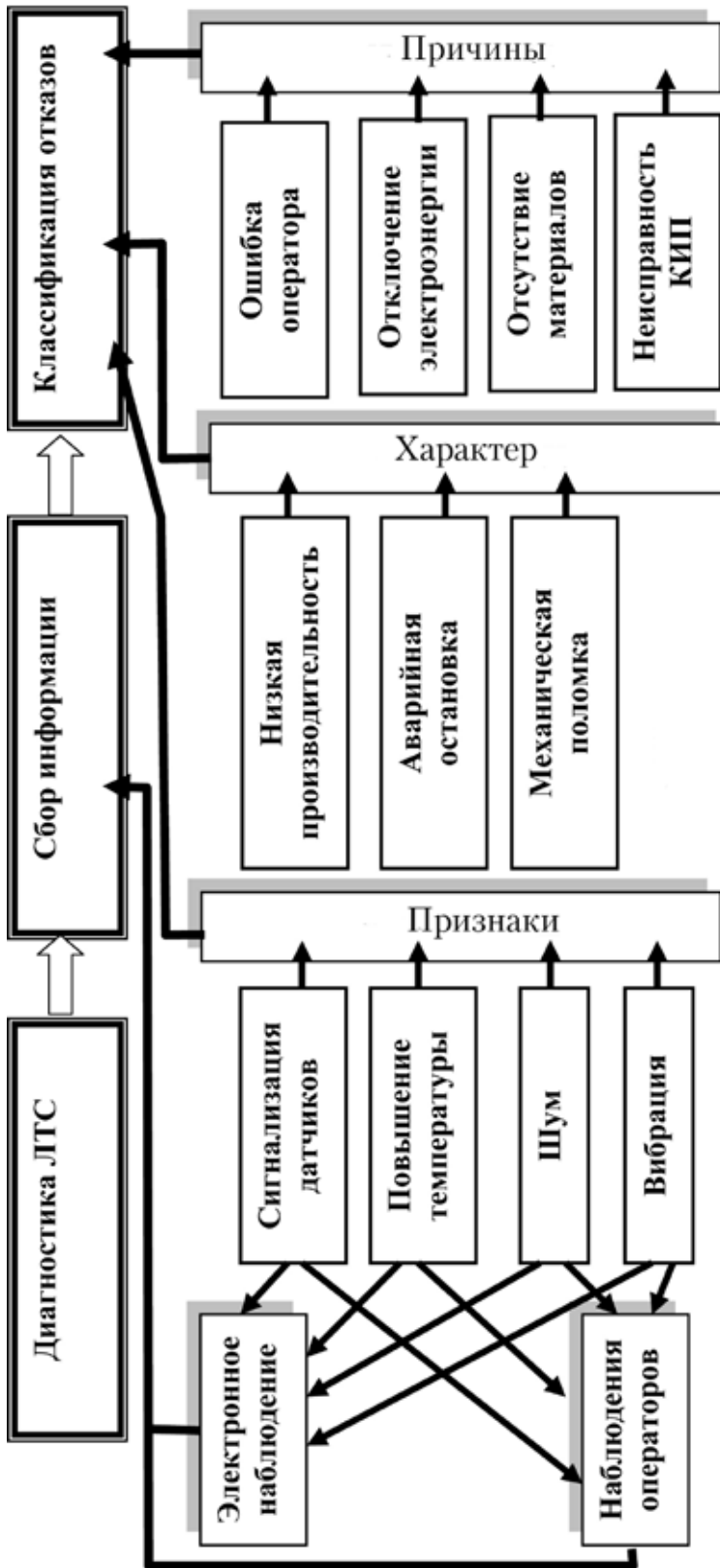


Рис. 2. Структурно-логическая схема диагностики отказов ЛТС низкотемпературной формовки

нормализованная задача для решения вводной из определенных областей: технической и технологической. Далее выявляется причина возникновения отказа, которую разделяют в процентном соотношении. Например, причины, связанные расчетно-конструкторскими ошибками составляют, в %: 45, производственные ошибки – 35, эксплуатационно-технологические отказы – 20. Экспертная система должна также выявлять неточность сопряжений и взаимодействий элементов при проектировании по допустимому проценту несоответствий качества элементов при изготовлении и технологическому режиму эксплуатации агрегатов и машин, взаимодействующих в линии низкотемпературной формовки.

В технологических приемах обеспечения надежности наибольшее внимание уделяют системотехническому анализу технологической схемы и процессам, которые устанавливают основные параметры, определяющие надежность ЛТС.

Из определения надежности – вероятность отказа при изменении параметров (поломка в экстремальной ситуации) – вытекает основной признак классификации отказов как случайных событий изменения основного параметра объекта в преддверии возникновения отказа. Здесь в первоначальном варианте рассматривается только внезапный отказ. Далее к рассмотрению необходимо принять причинно-следственные взаимосвязи между отказами (первичные и вторичные) и учитывать изменение вероятности появления отказа (независимые, зависимые отказы). Последнюю группу отказов можно характеризовать как вторую ступень надежности: надежность экспертной системы управления надежностью.

Дальнейшие этапы связаны с выделением из действующих технологических параметров (продолжительность, расход, температура, давление и т. п.) изменяющихся параметров, которые играют определяющую роль. Продолжительность не имеет второй производной и на начальном этапе исключается из параметров, влияющих на надежность. При разработке методологии построения экспертной системы необходимо определить долговечность как продолжительность работы без отказов от ввода в эксплуатацию ЛТС до ее первого отказа. Последующее совершенствование экспертной системы, учитывающей долговечность, должно включать переменную времени, которую на первом этапе развития системы достаточно рассматривать только как сопровождающий литейные процессы параметр.

В качестве примера рассмотрим процесс разработки модели экспертной системы для управления производством отливок в низкотемпературных формах по одноразовым моделям. Для системного моделирования использовали метод структурной декомпозиции (рис. 3). ЛТС включает машинные аппараты, которые по мере увеличения количества элементов и, соответственно, снижения надежности можно расположить в определенном технологическом порядке: модельный автомат → холодильная формовочная машина → плавильный агрегат → разливочный дозатор → литейная форма → установка для термообработки. Кроме того, необходимо учитывать, что надежность ЛТС зависит от надежности контрольно-измерительных приборов и автоматики, а также общецеховых вспомогательных систем и приводов, влияющих на надежность всей системы в целом. Далее определяется количественный показатель надежности каждого элемента и вычисляется надежность ЛТС в целом. При этом не исключается возможность, что при соединении нескольких элементов надежность технологической системы будет превышать надежность отдельно взятого элемента. Поэтому при разработке начальной версии экспертной системы по информации, введенной в базу, на основании производственных правил и методик расчета предварительно определяют соотношение надежностей агрегатов. По полученным результатам вырабатывают метод решения проблемы. В зависимости от результатов расчетов это может быть необходимое упрощение системы (уменьшение количества элементов) или добавление элементов для компенсации изменения параметров.

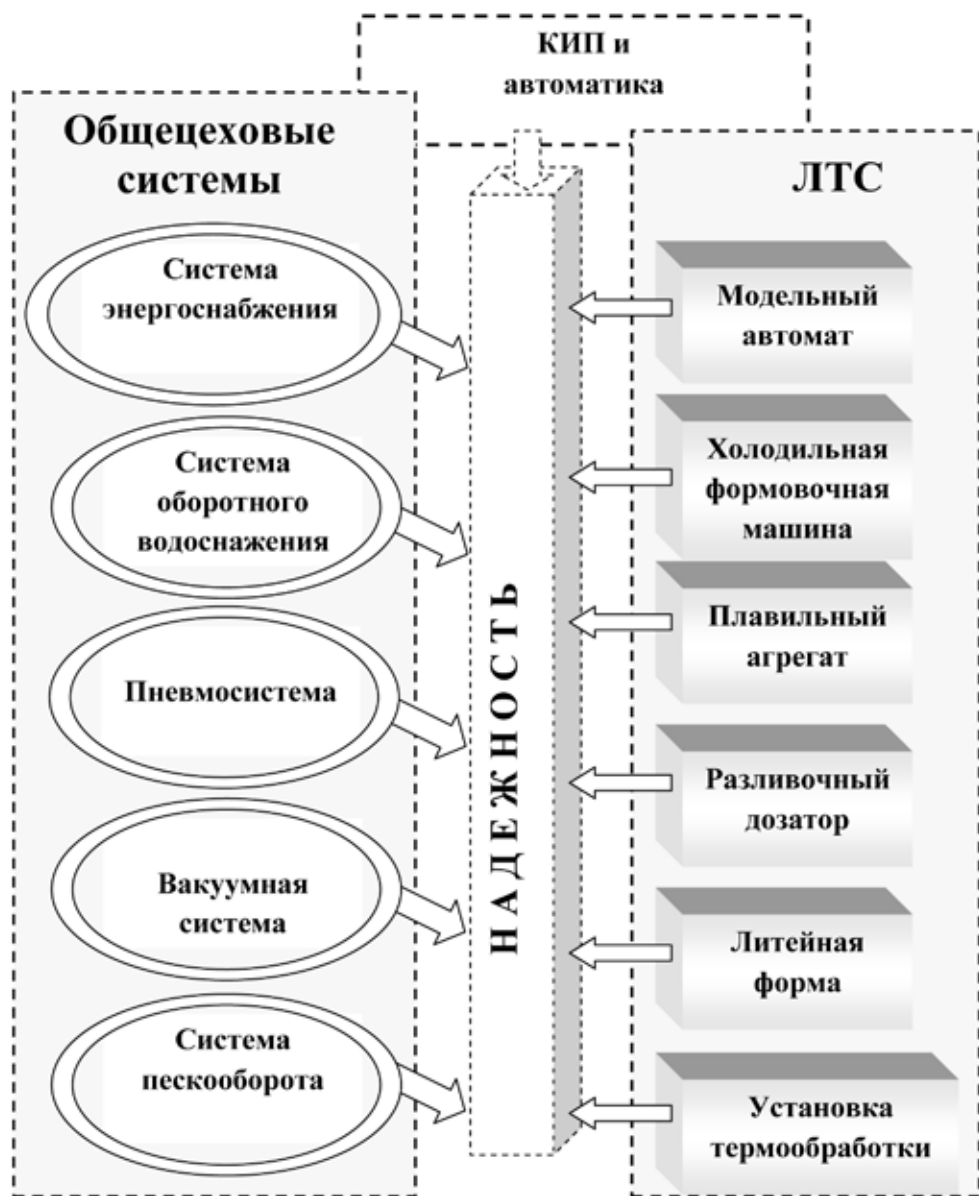


Рис. 3. Структурная схема экспертной оценки параметров оборудования ЛТС "Декомпозиция надежности"

Выводы

Проблема надежности литейного оборудования и технологических систем по-прежнему является наиболее важной и привлекает внимание. Благодаря развитию экспертных систем повысился интерес к работам по надежности систем "человек и техника". Такие исследования особенно важны для обеспечения безопасности функционирования литейных автоматизированных смесеприготовительных и формовочных участков. Литейно-технологическая система низкотемпературной формовки, концептуальная основа которой показана в этой работе, ориентирована преимущественно на обеспечение надежности всего комплекса литейного оборудования в условиях компьютеризации литейного производства.



Список литературы

1. Русаков П. В., Шинский В. О. Вопросы структурирования и формализации знаний в экспертных литейно-технологических системах // Процессы литья. – 2014. – № 2. – С. 68-74.
2. Пат. JPS59166343 (A) Япония, МПК В22С9/00. Production of Casting Mold // Kaj Toshio, Sakai Riyuichi. – 1983.
3. Шинский О. И., Краснощеков М. М. Прочность замороженных форм // Процессы литья. – 1993. – № 3. – С. 82-87.
4. Русаков П. В. Литейно-технологические системы с отображением образов энергосилового воздействия // Там же. – 2009. – № 6. – С. 43-49.
5. Русаков П. В. Некоторые общие принципы дуального управления процессом виброформовки // Там же. – 2010. – № 4. – С. 36-45.
6. Vazovsky I. Reliability Theory and Practice // Dover, 2004 – 292 p.
7. Русаков П. В., Бабюк В. Д., Жидков Е. А. Напряженно-деформированное состояние контейнерной формы в условиях виброформовки // Процессы литья. – 2011. – № 4. – С. 13-24.
8. Русаков П. В., Шинский О. И. Способ вибро-газодинамической формовки с идентификацией параметров уплотнения формовочной смеси // Там же. – 2014. – № 1. – С. 55-61.
9. Пат. 76256 України, МПК В22С9/00. Установка для формування ливарних форм / В. Л. Найдек, О. Й. Шинський, П. В. Русаков. – Опубл. 25.12.2012, Бюл. 24.
10. Пат. 75527 України, МПК В22С9/00. Спосіб формування насипних ливарних форм / В. Л. Найдек, О. Й. Шинський, П. В. Русаков. – Опубл. 10.12.2012, Бюл. № 23.

Поступила 27.03.2014

Вниманию авторов!

Статьи, поступающие в редакцию, должны иметь аннотации и ключевые слова на русском, украинском и английском языках. Объем статьи — не более **10 стр.**, рисунков — не более **5**.

Статьи подаются как на бумажном, так и электронном носителях. Для текстовых материалов желательно использовать формат **doc**. Для графических материалов — формат **jpeg**. Графические материалы необходимо сохранять в отдельных файлах. Фотографии, рисунки, графики и чертежи должны быть черно-белыми, четкими и контрастными.

Статьи в редакции проходят научное рецензирование.