6.Надёжность сложных систем

6.1. Резервирование – это метод повышения надёжности объекта введения избыточности, т.е. введение дополнительных средств и возможностей сверх минимально необходимых, для выполнения объектом заданных функций.

Пример: Применение запасных частей, резервных комбайнов, автомобилей и т.д. Рукоятка.

Резервный элемент – элемент, предназначенный для обеспечения работоспособности объекта в случае отказа основного элемента.

Кратность резервирования – отношение числа резервных элементов и числу резервируемых.

Резервирование – один из способов значительного повышения надёжности объектов. При выходе из строя одного из элементов, резервный элемент выполняет его функции и объект не теряет работоспособности.

6.2. Вероятность безотказной работы систем:

6.2.1. С последовательным соединением элементов

– это соединение, при котором отказ одного какого-либо элемента влечёт за собой отказ всей системы.

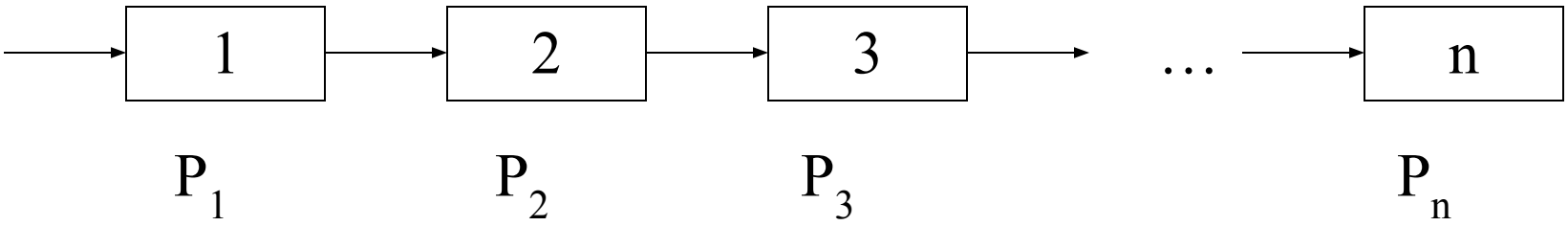


Рис. 51 Последовательное соединение элемента

Зная вероятность безотказности работы P_1, $P_2 \ldots P_n$, находим общую вероятность безотказной работы системы

$$P_{посл}(t) = P_1 * P_2 \square \ P_n = \prod_{i=1}^{n} P_i \qquad [130]$$

Вероятность отказа в этом случае:

$$q_{посл} = 1 - P_{посл}(t) \qquad [131]$$

6.2.2. При параллельном соединении элементов

Параллельное соединение – это совокупность элементов работоспособность которых нарушается только при условии отказа всех параллельных элементов, входящих в совокупность.

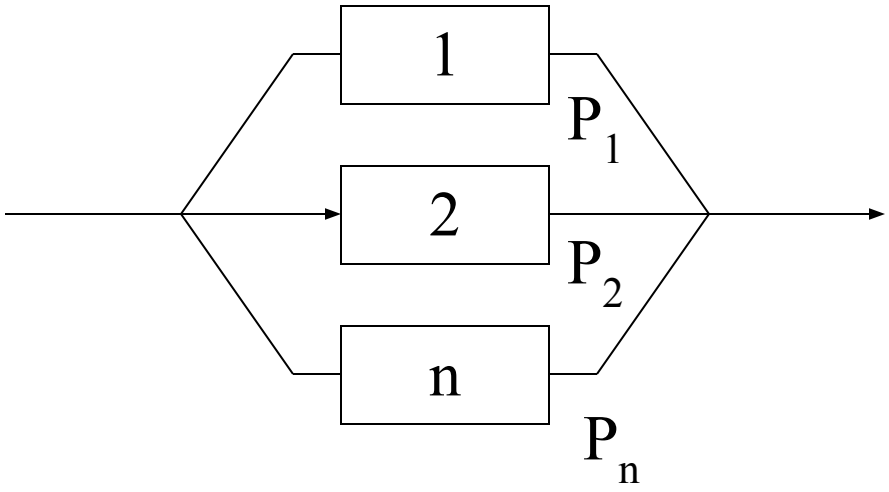


Рис. 52 Параллельное соединение элементов

В этом случае вероятность совместного появления всех отказов q(t) будет:

$$q_{пар}(t) = q_1 * q_2 * \square * q_n = \prod_{i=1}^{n} q_i \quad [132]$$

Поэтому безотказность системы вычисляется:

$$P_{пар}(t) = 1 - \prod_{i=1}^{n} q_i = 1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - P_i) \quad [133]$$

Пример: Если 3 элемента с параллельным соединением имеют $q_i=0,1$, то

$P_{пар}(t)=1-(0,1)^3=0,999$

При условии, что $q_1=q_2=q_3$

Параллельное соединение необходимо в том случае, если в этом есть большая необходимость (две фары, тормоза – 1 ручной и 1 ножной и т.д.), но не нужно ставить в запас второй двигатель, КПП и т.д.

6.2.3. При смешанном соединении элементов (сочетание различных видов) – соединение, при котором используется параллельное и последовательное соединение элементов в системе. При этом отказ элемента последовательно соединённого в системе, ведёт к отказу системы.

Методика расчёта P(t) и q(t)

1 – $P_{пар}$

2 – $P_{посл}$

Пример:

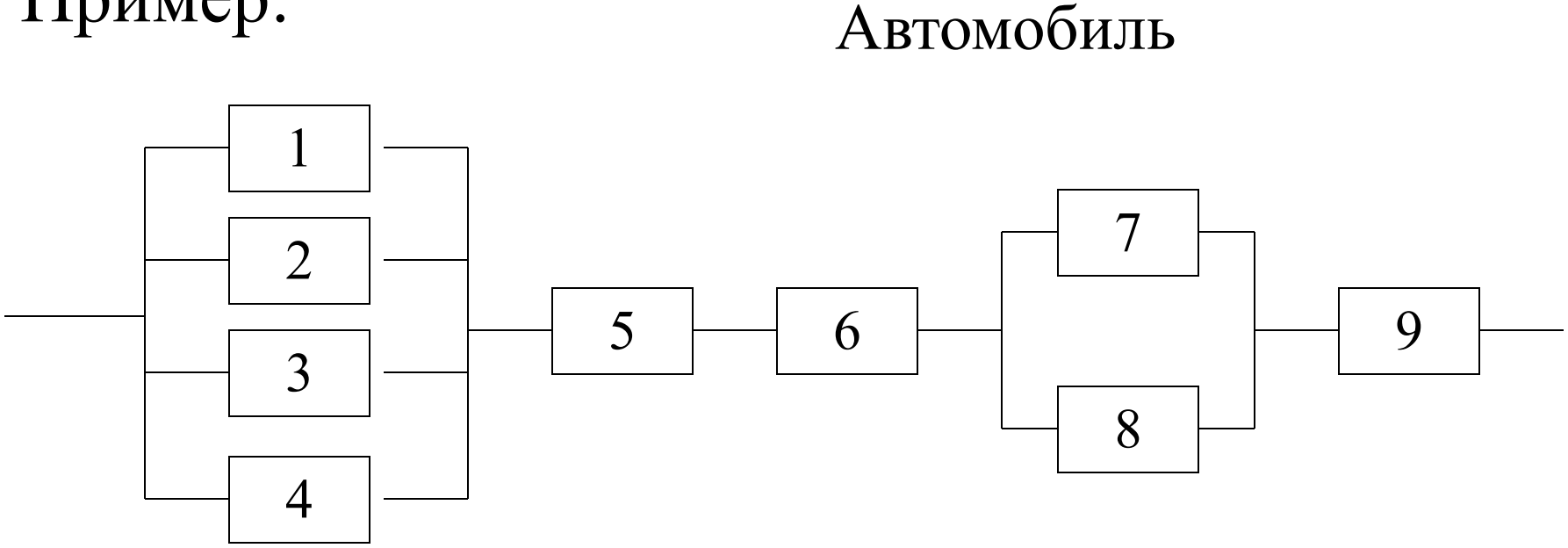


Рис. 53 Смешанное соединение элементов

1,2,3,4 – цилиндры; 5,6 – трансмиссия; 7,8 – тормоза; 9 – система питания.

$P_{пар}=1-(1-P_i)^n$

$P_i=0,9=P_1=P_2\ldots$ - вероятность безотказной работы каждого элемента

$P_{1-4}=1-(1-P_1)^4=1-(1-0,9)^4=1-0,0001=0,9999$

$P_{7-8}=1-(1-P_7)^2=1-(1-0,9)^2=1-0,01=0,99$

$P_a=\ P_{1-4}*P_5*P_6*P_{7-8}*P_9=0,9999*0,9*0,9*0,99*0,9=$
$=0,72$

Если бы не было параллельных элементов, то

$P_а = P_1 * P_5 * P_6 * P_7 * P_9 = P_1^5 = 0{,}9^5 = 0{,}6$

т.е. $P_{а\ пар} > P_{а\ посл}$

Кроме того применяют раздельное резервирование, общее резервирование, смешанное и резервирование с восстановлением.

6.3. Надёжность типовых элементов машин

1 валов

2 соединений с натягом

3 резьбовых соединений

4 сварных соединений

5 зубчатых передач

6 цепных передач

7 клиноремённых передач

8 подшипников

9 предохранительных муфт

7. Методы повышения надёжности

7.1. Обеспечение высокого первоначального уровня надёжности машин при конструировании машин.

7.1.1. Выбор долговечных материалов.

Детали современных машин изготавливают в зависимости от назначения материалов:

а) конструкционных

б) износостойких

в) антифрикционных (малый коэф-т трения)

г) фрикционных (большой коэф-т трения)

д) антикоррозийных и др.

Широко используют конструкционные стали (19…51%), низколегированные (29…63%), серый чугун (18…29%), а также сплавы на основе алюминия, ковкий чугун и др.

Конструкционная Ст-45 имеет наибольшее распространение.

Низколегированные 12ХН3А, 18ХГТ, 30ХГТ

Серый чугун СЧ 15-32, СЧ 18-36

Материалы деталей и рациональные их сочетания подбирают на основе двух главных требований: а) получение нужной долговечности;

б) невысокой стоимости

Для каждой детали учитывают:

а) условие работы

б) вид изнашивания

г) точность изготовления

Коленвал → высокая усталостная прочность и ударная вязкость, т.к. действуют циклические и динамические нагрузки

Шестерни →

Крестовины →

Подшипники →

\+ дополнительно высокая контактная усталостная прочность

7.1.2. Обеспечение нормальных условий работы деталей

Для длительной и нормальной работы деталей прежде всего определяют:

а) рациональные размеры трущихся поверхностей

б) геометрическую форму

Пример: Подшипник рассчитывают на удельные нагрузки

Опоры валов – на смятие

Фрикционные пары – на нагрев

Рессоры – на усталость

Во многих случаях конструкторы стремятся заменить некоторые детали малой надёжности, деталями более высокой надёжности.

Пример: Замена подшипника скольжения на подшипник качения.

Преимущества: а) более дешёвые

б) более долговечные

в) минимальное трение

Недостатки: а) малые скорости

б) малые нагрузки

г) меньшая точность работы

д) шум

7.1.3. Снижение концентрации напряжений

При проектировании особое внимание следует уделить на галтели, надрезы, канавки и детали подверженные динамическим и циклическим нагрузкам.

7.1.4. Создание оптимальных температурных режимов

Играет важную роль в повышении долговечности узлов, агрегатов и машин в целом.

Необходимо регулировать температуру в узлах трения и агрегатах при помощи:

а) воды, воздуха;

б) картерного масла;

а также с применением таких конструкторских решений:

а) создание теплоизолирующих прорезей на головках блоков и поршнях;

б) заполнение пустотелых впускных клапанов металлическим натрием.

7.1.5. Обеспечение хороших условий смазывания трущихся поверхностей.

Необходимо повышать качество смазочных материалов для с.-х. техники за счёт использования различных присадок, а также проводить смазку под давлением, создавая условия жидкостного трения, при этом следует очищать смазочные материалы, фильтровать. В настоящее время фильтруют масло трансмиссий.

а) присадки;

б) смазка под давлением;

в) фильтрация;

г) переход с консистентной на жидкостную смазку

7.1.6. Создание эффективных устройств для очистки воздуха, топлива, смазки.

В современных двигателях применяют эффективные средства:

а) применение новых конструкций циклонных и комбинированных воздухоочистителей;

б) двойная очистка топлива – использование фильтров грубой и тонкой очистки с новыми фильтрующими элементами БФДТ;

в) очистка масла – создание центробежной очистки в шатунных шейках коленвала, установка в картерах магнитных пробок.

7.1.7. Улучшение конструкций и материалов уплотнительных устройств.

Повышает долговечность, т.к. длительное время с.-х. машины работают на открытом воздухе, насыщенном абразивными частицами

Используют:

а) резиновые радиальные самоподжимные каркасные уплотнения;

б) специальные прокладочные материалы;

г) герметизирующие пасты.

7.1.8. Обеспечение достаточной жёсткости базовых деталей.

Базовые детали (рамы, блоки, корпуса коробок, задних мостов и т.д.) определяют работоспособность других деталей и обеспечивают для них достаточную жёсткость, устойчивость и стабильность размеров.

Пример: Блок цилиндров ЯМЗ – удобно, малые вибраций.

Блок цилиндров СМД-14 недостаточная жёсткость. (переделали гильзы с двух опор на три)

7.1.9. Другие мероприятия:

а) гидравлическое натяжение гусениц (Т-130);

б) применение двухслойных пальцев гусениц (со слоем из стали Х12Ф1);

в) ужесточение допусков на подбор деталей цилиндро – поршневой группы по массе;

г) введение динамической балансировки деталей двигателя, сцепления, карданных валов;

д) использование распредвалов с безударным профилем кулачков.

7.2. Технологические методы обеспечения доремонтного уровня надёжности машин.

7.2.1. Обеспечение необходимой точности и качества изготовления деталей.

Зависит от уровня используемого обрабатывающего оборудования и точности размеров рабочих поверхностей деталей.

При увеличении точности изготовления деталей уменьшаются начальные зазоры в подвижных сопряжениях и более жёстко регламентируются натяги в подвижных соединениях.

В машиностроении стремятся к повышению качества поверхностей, при этом уменьшается их шероховатость к искажению макрогеометрии.

7.2.1. Достижение высоких геометрических характеристик качества поверхности

Возможно при использовании различных методов:

а) путём тонкого шлифования;

б) хонингование;

г) полирование;

д) смятие поверхностей:

1) пластическая деформация;

2) раскатывание;

3) обкатывание;

4) виброобкатка;

е) электрические методы:

1) электрохимический;

2) электромеханический.

Критерии оценки качества поверхности:

1) поверхность фактического контакта;

2) радиусы закругления вершин и впадин микронеровностей;

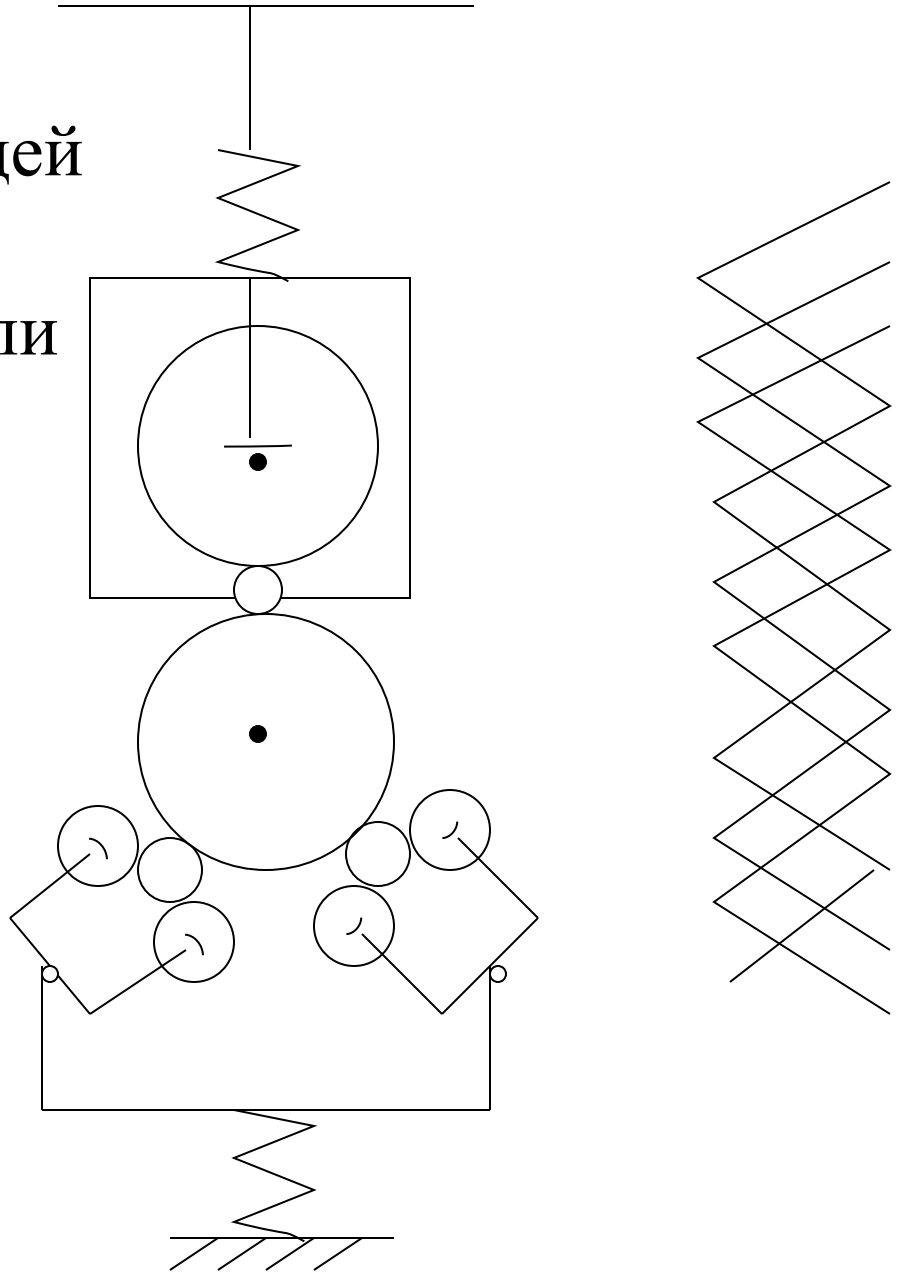
3) углы наклона образующих неровностей при основании.

7.2.3. Выбор наиболее рационального вида обработки.

Требует научно-производственной проверки.

Эффективно применение вибронакатывания, износ деталей при этом снижается.

Рис. 54 Схема вибронакатывающей установки и поверхности детали после обработки.



Упрочнение деталей – это основной метод, применяемый в с.-х. машиностроении

Применяют термическую обработку для улучшения поверхности и упрочнения верхнего слоя (коленвал)

Для упрочнения на поверхности наносят износостойкие коррозионностойкие покрытия:

1) Хромирование (верхнее поршневое кольцо, срок службы > в 1,5…2 раза;
2) Никелирования;
3) Надмирование.

Повышение долговечности деталей нанесением на рабочие поверхности износостойких наплавленных слоёв (лемехи, лапы культиваторов и т.д.) увеличение срока службы в 2…3 раза.

Наплавка плазменной дугой тарелок клапанов автоматически двигатель увеличивает срок службы в 4…10 раз.

7.2.4. Другие мероприятия

1) Термомеханические упрочнения;

2) Применение для изготовления кованных заготовок;

3) Изготовление деталей методом обкатывания (шестерён,шлицевых валов);

4) Проведение статистической и динамической балансировки;

5) Повышение точности и качества сборки.

Комплекс мероприятий по повышению качества отдельных деталей и узлов позволит добиться значительного повышения доремонтного технического ресурса машин.

Перспективным направлением на сегодня является применение принципиально новых материалов и принципиально новой технологии упрочнения поверхностей трения.

Перспективными являются:

1) Эффект аномально низкого трения для случая космического пространства. Снижение коэффициента сухого трения в вакууме до 10^{-3} (на 1000). Разработана технология получения таких поверхностей;

2) Разработка сухих смазок, резко снижающих износ – это (MoS_2-Pв) и другие на основе молибдена (MoS_2-ZnS);

3) Применение “вечных подшипников”, в которых металлическая тяга вращения заменена жидкими кристаллами;

4) Применение лазера для обработки шеек коленвала. Нагрев детали до жидкого состояния и перевод слоя толщиной 10…15 мкм в аморфное строение за счёт резкого охлаждения ($V_{охл}$=1000000 к/с), в следствии чего атомы не успевают перестроиться в кристаллические решётки. Слой не подвержен разрушению физической и химической среды.

Аморфное состояние – это беспорядочное расположение атомов и молекул.

5) Плазменное напыление порошков, термообработка лучом лазера.

7.3 Технологические методы обеспечения послеремонтного уровня надёжности.

Обеспечение высокого уровня надёжности отремонтированных деталей является одной из главных задач ремонтного производства.

Для обеспечения высокого уровня надёжности при ремонте используют такие мероприятия:

7.3.1. Обеспечение сохраняемости ремонтного фонда, поступающие на ремонтные предприятия.

Достигается организацией соответствующих складов и площадок, применением различных подставок и подкладок, антикоррозийных смазок и другие.

Необходимо хорошо сохранять детали, поступающие для восстановления, иначе это превратится в металлолом.

При разборке не ломать детали и не разукомплектовывать;

Применять специальные приспособления для снятия (гидравлика);

Иметь ящики для деталей;

Не разукомплектовывать детали цилиндро-поршневой группы.

7.3.2. Внедрение на ремонтных предприятиях эффективной мойки и очистки.

Это одно из наиболее решающих условий обеспечения высокого послеремонтного ресурса машин.

Удаление нагара, смолистых отложений, накипи и других загрязнений – требует специального современного оборудования для обеспечения качественного ремонта.

Эффективные моющие средства: МЛ-51, МЛ-52, АМ-15 и “Эмульсин” (для удаления смолистых отложений), новые МС-5, МС-6, МС-8

7.3.3. Контроль и дефектация изношенных деталей.

Необходимо применять новые, более точные приборы для обеспечения наибольшего срока службы. При этом происходит разграничение деталей на большее число групп, тем самым детали с меньшим износом могут обрабатываться под меньшие ремонтные размеры (посадочные места, отверстия) соответственно валы подвергаются меньшему снятию металла.

Применяют: пробки, калибры, скобы, индикаторы, микрометры – обеспечивают повышение точности измерений до 0,01…0,0001 мм. Коленвалы, блоки, гильзы цилиндров – нужно проверять на отсутствие скрытых дефектов (магнитная, люминесцентная, ультразвуковая и рентгеновская дефектоскопия и другие.)

7.3.4. Сплошной контроль размеров и геометрии рабочих поверхностей базовых деталей

В результате строения материала, износов и других воздействий (нагрузки) происходят изменения размеров, геометрии и взаимного расположения поверхностей, которые необходимо устранять. Это обеспечивает высокую работоспособность всего агрегата в целом. Повышается ресурс машины.

7.3.5. Тщательный весовой и размерный подбор деталей цилиндро-поршневой группы.

Это необходимо для хорошей работы двигателя, т.к. при работе возникают большие нагрузки, а неравномерная масса приводит к детонации, которая значительно увеличивается при увеличении частоты вращения коленвала.

7.3.6. Динамическая балансировка

Коленвалов, карданных валов, маховиков, муфт и т.д.

7.3.7. Обеспечение регламентированных посадок, усилий затяжки и сборки резьбовых соединений.

Определены типовой технологией сборки.

7.3.8. Стендовая обкатка и испытания.

При этом необходим тщательный контроль с целью выявления посторонних шумов и стуков, повышенного нагрева, течи масла и т.д.

7.4. Обеспечение и повышение надёжности при эксплуатации техники.

Условия эксплуатации машин решающе влияют на показатели их надёжности и могут свести любые достижения конструкторов и технологов на ноль.

7.4.1. Методы повышения надёжности при эксплуатации. Обкатка новых машин в хозяйствах.

Закладываются основы длительной и безотказной работы машин, должна проводится 50…60 ч при постепенном повышении нагрузки по рекомендации завода-изготовителя.

При этом необходимо контролировать работу всех узлов и механизмов. Проводить ТО, 3 раза менять масло в картере, применять рекомендуемые смазки (масла).

7.4.2. Организация ТО и создание необходимой базы.

Необходимо своевременно проводить ТО-1 (через 8-10 часов работы), сезонное ТО (2 раза в год) и плановое ТО.

7.4.3. Проведение техосмотров и технической диагностики состояния машин.

Техосмотры проводят 1-2 раза в год. Диагностику проводят выборочно для получения данных о техническом состоянии на данный момент времени.

7.4.4. Обеспечение нормального режима работы

Не нужно перегружать, правильно регулировать зазоры в подшипниках, шестернях и других соединениях. Нарушение приводит к повышению температурного режима, условий смазки при этом наступает форсированный износ.

В зимнее время технику нужно ставить в тёплых боксах.

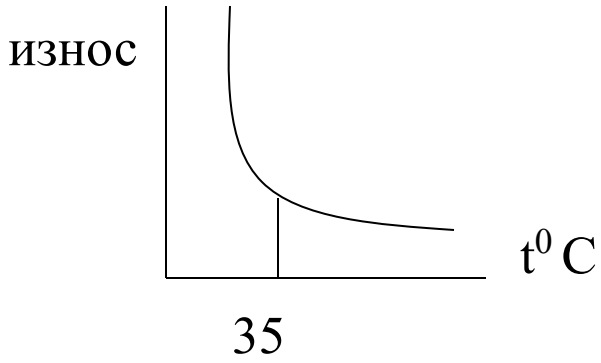


Рис. 55

7.4.5. Соблюдение установленных правил хранения.

Иметь специальные помещения, подставки, подкладки и т.д.

Применять защитные смазки ЦИАТИМ-202, СХК.

7.4.6. Контроль и постоянное соблюдение требуемой герметизации агрегатов и систем.

В целях предупреждения попадания абразива.

7.4.7. Другие мероприятия

1. Учить и воспитывать механизаторов.
2. Ремонт необходимо проводить в специальных предприятиях.