Журнал выходит при информационной поддержке АМО ЗИЛ, ОАО "КАМАЗ", ОАО "МАЗ", ОАО "МЗКТ", АЗ "Урал"

Учредитель
ООО "Издательство Машиностроение"

Зам. главного редактора
И. А. Хороманская

Редакционный совет

Д. Х. Валеев
М. С. Высоцкий
В. А. Зорин
Н. А. Иващенко
Л. Г. Красневский
В. В. Корсаков
А. С. Кузнецов
В. Г. Мазепа
В. А. Марков
В. Ф. Платонов
Г. Н. Рейзина
Е. Л. Рыбин
Г. А. Синеговский
А. Ф. Синельников
В. С. Устименко
Х. А. Фасхиев

Корпункты:
в Республике Беларусь
(г. Минск), Я. Е. Карповский
Тел.: (10-375-17), 246-10-33, 217-90-38
в Украине (г. Харьков),
В. Г. Дьяченко
Тел. (10-380-572) 707-68-48

Адрес редакции
107076, Москва, Стромынский пер., 4
Тел. (499) 269-49-97
E-mail: grouzovik@mashin.ru
http://www.mashin.ru

Адрес издательства
107076, Москва, Стромынский пер., 4
Тел. (499) 268-38-58

Подписной индекс:
по каталогу "Роспечать" 72145,
по объединенному каталогу
"Пресса России" 41302,
по каталогу "Почта России" 60262

© ООО "Издательство Машиностроение", "Грузовик", 2010

Перепечатка материалов из журнала "Грузовик" возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией журнала. При перепечатке материалов ссылка на журнал "Грузовик" обязательна.

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

Грузовик
с приложением

Ежемесячный научно-технический и производственный журнал

В номере

Конструкция

2 *Чернов А. Е., Сугробов А. М.* Интеллектуальные системы электроснабжения автотранспортных средств

Эксплуатация. Ремонт

5 *Максименко А. Н., Лесковец И. В., Кутузов В. В., Бездников Д. В., Федосов Н. Н., Сентюров В. В.* Повышение работоспособности гидропривода строительных и дорожных машин при внедрении агрегатного метода ремонта и диагностики

Проектирование

12 *Чичко А. Н., Соболев В. Ф., Захарик А. М., Лихоузов С. Г., Чичко О. И.* Численные методы и белорусский суперкомпьютер "СКИФ" как инструменты для решения задач машиностроительного производства

22 *Чичко А. Н., Захарик Ю. М., Матюшинец Т. В., Чичко О. И.* CAD-системы в задачах проектирования деталей машиностроительного производства

Исследование. Расчет

25 *Капустин В. П., Устименко В. С.* Основные результаты исследований динамической нагруженности транспортного оборудования эвакуационной машины

Надежность

27 *Синельников А. Ф.* Оценка надежности восстановления детали с учетом анализа ее функциональных свойств и требований технических условий к рабочим поверхностям

Организация производства

38 *Иванов Ю. И.* Оценка персонала предприятий и фирм и управление им

Информация

43 *Чичко А. Н., Захарик Ю. М., Матюшинец Т. В., Сачек О. А., Чичко О. И.* Нейронные сети в решении проблем классификации объектов автомобилестроения

Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней

4 '2010

УДК 629.113

А. Е. Чернов,
канд. техн. наук,
А. М. Сугробов,
канд. техн. наук,
проф.;
МГТУ "МЭИ"
E-mail:
alexzander_66@
mail.ru

Интеллектуальные системы электроснабжения автотранспортных средств

Рассмотрены интеллектуальные системы электроснабжения автотранспортных средств, использующие оптимальные алгоритмы работы, обеспечивающие снижение токсичности отработавших газов двигателя и расхода топлива двигателем на привод генераторной установки, стабильность напряжения в бортовой сети и заданное зарядное состояние аккумуляторной батареи. Приведена классификация интеллектуальных адаптивных систем электроснабжения в зависимости от задач, решаемых ими.

Ключевые слова: *автотранспортное средство, интеллектуальная система электроснабжения, генераторная установка, аккумуляторная батарея, адаптивный алгоритм, токсичность отработавших газов, расход топлива, многоканальная система обмена информацией, зарядное состояние.*

Одной из основных проблем современности является снижение вредного воздействия продуктов человеческой деятельности на окружающую среду. При этом тенденция увеличения загрязнения окружающей среды автотранспортными средствами сохраняется, а объемы его вредных выбросов постоянно возрастают. По данным департамента природопользования и окружающей среды Москвы выбросы вредных веществ в окружающую среду от 3,5 млн автотранспортных средств в 2009 г. составили более 1 млн т, что составляет примерно 20—25 % общего количества вредных выбросов в окружающую среду. При этом по данным различных экологических служб РФ ежегодно количество вредных выбросов от автомобилей возрастает на 15—20 %. Автомобили и автобусы, выпускаемые промышленными предприятиями РФ, не удовлетворяют не только экологическому стандарту Евро-3, введенному в Евросоюзе в 1999 г., но и стандарту Евро-4, введенному в 2005 г. При этом с 1 января 2009 г. введен в действие стандарт Евро-5 (для грузовых автомобилей) и запрещен выпуск транспортных средств стандарта Евро-4.

Это во многом определяется тем, что при создании основных компонентов систем электроснабжения (СЭС) не используются оптимизированные алгоритмы, направленные на снижение вредных выбросов и улучшение энергетических показателей. Например, эксплуатационные исследования, проведенные авторами, показывают, что увеличение силы максимального тока отдачи генераторной установки на 20 А приводит к повышению расхода топлива двигателем на холостом ходу на 15—20 %, а при эксплуатации в городских условиях время работы двигателя на холостом ходу составляет 40—50 % общего времени эксплуатации. Кроме того, при работе генераторной установки на максимальную электрическую нагрузку на холостом ходу двигателя, когда мощность, вырабатываемая генератором, максимальна, двигатель может работать с перебоями, что вызывает значительное увеличение токсичности отработавших газов. Создание интеллектуальных СЭС для автотранспортных средств позволит оптимизировать алгоритмы взаимодействия ее основных компонентов — генератора и аккумуляторной батареи, что, в свою очередь, обеспечит снижение выбросов вредных веществ и расхода топлива двигателем автомобиля. Интеллектуальная СЭС не просто ограничивает напряжение генератора на определенном уровне при изменении частоты вращения его вала и электрической нагрузки, но

Рис. 1. Обобщенная структурная схема системы управления

и корректирует напряжение настройки в зависимости от зарядного состояния батареи и режимов эксплуатации. Кроме того, управляющие устройства интеллектуальных СЭС могут воздействовать на устройства, не входящие в систему. Например, при включении мощных электропотребителей частота холостого хода двигателя принудительно увеличивается для исключения разряда аккумуляторной батареи.

Алгоритмы работы всякой интеллектуальной системы управления (рис. 1) определяются целью управления и окружающей обстановкой. Системы управления характеризуются следующими группами переменных:

— переменными состояния ($x_1(t)$, $x_2(t)$, ..., $x_m(t)$), являющимися их обобщенными координатами;

— управляющими переменными ($r_1(t)$, $r_2(t)$, ..., $r_m(t)$), представляющими собой воздействия на управляемый объект, создаваемые системой управления;

— внешними переменными или возмущающими воздействиями ($f_1(t)$, $f_2(t)$, ..., $f_m(t)$), оздаваемыми окружающей средой (внешние условия);

— наблюдаемыми переменными ($z_1(t)$, $z_2(t)$, ..., $z_m(t)$), являющимися теми из обобщенных координат, сведения об изменении которых поступают в систему управления. Наблюдаемыми переменными, в частности могут быть переменные состояния.

В современных автомобильных СЭС традиционной структуры, построенных по "буферной" схеме, целью управления является ограничение напряжения генератора на определенном уровне. Переменные состояния — это напряжение генератора и температура воздуха, поступающего в генератор, управляющая переменная — сила тока возбуждения генераторной установки. Внешними переменными являются частота вращения ротора генераторной установки, эквивалентная сила тока приемников электрической энергии, температура генератора и аккумуляторной батареи, зарядное состояние аккумуляторной батареи. Наблюдаемые переменные — это напряжение генератора и его температура.

Интеллектуальная СЭС обеспечивает оптимальное значение вектора показателя цели управления. В качестве показателя цели управления предлагается использовать следующие параметры:

— токсичность отработавших газов двигателя;

— расход топлива двигателем на привод генераторной установки;

— уровень стабильности напряжения в бортовой сети;

— зарядное состояние аккумуляторной батареи;

— температуру генераторной установки.

Перечисленные параметры в большинстве случаев определяют потребительские качества автомобиля в целом и функциональные показатели СЭС.

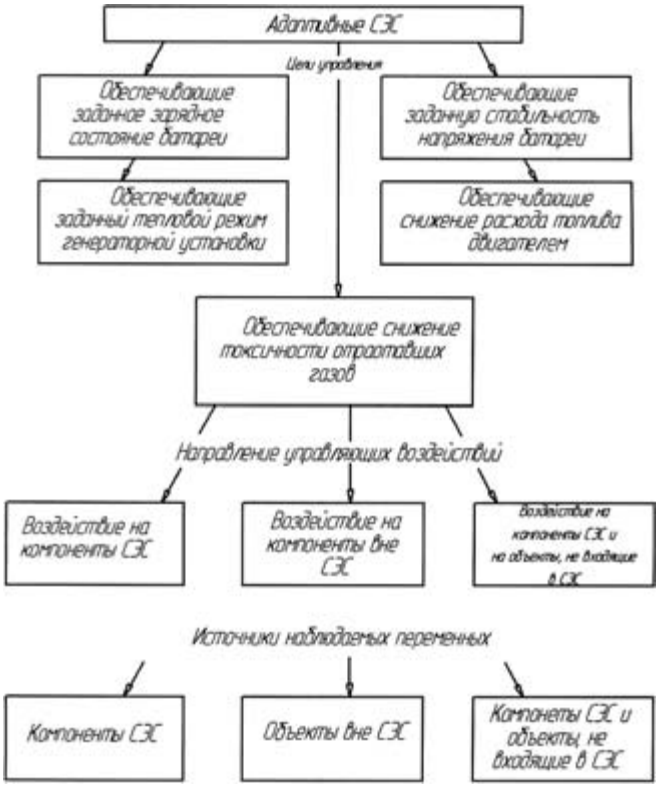


Рис. 2. Классификация интеллектуальных систем электроснабжения

Системы управления интеллектуальных СЭС классифицируются: по цели управления, по направлению управляющих воздействий, по источникам наблюдаемых переменных (рис. 2).

Очевидно, что техническая реализация интеллектуальных СЭС является существенно более сложной по сравнению с традиционными замкнутыми системами из-за необходимости реализации дополнительных информационных потоков и применения мощных вычислительных средств для обработки информации и алгоритмов управления, а также из-за использования различных исполнительных механизмов для управления объектами, не входящими в состав СЭС. Однако расширение состава электронных, информационных и управляющих систем, применяемых на автомобиле, например многоканальной системы обмена информацией (МСОИ), позволит строить адаптивные СЭС в единой информационной среде, а также использовать вычислительные мощности других систем. Построение автомобильной СЭС как открытой информационной системы позволит оптимизировать ее работу без существенного усложнения ее структуры и применения дополнительных устройств.

Разработана интеллектуальная СЭС [1, 2], управляющее устройство которой при снижении частоты вращения на холостом ходу работы двигателя автомобиля ниже минимально допустимой (коленчатый вал прокручивается, токсичность отработавших газов увеличивается) уменьшает силу тока возбуждения генератора (при удовлетворительной степени заряженности аккумуляторной батареи возможно отключение генератора) до тех пор, пока частота вращения на холостом ходу двигателя не превысит минимально допустимую.

Интеллектуальная СЭС [3], управляющее устройство которой при удовлетворительном зарядном состоянии аккумуляторной батареи отключает генераторную установку на период разгона автомобиля, не только снижает расход топлива двигателем на привод генераторной установки, но и улучшает динамическую характеристику автомобиля.

Таким образом, применение интеллектуальных систем электроснабжения на автотранспортных средствах позволяет снизить выбросы вредных веществ в окружающую среду и расход топлива двигателем без использования дорогостоящих и сложных гибридных силовых установок, создание которых находится в РФ на стадии НИОКР.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Пахомов, Л. Г.** Анализ информационных потоков в электрооборудовании автомобилей и формулировка требований по интеллектуализации систем [Текст] / Л. Г. Пахомов, А. Е. Чернов // Развитие автомобильной электроники и электрооборудования: Материалы четвертого симпозиума, Суздаль 93. — М.: НИИАЭ, 1993. — С. 124—125.
2. **Чернов, А. Е.** Повышение использования энергетических возможностей автомобильных генераторов [Текст] / А. Е. Чернов // Развитие автомобильной электроники и электрооборудования: Материалы четвертого симпозиума, Суздаль 93. — М.: НИИАЭ, 1993. — С. 54—55.
3. **Арсентьев, О. В.** Функциональное моделирование электрооборудования АТС. Комплекс программ / О. В. Арсентьев, К. Э. Буренков, А. Е. Чернов // Автомобильная промышленность. — 1993. — № 6. — С. 33—34.

УДК 62-82

А. Н. Максименко, канд. техн. наук, проф.,
И. В. Лесковец, канд. техн. наук, зав. кафедрой,
В. В. Кутузов, асп.,
Д. В. Бездников, асп.;
Бел.-Рос. ун-т;
Н. Н. Федосов, ген. дир.,
В. В. Сентюров, гл. инж.;
ОАО "Заднепровский межрайагросервис"
E-mail: maksimenko-bru@yandex.ru

Повышение работоспособности гидропривода строительных и дорожных машин при внедрении агрегатного метода ремонта и диагностики

Рассмотрены основы выработки стратегии повышения работоспособности гидропривода строительных и дорожных машин с учетом выявления сборочных единиц систем и агрегатов, лимитирующих безотказность; определения остаточного ресурса и организация агрегатного метода ремонта с применением диагностики.

Ключевые слова: *эксплуатация, диагностика, агрегатный метод ремонта, надежность, вероятность безотказной работы, гидропривод.*

Введение

Получение максимальной прибыли при использовании строительных и дорожных машин (СДМ) зависит от стратегии поддержания и восстановления их работоспособности. В процессе планирования и организации технической эксплуатации важно не только проводить техническое обслуживание в соответствии с рекомендациями, но и обеспечить ремонты агрегатов и сборочных единиц под общим контролем предприятий-изготовителей. Частично эта задача решается при увеличении гарантийного срока эксплуатации. Однако после этого срока ремонты СДМ проводятся с ограниченными материально-техническими и кадровыми возможностями, позволяющими реализовать только слесарные операции по замене сборочных единиц и агрегатов. В этих условиях важно обеспечить их оборотный фонд за счет новых или капитально отремонтированных сборочных единиц и агрегатов. Создание такого фонда из числа отремонтированных сборочных единиц и агрегатов имеет также экономическую целесообразность. Так, затраты на капитальный ремонт (КР) агрегатов и сборочных единиц составляют 25—65 % стоимости новых, а расходуемое количество материалов и трудоемкость соответственно ниже в 2—3 раза [1].

Для обеспечения необходимого качества ремонта важно организовать его в каждом регионе под руководством предприятия-изготовителя или на самом предприятии при наличии свободных производственных площадей и незначительных транспортных расходов.

Для определения количества и наименований сборочных единиц для агрегатного метода ремонта необходимы исследования по их работоспособности и внедрение диагностики, позволяющей определить остаточный ресурс обследуемых объектов при плановых технических обслуживаниях и ремонтах конкретной машины. Стратегия поддержания и восстановления работоспособности гидропривода СДМ представлена на примере погрузчика на пневмоколесном ходу грузоподъемностью 3 т (Амкодор 332) с более глубоким анализом отказов гидропривода.

Показатели работоспособности погрузчиков Амкодор 332

Важнейшими показателями работоспособности СДМ являются: вероятность безотказной работы, наработка до отказа, параметр потока отказов и коэффициент технического использования. Эти показатели определялись в соответствии с ГОСТ 27.002—89 [2] на основе анализа 200 погрузчиков Амкодор 332, эксплуатируемых

в организациях Могилевской обл. Республики Беларусь. Из общего количества подконтрольных погрузчиков Амкодор 332 при наработке 1000 моточасов вероятность безотказной работы P_{1000} для составных частей (агрегатов, гидропривода в целом, сборочных единиц, систем, металлоконструкции и рабочего оборудования) составляла от 0,98 до 0,39 (рис. 1). Наименьшее значение P_{1000} (0,39) соответствует гидроприводу в целом рассматриваемых погрузчиков. Для остальных составных частей P_{1000} имеет следующие значения: электрооборудование $P_{1000} = 0{,}527$, трансмиссия $P_{1000} = 0{,}533$, гидропривод рабочего оборудования $P_{1000} = 0{,}737$; тормозная система с пневмоприводом $P_{1000} = 0{,}797$; двигатель $P_{1000} = 0{,}789$; рулевое управление $P_{1000} = 0{,}902$. Если рассматривать сборочные единицы трансмиссии, то одна из самых низких вероятностей безотказной работы при наработке 1000 моточасов соответствует гидромеханической передаче (ГМП), которая с учетом блока охлаждения рабочей жидкости ГМП равна 0,67 и соответственно 0,75 без учетов отказов этого блока.

Среди сборочных единиц ГМП (насос, распределитель, коробка передач) количество отказов за рассматриваемую наработку составило 7, 8 и 12, что соответствует их вероятности безотказной работы 0,96; 0,955 и 0,935.

Другие сборочные единицы трансмиссии (ведущие мосты, коробка отбора мощности, карданная передача) имеют высокую вероятность безотказной работы, которая соответственно составила значения от 0,95 до 1.

Показатели работоспособности (вероятность безотказной работы при наработке 500 и 1000 моточасов) агрегатов, систем и погрузчиков в целом приведены в таблице. Анализ значений таблицы показывает, что безотказную работу погрузчиков лимитирует гидропривод в целом, а также электрооборудование, трансмиссия, гидропривод рабочего оборудования, пневмосистема и двигатель.

Каждая из систем имеет свои сборочные единицы, лимитирующие вероятность безотказной работы. Так, для погрузчиков Амкодор 332 безотказную работу в гидросистеме рабочего оборудования определяют гидрораспределитель — 43 %; гидроцилиндры — 27 %; рукава высокого давления — 20 %. В электрооборудовании датчики указателя давления ДД-20 имеют 31 % отказов от общего числа отказов системы и соответственно датчики давления ДД-10 — 18 %; стартер — 11 %; комбинация приборов 282.3801010 — 9 %. В тормозной системе и пневмосистеме наибольшее число отказов наблюдалось по пневмокомпрессору — 32 % и тормозному крану — 23 %. По двигателю преимущественно отказы наблюдались по форсунке — 27 % и топливному насосу — 19 %.

Анализ работоспособности систем управления, трансмиссии и привода рабочего оборудования показал, что гидропривод лимитирует их безотказную работу. Объединив все гидроприводы погрузчика в целом, имеем самые низкие значения вероятности безотказной работы (рис. 1, кривая 9),

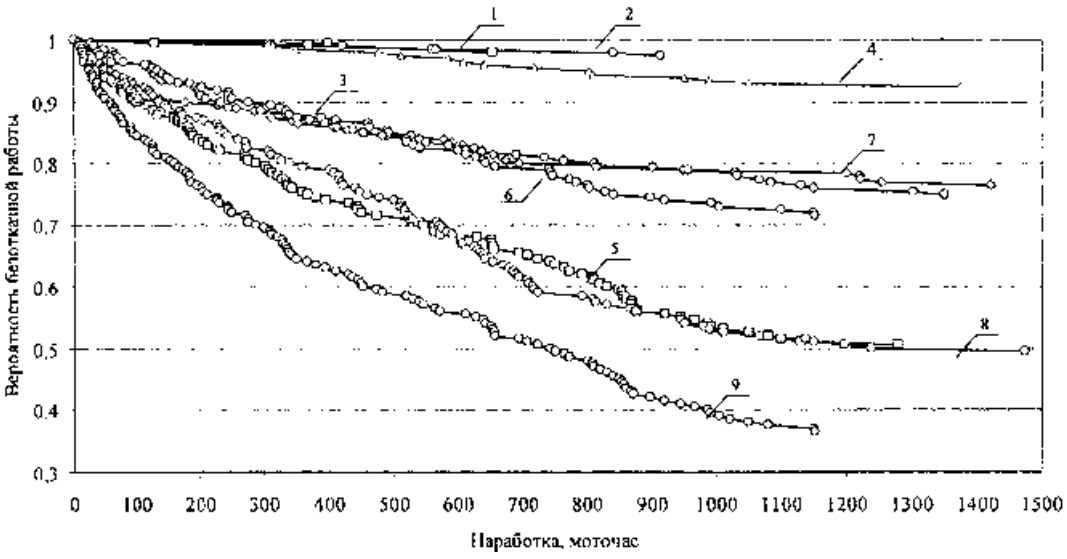


Рис. 1. Зависимость вероятности безотказной работы погрузчика Амкодор 332 от наработки с начала эксплуатации:

1 — рабочее оборудование; 2 — системы управления; 3 — рама; 4 — кабина (подвеска сиденья); 5 — трансмиссия; 6 — гидросистема рабочего оборудования; 7 — двигатель; 8 — электрооборудование; 9 — гидропривод погрузчика (в целом)

Таблица

Показатели работоспособности систем и агрегатов погрузчика Амкодор 332

№ по пор.	Сборочная единица	Показатели работоспособности	
		P_{500}	P_{1000}
1	Кабина (подвеска сиденья)	0,976	0,934
2	Двигатель	0,844	0,789
3	Рулевое управление	0,932	0,902
4	Электрооборудование	0,74	0,527
5	Пневмосистема и тормозная система	0,849	0,797
6	Гидросистема рабочего оборудования	0,843	0,737
7	Трансмиссия	0,712	0,533
8	Рабочее оборудование	0,987	0,980
9	Гидропривод в целом	0,59	0,39
10	Погрузчик в целом	0,28	0,11

что придает особую значимость исследований работоспособности гидропривода погрузчика.

Кроме того, исследования по работоспособности гидрофицированных машин [3] показали, что отказы гидропривода составляют до 50 % всех отказов. Эти значения подтверждаются и при исследованиях работоспособности подконтрольных погрузчиков (рис. 2).

Комплексный показатель надежности — коэффициент технического использования ($K_{ти}$) для погрузчика Амкодор 332 при наработке 500, 1000, 1500 моточасов соответственно имел значения 0,97, 0,90, 0,88, т. е. с увеличением наработки с начала эксплуатации среднее количество отказов и продолжительность их устранения возрастают, что снижает использование машины в соответствии с ее функциональным назначением.

Реализовать потенциальные возможности повышения эффективности технической эксплуатации можно при увеличении периода продолжительности устойчивой обратной связи изготовителя и эксплуатирующих организаций. Эта связь не должна ограничиваться только передачей информации о надежности деталей и сборочных единиц изготовителю. Он должен брать под контроль машины на весь срок службы — от главного конвейера до списания.

В этом случае будут успешно решаться следующие задачи: выявление причин отказов; определение норм показателей надежности; выявление элементов, лимитирующих надежность машин; обоснование норм расхода запасных частей, периодичности проведения ТО и ремонта и их количества; выявление влияния режима работы машины и квалификации машиниста на надежность; выявление влияния условий эксплуатации на надежность; определение экономической эффективности мероприятий по повышению надежности; формирование сборочных единиц для обеспечения агрегатного метода ремонта.

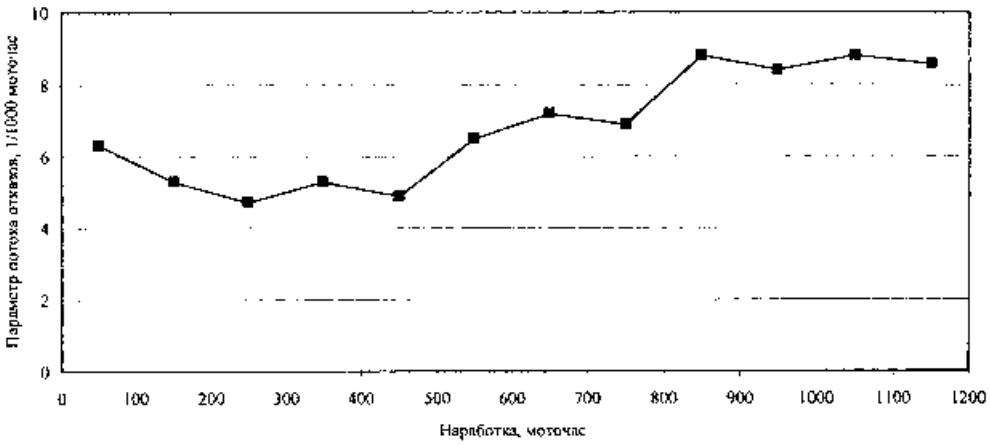


Рис. 2. Параметр потока отказов погрузчиков Амкодор 332 на каждые 100 моточасов работы

С повышением уровня сложности машин остро встал вопрос о кадрах по поддержанию и восстановлению работоспособности СДМ и о запасных частях, многие из которых (особенно это касается сборочных единиц гидропривода) уже нельзя изготовить в условиях ремонтных мастерских управлений механизации. Очевидна необходимость перехода на сервисное обслуживание и ремонт СДМ под контролем предприятия-изготовителя.

При оценке эффективности строительного производства по критерию получаемой прибыли учет приведенных факторов позволит объективно оценить целесообразность использования СДМ. Однако эту задачу можно решить при оценке эффективности работы каждой машины в технологическом процессе строительного производства, при планировании и организации поддержания и восстановления ее работоспособности с учетом наработки с начала эксплуатации и использования информационных технологий.

Основные причины отказов и диагностические параметры по оценке работоспособности гидропривода

В современных СДМ гидропривод преимущественно используется в управлении машиной, приводе ее рабочего оборудования и трансмиссии. Элементами любого гидропривода являются насосы, гидродвигатели, аппаратура управления, гидроемкости, гидролинии и фильтры.

Основной причиной отказов гидродвигателей, гидронасосов и аппаратуры управления (70—90 %) являются механические примеси в рабочей жидкости (РЖ) [4]. Причем их ресурс увеличивается на порядок при снижении размеров частиц с 20 до 5 мкм.

В зарубежной технике (экскаватор JCB JS220) обеспечивается тонкость очистки 1,5 мкм, что позволяет в разы повысить ресурс гидропривода в целом.

В процессе эксплуатации гидрофицированной машины важно обеспечить необходимую степень очистки рабочей РЖ и технологию ее замены, исправность фильтров, прогнозирование остаточного ресурса сборочных единиц гидропривода и их ремонт только на специализированных предприятиях с обеспечением 5-го квалитета точности.

Неисправности многих сборочных единиц гидропривода имеют общие признаки, что позволяет уменьшить количество диагностических параметров и приборов для их определения. Так, при неисправностях гидронасоса, гидромотора (гидроцилиндра), аппаратуры управления, напорного и рабочего контуров изменяется давление, т. е. измерением давления и его перепадов можно оценивать их работоспособность.

В соответствии с действующим методическим документом в Российской Федерации (МДС 12-20.2004) [5] номинальное и максимальное давления, а также перепад давления на отдельных сборочных единицах являются тремя из пяти основных параметров при диагностировании внутреннего состояния гидросистемы и ее отдельных сборочных единиц. Приведенные схемы и алгоритмы предусматривают, как правило, использование стендов шести размерных групп мощностью от 11 до 500 кВт с подключением их в гидросистему через ее разгерметизацию. Диагностирование в рабочем режиме проводится без применения специальных нагрузочных средств, но требуется бортовая системы для непрерывного контроля за подачей, расходом и давлением в важнейших точках гидросистемы, что значительно усложняет ее конструкцию.

Определять давление и его перепад на основных сборочных единицах гидропривода в рабочем режиме можно с помощью прибора, разработанного в Белорусско-Российском университете и прошедшего первичные испытания в производственных условиях без нагрузки и в рабочем режиме. Оценка работоспособности СДМ с помощью этого прибора позволит определить предельные значения контролируемых параметров (давление и его перепад) и выявить сборочные единицы, требующие замены в период планового технического обслуживания или ремонта.

Интенсивность изменения вероятности безотказной работы гидропривода рабочего оборудования и его отдельных сборочных единиц представлена на рис. 3. Более низкой работоспособностью у исследуемых погрузчиков обладает гидрораспределитель, а гидроцилиндры, гидронасосы и рукава высокого давления (РВД) имеют более высокую вероятность безотказной работы.

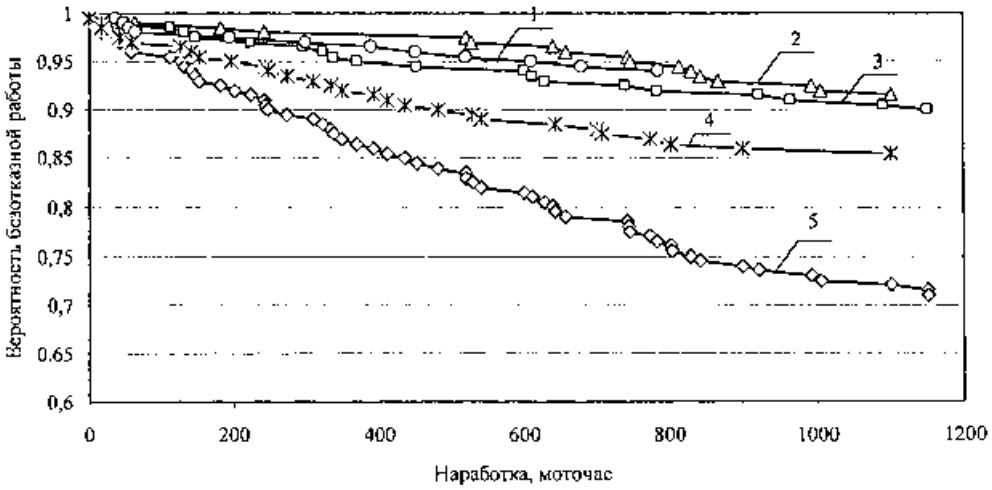


Рис. 3. Зависимость вероятности безотказной работы сборочных единиц гидропривода рабочего оборудования погрузчика Амкодор 32 от наработки с начала эксплуатации:

1 — гидронасос; 2 — РВД; 3 — гидроцилиндры; 4 — гидрораспределитель; 5 — гидросистема рабочего оборудования

Важно в процессе использования гидрофицированной машины оценить предельное состояние сборочных единиц гидропривода без его разгерметизации [6, 7].

Одним из основных параметров контроля работоспособности гидропривода, наиболее полно характеризующим его техническое состояние, является его объемный КПД. Однако в связи с невозможностью непосредственного (прямого) измерения объемного КПД гидропривода без его разгерметизации при диагностировании используют внешние (выходные) характеристики, а также учитывают сопутствующие процессы, возникающие при выполнении рабочих операций. Такие диагностические параметры, как частота вращения вала гидромашин, скорость перемещения штоков гидроцилиндров, величина и скорость изменения давления, температура РЖ, концентрация механических включений в РЖ и другие, дают конкретную информацию о техническом состоянии диагностируемого гидрооборудования.

Следует отметить особую важность такого диагностического параметра, как давление в гидросистеме. Так, при диагностировании большинства сборочных единиц гидропривода приходится сталкиваться с измерением как номинального и максимального давлений в контурах, так и перепада давления в гидроаппаратах и на отдельных участках гидросистемы.

Измерения давления порою сопряжено со значительными затратами времени на сборочно-разборочные операции и в отдельных случаях ведет к нарушению герметичности гидросистемы машины. Сокращение времени на диагностику и сохранение герметичности гидросистемы является одной из задач технического обслуживания машин.

На примере гидросистемы погрузчика Амкодор-332 рассмотрим способ диагностирования различных агрегатов, входящих в состав его гидросистемы без нарушения ее герметичности. Способ основан на измерении давления в гидролиниях с помощью накладных датчиков (рис. 4). Этим методом можно диагностировать гидроагрегаты по величине номинальных и максимальных давлений, а также по перепаду давлений.

Так, при поэлементном диагностировании аксиально-поршневого насоса рабочего оборудования погрузчика необходимо измерять следующие диагностические параметры: номинальное давление

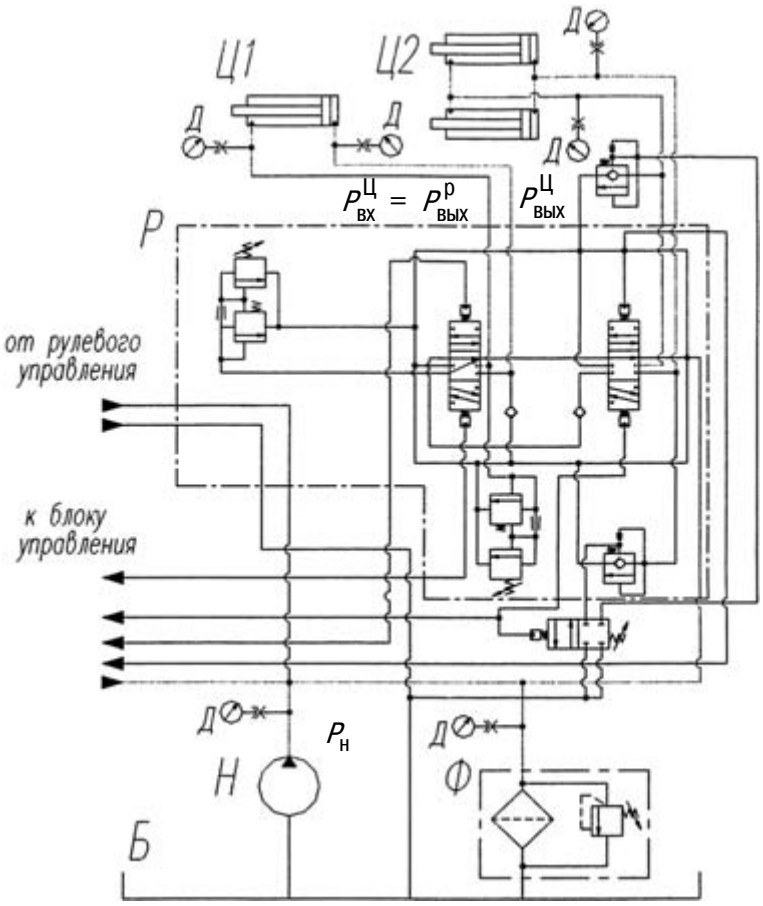


Рис. 4. Схема гидравлическая принципиальная рабочего оборудования погрузчика Амкодор-332:

Б — гидравлический бак; Д -датчик измерения давления; Н — насос; Р — распределитель; Ф — фильтр; Ц1, Ц2 — гидроцилиндры

в напорном контуре $p_н$, максимальное давление и амплитуду пульсации давления, что возможно путем установки датчика на напорный трубопровод насоса (рис. 4).

При диагностировании гидрораспределителя контролируемым диагностическим параметром будет являться перепад давления Δp, который находится как разность давлений на входе в гидрораспределитель и выходе из него $\Delta p = p_н - p^{p}_{вых}$ (рис. 4).

При диагностировании предохранительного клапана диагностическим параметром будет давление срабатывания в крайнем положении штока гидроцилиндра. Предел редуцированного давления при изменении его на выходе распределителя является диагностическим параметром для редукционного и обратного клапанов.

При диагностировании гидроцилиндров используются следующие диагностические параметры: максимальное и номинальное давления $p_{ц\ вх}$, давление страгивания и давление холостого хода. Измерение этих давлений также возможно путем установки накладных датчиков в напорный и сливной трубопроводы гидроцилиндра (рис. 4).

При диагностировании фильтров одним из диагностических параметров является перепад давления. Измерение этого параметра также возможно с помощью накладного датчика, установленного на входном трубопроводе фильтра.

При предельных значениях этих параметров сборочные единицы гидропривода снимаются и заменяются ранее отремонтированными или новыми, что позволяет обеспечить агрегатный метод ремонта с сокращением трудоемкости и времени простоев машины при восстановлении ее работоспособности.

Исследования для погрузчиков с различной наработкой с начала эксплуатации показали значительное изменение перепадов давления с увеличением наработки.

По интенсивности изменения выбранных диагностических параметров (давление, перепад давления) можно определить остаточный ресурс контролируемой сборочной единицы гидропривода [8].

Заключение

1. Исследования по оценке работоспособности погрузчиков показали самую высокую интенсивность снижения вероятности безотказной работы с увеличением наработки с начала эксплуатации для гидропривода в целом, которая к наработке 1000 моточасов составила 0,39.

2. Комплексный показатель надежности — коэффициент технического использования с возрастанием наработки с начала эксплуатации погрузчиков значительно снижается, а параметр потока отказов и продолжительность их устранения увеличиваются, что снижает эффективность использования машины в соответствии с ее функциональным назначением.

3. Внедрение диагностики по предлагаемому методу без нарушения герметичности гидросистемы позволит организовать агрегатный метод ремонта сборочных единиц и повысить работоспособность гидропривода машины в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Зорин, В.** Основы работоспособности технических систем: учебник для вузов [Текст] / В. Зорин. — М.: Магистр-Пресс, 2005. — 536 с.
2. **ГОСТ 27.002—89.** Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. М. — 37 с.
3. **Эксплуатация** и техническое обслуживание дорожных машин, автомобилей и тракторов: учебник для сред. проф. образования [Текст] / С. Ф. Головин, В. М. Коншин, А. В. Рубайлов и др.; Под ред. Е. С. Локшина. — М.: Мастерство, 2002 — 464 с.
4. **Максименко, А. Н.** Влияние качества рабочей жидкости на работоспособность гидропривода [Текст] / А. Н. Максименко, Д. В. Бездников, В. В. Кутузов, В. В. Васильев, О. В. Борисенко // Грузовик &. — 2007. — № 7. — С. 26—28.
5. **Механизация** строительства. Организация диагностирования строительных и дорожных машин. Диагностирование гидроприводов. МДС 12-20.2004 / ЦНИИОМТП. — М.: ГУП ЦПП, 2004. — 30 с.
6. **Максименко, А. Н.** Повышение работоспособности гидропривода строительно-дорожных машин [Текст] / А. Н. Максименко, Д. В. Бездников, В. В. Кутузов, В. В. Васильев // Грузовик &. — 2008. № 9. — С. 23—27.
7. **Максименко, А. Н.** Влияние качества изготовления и технической эксплуатации на работоспособность строительных и дорожных машин [Текст] / А. Н. Максименко, В. В. Кутузов, А. Н. Федосов, В. В. Кляусов // Строительная наука и техника. — 2009. — № 3 (24). — С. 68—73.
8. **Максименко, А. Н.** Планирование и организация восстановления работоспособности строительных и дорожных машин с учетом их технического состояния [Текст] / А. Н. Максименко, Д. Ю. Макацария, В. В. Кутузов, Д. В. Бездников // Механизация строительства. — 2008. — № 1. — С. 9—12.

Вниманию читателей!

ООО "ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ"

принимает подписку на журналы на 2010 г.

Подпишитесь в Издательстве и Вы

- получите журналы с первого номера;
- сэкономите на стоимости почтовой доставки;
- узнаете о новых книгах и журналах Издательства.

Постоянным подписчикам предоставляется скидка на подписку и публикацию рекламных объявлений.

Присылайте заказ и обращайтесь за дополнительной информацией

в отдел продаж, маркетинга и рекламы

107076, г. Москва, Стромынский пер., д. 4

Тел.: (499) 269-66-00, 269-52-98; факс (499)269-48-97

E-mail: realiz@mashin.ru; www.mashin.ru

УДК 669.27:519

А. Н. Чичко,
В. Ф. Соболев,
д-ра техн. наук,
проф-ра,
А. М. Захарик,
С. Г. Лихоузов,
О. И. Чичко,
канд-ты техн.
наук;
ОАО "МАЗ"
(г. Минск),
E-mail: vehicle@
tut.by

Численные методы и белорусский суперкомпьютер "Скиф" как инструменты для решения задач машиностроительного производства

Показана возможность использования численных методов моделирования, реализованных под суперкомпьютер "СКИФ" для решения различных задач машиностроительного производства. На примере САЕ систем "ПроЛит-lс" и "ПроНРС-1с", ориентированных на решение задач литейного и металлургического производства, показано, что число процессоров многоядерной компьютерной системы СКИФ позволяет существенно ускорить решение задачи, за счет распараллеливания алгоритмического программного обеспечения.

Ключевые слова: *алгоритм, анализ, вариация, метод, моделирование, объект, параметр, производство, процесс, система, ядро.*

Известно, что для решения многих задач, связанных с разработкой новых машин и их компонентов, используются численные методы, основанные на методе сеток, позволяющие еще на стадии проектирования рассчитать целый ряд свойств объекта и оценить перспективность разрабатываемой конструкции. Этот метод положен в основу хорошо известного в машиностроении программного обеспечения ANSYS, используемого при проектировании различных конструкций. Одной из причин, сдерживающих широкое применение методов численного моделирования для решения многих задач машиностроительного производства, является пространственная сложность реальных объектов. Чем сложнее моделируемый промышленный объект в пространственном отношении, тем большая разрядность численной сетки требуется для решения задачи, что существенно увеличивает время выполнения расчетов по моделированию. В то же время в машиностроительном производстве эффективность решения как конструкторских, так и технологических задач во многом зависит от оперативности, что может быть обеспечено компьютерами с высокой степенью производительности. Одним из современных научных направлений, связанных с повышением производительности информационных технологий, является создание мультипроцессорных вычислительных систем. Одна из таких систем (СКИФ) была разработана в результате совместных исследований белорусских и российских ученых в Объединенном институте проблем информатики НАН Беларуси (г. Минск). Для создания прикладного программного обеспечения была разработана научно-техническая программа Союзного государства "Триада". Финансирование научно-технических проектов этой программы осуществлялось из бюджета двух государств — России и Беларуси. Для решения различных задач машиностроительного производства в рамках программы "Триада" выполнялись проекты, связанные с разработкой компьютерных систем "ПроЛит-lс" и "ПроНРС-1с".

Целью настоящей статьи является оценка возможности повышения производительности проектно-конструкторских работ за счет использования технологии суперкомпьютера "СКИФ" для решения задач проектирования в литейном и металлургическом производстве.

Литейное производство. Применение компьютерного моделирования для разработки технологии изготовления отливок машиностроения является важной научно-

технической задачей литейного производства. В настоящее время рынок компьютерных технологий предлагает целую группу систем моделирования (Procast, MagmaSoft, AF Solid, WinCast, 3d-Flow, ПроЛит-1, Полигон), которые различаются по методам разбиения сетки и математическим моделям. Математическое ядро этих систем является закрытым. Только сравнивая результаты промышленных или экспериментальных исследований и результаты моделирования можно оценить адекватность "зашитых" в них методов и подходов. Однако один недостаток касается всех без исключения компьютерных систем при использовании сложных по конфигурации объектов — это время моделирования процесса. Время моделирования объектов зависит от числа разбиваемых элементов. Как показывает опыт работы с промышленными объектами, рассчитываемое пространство может иметь 1 000 000—5 000 000 и более сеточных элементов. С учетом дискретизации по времени полное время моделирования может достигать нескольких суток для одного рассчитываемого варианта. Поэтому повышение быстродействия вычислительных работ является актуальным вопросом как с научной, так и практической точки зрения.

Одним из путей, повышающих эффективность численных методов моделирования процессов, протекающих в объектах, является распараллеливание процесса вычислений для многоядерных компьютеров. Многоядерные мультипроцессорные системы за счет кластерной архитектуры позволяют существенно уменьшить время моделирования технологического процесса. Одной из известных мультипроцессорных систем является суперкомпьютер "СКИФ", который предназначен для решения вычислительных задач большой сложности. Использование возможностей этого компьютера представляет большой интерес для промышленных предприятий, которые заинтересованы в том, чтобы разработка литейных технологий проводилась на основе моделирования процессов заполнения форм и кристаллизации сплавов.

В настоящее время завершается работа по созданию модулей компьютерной системы "ПроЛит-1с". Предполагается, что доступ к системе "ПроЛит-1с" через суперкомпьютер и Интернет получат промышленные предприятия обоих государств — России и Беларуси. Упрощенная схема работы предприятия с программой "ПроЛит-lс" будет строиться по следующему алгоритму.

Шаг. 1. Технолог с помощью систем графики строит геометрическую модель отливки и варианты литниковой системы. Причем число литниковых систем может быть большим.

Шаг 2. Формируются исходные данные по теплофизическим свойствам металла и формы, а также начальные условия заливки.

Шаг 3. Используя систему паролей, все входные данные по технологическим вариантам пересылают на систему "СКИФ" с помощью интернет-технологии для проведения процесса моделирования расчетов.

Шаг 4. С помощью интернет-технологии технолог получает доступ к результатам вычислений в виде упрощенного (специальный текстовый файл, содержащий критерии для принятия решения по выбору литниковой системы) или полного (в виде файлов записей процесса течения и кристаллизации металла) протокола. Результаты расчетов в упрощенной или полной форме передаются на ПЭВМ для принятия технологом решения.

Компьютерная система "ПроЛит-lс" разработана на основе "ПроЛит-1" [1, 2] и позволяет моделировать динамику процесса течения металла в литниковой системе и форме, а также осуществлять трехмерные расчеты полей температуры, пористости, скоростей, давлений в любой плоскости отливки и в любой момент времени. Возможен анализ температуры во времени в любой точке "отливка—форма—литниковая система", т. е. имитация работы термопары. Визуализация дефектов

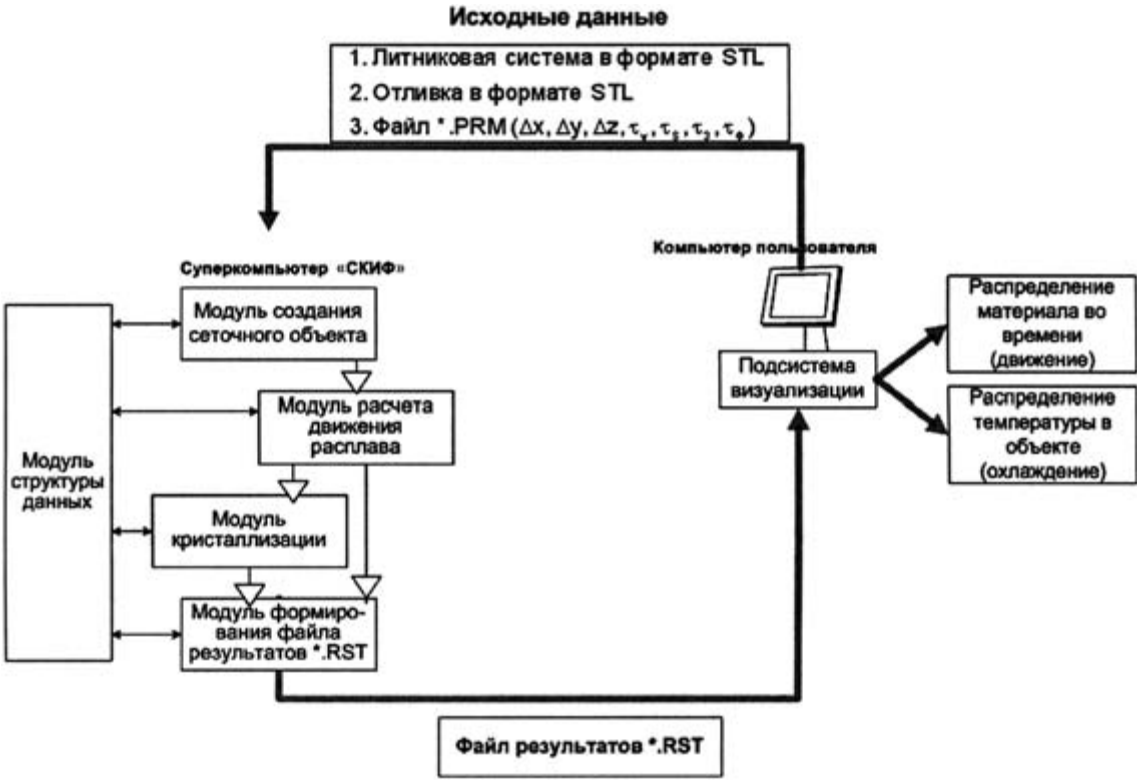


Рис. 1. Схема работы с компьютерной системой "ПроЛит-1с" для суперкомпьютера "СКИФ"

усадочного происхождения проводится на основе дискретного поля плотностей. Анализируя величину скоростных потоков расплава в форме, можно оценить вероятность размыва форм для различных участков, а также образование дефектов типа "недолив" и "спай". Система "ПроЛит-1с", отличается от системы "ПроЛит-1" алгоритмами, позволяющими распараллелить процесс вычислений и за счет этого уменьшить время моделирования в десятки раз. Программное обеспечение системы "ПроЛит-1с" реализовано под систему LINUX. Структура компьютерной системы (КС) "ПроЛит-1с" представлена на рис. 1. Предлагается следующая технология работы с системой.

1) Входные данные передаются от рабочего места пользователя на суперкомпьютер по сети Интернет. Входными данными являются литниковая система в формате *.stl, отливка в формате *.stl, файл формата *.prm, в котором хранятся данные, необходимые для импорта объекта моделирования и расчета процессов движения расплава, его охлаждения и кристаллизации.

2) Работа расчетных модулей проводится на суперкомпьютере "СКИФ". Математические функции в системе "ПроЛит-1с" распараллелены, что обеспечивает уменьшение времени расчета технологического процесса в несколько раз в зависимости от степени сложности рассчитываемого объекта.

Система "ПроЛит-1с" состоит из следующих расчетных модулей:

— модуль структуры данных, содержащий информацию о расположении переменных в памяти ЭВМ и методах доступа к этим переменным;

— модуль создания сеточного объекта;

— модули расчета движения расплава и расчета охлаждения и кристаллизации, содержащие процедуры и функции, необходимые для расчета значений скорости, плотности, давления и температуры;

— модуль формирования файла результатов, результаты моделирования сохраняются в процессе расчета с заданным шагом в файле результатов *.rst.

Модуль структуры данных обеспечивает комплексное взаимодействие всех модулей, предоставляет доступ к параметрам состояния, сохранение структуры и переменных в файле и чтение их из файла, сервисное обслуживание структуры (выделение и оптимизацию памяти, оптимизацию скорости доступа, проверку границ пространства и исключительных ситуаций).

Файлы с результатами *.rst передаются с помощью интернет-технологий на локальный компью-

тер пользователя, где могут быть просмотрены при помощи визуализатора (подсистемы трехмерной визуализации) с помощью технологии OpenGL. Пользователь может с помощью этой подсистемы визуально оценить процесс заполнения формы расплавленным металлом, увидеть места образования таких литейных дефектов как недолив и спай, получить представление о процессе движения жидкого металла, его охлаждении и структурных превращениях.

Подсистемы трехмерной визуализации выполняют следующие функции:

— отображают трехмерный объект, состоящий из отливки и литниковой системы;

— отображают процесс движения жидкого металла в форме в автоматическом режиме;

— позволяют увидеть любой сохраненный момент движения расплава, просматривая кадры в ручном режиме;

— позволяют просматривать области закристаллизовавшегося металла;

— отображают пространственно распределенное поле температур на момент окончания заливки;

— дают возможность вращать объект в трех направлениях в любой момент времени.

Для иллюстрации возможностей программы "ПроЛит-1с" ниже представлены данные расчета процесса заполнения чугуном песчано-глинистых форм. В качестве объектов моделирования были выбраны отливки "Угольник" и "Радиатор Б3-140 × 300" (номенклатура Минского завода отопительного оборудования), которые изготавливают из чугуна на основе литниковых систем, представленных на рис. 2—3. Из рисунков видно, что литниковые системы с отливками представляют собой сложную пространственную структуру и с точки зрения литейной технологии позволяют определить места возможного появления недоливов. Геометрическая сложность структуры литниковой системы с отливками в сочетании с онкими стенками и значительными габаритными размерами делает проблемным по временным затратам моделирование заполнения металлом формы на персональном компьютере. Это ограничение позволяют устранить кластерные мультипроцессорные вычислительные системы. В табл. 1 представлены некоторые исходные данные для расчетов технологического процесса на суперкомпьютере "СКИФ".

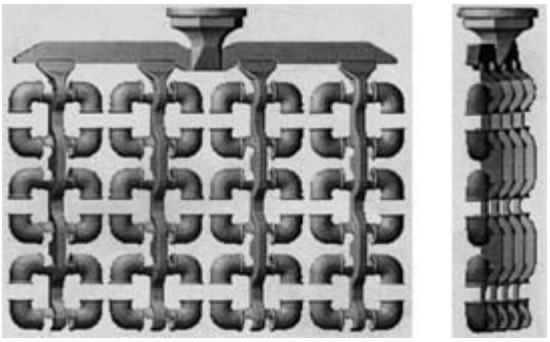


Рис. 2. Твердотельные 3d-модели "Угольник"

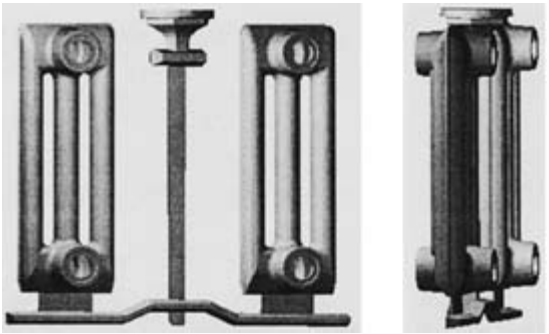


Рис. 3. Твердотельные 3d-модели "радиатор Б3-140 × 300"

В расчетах было принято: температура металла 1400 °С, начальная температура формы 30 °С. В качестве теплофизических характеристик металла и формы использовали теплопроводность и теплоемкость как функции температуры $f(T)$.

Выбранные для моделирования с использованием кластерных мультипроцессорных вычислительных систем отливки "Угольник" и "Радиатор Б3-140 × 300" рассчитывались на различном числе вычислительных узлов (от 2 до 128 процессоров) кластера itk-121.bas-net.by. По окончании моделирования проводилась оценка времени, затраченного на расчет, и ускорения

Таблица 1

Некоторые характеристики для процесса моделирования литейных объектов

Вариант	Отливка	Характеристики рассчетной модели		Характеристики металла			
		шаг по пространству, м	число расчетных элементов	марка	химический состав, %	температура ликвидуса, °С	температура солидуса, °С
1	"Угольник"	0,002	418 867	Ковкий чугун КЧ30-6	C 2,8; Si 1,1; Mn 0,45; P 0,2; S 0,18	1275	1145
2	"Угольник"	0,0012	1 501 522	Ковкий чугун КЧ30-6	C 2,8; Si 1,1; Mn 0,45; P 0,2; S 0,18	1275	1145
3	"Радиатор Б3-140 × 300"	0,002	445 523	Серый чугун СЧ10	C 3,6; Si 2,4; Mn 0,65; P 0,2; S 0,15	1238	1145

расчета по сравнению с базовым (расчет на 2 процессорах). Результаты проводимой оценки времени расчета приведены на рис. 4—6. Следует отметить, что при расчете на *N* процессорах в моделировании участвует N-1 процессор, поскольку один процессор занят сервисным обслуживанием распараллеливания, в частности подготовкой структуры данных для следующего такта расчета, сохранением результатов расчета в файлах записи RST и т. д.

Анализ данных, представленных на рис. 4—6, показывает, что при использований системы СКИФ достигается максимальное ускорение расчета от 29 до 40 раз на 128 процессорах кластера itk-121.bas-net.by в зависимости от геометрии объекта, его размеров, шага расчета по пространству, времени моделирования. Данные по ускорению расчета для различных объектов на одинаковом количестве процессоров несколько меняются, что связано с неравномерностью распределения расчетных элементов по процессорам. Эта неравномерность распределения вызвана различиями в геометрии отливок. Так как заранее неизвестно направление движения расплавленного металла в

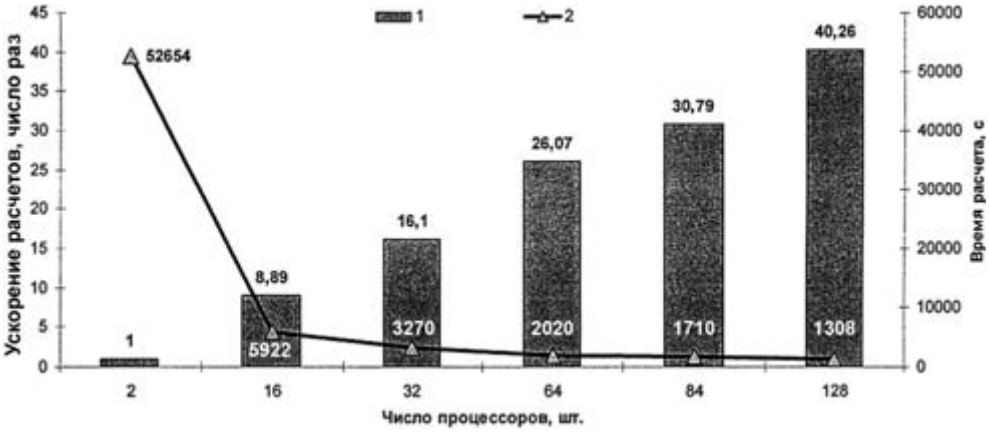


Рис. 4. Влияние числа процессоров на ускорение и время моделирования для отливки "Угольник" (число расчетных элементов 418867, вариант 2):

1 — зависимость ускорения расчетов по сравнению с базовым от числа процессоров; 2 — зависимость времени расчета от числа процессоров

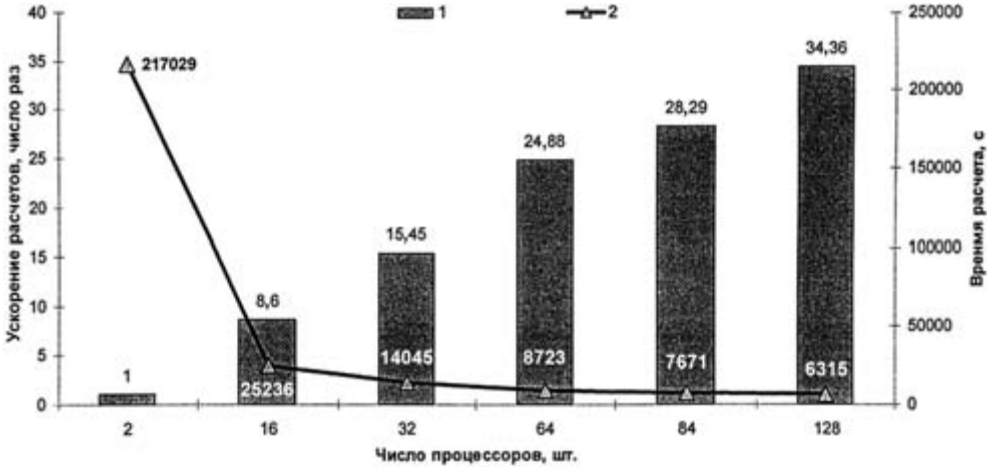


Рис. 5. Влияние числа процессоров на ускорение и время моделирования для отливки "Угольник" (число расчетных элементов 1501522, вариант 3):

1 — зависимость ускорения по сравнению с базовым от числа процессоров; 2 — зависимость времени расчета от числа процессоров

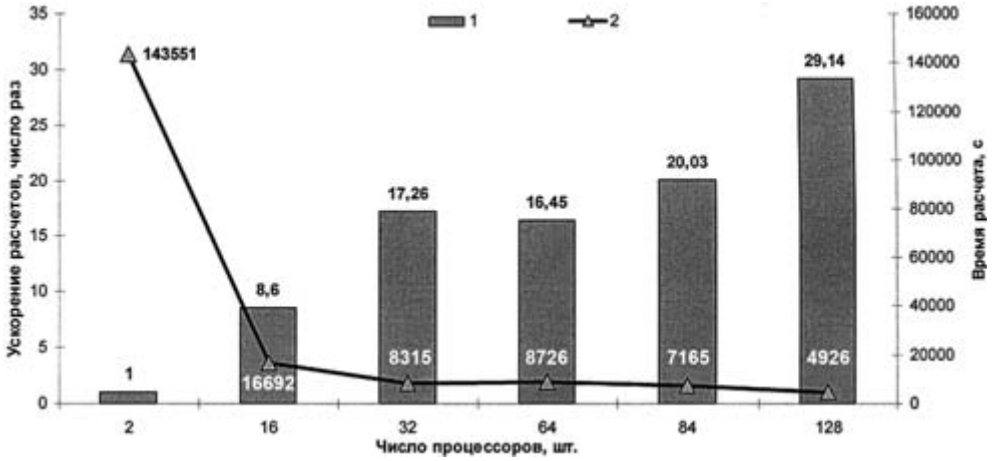


Рис. 6. Влияние числа процессоров на ускорение и время моделирования для отливки "Радиатор" (вариант 4):

1 — зависимость ускорения по сравнению с базовым от числа процессоров; 2 — зависимость времени расчета от числа процессоров

отливке, то распределение расчетных элементов происходит в соответствии с их усредненным значением. Однако в дальнейшем, при моделировании, расчетные элементы, распределенные по разным процессорам, могут получить различное количество металла, что и приводит к колебаниям данных по ускорению расчета на одинаковом количестве процессоров для различных отливок.

Программное обеспечение "ПроЛит-lc" под суперкомпьютер "СКИФ" модифицировано по сравнению с системой "ПроЛит-1". В системе "ПроЛит-1с" рассчитывается не один, а несколько вариантов технологического процесса. В результате по каждому варианту расчета выводится протокол (рис. 7), который включает распределения по температурам и скоростям объекта моделирования. С помощью разработанных критериев, рассчитанных для каждого варианта, технолог может выбрать оптимальный вариант для разработки технологической оснастки.

Металлургическое производство. Одной из важнейших задач металлургического производства является оптимизация температурно-временных режимов

разливки стали. Известно, что качество литой заготовки, получаемой в машинах непрерывной разливки сталей (МНЛЗ), в значительной степени зависит от скорости разливки, условий охлаждения в кристаллизаторе и зонах вторичного охлаждения, химического состава стали, а также от ее пластических свойств. Все перечисленные факторы влияют на качество получаемого слитка. Образующиеся при этом дефекты, такие как ликвация по углероду, продольные и поперечные трещины, уса-

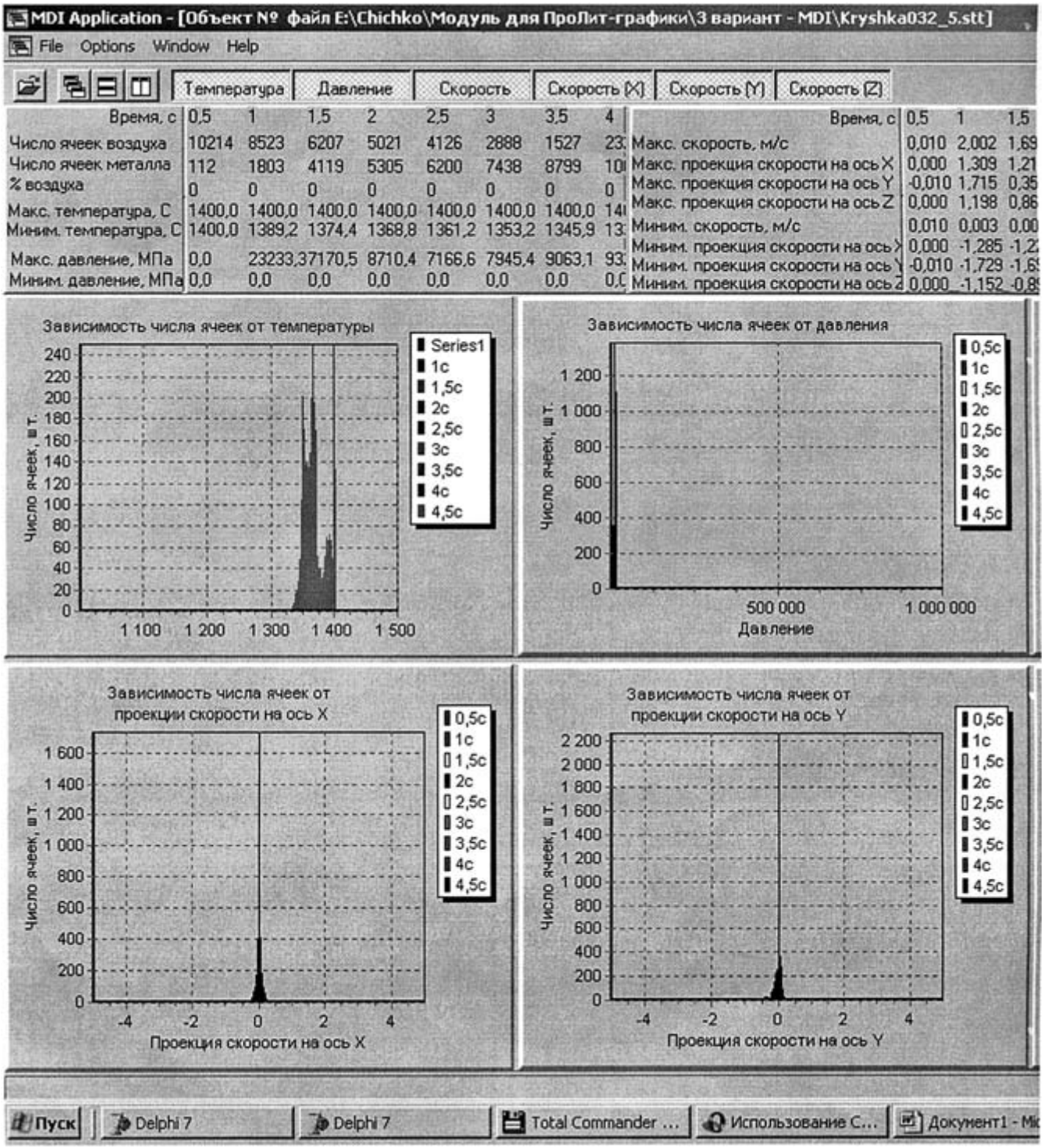


Рис. 7. Общий вид конечного протокола, содержащего результаты моделирования для оптимизации технологических решений

дочные дефекты заготовки, в значительной степени зависят от процесса кристаллизации заготовки в машинах непрерывной разливки стали.

Одним из эффективных путей повышения качества непрерывно-литой заготовки является управление процессом кристаллизации стали на основе температурных режимов первичного и вторичного охлаждения в МНЛЗ и варьировании скоростей разливки. Основу задач управления процессом кристаллизации составляют математические модели процессов охлаждения и кристаллизации литой заготовки в МНЛЗ. Задача кристаллизации промышленной заготовки является сложнейшей в теории металлургических процессов. В полной постановке она включает в себя систему уравнений Навье-Стокса, уравнение для энергии, уравнение неразрывности, описывающие движение металла, уравнение теплопроводности, описывающее процесс охлаждения металла с учетом различных функций, учитывающих кристаллизацию, а также уравнение диффузии, позволяющее рассматривать распределение элементов в различных фазах. Моделируя процессы течения расплава и его кристаллизацию, можно определять температурное поле слитка и его фазовое состояние в пространстве и во времени. Причем должна учитываться динамика процесса разливки стали на различных участках кристаллизующегося слитка, где происходят переходы из жидкого в жидко-твердое и твердое состояния. Следует отметить, что несмотря на фундаментальный характер задач математического моделирования процесса кристаллизации слитка, целый ряд теоретических и практических вопросов, особенно касающихся разработки алгоритмов и программного обеспечения, не решен до настоящего времени.

Одной из важнейших характеристик процесса разливки слитка в МНЛЗ является задача расчета длины жидкой фазы. На длину жидкой фазы слитка влияют условия охлаждения, скорость движения слитка, температура разливки, марка стали и другие технологические характеристики. В зависимости от того, где заканчивается жидкая фаза в МНЛЗ, выбирается положение тянущих роликовых механизмов. Это связано с пластическими свойствами слитка, которые различаются в зависимости от соотношения и протяженности жидкой и твердой фаз стали. Поэтому определение длины жидкой фазы является ключевым вопросом при разработке технологии получения слитков. Существующие методы оценки длины жидкой фазы в движущемся слитке основываются на полуэмпирических зависимостях и не позволяют учесть при расчете размеры зон вторичного охлаждения и изменения коэффициентов теплоотдачи в пространстве слитка. В то же время компьютерное моделирование кристаллизации слитка в трехмерном случае позволяет определить протяженность длины жидкой фазы в зависимости от пространственного положения зон вторичного охлаждения, размеров кристаллизатора, а также размеров воздушных прослоек по всей длине слитка. В связи с этим построение математической модели процесса непрерывной разливки стали, учитывающей распределение температур и углерода, и компьютерная реализация ее, позволяющая рассчитывать кристаллизацию для конкретной МНЛЗ, является одной из важнейших научных задач, имеющих как научное, так и практическое значение.

Необходимость применения мультипроцессорных вычислительных систем для решения задач математического моделирования процесса кристаллизации стали связана с большой размерностью сетки моделируемого объекта. Это приводит к тому, что моделирование процесса разливки сталей в МНЛЗ при реальной длине слитка 20—30 м может затягиваться на сотни часов машинного времени. Современные методы расчета, основанные на численных методах, позволяют рассчитывать слитки длиной 20—30 м и сечением 250 × 300 мм с дискретностью клетки размером 10 мм, что позволяет использовать 20 000 × 250 × 300/10 × 10 × 10 = 1 500 000 сеточных элементов. Время расчета для од-

ного варианта составляет приблизительно 10 ч. Несложно подсчитать, что повышение точности до 1 мм увеличивает число клеток до $20\,000 \times 250 \times 300/1 \times 1 \times 1 = 1\,500\,000\,000$. Затраты компьютерного времени составят приблизительно $10 \times 10 \times 10 \times 10$ ч = 416 сут. Отсюда видно, что для компьютерного моделирования таких процессов необходим суперкомпьютер. Пространственная сложность объекта приводит к сложным граничным условиям по группе параметров моделирования, которые связаны между собой системами уравнений теплопроводности и уравнений переноса. Оптимизация технологических вариантов должна проводится в широких интервалах варьирования как по физическим параметрам материалов, так и по пространственной конфигурации элементов МНЛЗ, что также требует больших затрат машинного времени.

Динамический пересчет сетки на каждом шаге итерации делает время выполнения этого шага критическим для работы всей компьютерной системы. Естественный способ повышения скорости расчетов в этом случае — распараллеливание процессов вычислений и реализация этой процедуры на суперкомпьютере.

Анализ отечественных и зарубежных публикаций показал, что статей, связанных с разработкой программного обеспечения на основе кластерных мультипроцессорных вычислительных систем в применении к моделированию процесса кристаллизации промышленных заготовок в машинах непрерывной разливки сталей нет. Причиной этого является специфичность процессов, протекающих в машинах непрерывной разливки сталей, и недостаточная развитость математического обеспечения по процессам кристаллизации сталей, особенно в контексте протекания структурных превращений в условиях многоступенчатой неравновесной кристаллизации.

В компьютерной системе "ПроНРС-lc" осуществляется подход, основанный на клеточно-автоматном моделировании процесса непрерывной разливки стали, позволяющий рассчитывать и визуализировать на компьютере трехмерный процесс получения литых заготовок в реальных промышленных условиях. В основе компьютерной системы лежит собственное математическое ядро, построенное на математических уравнениях теплопроводности с учетом функциональной теплоты кристаллизации. Математическое ядро может изменяться, дополняясь новыми эмпирическими зависимостями и математическими уравнениями, которые можно вводить, чтобы изменять модель и максимально учесть природу протекающих процессов при непрерывной разливке стали. Одним из важнейших достоинств разрабатываемой математической модели кристаллизации промышленных заготовок является учет пространственной конфигурации кристаллизатора, размеров зон вторичного охлаждения. Клеточный автомат, в котором моделируется процесс, представляет собой неравномерную сеточную структуру, элементы которой являются различными материалами (расплав, воздух, кристаллизатор и т. д.). Связь между элементами пространственной структуры непрерывно литой заготовки задается в виде конечно-разностных аппроксимаций и является приближением используемых дифференциальных уравнений.

Входными характеристиками программы являются размеры слитка, коэффициенты теплоотдачи в зонах охлаждения МНЛЗ, скорость слитка, шаг изменения по пространству и времени, характеристики свойств сталей, геометрические размеры различных зон МНЛЗ. Выходными характеристиками программного обеспечения являются температурное поле промышленной заготовки для различных временных промежутков, длина жидкой фазы, формирующаяся в процессе кристаллизации, температура в области раскроя.

Основной оптимизационный параметр при проведении моделирования процесса кристаллизации — длина жидкой фазы кристаллизующейся стали. Следует учитывать, что оптимизация даже по одному параметру (длина жидкой фазы слитка) технологического процесса разливки требует выполнения большого количества расчетов, так как число варьируемых параметров равняется как минимум восьми (размеры и расход воды в кристаллизаторе и трех зонах охлаждения). Если учесть нелинейный характер влияния расходов воды на процесс кристаллизации промышленной заготовки и ввести дополнительные зоны охлаждения в МНЛЗ, то число варьируемых параметров может существенно увеличить число моделируемых вариантов разливки стали. Это требует привлечения огромных вычислительных ресурсов, которые может обеспечить только суперкомпьютер.

Применение мультипроцессорных вычислительных систем к решению задач кристаллизации может

Таблица 2

Результаты расчета 6000 тактов тепловой задачи для слитка 140 × 140 (1 020 272 расчетных элемента) на кластере itk-121.bas-net.by

Общее число процессов	Число процессов, задействованных в расчете	Время расчета t_1, с	Ускорение расчетов, число раз	Время первоначальных установок, с	Время расчета t_2, с	Ускорение расчетов, число раз
2	1	8131	1	4	8127	1
3	2	4091	1,988	4	4087	1,989
4	3	2800	2,904	4	2796	2,907
5	4	2121	3,834	4	2117	3,839
8	7	1246	6,526	4	1242	6,544
9	8	1088	7,473	4	1084	7,497
16	15	611	13,308	5	606	13,411
32	31	322	25,252	8	314	25,882
64	63	178	45,680	10	168	48,375
128	127	112	72,598	18	94	86,457

открыть новые возможности для анализа дендритной кристаллизации промышленной заготовки на микроуровне (размеры областей 10^{-2}—10^{-4} м). Измельчение пространственной сетки и применение статистического распределения зародышей открывают возможности детального анализа процесса формирования межкристаллической ликвации углерода, серы и фосфора, которые могут являться причиной многочисленных дефектов заготовок. Это направлено на разработку программных продуктов нового поколения, позволяющих анализировать проблемы микроуровневой кристаллизации в металлических системах.

В табл. 2 представлены результаты по ускорению времени машинного расчета слитка размером 140 × 140 мм (1 020 272 расчетных элемента). Расчеты проводились с использованием 128 процессоров суперкомпьютера "СКИФ". Для оценки ускорения расчета было рассчитано 6000 тактов тепловой задачи для слитка размером 140 × 140 мм на кластере itk-121.bas-net.by с использованием различного количества процессов.

Из представленных в табл. 2 данных видно, что ускорение расчета заготовок может быть увеличено практически в 72 раза при использовании 128 процессоров.

Вывод. Представленные результаты свидетельствуют, что использование мультипроцессорных технологий позволяет существенно уменьшать время моделирования технологии получения как отливок, так и заготовок. Результаты анализа данных, полученных при моделировании процессов движения, охлаждения и кристаллизации расплавленного металла показывают, что достигается максимальное ускорение расчета на 128 процессорах кластера itk-121.bas-net.by в зависимости от геометрии объекта, его размеров, шага расчета по пространству, времени моделирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Свидетельство** о регистрации компьютерной программы "ПроЛит-1с" № 070. Первообладатели КП: Чичко А. Н., Лихоузов С. Г., Соболев В. Ф., Яцкевич Ю. В., Чичко О. И. Год создания 2008. Заявка № С20090013, дата подачи 9.03.2009. Дата внесения записи в Реестр зарег. комп. программ 13.03.2009.
2. **Чичко, А. Н.** Система автоматизированного моделирования "ПроЛит-1" и опыт ее использования на Минском заводе отопительного оборудования [Текст] / А. Н. Чичко, В. Ф. Соболев, С. Г. Лихоузов, Ф. С. Лукашевич, С. Ф. Лукашевич, В. А. Хацкевич // Литье и металлургия. — 2004. — Спецвыпуск. — С. 117—123.
3. **Компьютерное** моделирование на основе программы "ПроНРС-2" продольных напряжений в слитке, охлаждаемом плоскофакельными форсунками [Текст] / А. Н. Чичко, Н. В. Андрианов, А. В. Демин, Д. М. Кукуй, В. Ф. Соболев, Ю. В. Яцкевич, О. И. Чичко // Литье и металлургия. — 2004. — № 2. — С. 10—18.
4. **Чичко, А. Н.** Компьютерное моделирование распределения температур на поверхности вытягиваемого слитка при дискретном характере зон вторичного охлаждения [Текст] / А. Н. Чичко, А. В. Демин, Н. В. Андрианов // Известия вузов. Энергетика. — 2005. — № 2. — С. 63—68.
5. **Клеточно-автоматное** моделирование влияния скорости разливки на рост твердой фазы круглого слитка внутри кристаллизатора [Текст] / А. Н. Чичко, В. А. Маточкин, В. Ф. Соболев, А. В., Демин, О. И. Чичко // Энергетика. — 2006. — № 2. — С. 53—58.

УДК 629.113-585

А. Н. Чичко,
Ю. М. Захарик,
д-ра техн наук,
Т. В. Матюшинец,
О. И. Чичко,
канд-ты техн. наук;
ОАО "МАЗ" (г. Минск),
E-mail: vehicle@tut.by

CAD-системы в задачах проектирования деталей машиностроительного производства

Предложена математическая модель для обобщенной оценки компьютерного метода построения объектов с помощью CAD-системы. Приведены параметры математической модели для деталей машиностроительного профиля, построенных в системе Solid Works.

Ключевые слова: *алгоритм, метод, объект, оптимизация, проектирование, система, схема, точность, характеристика, шаг, элемент, этап.*

Введение. В связи с развитием современных информационных технологий появилась возможность проектирования деталей машиностроительного профиля на основе новейших CAD-систем. Для эффективного проектирования деталей машиностроительного профиля необходимо знание принципов работы CAD-системы, ее методов, а также различных вариантов построения заданных поверхностей. Основываясь на этих знаниях, можно эффективно создавать виртуальные детали машиностроительного профиля, точно воспроизводить поверхности, затрачивая минимальные ресурсы компьютерной системы.

Метод построения технических объектов. Одним из наиболее оптимальных инструментов создания геометрических моделей является компьютерная система Solid Works, которая предоставляет пользователю широкие возможности построения сложнейших технических объектов. Одной из основных трудностей использования этой системы для автоматизированных задач проектирования является выбор алгоритма или метода построения пространственного объекта. В зависимости от алгоритма построение детали может быть как очень сложным по времени реализации и способу построения, так и простым. Следует отметить, что методы построения зависят от типа пространственного объекта. Так, для построения технических объектов могут быть свои оптимальные алгоритмы.

Целью настоящей работы является анализ методов построения деталей машиностроительного профиля и выработка алгоритмической схемы (математической модели) построения трехмерных объектов средствами Solid Works.

Проанализировав различные варианты построения ряда деталей машиностроительного профиля в системе Solid Works, в целях повышения эффективности геометрического моделирования были определены следующие этапы технологии проектирования.

1. Разделение проектируемой детали на элементарные объекты (примитивы).

2. Выбор наилучшего способа построения каждого из примитивов.

3. Выбор оптимального порядка построения примитивов.

Последовательно выполняя эти этапы, можно добиться наилучшего соотношения скорости и универсальности построения. При этом можно сократить объем выходного файла. При рассмотрении детали следует уделить большое внимание элементарным объектам (примитивам), из которых состоит внутренняя и наружная поверхность детали.

Целесообразно расчленить проектируемую деталь на элементарные участки таким образом, чтобы каждый из примитивов можно было построить за один-два шага. В

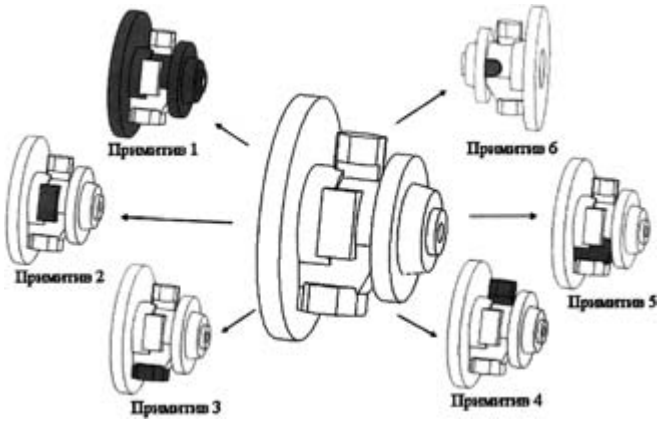


Рис. 1. Разделение наружной поверхности детали "корпус подшипника" на элементарные объекты

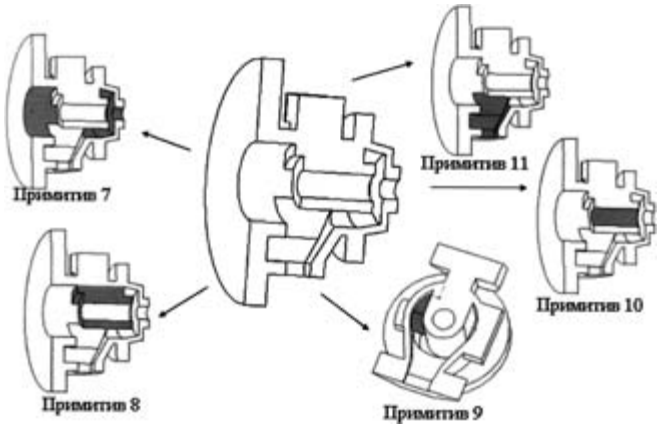


Рис. 2. Разделение внутренней поверхности детали "корпус подшипника" на элементарные объекты

результате построение детали любой сложности сводится к построению *n*-го числа элементарных объектов.

На рис. 1 и 2 показано выделение элементарных примитивов, образующих поверхность детали "корпус подшипника". После расчленения детали на элементарные объекты необходимо определить для каждого из них способ построения. Построение практически любого элементарного объекта может производиться несколькими способами и в разное количество шагов.

На выбор способа построения примитива оказывают влияние следующие факторы:

— минимизация этапов построения примитива;

— построение примитива на базе эскиза с минимальными расчетами геометрии;

— созданный примитив не должен нести за собой искажение геометрии ранее построенных примитивов;

— построенный примитив должен занимать минимальные ресурсы компьютера.

Выбор порядка построения примитивов является заключительным, но не менее важным этапом создания технического объекта. На этом этапе "кирпичики" детали собираются воедино для достижения конечной цели.

Последовательность построения детали следующая.

1) Выбор ключевого примитива технического объекта.

2) Выбор примитива, наилучшим образом сопрягающимся с ключевым.

. . .

N) Построение последнего примитива.

Следует отметить, что ключевой примитив выбирается из всех составляющих объекта как "плацдарм" для построения детали. Поэтому часто в качестве ключевого выбирается примитив, образующий главный контур детали. Это связано с тем, что, начав построение с примитива, обладающего развитой поверхностью, можно избежать в дальнейшем введения дополнительной геометрии.

Рассмотрев технологию построения 3D-геометрии деталей машиностроительного профиля и определив принципы и ограничения для каждого этапа технологии, сформулируем следующие критериальные характеристики процесса проектирования:

- минимизация объема конечного файла;
- сокращение времени проектирования;

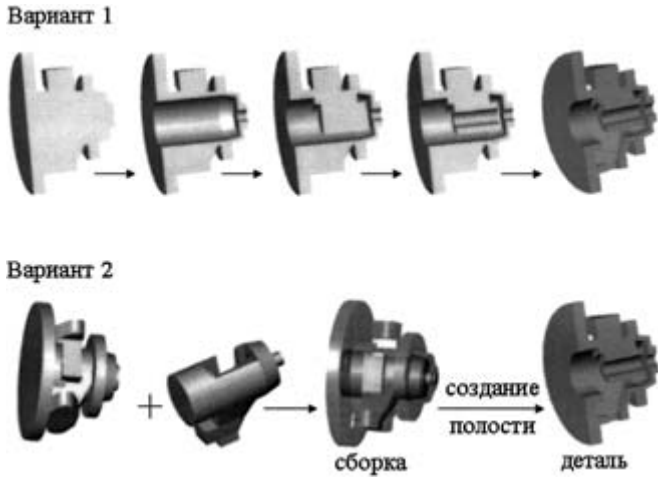


Рис. 3. Варианты построения детали "корпус подшипника"

- сокращение до необходимого минимума количества примитивов;
- сокращение шагов построения примитивов;
- достижение необходимой точности построения.

Все эти характеристики виртуального объекта являются важными составляющими эффективности выбранного способа построения. Однако в реальных условиях проектирования приходиться выбирать основную характеристику или группу характеристик, значение которых сводят к минимуму:

$$\begin{cases} \lambda_2 = \sum\limits_{i=1}^{n} t_i; \\ \lambda_3 = \sum\limits_{j=1}^{n} P_i; \\ \lambda_4 = \sum\limits_{k=1}^{n} L_k; \\ \lambda_5 = \dfrac{\Omega_{\text{исх}} - \Omega_{\text{пр}}}{\Omega_{\text{исх}}}; \\ f(\lambda_i) = k_1\lambda_1 + k_2\lambda_2 + k_3\lambda_3 + k_4\lambda_4 + k_5\lambda_5, \end{cases}$$

где λ_2 — время проектирования; t_i — время проектирования i-го элемента; λ_3 — количество примитивов; P_i — число примитивов i-го элемента; λ_4 — количество шагов построения примитивов; L_k — число шагов в k-том примитиве; λ_5 — точность построения; $\Omega_{\text{пр}}$ — проектируемая геометрия; $\Omega_{\text{исх}}$ — спроектированная геометрия; k_i, k_2, k_3, k_4, k_5 — весовые коэффициенты, λ_1 — объем файла.

Таблица

Расчетные параметры математической модели детали "корпус подшипника"

Вариат построения	λ_1, кБайт	λ_2	λ_3	λ_4	15
1	413	122	11	1,7	0
2	324	129	11	1,7	0

В конечном итоге целевая функция, отражающая математическую модель, должна стремиться к минимуму:

$$f(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5) = \\ = k_1\lambda_1 + k_2\lambda_2 + k_3\lambda_3 + k_4\lambda_4 + k_5\lambda_5 \to \min.$$

На рис. 3 представлены два различных варианта создания объекта, отличающихся как числом шагов построения, так и способом создания внутреннего контура детали "корпус подшипника" (см. таблицу).

Вывод. Разработанная математическая модель позволяет предложить алгоритм для оценки метода геометрического построения 3D-детали. Использование этого алгоритма позволило на основе детального анализа нескольких технологий построения ряда объектов выделить специфические группы объектов. На основе математической модели для каждой группы деталей рекомендован оптимальный способ построения и предложена начальная последовательность шагов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Гурский, Н. Н.** Моделирование и оптимизация колебаний многоопорных машин [Текст] / Н. Н. Гурский, Р. И. Фурунжиев. — Минск: БНТУ, 2008. — 296 с.

УДК 624.042.3

В. П. Капустин,
В. С. Устименко,
канд. техн. наук;
ФГУ "21 НИИИ МО РФ",
8-910-426-04-58

Основные результаты исследований динамической нагруженности транспортного оборудования эвакуационной машины

(Рисунки см. на 2-й и 3-й полосах обложки)

Рассмотрены проблемные вопросы, связанные с одновременным увеличением в стране автомобильного парка машин и недостаточной изученностью используемых средств эвакуации, а также обобщены основные результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований нагруженности транспортного оборудования, направленные на всестороннее изучение характера нагружений элементов транспортного оборудования по дорогам различных видов.

Ключевые слова: *эвакуационная машина (средство эвакуации), транспортное оборудование, нагрузка.*

За последние годы в нашей стране обозначился заметный рост производства автомобильной техники (АТ), в том числе путем наращивания мощностей с участием зарубежных фирм.

Увеличение автомобилей, находящихся в эксплуатации, возрастает также за счет повышения объемов поступлений импортных машин. Все это, несомненно, вызывает определенную напряженность в транспортном потоке движущихся автомобилей на дорогах общего пользования и неизбежную повреждаемость, в том числе из-за неисправностей и отказов систем и механизмов, что влечет, в свою очередь, объективную необходимость их эвакуации.

В увеличивающемся парке машин отмечен также рост и автомобилей повышенной грузоподъемности (10—15 т и более), в том числе в Вооруженных силах Российской Федерации (ВС РФ).

Все это обусловливает необходимость разработки, производства и использования средств эвакуации (СЭ), создаваемых на разных принципах (способах) их применения в зависимости от класса грузоподъемности или полной массы объекта эвакуации. В качестве одного из них можно привести способ, разработанный на принципе полупогрузки, который широко используется при транспортировании неисправных, поврежденных или не имеющих водителей колесных машин с мест выхода их из строя, особенно крупногабаритных (рис. 1). При данном способе благодаря поднятию поврежденной передней или задней части АТ посредством транспортного оборудования эвакуационной машины (рис. 2) исключается контакт поврежденных элементов ходовой части с дорожным покрытием [1]. Такой способ широко используется при эвакуации автомобилей, принятых на снабжение ВС РФ, при котором транспортное оборудование колесного средства эвакуации расположено в задней части на специальном надрамнике и имеет однотипную конструкцию для разных категорий этих средств по их массе. Конструкция состоит из кронштейна стрелы (щеки) 1 (рис. 3) со шкворнем, стрелы 2, траверсы 3 и замка фиксации транспортного оборудования 4, установленного на надрамнике базового шасси 5.

При разработке средств эвакуации, учитывая их различные классы, а также широкий диапа-

зон их массово-габаритных характеристик, важно знать реальные нагрузки, действующие на элементах транспортного оборудования средства эвакуации, возникающие при движении по различного вида дорогам, которые могут как ограничить их функциональные возможности, так и привести их к повреждению.

Проведенные в 21 НИИИ МО РФ теоретические и экспериментальные исследования нагруженности элементов транспортного оборудования, установленного на колесной ремонтно-эвакуационной машине (на базе шасси УРАЛ-532362-1042) совместно с эвакофондом (КАМАЗ-6350) при его полной массе 22,0 т позволили установить ряд закономерностей и сформулировать на их базе некоторые важные положения.

Так, расчеты напряжений по Мизесу [2, 3], возникающих в элементах транспортного оборудования, с использованием метода конечных элементов [3] позволили определить значения максимальных напряжений. Расчеты показывают, что наибольшей нагруженности подвержена траверса, а напряжения в месте соединения со стрелой достигают 100,0 МПа.

В ходе экспериментальных исследований с использованием тензометрирования элементов транспортного оборудования при движении по различного вида дорогам определены элементы и режимы наибольшего динамического нагружения элементов его конструкции. Среди них:

— траверса — в условиях движения эвакуационной машины по прямым волнам синусоидального профиля ($l = 2$ м) и крупнобулыжному участку (КБУ) комплексной испытательной трассы (КИТ) 21 НИИИ МО РФ, а также в режиме "разгон-торможение";

— стойка стрелы — в условиях движения по грунтовым разбитым дорогам и клиновым холмам ухабистой дороги КИТ;

— щека — в режиме "разгон-торможение" и движения по КБУ КИТ, а также на спуске малой крутизны.

В ходе экспериментов параллельно оценивалась и вибрационная нагруженность при испытаниях на дорогах со случайным микропрофилем. По результатам обработки параметров колебаний и вибрации было установлено, что на щеке транспортного оборудования, взятой в качестве базовой детали, наибольшие вертикальные ускорения сосредоточены в области резонансных частот — во 2-й и 4-й октавах со средней геометрической частотой 2 и 8 Гц (рис. 4). Для продольных ускорений характерно плавное возрастание и достижение максимальных значений в 7-й октаве со средней геометрической частотой 80 Гц. Наибольшие значения вертикальных ускорений возникают на КБУ КИТ со средней квадратической высотой его неровностей $3{,}5 \cdot 10^{-2}$ м.

По результатам исследований были также проанализированы темпы накопления усталостных повреждений, которые с учетом особенностей конструкции значительно отличаются между собой, в том числе при движении по различным видам дорог. При этом установлено, что накопления усталостных повреждений на спецучастках КИТ на порядок превышают накопления на стандартных видах дорог.

Вывод. Результаты расчетно-экспериментальных исследований позволили всесторонне оценить нагруженность элементов транспортного оборудования, дать рекомендации эксплуатационного и конструкционного характера с разработкой предложений по уточнению требований к средствам эвакуации. Кроме того, результаты исследований позволяют использовать их при отработке нормативов ускоренных испытаний средств эвакуации с использованием КИТ 21НИИИ МО РФ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Эвакуация** автомобильной техники. Руководство часть 1. — М.: Военное издательство, 1985. — 240 с.
2. **Маслов, Л. Б.** Численные методы для решения задач теории упругости: Методическое пособие Иван. гос. энерг. ун-та [Текст] / Л. Б. Маслов. — Иваново: ИГЭУ, 1999. — 28 с.
3. **Шелофаст, В. В.** Основы проектирования машин [Текст] / В. В. Шелофаст. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: АПМ, 2000. — 472 с.
4. **Вентцель, Е. С.** Теория вероятностей [Текст] / Е. С. Вентцель. 10-е изд., стер. — М.: Изд. центр "Академия", 2005. — 576 с.

УДК
629.113.004.67

А. Ф. Синельников,
канд. техн. наук,
МГТУ "МАДИ",
E-mail: AFSinelnikov@mail.ru

Оценка надежности восстановления детали с учетом анализа ее функциональных свойств и требований технических условий к рабочим поверхностям

Приведена методика оценки надежности восстановления детали на основе анализа ее функциональных свойств и требований технических условий к рабочим поверхностям. Рассмотрены основные принципы и условия разработки структурной схемы оценки надежности восстановленной детали с учетом имеющихся на ней дефектов и технологии устранения данного комплекса дефектов рабочих поверхностей. На примере коленчатого вала автомобильного двигателя дана оценка надежности восстановления детали при условии обеспечения 80 %-ной вероятности безотказной работы вала.

Ключевые слова: *надежность, деталь, функциональные свойства, рабочая поверхность, восстановление.*

Автомобиль как сборочную единицу, выполняющую определенную транспортную работу, правомерно представить сложной системой, состоящей из большого количества подсистем.

Элементарной подсистемой автомобиля является деталь, так как она отвечает все требованиям понятия системы. В детали имеются элементы, между ними существуют определенные отношения, деталь выполняет определенные функции и т. п.

Свойства детали, процессы, протекающие в ней, в какой-то мере влияют на свойства и процессы, протекающие в автомобиле в целом, и предопределяют их. Однако это не означает, что автомобиль — простая сумма деталей, а свойства автомобиля можно обеспечить простым суммированием свойств деталей. Автомобиль как большое множество имеет свои свойства, в нем протекают свои процессы. В то же время свойства и процессы в автомобиле во многом определяются свойствами и процессами, протекающими в деталях.

Каждая деталь определенного назначения обладает конкретной довольно большой совокупностью свойств, особенностей. Необходимо из всего многообразия свойств выделить некоторое минимальное количество свойств, но общее для всех деталей. К этим свойствам относятся работоспособность, износостойкость и прочность. В процессе эксплуатации многие детали автомобиля прежде всего теряют работоспособность, как правило, вследствие утраты износостойкости, но сохраняют прочность, которая обусловливает долговечность детали. Таким образом, после некоторого периода эксплуатации деталь утрачивает работоспособность, но не исчерпывает свою прочность. Задачей ремонта деталей является восстановление работоспособности в пределах заложенной прочности.

Каждой детали присущ ресурс до предельного состояния и ресурс до отказа. Первый определяется главным образом прочностными свойствами детали, второй — износостойкостью.

Срок службы, или ресурс каждой детали $R_д$ сложная функция факторов, т. е.

$$R_д = f(к, п, э),$$

где к — конструктивные особенности детали; п — особенности технологии производства детали; э — особенности условий эксплуатации детали.

Для каждой детали эти факторы различны. Естественно, что все это обусловливает разный ресурс деталей. При создании новой конструкции автомобиля с некоторым ресурсом R по многим его деталям предусматривается ресурс $R_д$, намного больший ресурса автомобиля в целом, т. е. $R_д \gg R$.

Ресурс — величина случайная, с некоторым рассеиванием, что вынуждает руководствоваться законами рассеивания случайных величин, использовать закон гамма распределения и другие.

Процессы, происходящие в автомобилях, делятся на две группы: первая — процессы, описываемые функциональными зависимостями, и вторая — случайные (вероятностные, стохастические) процессы.

Для функциональных зависимостей характерна жесткая связь между функцией и аргументом, когда определенному значению аргумента соответствует определенное значение функции.

Вероятностные процессы происходят под влиянием многих переменных факторов, значение которых часто неизвестно, т. е. носят случайный характер. Поэтому результаты вероятностного процесса могут принимать различные количественные значения, т. е. имеют рассеивание или вариацию. Например, наработка на отказ автомобиля или агрегата является случайной величиной и зависит от следующих факторов: первоначального качества материала деталей; точности обработки деталей; качества сборки; качества технического обслуживания и ремонта; квалификации персонала; условий эксплуатации; качества применяемых эксплуатационных материалов и т. п.

Характеристиками случайных процессов изменения технического состояния автомобилей являются:

среднее значение

$$\bar{L} = \frac{L_1 + L_2 + \ldots + L_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} L_i}{n};$$

среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (L_i - \bar{L})^2}{n-1}};$$

дисперсия

$$D = \sigma^2;$$

коэффициент вариации

$$\upsilon_L = \sigma / \bar{L},$$

где L_i — текущее значение i-й случайной величины (наработка L автомобиля); n — количество наблюдений случайной величины (автомобилей).

Помимо приведенных характеристик случайных процессов, важнейшей характеристикой случайной величины является вероятность — численная мера степени объективно существующей возможности появления события. Статистически вероятность представляет собой отношение числа случаев, благоприятствующих этому событию, к общему числу случаев. Вероятность принимает значения в интервале $0 \leqslant P \leqslant 1$. События, для которых $P = 1$, называют достоверными, а события, для которых $P \leqslant 0{,}05$ — маловероятными.

Надежность — свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования. Одним из основных свойств надежности является безотказность, определяемая способностью автомобиля непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки. Основными показателями безотказности являются: вероятность безотказной работы (вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ автомобиля не возникает); средняя наработка на отказ (отношение наработки автомобиля к среднему значению числа его отказов в течение этой наработки); параметр потока отказов (отношение среднего числа отказов автомобиля за произвольно малую его наработку к значению этой наработки).

Вероятность безотказной работы P_t определяется отношением числа случаев безотказной работы автомобиля за наработку t к общему числу случаев n, т. е.

$$P_t = \frac{n - m_t}{n} = 1 - \frac{m_i}{n},$$

где m_t — число отказавших автомобилей к моменту наработки t.

Вероятность отказа F_t является событием, противоположным вероятности безотказной работы автомобиля, и поэтому

$$F_t = 1 - P_t = m_t/n.$$

Расчет надежности любой технической системы заключается в определении вероятности P_t безотказной работы всей системы по значениям вероятности безотказной работы каждого элемента, входящего в систему. Такой расчет, как правило, включает в себя расчленение сложной системы на отдельные элементы, определение вероятности безотказной работы элементов, составление структурной схемы и ее расчет. Все элементы системы можно условно разделить на группы:

элементы, отказы которых не влияют на работоспособность изделия;

элементы, работоспособность которых практически не изменяется (корпуса, малонагруженные детали);

элементы, ремонт и регулирование которых возможны при работе изделия или во время остановок;

элементы, отказ которых приводит к отказам изделия.

Количество, степень, характер расчленения зависят от конкретной решаемой задачи. Нужно стремиться разбить систему на элементы, отказ одного из которых не будет влиять на отказ других. Это позволяет упростить расчет.

При условии, что отказ одного элемента выводит из состояния работоспособности всю систему, структурная схема представляется последовательным соединением элементов (рис. 1, а), а вероятность безотказной работы всей системы в этом случае равна произведению вероятности безотказной работы элементов

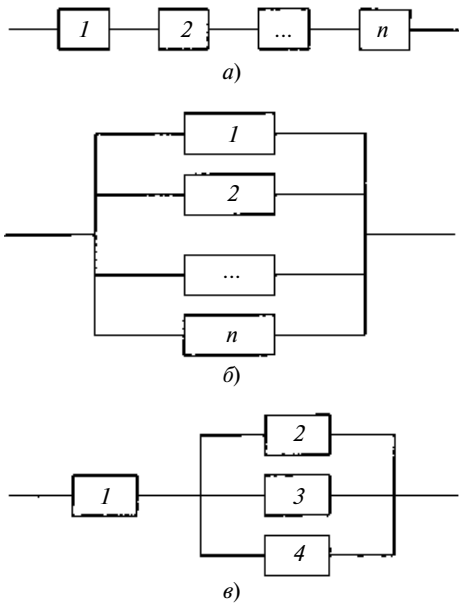


Рис. 1. Соединения элементов системы:

а — последовательное; б — параллельное; в — смешанное

$$P_t = P_1 P_2 ... P_n = \prod_{i=1}^{n} P_i.$$

При одинаковой надежности элементов

$$P_t = P_i^n.$$

Системы, состоящие из элементов высокой надежности, могут обладать низкой надежностью вследствие наличия большого числа элементов, отказ которых приводит к отказу всей системы. Например, если $P_i = 0{,}99$ и $n = 50$, то $P_t = (0{,}99)^{50} = 0{,}6$; если $n = 400$, то $P_t = (0{,}99)^{400} = 0{,}018$.

Если в приводе изделия выйдет из строя любая шестерня, муфта, насос и т. п., то весь привод перестанет функционировать. Конструктивно эти элементы не обязательно должны быть соединены последовательно, но структурная схема изображается последовательным соединением элементов.

Для повышения надежности систем применяют резервирование, т. е. создают дублирующие элементы. При выходе из работоспособного состояния одного элемента его функции выполняет дублер, и система не прекращает работы. Структурная схема в этом случае представляется параллельно соединенными элементами (рис. 1, б). Отказ будет иметь место при условии отказа всех элементов. Вероятность совместного проявления отказов

$$F_t = F_1 F_2 ... F_n = \prod_{i=1}^{n} F_i,$$

а вероятность безотказной работы

$$P_t = 1 - F_t = 1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - P_i).$$

Например, если вероятность безотказной работы элемента $P_i = 0{,}9$ и $n = 3$, то $P_t = 0{,}999$, т. е. P_t резко повышается. Поэтому возможно создание надежных систем их малонадежных элементов, работоспособное состояние каждого из которых обеспечивает работоспособное состояние системы.

В структурной схеме, состоящей из параллельно включенных 2-го, 3-го и 4-го элементов, образующих подсистему, к которой последовательно подключен 1-й элемент (рис. 1, *в*), вероятность безотказной работы всей системы рассчитывают по формуле

$$P_t = P_1[1 - (1 - P_2)(1 - P_3)(1 - P_4)].$$

Оценку надежности работы автомобильных деталей можно производить по показателю вероятности безотказной работы. Для расчета этого показателя деталь целесообразно рассматривать в виде сложной системы, элементами или подсистемами которой являются рабочие поверхности.

На основании функциональных свойств рассматриваемой детали и требований, предъявляемых к ее рабочим поверхностям, разрабатывается структурная (логическая) схема для расчета вероятности безотказной работы детали до ремонта. В табл. 1 приведены некоторые типовые структурные схемы и расчетные зависимости для оценки средней вероятности безотказной работы детали до ее предельного состояния. Как видно из табл. 1, структурная схема может состоять из последовательно расположенных элементов, а кроме того, из них же, но в сочетании с параллельными цепями. При этом под предельным состоянием детали понимается такое состояние, при котором ее дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно либо ее восстановление невозможно или нецелесообразно. Описание предельного состояния детали дает возможность определить положение каждой рабочей поверхности в общей цепи структурной схемы.

При составлении структурной схемы функционально и технологически связанных между собой рабочих поверхностей детали необходимо помнить следующее:

1) дефекты рабочих поверхностей, вызывающие восстановление работоспособности детали путем проведения ремонтно-восстановительных работ, в структурной схеме располагаются последовательно;

2) в параллельную цепь структурной схемы объединяются дефекты, вероятность появления которых по условиям функционирования рабочих поверхностей детали велика, т. е. при появлении хотя бы одного из указанных дефектов целесообразно восстанавливать и те поверхности, которые функционально связаны с данной поверхностью;

3) если ряд рабочих поверхностей технологически связаны между собой таким образом, что при восстановлении одной из них обязательно подлежат восстановлению и другие поверхности, то эти поверхности располагаются в последовательную цепь.

После разработки структурной схемы составляется общая формула для расчета регламентированной величины вероятности безотказной работы детали

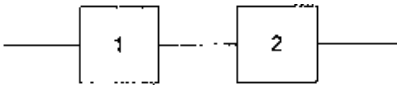
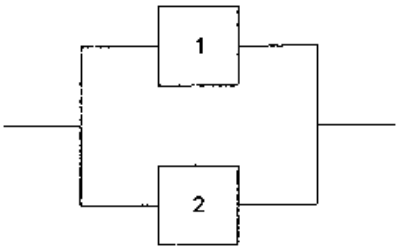
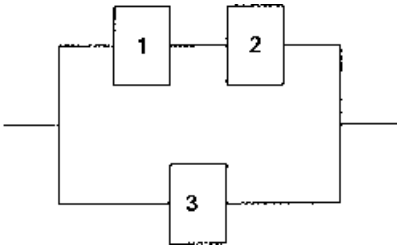
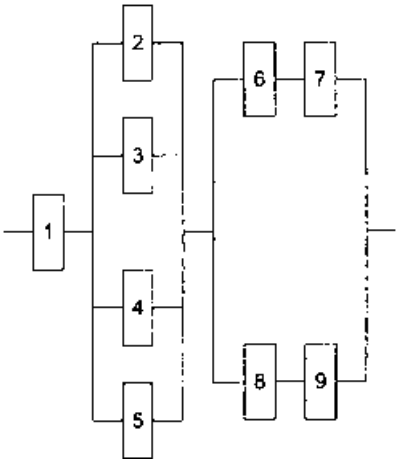
$$P_{\gamma д} = \prod_{i=1}^{n} P_{\gamma i},$$

где $P_{\gamma i}$ — расчетное значение регламентированной вероятности γ безотказной работы i-й рабочей поверхности, расположенной последовательно в структурной схеме или i-й группы рабочих поверхностей, образующих параллельный блок цепи.

Аналогично составляется структурная схема для различных групп дефектов рабочих поверхностей детали. При этом оценивается вероятность

Таблица 1

Структурные схемы и расчетные зависимости для оценки вероятности безотказной работы детали до ее предельного состояния

Описание предельного состояния деталей	Структурная схема, соответствующая описанию предельного состояния деталей	Полная вероятность работы детали в заданное время
Восстановление детали необходимо при наличии на детали либо дефекта 1, либо дефекта 2		$P = P_1P_2$, где P_1 и P_2 — вероятность того, что дефекты 1 и 2 в заданное время будут отсутствовать на детали при ее ремонте. Значения вероятностей надежности P_1 и P_2 равны единице при отсутствии дефектов 1 и 2
Восстановление детали производится только при необходимости одновременного устранения дефектов 1 и 2		$P = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2)$ При $P_1 = P_2 = P_д$ $P = 1 - (1 - P_д)^2$
Восстановление детали наступает при необходимости одновременного устранения дефектов 1 и 3, либо 2 и 3		$P = 1 - (1 - P_1P_2)(1 - P_3)$
Восстановление детали может быть при наличии дефектов на детали: либо только дефекта 1; либо необходимости одновременного устранения дефектов 2—5; либо 6 и 8; либо 6 и 9; либо 7 и 8; либо 7 и 9		$P = P_1[1 - (1 - P_2)(1 - P_3)(1 - P_4) \times (1 - P_5)][1 - (1 - P_6P_7)(1 - P_8P_9]$

безотказной работы для быстро изнашиваемых поверхностей, исходя из выражения

$$P_{\gamma i} = \prod_{j=1}^{n} P_{\gamma j},$$

где $P_{\gamma j}$ — расчетное значение регламентированной вероятности γ гамма-процентного ресурса j-й рабочей поверхности.

Данная методика проиллюстрирована на примере коленчатого вала автомобильного двигателя. Рассматриваемая деталь относится к классу восстанавливаемых и имеет большое количество дефектов, которые в процессе ее ремонта устраняются. Ниже рассматривается один из вариантов структурной схемы для расчета регламентированной вероятности безот-

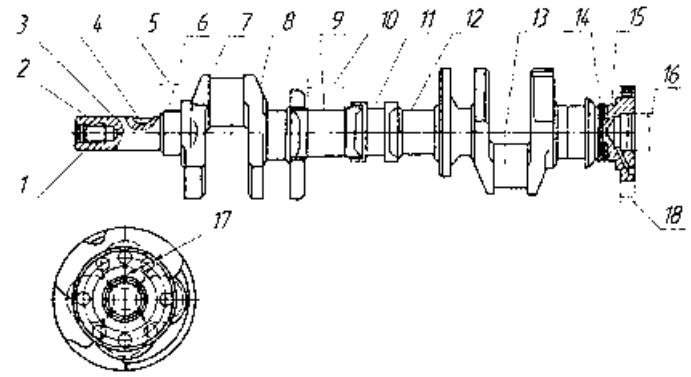


Рис. 2. Дефекты рабочих поверхностей коленчатого вала автомобильного двигателя

казной работы рабочих поверхностей $P_{\gamma i}$ коленчатого вала по заданному уровню вероятности безотказной работы для вала в целом $P_{\gamma д}$.

Для решения этой задачи на коленчатом валу выделяются дефекты рабочих поверхностей (рис. 2), предусмотренные техническими требованиями на ремонт двигателя, которые представляют в виде карт (табл. 2), где для каждой детали приводят следующее: общие сведения о детали; перечень возможных ее дефектов; способы выявления дефектов; допустимые без ремонта размеры детали и рекомендуемые способы устранения дефектов.

Таблица 2

Карта технических условий на дефектацию коленчатого вала

Деталь (сборочная единица): Коленчатый вал					
См. рис. 2				№ детали (сборочныой единицы): 130-1005011	
				Материал: Сталь 45	
				Твердость: 52...62 HRC	
Позиция на рис. 2	Наименование дефектов	Способ установления дефекта и средства контроля	Размеры, мм		Заключение
			номинальный	допустимый без ремонта	
1	Срыв резьбы под храповик	Осмотр	М27 × 1,5	М27 × 1,5	Ремонтировать при срыве резьбы более двух ниток. Нарезка резьбы ремонтного размера М30 × 1,5
2	Биение шейки под шестерню и ступицу шкива вала	Призмы и индикатор	0,03	0,05	Ремонтировать. Наплавка
3	Износ поверхности под шестерню и ступицу шкива вала по диаметру	Скоба 45,92 мм или микрометр 25—50 мм	$45^{-0,025}_{-0,050}$	45,92	Ремонтировать. Наплавка
4	Износ шпоночной канавки под шестерню по ширине	Калибр	$6^{-0,010}_{-0,055}$	6,02	Ремонтировать. Наплавка
5	Увеличение длины передней коренной шейки	Индикаторное приспособление для контроля длины передней шейки	$32^{+0,160}_{-0,075}$	—	Ремонтировать. Установка задней шайбы упорного подшипника коленчатого вала ремотного размера. Браковать при размере более 32,62 мм
6	Износ коренных шеек по диаметру	Микрометр 50—75 мм	$75_{-0,013}$	—	Ремонтировать. Шлифование до ремонтрого размера. Браковать при размере менее 73,98 мм

Деталь (сборочная единица): Коленчатый вал					
См. рис. 2				№ детали (сборочныой единицы): 130-1005011	
				Материал: Сталь 45	
				Твердость: 52...62 HRC	
Позиция на рис. 2	Наименование дефектов	Способ установления дефекта и средства контроля	Размеры, мм		Заключение
			номинальный	допустимый без ремонта	
7	Трещины и обломы любого характера и направления	Осмотр. Магнитный дефектоскоп	—	—	Браковать
8	Срыв резьбы грязесборника	Осмотр	М30 × 1,5	М30 × 1,5	Ремонтировать при срыве резьбы менее двух ниток. Прогонка по всей длине
9	Износ шатунных шеек по диаметру или глубокие задиры на отдельных шейках	Микрометр 50—75 мм	$65{,}5_{-0{,}013}$	—	Ремонтировать. Шлифование до ремонтного размера. Браковать при размере менее 63,48 мм
10	Увеличение длины шатунных шеек	Шаблон 58,32	$58^{+0{,}12}$	58,32	Браковать при длине шеек более 58,32 мм
11	Биение средней коренной шейки относительно крайних (прогиб вала)	Призмы и индикатор	Не более 0,05	Не более 0,3	Ремонтировать. Правка
12	Непараллельность осей шатунных шеек	Призмы и индикатор	0,02	Не более 0,02	Ремонтировать. Правка
13	Изменение радиуса кривошипа	Специальное приспособление	$47,5^{+0{,}08}_{-0{,}08}$	$47,5^{+0{,}08}_{-0{,}08}$	Ремонтировать. Шлифование шеек до ремонтного размера
14	Износ маслосгонных канавок по диаметру	Скоба 78,8 мм или микрометр 75—100 мм	$79^{-0{,}03}_{-0{,}06}$	78,8	Ремонтировать. Наплавка
15	Биение поверхности диаметра вала под манжету	Призмы и индикатор	Не более 0,02	Не более 0,04	Ремонтировать. Правка
16	Износ отверстия под подшипник направляющего конца ведущего вала коробки передач	Пробка 52,01 мм или нутромер индикаторный 50—100 мм	$52^{-0{,}008}_{-0{,}040}$	52,01	Ремонтировать. Постановка втулки
17	Износ отверстий во фланце под болты крепления маховика	Пробка 14,06 мм или нутромер индикаторный 10—18 мм	$14^{+0{,}035}$	14,06	Ремонтировать. Развертывание до ремонтного размера в сборе с маховиком. Браковать при размере более 14,56 мм
18	Биение торцовой поверхности вала	Призмы, индикатор и микрометр 0—25 мм	0,1	0,1	Ремонтировать. Протачивание "как чисто" до размера не менее 9,5 мм

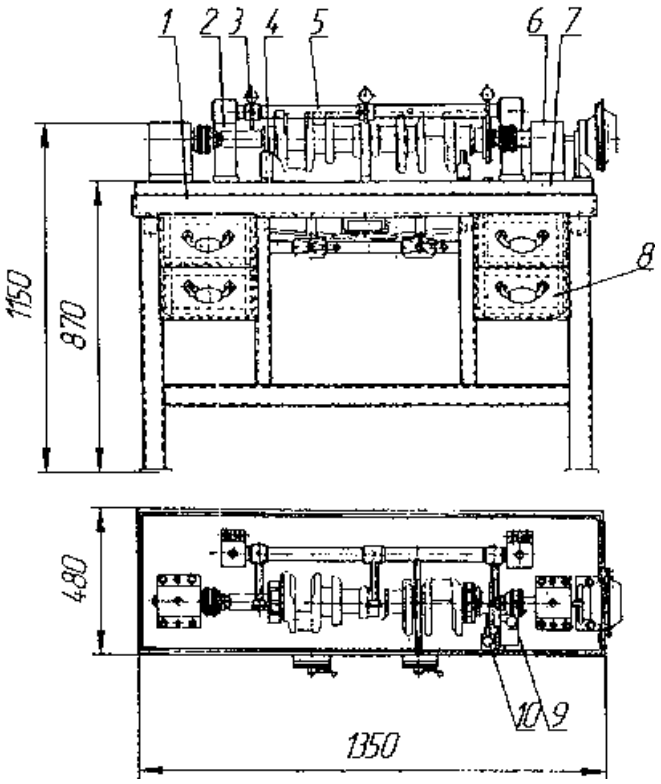


Рис. 3. Стенд для дефектации коленчатого вала автомобильного двигателя

Для дефектации коленчатого вала применяют стенд (рис. 3) сварной конструкции с ящиками 8 для мерительных инструментов. На столе 1 стенда установлена поверочная чугунная плита 7, выверенная по уровню. На столе закреплены опора 6 с центрами, стойки 2 и скалка 5. К скалке прикреплены три индикаторные головки 3 для проверки биения шейки под шестерню и наружного диаметра фланца, а также для определения прогиба коленчатого вала по средней коренной шейке.

Для контроля биения торца фланца и шейки вала под манжету на поверочной плите установлены индикаторные приставки 9 и 10. Призмы 4 с пневматическим приводом служат для подъема контролируемого коленчатого вала при проверке отверстия под подшипник ведущего вала коробки передач.

Анализ дефектов коленчатого вала, причин их появления, исходя из условий его работы, позволяет составить вариант структурной схемы надежности (рис. 4).

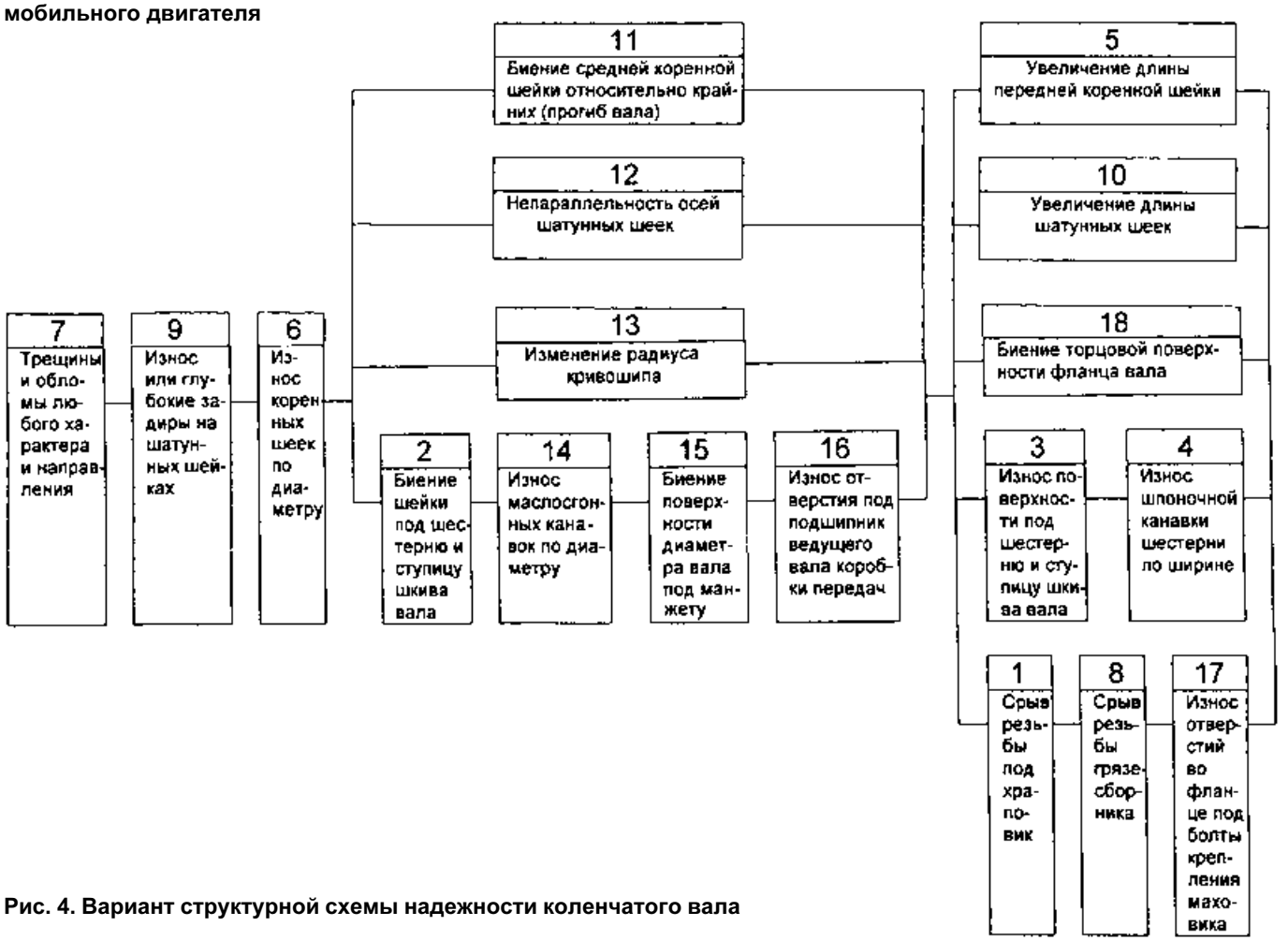


Рис. 4. Вариант структурной схемы надежности коленчатого вала

Изношенные рабочие поверхности 7, 9 и 6 включены последовательно в цепь структурной схемы, исходя из соображения, что при наличии хотя бы одного из них коленчатый вал подлежит либо выбраковке, либо ремонту. Поверхности 11—16 и 5—17, объединенные в блок дефектов рабочих поверхностей, также должны быть подвергнуты ремонтным воздействиям, которые выполняются, как правило, при капитальном ремонте двигателя. Изношенные поверхности 11—13 и комплекс изношенных поверхностей 2—16 параллельно связаны в структурной схеме надежности коленчатого вала по причине их тесной функциональной взаимосвязи. Последовательное соединение элементов рабочих поверхностей 2, 14—16 вызвано технологией устранения данного комплекса дефектов рабочих поверхностей. Аналогичные рассуждения можно сделать и для блока дефектов рабочих поверхностей 5—17.

Таким образом, ремонт коленчатого вала (см. рис. 2) при капитальном ремонте двигателя определяется наличием на нем следующих дефектов:

— трещин и обломов любого характера и направления (дефект 7);

— износов шатунных шеек по диаметру или глубоких задиров на отдельных шейках (дефект 9);

— износов коренных шеек по диаметру (дефект 6);

— одновременно при наличии прогиба вала (дефект 11), непараллельности осей шатунных шеек (дефект 12), изменения радиуса кривошипа (дефект 13), любого из дефектов — биения шейки под шестерню и ступицу шкива коленчатого вала (дефект 2), износа маслосгонных канавок по диаметру (дефект 14), биения поверхности диаметра вала под манжету (дефект 15), износа отверстия под подшипник направляющего конца ведущего вала коробки передач (дефект 16);

— одновременно при наличии увеличения длины передней коренной шейки (дефект 5), длины шатунных шеек (дефект 10), биения торцовой поверхности фланца вала (дефект 18), любого из дефектов — биения шейки под шестерню и ступицу шкива коленчатого вала (дефект 3) и износа шпоночной канавки под шестерню по ширине (дефект 4), а также любого из дефектов — резьб под храповик (дефект 1), грязесборника (дефект 8) и отверстий во фланце под болты крепления маховика (дефект 17).

В соответствии с обозначениями отдельных дефектов рабочих поверхностей коленчатого вала (см. рис. 2) и со структурной схемой (см. рис. 3) записывается условие обеспечения вероятности безотказной работы коленчатого вала до установленного значения γ-процентного ресурса, равного 80 %.

$$P_{\gamma д} = \prod_{i=1}^{n} P_{\gamma i} = P_{80\,\%,\,д} = \\ = P_7 P_9 P_6 P_{11-16} P_{5-17} = 0{,}80.$$

Вероятность безотказной работы от совместного функционирования рабочих поверхностей 11—16

$$P_{11-16} = 1 - (1 - P_{11})(1 - P_{12})(1 - P_{13}) \times \\ \times (1 - P_2 P_{14} P_{15} P_{16}).$$

Вероятность безотказной работы от совместного функционирования рабочих поверхностей 5—17

$$P_{5-17} = 1 - (1 - P_5)(1 - P_{10})(1 - P_{18}) \times \\ \times (1 - P_3 P_4)(1 - P_1 P_8 P_{17}).$$

При определении вероятности безотказной работы коленчатого вала учитываются только геометрические отклонения рабочих поверхностей.

Вероятность безотказной работы i-й поверхности вала является статистической оценкой, которая в зависимости от поля допуска δ на размер рабочей поверхности (рис. 5) определяется из равенства

$$P_i = \int_a^в f(x)dx,$$

где P_i — расчетное значение вероятности безотказной работы i-й рабочей поверх-

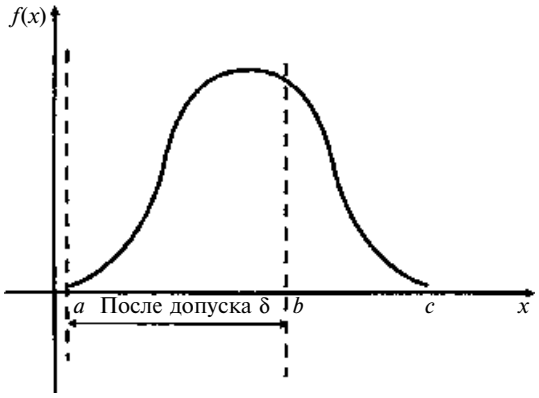


Рис. 5. Плотность распределения вероятностей *f(x)* погрешностей размера x для *i*-й рабочей поверхности коленчатого вала:

a и b — соответственно верхнее или нижнее отклонения абсолютной величины размера *x* для *i*-й рабочей поверхности вала; c — соответственно наибольшее (для отверстия) или наименьшее (для вала) отклонения абсолютного размера x изношенной *i*-й рабочей поверхности вала

ности вала, определяемое полем допуска δ на абсолютную величину размера *x* поверхности; $f(x)$ — плотность распределения вероятностей погрешности размера *x* для *i*-й рабочей поверхности коленчатого вала; δ — поле допуска на абсолютную величину размера *x* для *i*-й рабочей поверхности вала.

Вероятность отказа *i*-й рабочей поверхности вала вследствие его неработоспособности из-за несоблюдения технических требований на ремонт определяется процентом деталей, лежащих вне поля допуска по каждой *i*-й рабочей поверхности вала, т. е.

$$F_i = 1 - P_i = 1 - \int_{a}^{в} f(x)dx = \int_{в}^{c} f(x)dx.$$

Таким образом, установив количество деталей, лежащих в поле допуска по всем параметрам, можно с определенной степенью точности рассчитать надежность восстановленного коленчатого вала.

Исследования состояния рабочих поверхностей коленчатых валов двигателей, поступающих в капитальный ремонт, и после выполнения всех восстановительных операций в условиях ремонтных предприятий, позволяют определить надежность безотказной работы вала на различных этапах выполнения ремонтных воздействий.

В том случае, если надежность восстановленного коленчатого вала меньше регламентированной, на основе анализа структурной схемы и вероятности безотказной работы каждой рабочей поверхности коленчатого вала можно выявить лимитирующую поверхность и тем самым скорректировать технологический процесс восстановления вала.

В качестве примера в табл. 3 приведены результаты расчета вероятности безотказной работы рабочих поверхностей коленчатого вала двигателя при поступлении в ремонт и после выполнения всех восстановительных работ на нем.

Вероятность безотказной работы коленчатого вала, поступающего в ремонт, в соответствии с данными табл. 3:

для блока дефектов рабочих поверхностей 11—16

$$P_{11-16} = 1 - (1 - 0{,}23)(1 - 0{,}24)(1 - 0{,}18) \times \\ \times (1 - 0{,}48 \cdot 0{,}45 \cdot 0{,}52 \cdot 0{,}55) \cong 0{,}55;$$

для блока дефектов рабочих поверхностей 5—17

$$P_{5-17} = 1 - (1 - 0{,}21)(1 - 0{,}58)(1 - 0{,}42) \times \\ \times (1 - 0{,}98 \cdot 0{,}95)(1 - 0{,}98 \cdot 0{,}98 \cdot 0{,}84) = 0{,}9974;$$

для всех дефектов рабочих поверхностей вала за исключением дефекта 7, при наличии которых вал подлежит выбраковке,

$$P_в = P_9 P_6 P_{11-16} P_{5-17} = \\ = 0{,}18 \cdot 0{,}12 \cdot 0{,}55 \cdot 0{,}9974 = 0{,}0118.$$

Таким образом, вероятность безотказной работы коленчатого вала до ремонта составляет несколько более 1 %.

Ввиду того, что вероятность безотказной работы некоторых поверхностей вала до ремонта равна более 80 %, на этих поверхностях ремонтные операции выполнять нецелесообразно, так как размеры рабочих поверхностей находятся в пределах поля допуска. К таким поверхностям относятся элементы 3, 4, 1, 8 и 17 вала.

Оставшиеся изношенные поверхности вала подлежат обязательным ремонтным воздействиям, после выполнения которых вероятность безотказной работы *i*-й рабочей поверхности должна быть более 80 %. После выполнения восстановительных операций вероятность безотказной работы рабочих поверхностей вала увеличилась, их значения представлены также в табл. 3.

Таблица 3

Вероятности безотказной работы рабочих поверхностей коленчатого вала при поступлении в ремонт и после выполнения восстановительных работ

№ по пор.	Наименование дефекта рабочих поверхностей коленчатого вала	Вероятность безотказной работы i-й рабочей поверхности вала P_i	
		до ремонта	после ремонта
1	Срыв резьбы под храповик	0,98	0,98
2	Биение шейки под шестерню и ступицу шкива вала	0,48	0,99
3	Износ поверхности под шестерню и ступицу шкива вала по диаметру	0,98	0,98
4	Износ шпоночной канавки под шестерню по ширине	0,95	0,95
5	Увеличение длины передней коренной шейки	0,21	0,95
6	Износ коренных шеек по диаметру	0,12	1,0
7	Трещины и обломы любого характера и направления	—	—
8	Срыв резьбы грязесборника	0,98	0,98
9	Износ шатунных шеек по диаметру или глубокие задиры на отдельных шейках	0,18	1,0
10	Увеличение длины шатунных шеек	0,58	0,9
11	Биение средней коренной шейки относительно крайних (прогиб вала)	0,23	0,98
12	Непараллельность осей шатунных шеек	0,24	0,98
13	Изменение радиуса кривошипа	0,18	0,98
14	Износ маслосгонных канавок по диаметру	0,45	0,92
15	Биение поверхности диаметра вала под манжету	0,52	0,94
16	Износ отверстия под подшипник направляющего конца ведущего вала коробки передач	0,55	1,0
17	Износ отверстий во фланце под болты крепления маховика	0,84	0,84
18	Биение торцовой поверхности фланца вала	0,42	0,98

Вероятность безотказной работы коленчатого вала после выполнения восстановительных операций в соответствии с данными табл. 3

$$P_{11-16} = 1 - (1 - 0{,}98)(1 - 0{,}98)(1 - 0{,}98) \times \times (1 - 0{,}99 \cdot 0{,}92 \cdot 0{,}94 \cdot 1{,}0) \cong 1{,}0;$$

для блока дефектов рабочих поверхностей 5—17

$$P_{5-17} = 1 - (1 - 0{,}95)(1 - 0{,}90)(1 - 0{,}98) \times \times (1 - 0{,}98 \cdot 0{,}95)(1 - 0{,}98 \cdot 0{,}98 \cdot 0{,}84) \cong 1{,}0;$$

для всех дефектов рабочих поверхностей вала

$$P_в = P_9 P_6 P_{11-16} P_{5-17} = = 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 = 1{,}0.$$

Таким образом, коленчатый вал автомобильного двигателя при поступлении в ремонт имел вероятность безотказной работы $P_в = 0{,}0118$, а после выполнения необходимых восстановительных работ в условиях специализированного предприятия вероятность $P_д = 1{,}0$.

Вывод. Данная методика оценки надежности восстановления деталей на основе анализа их функциональных свойств и использовании информационных технологий о техническом состоянии деталей, поступающих в ремонт, и технических условий к их рабочим поверхностям позволяет значительно сократить объем ремонтных воздействий при условии обеспечения заданного уровня вероятности безотказной работы детали.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Дорожно-строительные** машины и комплексы: Учебник для вузов; Под ред. В. И. Баловнева [Текст]. — Москва—Омск: Изд-во СибАДИ, 2001. — 528 с.
2. **Ремонт** автомобилей: Учебник для вузов; Под ред. Л. В. Дехтеринского [Текст]. — М.: Транспорт, 1992. — 295 с.

УДК 332.242

Ю. И. Иванов,
канд. техн. наук,
доц., СамГТУ
(г. Самара)
E-mail:
isap@samgtu.ru

Оценка персонала предприятий и фирм и управление им

Персонал, выполняющий работу, влияющий на качество продукции, должен быть компетентным в соответствии с полученным образованием, подготовкой, навыками и опытом.

ГОСТ Р ИСО 9001—2008

Приведена оценка и описано управление персоналом предприятий, даны формулы для общей оценки труда менеджера и сотрудников организации, даны формулы для расчета коэффициентов эффективности управления персоналом.

Ключевые слова: *управление персоналом, формулы расчеты качества труда, примеры оценки, формулы расчета эффективности управления персоналом.*

Большое значение для успешной работы любой фирмы, организации является управление персоналом — это комплексное, целенаправленное воздействие на коллектив и отдельных работников по обеспечению оптимальных условий для творческого, инициативного и созидательного труда для выполнения поставленной цели. Этой работе должны уделять большое внимание менеджеры, кадровые и другие службы, а также все сотрудники фирмы.

Рыночная экономика вызывает потребность в управляющих, которые относятся к делу творчески, хорошо информированы, умеют наилучшим образом использовать ресурсы и обеспечивать эффективность функционирования фирмы.

Практика показывает, что успешная и эффективная работа фирм или предприятий во многом зависит от компетентной, качественной и оперативной работы менеджера (предпринимателя или бизнесмена) [1—3]. Поэтому оценка руководящих работников, а также претендентов на эти должности играет большую роль в судьбе фирмы.

В процедуре оценки эффективности трудовой деятельности руководителя важно решить две основные задачи:

— определить, по каким критериям и показателям следует производить оценку;

— найти способ определения эффективности труда.

Руководителей (менеджеров) трудовых коллективов, как показывают исследования, целесообразно оценивать по следующим группам:

— управленческая деятельность (постановка проблем, принятие решений, планирование, прогнозирование, механизация и автоматизация выполняемых работ);

— профессиональная компетентность (знание дела);

— степень владения демократическим методами коллективной работы;

— личные качества и организаторские способности.

Из этих групп формируются оценочные показателя в количестве от 8 до 20 критериев, которые определяет специальная комиссия или другой орган предприятия.

В табл. 1 приведены 9 личностных и профессиональных показателей руководителя [3] и их уровни, оцениваемые в баллах.

Показатели разделяются на 4 уровня — низкий, средний, хороший и отличный, которые характеризуются в баллах (от 1 до 7). Так как значимость каждого показателя не одинакова, вводятся коэффициенты весомости α_i, принимаемые на основе экспертных оценок [4]. Параметры, которым придается большое значение, имеют величину $\alpha_i = 0{,}3—0{,}5$ и, наоборот, параметры, которым придают меньше значения, имеют $\alpha_i = 0{,}03—0{,}05$.

Таблица 1

Значение характерологических признаков руководителя коллектива

Личностные и профессиональные единичные показатели	Буквенное обозначение	Уровни показателей, баллы				Коэффициент весомости α_i
		низкий	средний	хороший	отличный	
1. Компетентность	B_1	3,0	5,0	6,0	7,0	α_1
2. Коммуникабельность	B_2	2,0	4,5	6,5	7,0	α_2
3. Эмоциональная устойчивость	B_3	2,5	4,0	6,0	6,5	α_3
4. Смелость	B_4	2,0	4,0	5,5	6,0	α_4
5. Доверие	B_5	3,0	3,5	4,0	6,0	α_5
6. Настойчивость	B_6	2,0	3,0	6,0	6,0	α_6
7. Личное обаяние	B_7	1,0	3,0	4,5	6,0	α_7
8. Умение заблаговременно позаботиться о чем-либо	B_8	2,0	3,0	4,0	6,0	α_8
9. Владение речью	B_9	2,0	4,0	5,0	5,5	α_9

При этом $\sum_1^n a_i = 1$, где n — число единичных показателей.

Общий показатель эффективности и качества труда действующего и будущего руководителя (менеджера) рассчитывается по формуле:

$$M_i = \sum_1^n B_i \alpha_i, \qquad (1)$$

где B_i — единичные показатели; n — число принятых оценочных единичных показателей.

Менеджер, имеющий большое оценочное число M, считается более подготовленным к работе, а его труд более эффективным и качественным.

Таблица 2

Исходные данные для сравнения

№ по пор.	Единичные показатели	Действующий менеджер	Претендент № 1	Претендент № 2	α_i
1	B_1	6	5	7	0,4
2	B_2	6,5	4,5	4,5	0,2
3	B_3	4	4	6	0,05
4	B_4	4	5,5	6	0,1
5	B_5	3	3,5	4	0,05
6	B_6	4	2	6	0,05
7	B_7	3	3	4,5	0,03
8	B_8	3	4	6	0,1
9	B_9	4	4	5	0,02
Значение M_i		$M_д = 5,12$	$M_j = 4,49$	$M_2 = 5,93$	

Рассмотрим пример оценки и сравнения деятельности действующего менеджера, работающего на станции технического обслуживания, и двух претендентов на эту должность. Исходные данные приведены в табл. 2.

Значения B_i были приняты по оценке экспертной комиссии, созданной на предприятии, в составе не менее 7 человек. Коэффициенты весомости α_i и их значения выбирались с учетом принятых приоритетов единичных показателей. Например, наибольший приоритет придается компетентности (B_1), и $\alpha_1 = 0,4$, а наименьший — владению речью (B_9) и α_9 — 0,02.

По формуле (1) рассчитывается общий показатель для действующего менеджера ($M_д$), претендентов № 1 (M_1) и № 2 (M_2)

$$M_д = \sum_1^n B_i \alpha_i = 6 \cdot 0,4 + 6,5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,03 + 3 \cdot 0,01 + 4 \cdot 0,02 = 5,12.$$

Аналогичным образом рассчитываются величины M_1 и M_2. Все данные расчетов приведены в табл. 2. Из данных видно, что максимальные значения M у претендента № 2, а наименьшее значение имеет претендент № 1. Действующий менеджер имеет $M = 5,12$, что в 1,16 раза меньше, чем у претендента № 2. Из полученных данных видно, что у претендента № 2 все единичные показатели лучше (кроме по-

казателя B_2).Причем самые важные показатели — компетентность, настойчивость, смелость в принятии решений. У действующего менеджера лучше только один показатель B_2 (коммуникабельность). Поэтому высший орган управления фирмы (совет директоров или другой орган) решает вопрос о работе действующего менеджера. Например, предлагается направить менеджера на учебу для повышения его квалификации, а претендента № 2 можно временно назначить менеджером фирмы для проверки его качеств в практической деятельности.

Управление человеческими ресурсами является одним из важнейших направлений в деятельности организации и считается основным критерием ее экономического успеха. Поэтому в области управления персоналом постепенно происходит смещение акцентов с технократических подходов к системному подходу, в основе которого лежит долговременное развитие трудового потенциала работников (см. ГОСТ Р ИСО 9001—2008).

Происходящие изменения в экономике преобразуют и подходы в области управления человеческими ресурсами. Появляются руководители нового типа, мышления и стиля работы, значительно повышается и роль кадровых служб, которые должны более активно вовлекаться в процесс эффективного управления персоналом.

Управление персоналом — это самостоятельная группа профессиональных специалистов — менеджеров, главной целью которых является повышение производственной, творческой отдачи и активности персонала, разработка и реализация программы развития кадров организации.

В появившихся организациях рыночного типа встал вопрос о том, как соединить разрыв между развитием инновационных стратегий, созданием новых продуктов и структур, с одной стороны, и выявлением способов управления человеческими ресурсами и развитием трудового потенциала, с другой. Как правило, работники отдела кадровой службы выступают в качестве экспертных советников руководителей предприятия при решении вопросов о приеме на работу и увольнении, назначении на новую должность, направлении на профессиональное обучение, повышении заработной платы и других вопросов.

Задача состоит в том, чтобы кадровые службы постепенно превращались в центры по разработке и реализации стратегии организации по труду. Это значит, что они должны оказывать помощь в развитии бизнеса посредством найма высококвалифицированных работников, планирования их карьеры, оценки производственной деятельности и совершенствования оплаты труда [1—3].

Основное содержание работы кадровых служб предприятия составляют:

— формирование кадров организации (планирование, отбор и наем, высвобождение, анализ текучести и др.);

— совершенствование организации труда и его стимулирование, создание безопасных условий труда и др.

Оценка персонала — это целенаправленный процесс установления соответствия деловых и личных качеств личности требованиям должности или рабочего места. При оценке рекомендуется применять следующие основные методы: прогностический, практический и имитационный. При этом проводится оценка свойств и деловых качеств личности специальными аттестационными комиссиями.

С учетом изменений в системе управления персоналом выделяют четыре группы факторов [3].

Технико-технологические (изменения структуры и форм занятости, дифференциация персонала, непрерывное повышение квалификации и переподготовки персонала и др.).

Личностные (пересмотр занятости, индивидуальные формы работы, создание системы непрерывной работы с кадрами, ориентация системы стимулирования, новаторство, участие в управленческих решениях, комплексный подход к воспроизводству человеческих ресурсов в организации, закрепление и развитие ключевых кадров и др.).

Экономические и социально-политические (аккумулирование передового международного опыта управления кадрами; создание новых форм конструктивного сотрудничества работников и др.).

Развитие теории управления (формирование целостного "видения" управления персоналом, понимание роли личности в обеспечении эффективной работы организации и др.).

Для экспертизы предлагаются следующие критерии оценки труда работников по пяти важнейшим показателям (табл. 3) по 5-бальной системе [3]:

— ***количество труда*** — определяются объем, результативность, интенсивность труда и использование времени;

— ***качество труда*** — устанавливаются доля ошибок в работе, качество продукции и ее соответствие лучшим мировым образцам и др.;

— ***отношение к работе*** — инициативность работника, его способность выдерживать большие нагрузки на работе, возможность приспособле-

Таблица 3

Оценка труда претендента в баллах

Показатель (критерий) оценки	Буквенное обозначение	Коэффициент весомости
1. Количество труда (производительность)	A_1	δ_1
2. Качество труда	A_2	δ_2
3. Отношение к работе	A_3	δ_3
4. Тщательность в работе	A_4	δ_4
5. Готовность к сотрудничеству	A_5	δ_5
Примечание. При недостаточной отдаче работник получает 2 балла, при отдаче, соответствующей требованиям, — 3 балла, при отдаче, превосходящей требования, — 4 балла и при отдаче, значительно превосходящей требования, — 5 баллов.		

ния к различным ситуациям, особенно новым, и др.;

— ***тщательность в работе*** — отношение к средствам производства, их использование, оптимальность использования сырья и материалов, степень учета материальных затрат на рабочем месте и др.;

— ***готовность к сотрудничеству внутри предприятия*** — участие работника в решении совместных задач, отношение в коллективе, умение участвовать в коллективной работе, реакция на замечания со стороны и другие качества.

Данные критерии составляют основу оценки работника экспертными комиссиями, но их можно расширить. Важно, чтобы каждый из них выражался количественно в баллах. Бальная оценка позволяет объективно определить, в какой степени данные критерии присутствуют у того или иного работника.

Для того чтобы в полной мере учесть значимость оценки, вводятся также коэффициенты весомости каждого показателя δ_i. Если ставится задача повысить производительность труда работников предприятия, то параметр $\delta_1 = 0{,}4—0{,}5$, т. е. будет самой большой. Остальные показатели будут иметь меньшее значение коэффициентов весомости. При этом

$$\sum_1^5 \delta_i = 1.$$

Величина общей оценки труда работников (претендентов) P_i в баллах по пяти приведенным показателям с учетом принятых величин δ_i рассчитывается по формуле:

$$P_i = \sum_1^5 A_i \delta_i, \qquad (2)$$

где i — номер оцениваемого работника; $A_1—A_5$ — показатели оценок в баллах.

Если у работников величина P_i наибольшая, то считается, что работник имеет лучшие деловые, профессиональные и личные качества. Эти работники должны первыми приниматься на работу. Работников, имеющих меньшее значение P_i, не рекомендуется принимать на работу, но они могут быть резервом для фирмы в дальнейшем. При такой оценке большую роль играют приведенные оценки труда, полученные каждым работником. Они должны быть объективными и достоверными, отражающими выполненный труд претендента, а задания, которые выдаются претенденту, должны соответствовать его будущей работе в организации. В качестве примера в табл. 4 приведены оценки числа P_i для трех работников по показателям $A_1—A_5$.

Из данных видно, что наибольшая величина P_i у претендента № 2, а наименьшая — у претендента № 3.

Оценку качества работы менеджера и сотрудников фирмы (организации) рекомендуется выполнять кадровыми службами или аттестационными комиссиями по следующей методике:

1. Изучить цели и стратегические задачи фирмы на данный период времени,

Таблица 4

Данные по оценке труда работников в баллах для расчета величин P_i

Показатели	№ работника			Коэффициент весомости δ_i
	1	2	3	
A_1	4	5	4	0,4
A_2	5	4	3	0,2
A_3	3	3	4	0,2
A_4	4	4	4	0,1
A_5	3	3	4	0,1
P_i	3,9	4,4	3,8	$\Sigma\delta_i = 1$

Таблица 5

Показатели эффективности процессов управления персоналом

Коэффициенты	Формула расчета	Примечания
1. Текучесть кадров	$K_т = \frac{N_у}{N_с}$	$N_у$ — число уволенных за период, $N_с$ — среднесписочная численность работников
2. Интенсивность приема	$K_и = \frac{N_п}{N_с}$	$N_п$ — число принятых за период работников
3. Выбытие кадров	$K_в = \frac{N_в}{N_с}$	$N_в$ — число выбывших за период работников
4. Замещение вакансий	$K_з = \frac{N_п - N_в}{N_с}$	
5. Постоянство кадров	$K_п = \frac{N_р}{N_к}$	$N_р$ — число работников, проработавших весь период, $N_к$ — число работников на конец периода

поставленные высшим руководством предприятия.

2. Изучить цели, требования и условия работы менеджера (M) и сотрудников (C) фирмы.

3. Выбрать единичные показатели (критерии) для оценки деятельности работы M и C и составить таблицы.

4. Определить величины коэффициентов весомости a и δ.

5. Разработать тесты, практические задания или виды деятельности при оценке работы M и C.

6. Оценить работу M и C в баллах и рассчитать по формулам (1) и (2) оценочные величины M и P, занести их в таблицы.

7. Проанализировать значения составляющих единичных показателей величин M и P, полученных при оценке менеджеров и сотрудников, и дать рекомендации по дальнейшей работе.

8. Принять окончательное решение по дальнейшей работе менеджера и сотрудников в фирме. Работы по пп. 2—3, 5—7 выполняет специальная аттестационная комиссия фирмы, а по п. 4 — специальная экспертная комиссия в составе не менее семи квалифицированных экспертов. Окончательное решение (п. 8) принимает высшее руководство фирмы. При необходимости также решается вопрос по обучению или переподготовке сотрудников.

Методика оценки величин M_i и P_i позволяет гибко и объективно учитывать ситуацию, необходимые условия и выбранные приоритеты, которые принимаются с учетом значений коэффициентов весомости a_i и δ_i. При других выбранных значениях a_i и δ_i оценочные величины M_i и P_i будут другими. Зарубежные фирмы на первом этапе оценки обычно применяют специальные тесты, которые разработаны в большом количестве с учетом профессиональных, деловых и практических знаний и навыков, необходимых при работе претендентами, а далее применяют более глубокие методы оценки работы.

Очень важным также при анализе эффективности процессов управления персоналом является определение коэффициентов, характеризующих текучесть, постоянство, замещение кадров и другие (табл. 5) показатели [2].

Рекомендуется уменьшать текучесть кадров, поскольку это может привести к потере квалифицированных работников, имеющих необходимые знания и навыки. Кроме того, уход профессионалов может усилить позицию конкурентов. Однако практика показывает, что для нормальной работы фирмы рекомендуется периодическое обновление и омоложение коллектива. Если текучесть менее 5 %, то она обычно тормозит развитие организации [2—3]. Поэтому задача кадровых служб — отслеживать динамику текучести кадров и определять оптимальный коэффициент $K_т$ для данной фирмы. Кадровые службы фирм должны анализировать значения других коэффициентов ($K_и$, K_B, $K_З$ и $K_п$) и их влияние на качество и эффективность работы организации за отчетный период в целом (особенно в период кризисов и спадов в экономике), сделать соответствующие выводы и представить их высшему руководству.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Герчикова, И. Н.** Менеджмент: учебник [Текст] / И. Н. Герчикова. — М.: Банки и биржи. ЮНАТИ, 19994. — 685 с.
2. **Иванов, В. В.** Автомобильный менеджмент [Текст] / В. В. Иванов, П. Р. Богачев. — М.: ИНФРА-М, 2007. — 430 с.
3. **Кабушкин, Н. И.** Основы менеджмента: учеб. пособие [Текст] / Н. И. Кабушкин. — М.: ТОО "Остожье", Мн.: ООО "Новое задание". 1999. — 336 с.
4. **Иванов, Ю. И.** Оценка инновационных работ в автопредприятии и сервисе [Текст] / Ю. И. Иванов // Грузовик. — 2009. № 5. — С. 47—52.

УДК 629. 113

Нейронные сети в решении проблем классификации объектов автомобилестроения

А. Н. Чичко,
Ю. М. Захарик,
д-ра техн. наук,
Т. В. Матюшинец,
О. А. Сачек,
О. И. Чичко,
канд. техн. наук;
ОАО "МАЗ"
(г. Минск)
E-mail:
vehicle@tut.by

Показаны возможности использования нейросетевых моделей для классификации объектов автомобилестроения. Рассмотрены методы обучения и синтеза структуры нейронных сетей.

Ключевые слова: *автоматизация, алгоритм, архитектура, база, вариант, метод, обучение, объект, оптимизация, прототип, система.*

В настоящее время при разработке агрегатов и узлов автомобилей широчайшим образом используются компьютерные технологии. Применение математических методов, в частности метода нейронных сетей, в автомобилестроении открывает новые возможности для повышения эффективности проектно-конструкторских работ. Рассмотрим особенности обучения и архитектуры нейронных сетей для классификации объектов автомобилестроения. Задача, решаемая с использованием искусственных нейронных сетей, включает следующие этапы (рис. 1).

1. Выбор типа (архитектуры) сети.
2. Подбор весов (обучение) сети.
3. Применение сети.

На первом этапе необходимо определить:

— число входов, выходов, слоев, передаточные функции;

— каким образом следует соединить нейроны между собой;

— что использовать в качестве входов и выходов сети.

Эта задача на первый взгляд кажется трудоемкой, но на самом деле необязательно придумывать сеть "с нуля" — существует несколько десятков различных нейросетевых архитектур, причем эффективность многих из них доказана математически. Наиболее популярные и изученные архитектуры — это многослойный персептрон, нейросеть с общей регрессией, сети Хебба и Кохенена и другие [1, 4—6].

На втором этапе следует "обучить" выбранную сеть, т. е. подобрать такие значения ее весов, чтобы сеть работала нужным образом. В используемых на практике нейросетях количество весов может составлять несколько десятков тысяч, поэтому обучение — действительно сложный процесс. Для большинства архитектур разработаны специальные алгоритмы обучения, которые позволяют подстраивать веса сети определенным образом.

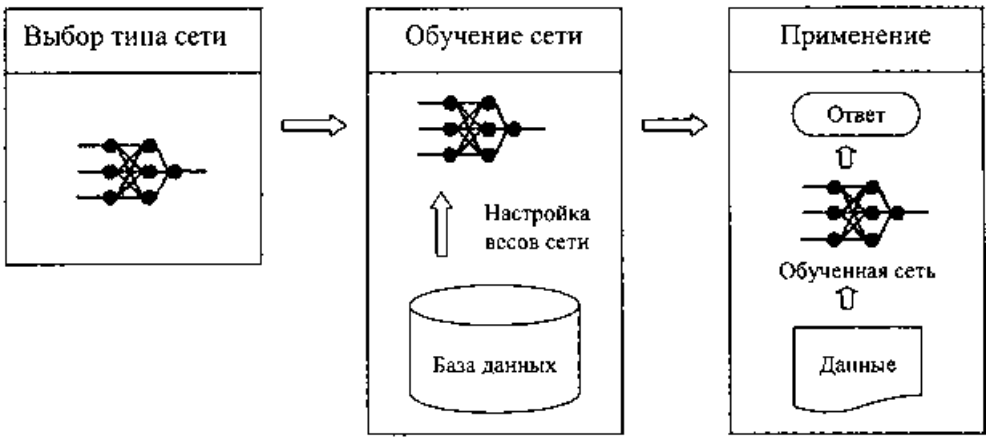


Рис. 1. Этапы нейросетевого решения задачи [4]

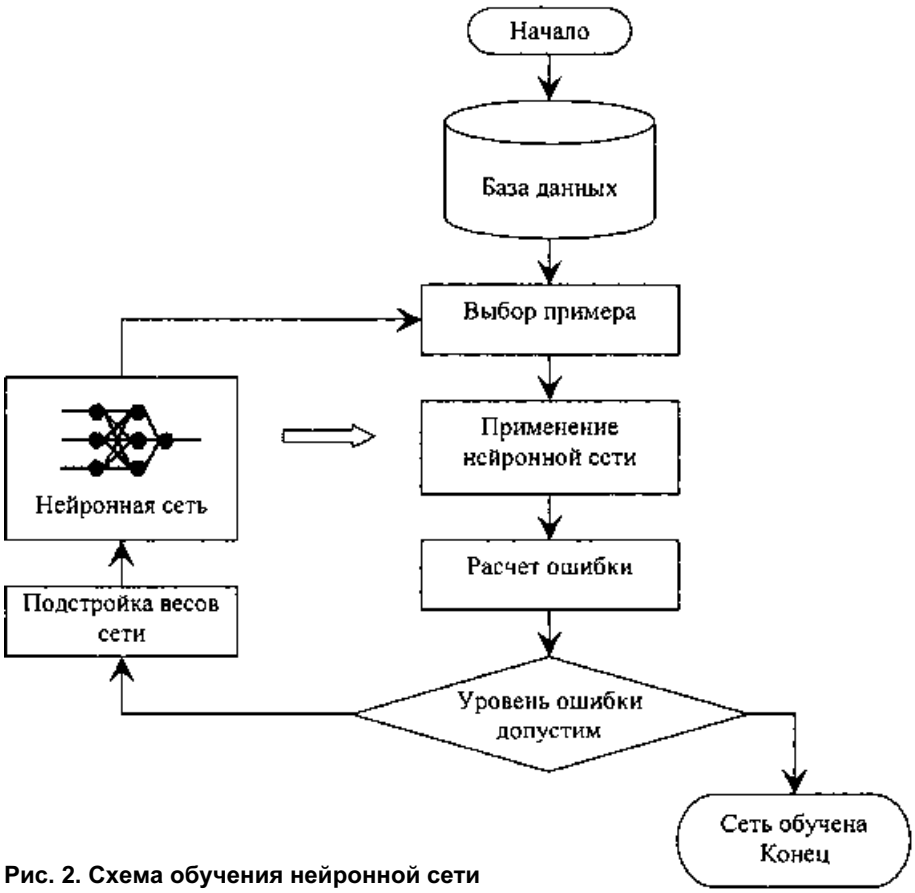


Рис. 2. Схема обучения нейронной сети

Пусть имеется некоторая база данных, содержащая примеры из разных классов, которые необходимо научить распознавать (набор агрегатов и узлов, всего 50). Предъявляя изображение детали "А" на вход нейросети, получаем от нее некоторый ответ, не обязательно верный. Нам известен верный (желаемый) ответ, поэтому сигнал с объекта "А" считаем максимальным. Обычно в качестве желаемого выхода в задаче классификации берут набор (1, 0, 0, ...), где 1 стоит на выходе с меткой "А", а 0 — на всех остальных выходах. Вычисляя разность между желаемым и реальным ответами сети, получим вектор ошибки, определяемый количеством узлов. Далее, применяя различные алгоритмы, по вектору ошибки вычисляем требуемые поправки для весов сети. Один и тот же объект можно предъявлять сети много раз.

После многократного предъявления примеров веса нейросети становятся постоянными, причем нейросеть дает правильный ответ на все (или почти все) примеры базы данных. В таком случае считают, что "сеть обучена". В программных реализациях можно видеть, что в процессе обучения величина ошибки (сумма квадратов ошибок по всем выходам) постепенно уменьшается. Когда величина ошибки достигает нуля или оговоренного низкого уровня, обучение останавливают, а полученную сеть считают адаптированной (обученной) и готовой к применению новых данных. Схематично процесс обучения представлен на рис. 2.

При разработке методов, основанных на использовании нейронных сетей, как правило, возникает проблема выбора оптимальной архитектуры нейросети. Так как области применения наиболее известных методов пересекаются, то для решения одной и той же задачи можно использовать совершенно разные типы нейронных сетей, и при этом результаты могут оказаться одинаковыми. Ниже рассмотрен ряд основных видов нейронных сетей, успешно применяемых для решения задач классификации и кластеризации объектов (рис. 3) [4—6].

Простейшим устройством распознавания образов в нейроинформатике является одиночный нейрон-классификатор, превращающий входной

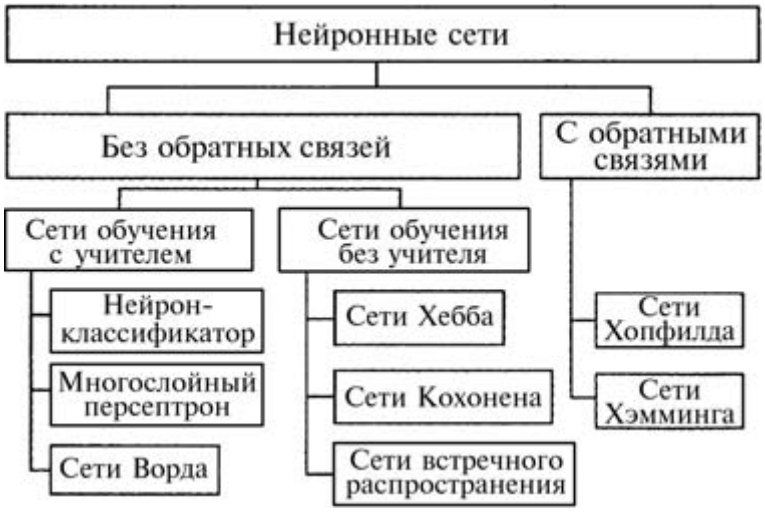


Рис. 3. Классификация нейронных сетей

вектор признаков в скалярный ответ, зависящий от комбинации входных переменных [4]. Возможности такой сети весьма ограничены. Для решения более сложных классификационных задач необходимо усложнить сеть, вводя дополнительные (скрытые) слои нейронов, производящих промежуточную переработку входных данных, таким образом, чтобы выходной нейрон-классификатор получал на свои входы уже линейно-разделимые множества. Такие структуры носят название многослойные персептроны (рис. 4).

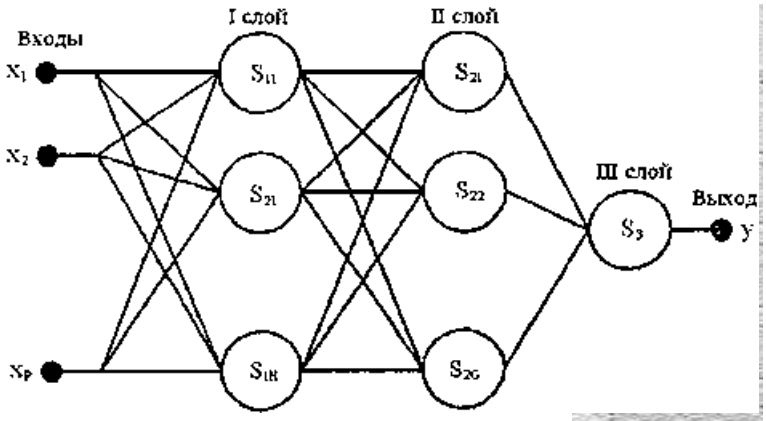


Рис. 4. Многослойный персептрон [6]

В настоящее время для решения широкого спектра задач получили распространение нейронные сети с самоорганизацией на основе конкуренции [5]. Основу самоорганизации нейронных сетей составляет закономерность, показывающая, что сеть становиться упорядоченной в результате самоорганизующих операций, независимо друг от друга проводящихся в различных ограниченных сегментах сети. В соответствии с поданными входными сигналами осуществляется активация нейронов, которые вследствие изменения значений весов адаптируются к поступающим обучающим данным. При этом происходит естественное распределение нейронов на различные группы. Отдельные нейроны или их группы взаимодействуют между собой и их связи становятся сильней в ответ на возбуждение, подавляя своей активностью другие нейроны. Наряду с сотрудничеством нейронов внутри группы, можно говорить и о конкуренции как между нейронами различных групп, так и между нейронами, входящими в состав одной группы.

Среди механизмов самоорганизации можно выделить два основных класса: самоорганизация, основанная на ассоциативном правиле Хебба, и механизм конкуренции между нейронами на базе обобщенного правила Кохонена. Сети Кохонена — это одна из разновидностей нейронных сетей с самоорганизацией на основе конкуренции, для настройки которой используется алгоритм обучения без учителя. Задачей нейросети Кохонена является построение отображения набора крупных входных векторов на карту кластеров меньших размеров, причем таким образом, что близким кластерам на карте отвечают близкие друг к другу входные векторы в исходном пространстве.

Сеть состоит из М нейронов, образующих, как правило, одномерную или двумерную карту кластеров (рис. 5). Элементы входных сигналов $\{x_i\}$ подаются на входы всех нейронов сети. В процессе функционирования (самоорганизации) на выходе слоя Кохонена формируются кластеры — группа активных нейронов определенного размера, выход которых отличен от нуля, отражающие отдельные характеристики входных векторов. Параллельно с такими сетями развивается так называемый нечеткий подход при построении нейронных сетей. Такие сети называются нечет-

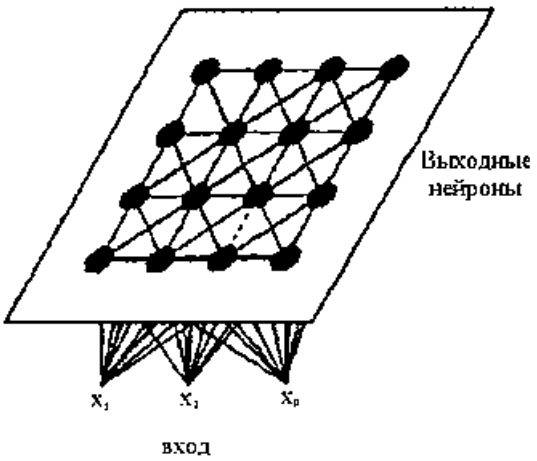


Рис. 5. Сеть Кохонена [5]

кими нейронными сетями, и их характерной особенностью является возможность использования нечетких правил вывода для расчета выходного сигнала. В нечеткой сети алгоритм самоорганизации приписывает вектор x к соответствующей группе данных, представляемых центром c_i, с использованием обучения конкурентного типа, как в сетях Кохонена. По сравнению с традиционными решениями эти сети демонстрируют качества, связанные с их способностью гладкой аппроксимации пороговых функций.

Среди различных конфигураций искусственных нейронных сетей встречаются такие, классификация которых по принципу обучения затруднена. В таких сетях весовые коэффициенты синапсов рассчитываются только однажды, перед началом работы сети, на основе информации об обрабатываемых данных. Наиболее известными сетями, использующими этот алгоритм, являются сети Хопфилда.

Структурная схема сети Хопфилда приведена на рис. 6. Она состоит из единственного слоя нейронов, число которых является одновременно числом входов и выходов сети. Каждый нейрон связан синапсами со всеми остальными нейронами, а также имеет один входной синапс, через который осуществляется ввод сигнала. Выходные сигналы, как обычно, образуются на аксонах. Сеть должна уметь из произвольного неидеального сигнала, поданного на ее вход, выделить ("вспомнить" по частичной информации) соответствующий образец (если такой есть) или "дать заключение" о том, что входные данные не соответствуют ни одному из образцов.

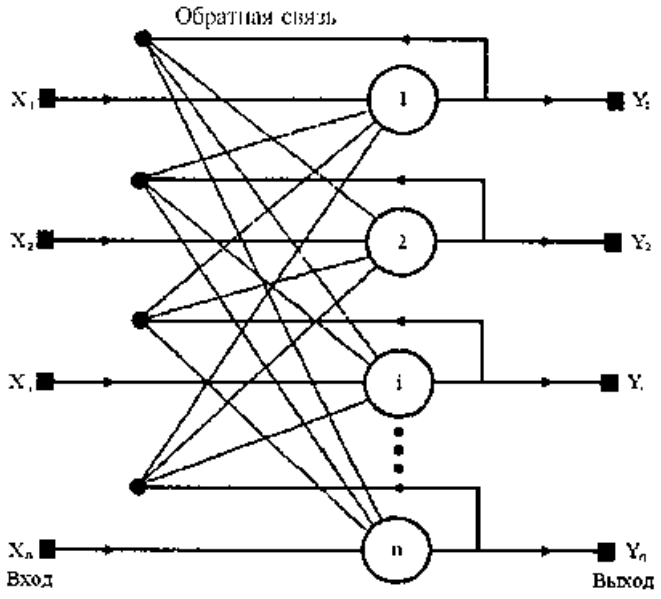


Рис. 6. Структурная схема Хопфилда [6]

Выбирать нейронную сеть необходимо, исходя из постановки задачи. Например, для простейшей задачи классификации объектов на два класса лучше всего подойдет нейрон-классификатор. Для более сложной классификации объектов на известное количество классов подойдет одна из разновидностей многослойного персептрона. Если классы известны заранее, но не известно, по каким признакам следует производить классификацию, то в данном случае следует использовать сети обучения без учителя, например, сети Хебба. В случае классификации объектов по неполной информации об объектах можно применять сети Хопфилда.

Для решения задач кластеризации наилучшим образом подходят нейронные сети с самоорганизацией на основе конкуренции, в которых используется алгоритм обучения без учителя. Идеология таких сетей совпадает с определением понятия кластеризации как разбиение множества объектов на неизвестные заранее классы. Использование самоорганизации не требует предопределения классов, а позволяет выделить необходимое их количество в процессе обучения и работы сети. Обучение без учителя позволит сети обучаться не только на начальном этапе при подготовке сети к работе, но и непосредственно в процессе работы. При появлении в процессе функционирования новых классов самоорганизующиеся сети не требуют переобучения, а способны сами перестроиться на основании новых значений.

Таким образом, решение задачи классификации целесообразно проводить с использованием метода нейронных сетей. При классификации объектов (рис. 7) нейронная сеть обучается по важнейшим их признакам, таким как характеристики геометрии элемента, характер напряженного состояния элемента и т. д. В процессе обучения выделяются признаки, отличающие элементы друг от друга, которые и составляют информационную базу для принятия решений об отнесении элементов к соответствующим классам. Информация о каждом узле представляется в виде вектора конструкторско-технологических признаков, как наиболее полно и достоверно отвечающего требованиям нейросетевого моделирования. Характеристики (признаки) объектов определяются посредством

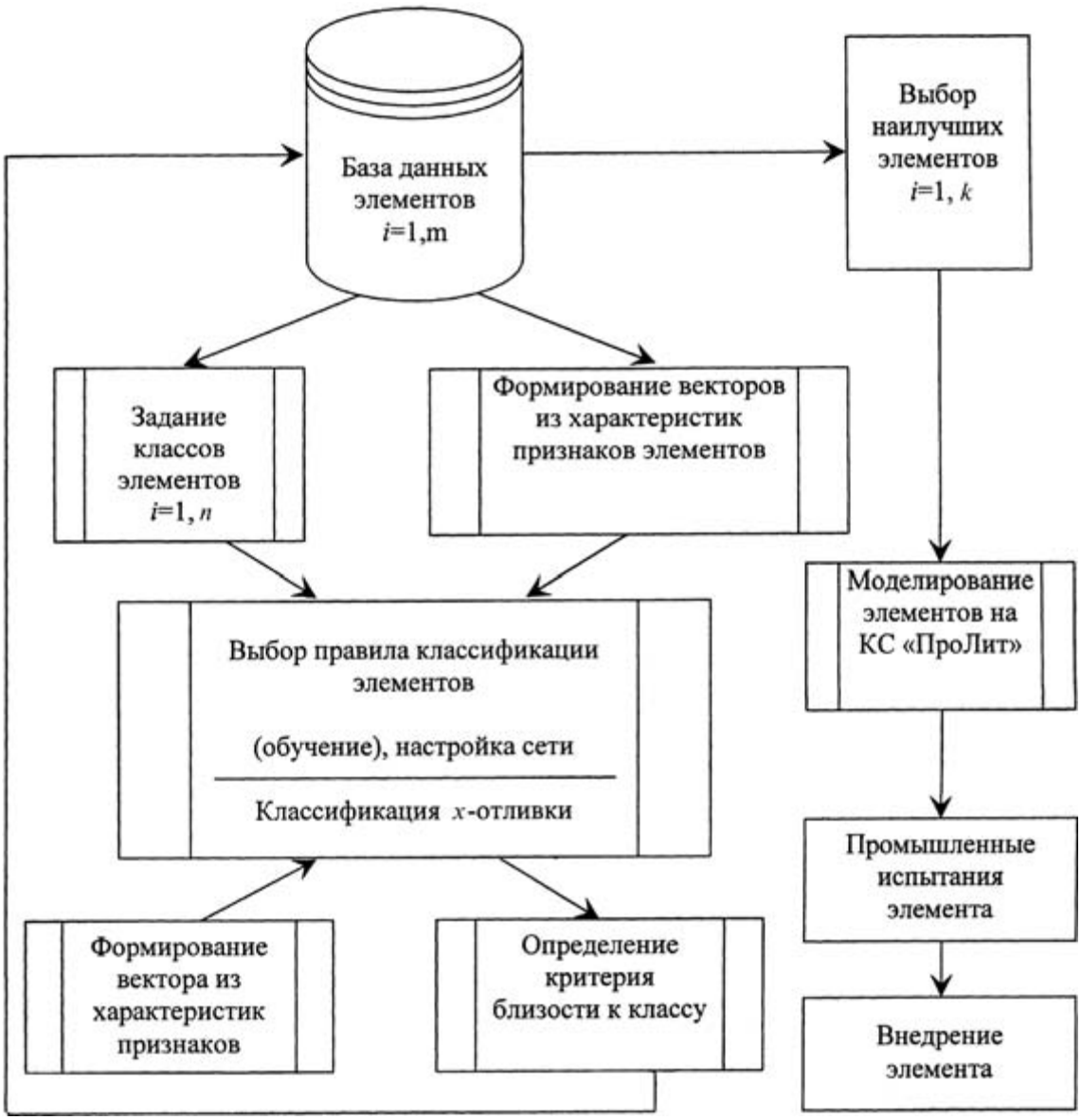


Рис. 7. Схема классификация объектов на основе нейронных сетей

анализа твердотельной модели и конструкторской документации на основе различных стандартов.

Эти методы позволяют на основе эмпирической информации, в данном случае заводской и промышленно апробированной, выбирать элементы конструкций, которые в дальнейшем оцениваются экспертными системами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Горбань, А. Н.** Решение задач нейронными сетями [Текст] / А. Н. Горбань // Нейроинформатика. — Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1998. — 182 с.
2. **Ежов, А. А.** Нейрокомпьютинг и его применение в экономике и бизнесе [Текст] / А. А. Ежов, С. А. Шумский. — М.: МИФИ, 1998. — 218 с.
3. **Матюшинец, Т. В.** О возможности использования метода нейронных сетей для автоматизированного проектирования кокильной оснастки [Текст] / Т. В. Матюшинец, Л. В. Марков // Литье и металлургия. — 2006. — № 3. — С. 125—129.
4. **Уоссермен, Ф.** Нейрокомпьютерная техника: теория и практика [Текст] / Ф. Уоссермен; пер. с англ. — М.: Мир, 1992. — 212 с.
5. **Осовский, С.** Нейронные сети для обработки информации [Текст] / С. Осовский; пер. с польск. И. Д. Рудинского. — М.: Финансы и статистика, 2002. — 334 с.
6. **Горбань, А. Н.** Нейронные сети на персональном компьютере [Текст] / А. Н. Горбань, Д. А. Россиев. — М.: Наука, 1996. — 276 с.

Contents

2 *Chernov A., Sugrobov A.* Intellectual systems of an electrical supply of vehicles.
In article intellectual systems of an electrical supply of the vehicles, the using optimum algorithms of the work providing decrease of toxicity of fulfilled gases of the engine and the expense of fuel by the engine on a drive of generating installation, stability of pressure in an onboard network and set зарядное a condition of the storage battery are considered. Classification of intellectual adaptive systems of an electrical supply depending on the problems solved by them is resulted.
Keywords: the vehicle, intellectual system of an electrical supply, generating installation, the storage battery, adaptive algorithm, toxicity of the fulfilled gases, the fuel expense, multichannel system of information interchange, condition.

5 *Maksimenko A. N., Leskovec I. V., Kutuzov V. V., Bezdnikov D. V., Fedosov A. N., Senturov V. V.* Increase of working capacity of the building and road cars hydrodrive at introduction of the modular method of repair and diagnostics.
In article bases of development of strategy of increase of working capacity of a hydrodrive of building and road cars taking into account revealing of assembly units of systems and units limiting non-failure operation are considered; definitions of a residual resource and the organisation of a modular method of repair with diagnostics application.
Keywords: exploitation, diagnostics, aggregate method repair, reliability, probability of no-failure, hydraulic.

12 *Chichko A. N., Sobolev V. F, Zaharik A. M., Likhoyzov S. G., Chichko O. I.* Numerical methods and belarassia supercomputer "Scythian" as tools for decision of problems of machine-building manufacture.
Possibility of use of numerical methods of modelling realised under supercomputer "SKIF" for decision of various problems of machine-building manufacture is shown. On example CAE of systems "ProLit-1c" and "ProNRC-1c", problems of foundry and metallurgical manufacture focused on decision number of processors of multinuclear computer system "SKIF" is shown, that, allows to accelerate essentially problem decision, for parallel algorithmic software.
Keywords: algorithm, analysis, kernel, manufacture, method, modelling, object, parameter, process, system, variation.

22 *Chichko A. N., Zaharik J. M., Matcushinetc T. V., Chichko O. I.* CAD-Systems in problems of designing of machine-building manufacture details.
Mathematical model for generalised estimation of computer method of construction objects by means of CAD-системы is offered. Parameters of mathematical model for the details of machine-building profile constructed in system Solid Works are resulted.
Keywords: algorithm, accuracy, characteristic, designing, element, method, object, optimisation, scheme, stage, step, system.

25 *Kapustin V. P., Ustimenko V. S.* Basic results of recovery vehicles' conveying equipment dynamic stress researches
The authors of the article observe problems concerned with simultaneous growth of country's automobile park and insufficient knowledge of employed recovery vehicles. Authors also generalize basic results of carried out theoretical and experimental researches of conveying equipment dynamic stress, which are aimed at all-round issues of conveying equipment elements loading conditions when moving on different kinds of roads.
Keywords: recovery vehicle, conveying equipment, stress.

27 *Sinelnikov A. F., Ph. D.* Evaluation of the reliability of recovery, taking into account the details of an analysis of its functional properties and requirements of technical conditions for the working surfaces.
In the article on the basis of the analysis of its functional properties and requirements of specification the technique of an estimation of reliability of restoration of a detail is resulted in work faces. Main principles and conditions of working out of the block diagramme of an estimation of reliability of the restored detail, taking into account defects available on it and technology of elimination of the given complex of defects of work faces are considered. On an example of a bent shaft of the automobile engine the estimation of reliability of restoration of a detail under condition of maintenance of 80 % of probability of no-failure of a shaft is given.
Keywords: reliability, detail, functional properties, work face, restoration.

38 *Ivanov Y. I.* Assessment and enterprises and firms human resources management.
Assessment is provided and human resources (HR) management is described for enterprises; equations are suggested for general assessment of performance quality of the organization manager and employees; examples are given; equations are described for calculating HR management efficiency ratio.
Keywords: human resources management, performance quality equation, assessment examples, HR management efficiency equation.

43 *Chichko A. N., Zaharik J. M., Matcushinetc T. V., Sachek O. A., Chichko O. I.* Neural networks in decision of classification problems of motor industry objects.
Use possibilities neironetwork models for classification of motor industry objects are shown. Methods of training and synthesis of neural networks structure are considered.
Keywords: algorithm, architecture, automation, base, method, object, optimisation, prototype, system, training, variant.

Художественный редактор *Т. Н. Галицына.* Технический редактор *Е. М. Патрушева*. Корректор *Т. В. Пчелкина*
Сдано в набор 16.02.2010. Подписано в печать 31.03.2010. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 5.88. Уч.-изд. л. 6,86. Заказ 796. Тираж 168 экз.
Отпечатано в ЗАО "Компания ИМАДЖВЕЙВ". 119607, г. Москва, Мичуринский проспект, д. 27, стр. 2