УДК 629.7.064.3.018

Группа Д19

ОТРАСЛЕВОЙ СТАНДАРТ

ГИДРОПРИВОДЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Расчет режимов ускоренных испытаний

ОСТ 1 00149-82

На 81 страницах

Взамен ОСТ 1 00149-74

Распоряжением Министерства от 28 июня 1982 г. № 087-16

срок введения установлен с 1 июля 1983 г.

Настоящий стандарт распространяется на гидроприводы поступательного движения с гидромеханическим и электрогидравлическим регулированием при определении для них режимов ускоренных ресурсных испытаний и испытаний на усталость, а также на гидроприводы вращательного движения – при испытании на усталость.

Стандарт не распространяется на насосы, насосные станции и гидромоторы.

№ изм. № изв.

4835

инв. № дубликата инв. № подлинника

Издание официальное ★

ГР 8254848 от 06.08.82

Перепечатка воспрещена

gost.e-ecolog.ru

Стандарт устанавливает расчет режимов ускоренных испытаний гидроприводов систем управления пилотажных аппаратов при:

- ресурсных испытаниях в опытном производстве;
- испытаниях на усталость за назначенный ресурс для оценки прочностных характеристик конструкции гидроприводов в опытном производстве;
- испытаниях на подтверждение назначенного ресурса по сопротивлению усталости на этапе установочной серии;
- периодических испытаниях (ресурсных и на усталость) в установившемся серийном производстве.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Гидроприводы, для которых определяются режимы ускоренных испытаний, должны:

- работать на жидкостях: АМГ-10 ГОСТ 6794-75; 7-50С-3 ГОСТ 20734-75; НГЖ-4 ТУ 38 101740-80;
- работать при температуре рабочей жидкости и окружающей среды от минус 60 до плюс 220 °С, давлении до 27,5 МПа (280 кгс/см^2), скорости движения выходного звена до 250 мм/с;
- выполняться с уплотнениями подвижных и неподвижных соединений из фторопласта Ф-4 ТУ 6-05-810-76; из резиновых смесей: В-14, В-14-1, ИРП-1353, ИРП-1078, ИРП-1054, НО-68-1, ИРП-1287, ИРП-1316, ИРП-1375, ИРП-1377, ВР-7 по ТУ 38 005 1166-73, 51-1668НТА по ТУ 38-40334-77 и с силовыми деталями из стальных, титановых, алюминиевых и других сплавов;
- нарабатывать ресурс посредством подачи периодически меняющегося электрического управляющего сигнала от генератора периодических колебаний или управляющего сигнала от механического (гидравлического) sin - задатчика.

Распространение настоящего стандарта на гидроприводы, работающие в других условиях и изготовленные из других материалов, возможно после проведения необходимого объема испытаний для определения коэффициентов $K_{ст}$, K_t, Ψ, m, α, b, c, γ.

1.2. Сокращение времени ресурсных испытаний достигается за счет форсирования режимов испытаний гидроприводов - скорости движения выходного звена, давления и температуры рабочей жидкости, нагрузки на выходном звене при сохранении остальных условий, состава, методик по испытанию на соответствие требованиям технических условий (ТУ) на гидропривод

1.3. Сокращение времени испытаний гидроприводов на усталость за назначенный ресурс достигается проведением испытаний при увеличенных нагрузках с сохранением эквивалентности по накоплению усталостных повреждений и (или) за счет

№ изм | № изв
Инв. № подлинника | Инв. № дубликата | 4835

увеличения частоты циклов нагружения. При испытаниях на усталость производится блочное нагружение гидропривода. Оптимальное число блоков за назначенный ресурс составляет 10-15.

1.4. В основу методики заложена эквивалентность режимов эксплуатации или режимов испытаний, заданных в техническом задании (ТЗ) на гидропривод, ускоренным режимам испытаний по основным разрушающим факторам для критичных деталей:

- износу уплотнений подвижных соединений выходного звена;
- тепловому старению резиновых уплотнений;
- накоплению усталостных повреждений в силовых деталях;
- износу подшипников.

1.5. Степень ускорения ограничивается максимально допустимыми температурами рабочих жидкостей и материалов, максимально располагаемыми скоростями и нагрузками.

1.6. Оценку результатов ускоренных испытаний проводить в соответствии с действующей нормативно-технической документацией (НТД) на гидропривод.

1.7. Программы ускоренных ресурсных испытаний и испытаний на усталость разрабатываются и опробируются предприятиями разработчиками гидроприводов и вводятся в ТУ.

1.8. Допускается объединение двух программ в единую программу испытаний на долговечность с соблюдением эквивалентности по всем основным разрушающим факторам и требований по обеспечению надежности.

1.9. Термины, использованные в стандарте, и их определения приведены в справочном приложении 1.

1.10. Условные буквенные обозначения параметров приведены в обязательном приложении 2.

2. ПРИНЯТЫЕ ДОПУЩЕНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

2.1. Методика определения режимов ускоренных ресурсных испытаний построена на основе форсирования температуры рабочей жидкости ($t_Ж$) при постоянной температуре окружающей среды ($t_{ОКР_Ж} = t_{ОКР_У}$), причем режимы, имеющие температуру минус $60^{\circ}C \leq t_Ж \leq 0^{\circ}C$ для всех типов гидроприводов, ускорению не подлежат.

2.2. При температуре рабочей жидкости в интервале $(t_У + \Delta t_К) \leq 65^{\circ}C$ изменение износа уплотнений от изменения температуры не учитывается ($\alpha_t = 0$). Если $t_Ж \leq 65^{\circ}C$, а $(t_У + \Delta t_К) > 65^{\circ}C$, то в расчетных формулах следует принимать $t_Ж = 65^{\circ}C$.

№ изм. | № изв. | Инв. № дубликата | Инв. № подлинника | 4835

2.3. Старение резиновых уплотнений при температуре рабочей жидкости $(t_н,\ t_у+\Delta t_к) \leq 50^{\circ}C$ не учитывается. Если $t_н \leq 50^{\circ}C$, а $(t_у+\Delta t_к) > 50^{\circ}C$, то в расчетных формулах по старению следует принимать $t_н = 50^{\circ}C$.

2.4. За нормы герметичности по уплотнениям подвижных соединений на ускоренном режиме принимаются нормы, указанные в ТУ для соответствующего режима эксплуатации.

2.5. Если на ускоренных режимах будет установлено отклонение от норм герметичности, указанных в п. 2.4, то после наработки ресурса на данном ускоренном режиме должна быть произведена проверка утечек в течение 1 ч на соответствующем режиме, указанном в ТУ.

При удовлетворительных результатах проверки следует продолжить ускоренные испытания, а при неудовлетворительных – произвести работы в соответствии с действующей НТД и принятым решением.

2.6. Критичными деталями по износу и тепловому старению являются резиновые (фторопластовые) уплотнения подвижных соединений, причем при наличии уплотнений из резины нескольких марок расчет следует производить по резине, имеющей наименьший ресурс при максимальной температуре рабочей жидкости, заданной в ТУ.

Для гидроприводов, имеющих другие критичные детали по тепловому старению и (или) износу, расчет следует производить с учетом этих деталей.

2.7. Критичными деталями по накоплению усталостных повреждений являются детали, имеющие максимальные напряжения при работе гидропривода.

Критичные детали определяются для каждой группы деталей, классифицируемых по материалу, из которого они изготовлены (стальные, алюминиевые, титановые и другие материалы), и по характеру воспринимаемой нагрузки.

2.8. Испытания на усталость проводятся при нормальных температурах рабочей жидкости $t = (35 \pm 10)\ ^{\circ}C$ и окружающей среды $t_{окр} = (25 \pm 10)\ ^{\circ}C$.

При испытании на усталость необходимо отрабатывать температурные режимы, если температура рабочей жидкости и окружающей среды по ТЗ (ТУ) более 120 $^{\circ}C$ для гидроприводов, в которых есть силовые детали из легких сплавов (кроме титановых) или более 250 $^{\circ}C$ для гидроприводов, в которых применяются другие сплавы (в том числе титановые).

2.9. Коэффициент чувствительности к асимметрии цикла напряжений (ψ) для титановых сплавов принимается как для высокопрочного алюминиевого сплава В95.

№ изм. № изв. 4835 Инв. № дубликата Инв. № подлинника

2.10. Коэффициент чувствительности к асимметрии цикла по напряжениям среза (ψ_τ) принимается равным половине коэффициента по напряжениям изгиба (ψ_σ).

2.11. При испытании на усталость частоту циклов (f) не рекомендуется повышать более 5 Гц. При испытании гидроагрегатов с деталями из титановых и алюминиевых сплавов частоту циклов более 3 Гц применять не рекомендуется.

Увеличение частоты выше рекомендуемой должно быть технически обосновано.

2.12. Влияние на усталость шарнирных моментов трения и сил трения в соединениях с поступательным движением должно учитываться заданием амплитуды движения выходного звена не менее $\pm 0{,}5$ мм с поворотом в шарнирном соединении.

2.13. Число циклов при испытаниях на усталость задается с учетом необходимого коэффициента надежности η_Σ (см. п. 7.19).

2.14. Испытания на усталость проводятся до наработки числа циклов, необходимого для защиты назначенного ресурса по всем группам деталей.

2.15. Несущая способность конструкции по сопротивлению усталости определяется испытаниями до разрушения и является неограниченной при наработке числа циклов $5 \cdot 10^7$.

2.16. В случае разрушения деталей при испытании на усталость, определение ресурса разрушившихся деталей производится по средней наработке идентичных деталей, а по всему гидроприводу – по общей наработке с начала испытаний.

2.17. При определении ресурса по сопротивлению усталости следует исходить из несущей способности основных силовых деталей. Результаты испытаний на усталость учитываются при установлении ресурса до первого ремонта, межремонтного и назначенного ресурсов гидропривода.

2.18 Для подтверждения наработок менее ресурса до первого ремонта производится отработка необходимого числа циклов и расширенный объем контрольных проверок, устанавливающих отсутствие разрушений без разборки гидропривода, или дополнительная отработка блока нагружения, эквивалентного 20% подтверждаемого ресурса, без разборки гидропривода.

Объем проверок устанавливается частным решением с участием представителя заказчика.

2.19. При наличии комбинированных эксплуатационных нагрузок (наложение высокочастотных нагрузок на низкочастотные) испытания на усталость необходимо проводить, имитируя комбинированные нагрузки, при этом ускорение испытаний рекомендуется производить за счет увеличения высокочастотной составляющей нагрузки. Допускается приведение комбинированных нагрузок к эквивалентной при

№ изм. № изв. 4835 Инв. № дубликата Инв. № подлинника

наличии технически обоснованной методики, подтвержденной экспериментально.

2.20. К испытаниям на усталость не допускаются гидроприводы, имеющие критические дефекты, и гидроприводы, прошедшие статические испытания на прочность.

2.21. Модификация силовых деталей по материалам, конструкции и технологии их изготовления, влияющая на сопротивление усталости этих деталей, должна проверяться повторными испытаниями на усталость. Объем повторных испытаний согласовывается с представителем заказчика.

3. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ УСКОРЕННЫХ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЙ ГИДРОПРИВОДОВ ПРИ $A_y = A_н$, $n_y \neq n_н$, $R_y \neq R_н$

3.1. Исходные данные для расчета режимов ускоренных ресурсных испытаний, заданные в ТЗ (ТУ), должны быть внесены в табл 1.

Таблица 1

Номер режима	Амплитуда перемещения выходного звена, мм	Нагрузка на выходном звене, Н (кгс)	Температура, °С: окружающей среды	Температура, °С: рабочей жидкости	Кол. циклов перемещений выходного звена	Частота перемещений выходного звена, Гц	Время испытаний на режиме, ч
1	$A_{н1}$	$R_{н1}^{min} \dots R_{н1}^{max}$	$t_{окр.н1}$	$t_{н1}$	$n_{н1}$	$f_{н1}$	$\tau_{н1}$
2	$A_{н2}$	$R_{н2}^{min} \dots R_{н2}^{max}$	$t_{окр\ н2}$	$t_{н2}$	$n_{н2}$	$f_{н2}$	$\tau_{н2}$
j	$A_{нj}$	$R_{нj}^{min} \dots R_{нj}^{max}$	$t_{окр\ нj}$	См черт 4	$n_{нj}$	$f_{нj}$	$\tau_{нj}$

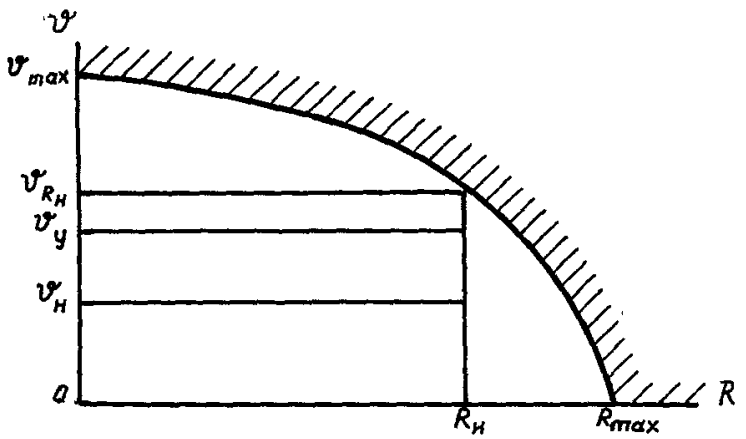
Итого: $\sum_{j=1}^{j} n_{нj}$ $\sum_{j=1}^{j} \tau_{нj}$

Примечания: 1. Один цикл перемещений состоит из прямого и обратного хода выходного звена, при этом количество циклов перемещения выходного звена может не совпадать с количеством циклов нагружения.

2. Значения нагрузок в таблице следует приводить с учетом знака, определяющего направление их приложения к выходному звену.

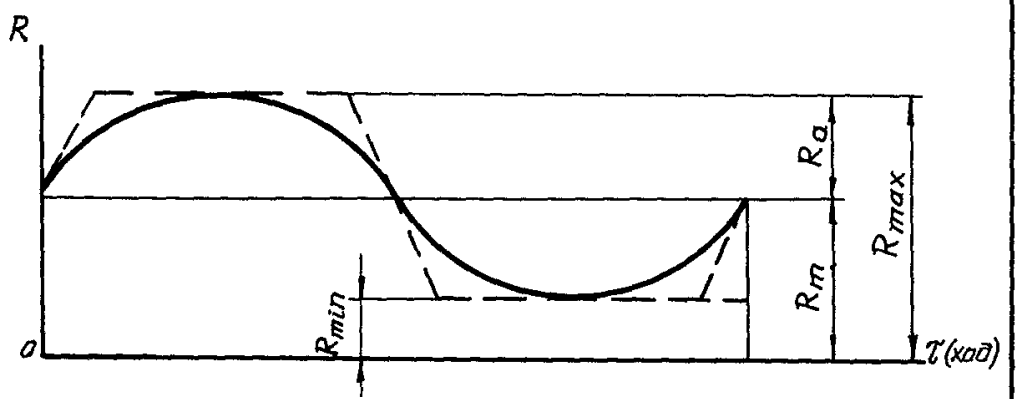
3. Нагрузочная характеристика $\vartheta = F(R)$ приведена на черт. 1.

№ изм. | № изв
Инв. № дубликата | 4835
Инв. № подлинника

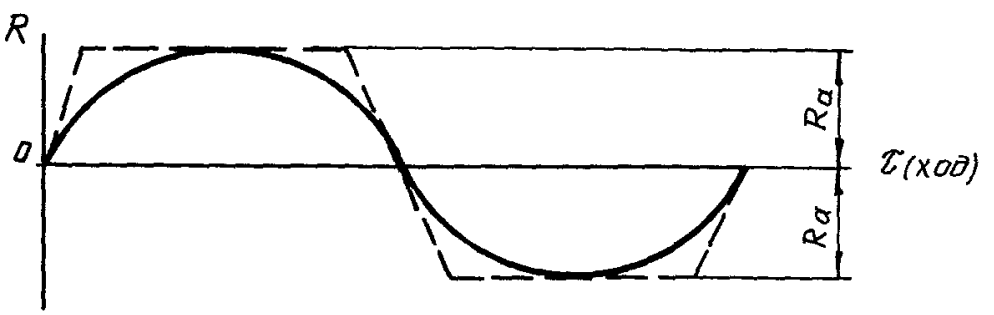


Черт. 1

4. Наработка производится при заданных давлениях в напорной (P_n) и сливной (P_c) гидролиниях.
5. Примеры изменения нагрузки за цикл приведены:
- для асимметричного цикла нагружения – на черт 2,
- для симметричного цикла нагружения – на черт. 3.



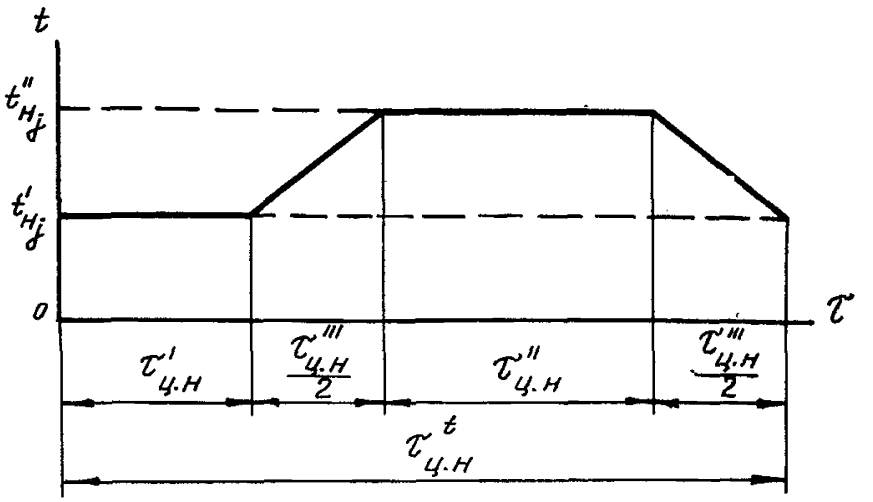
Черт. 2



Черт. 3

№ изм. № изв. 4835 Инв. № дубликата Инв. № подлинника

6. Изменение температуры рабочей жидкости на режиме j задано температурным графиком, приведенным на черт. 4.



Черт. 4

3.2. Расчет режимов ускоренных испытаний производить по критичной резине (см. п. 2.6)

3.3. Определить скорость движения выходного звена на каждом режиме, заданном в табл. 1, по формуле:

$$v_{Hj} = 2\pi f_{Hj} A_{Hj}. \quad (1)$$

Для прямоугольного или трапецеидального управляющего сигнала скорость движения выходного звена следует определять по формуле:

$$v_{Hj} = 4 A_{Hj} f_{Hj}. \quad (2)$$

3.4. Определить максимальную допустимую скорость движения выходного звена в соответствии с нагрузочной характеристикой гидропривода при нагрузке на каждом режиме, заданном в табл. 1, по формуле:

$$v_{RHj} = \frac{v_{max}}{\sqrt{R_{max}}} \sqrt{R_{max} - R_{Hj}}. \quad (3)$$

3.5. Определить скорость движения выходного звена на каждом ускоренном режиме по формуле:

$$v_{yj} \approx 0{,}9\, v_{RHj}. \quad (4)$$

№ изм. № изв. 4835 Инв. № дубликата Инв. № подлинника

Если имеется нагрузочная характеристика для данного гидропривода, то допускается принимать

$$\vartheta_{y_j} = \vartheta_{R_{H_j}} \qquad (5)$$

3.6. Определить приращение температуры в резиновом уплотнении от увеличения скорости движения выходного звена на каждом ускоренном режиме по формуле:

$$\Delta t_{K_j} = C(\vartheta_{y_j} - \vartheta_{H_j}) \qquad (6)$$

3.7. Рекомендуется выбирать температуру рабочей жидкости на каждом ускоренном режиме в первом приближении из условий:

$$\left.\begin{array}{ll} \vartheta_{y_j} \approx 2\,\vartheta_{H_j}; & t_{y_j} \approx t_{H_j} + (10\,..\,15)^{\circ}C; \\ \vartheta_{y_j} \approx 3\,\vartheta_{H_j}, & t_{y_j} \approx t_{H_j} + (15\,..\,20)^{\circ}C; \\ \vartheta_{y_j} \approx 4\,\vartheta_{H_j}, & t_{y_j} \approx t_{H_j} + (20\,..\,25)^{\circ}C; \\ \vartheta_{y_j} \approx 5\,\vartheta_{H_j}; & t_{y_j} \approx t_{H_j} + (25\,..\,30)^{\circ}C; \\ \vartheta_{y_j} \approx 6\,\vartheta_{H_j}; & t_{y_j} \approx t_{H_j} + (30\,..\,40)^{\circ}C. \end{array}\right\} \qquad (7)$$

3.8. Произвести разбивку интервала температуры от t_H до $(t_y + \Delta t_K)$ на интервалы через 10°С, обозначив их по возрастающей последовательности: от t_0 до t_1, от t_1 до t_2, ..., от t_{i-1} до t_i,

где $t_0 \leq t_H \leq t_1$;

$t_{i-1} \leq (t_y + \Delta t_K) \leq t_i$.

Коэффициенты старения резиновых уплотнений $K_{CT_1}, K_{CT_2}, \ldots, K_{CT_{i-1}}, K_{CT_i}$ для критичной резины и соответствующих интервалов температур определяют по рекомендуемому приложению 3.

3.9. Определить произведение коэффициентов старения по формуле:

$$\prod_{i=1}^{i} K_{CT_j} = K_{CT_1}^{0,1\,\Delta t_1} \cdot K_{CT_2} \cdots K_{CT_{i-1}} \cdot K_{CT_i}^{0,1\,\Delta t_i}, \qquad (8)$$

где $\Delta t_1 = t_1 - t_H$;

$\Delta t_i = (t_y + \Delta t_K) - t_{i-1}$.

3.10. Уточнить методом последовательных приближений с относительной погрешностью ±5% температуру рабочей жидкости t_{y_j} при $\vartheta_{y_j} = const$ или скорость движения выходного звена ϑ_{y_j} при $t_{y_j} = const$ на каждом ускоренном режиме при $t_H \geq$ 65 °С по формуле:

$$\vartheta'_{y_j} = \vartheta_{H_j}\left[\prod_{i=1}^{i} K_{CT_j}\left(\frac{t_{H_j}}{t_{y_j} + \Delta t_{K_j}}\right)^{a_1}\right]^{\frac{1}{1+ab}}. \qquad (9)$$

№ изм. | № изв | 4885 | Инв. № дубликата | Инв. № подлинника

Показатели степени a и a_1 приведены в рекомендуемом приложении 4.

3.11. Определить частоту перемещения выходного звена на каждом ускоренном режиме по формуле:

$$f_{y_j} = \frac{v_{y_j}}{2\pi A_{y_j}}, \qquad (10)$$

а для прямоугольного или трапецеидального управляющего сигнала по формуле:

$$f_{y_j} = \frac{v_{y_j}}{4 A_{y_j}}. \qquad (11)$$

3.12. Определить количество циклов перемещения выходного звена на каждом ускоренном режиме по формуле:

$$n_{y_j} = n_{H_j}\left(\frac{v_{H_j}}{v_{y_j}}\right)^{ab}\left(\frac{t_{H_j}}{t_{y_j}+\Delta t_{K_j}}\right)^{a_1}\left(\frac{P_{H_j}}{P_{y_j}}\right)^{a\gamma}. \qquad (12)$$

3.13. Определить время ресурсных испытаний на каждом ускоренном режиме по формуле:

$$\tau_{y_j} = \tau_{H_j}\left(\frac{v_{H_j}}{v_{y_j}}\right)^{1+ab}\left(\frac{t_{H_j}}{t_{y_j}+\Delta t_{K_j}}\right)^{a_1}\left(\frac{P_{H_j}}{P_{y_j}}\right)^{a\gamma}; \qquad (13)$$

проверить по формуле:

$$\tau_{y_j} = \frac{n_{y_j}}{f_{y_j} 3600}. \qquad (14)$$

3.14. Определить время старения на каждом ускоренном режиме по формуле:

$$\tau_{y_j}^{ст} = \frac{\tau_{H_j}}{\prod_{i=1}^{i} K_{ст_j}}, \qquad (15)$$

где $\prod_{i=1}^{i} K_{ст_j}$ – по формуле (8).

№ изм. № изв. 4835 Инв. № дубликата Инв № подлинника

3.15. *Если температура рабочей жидкости задана* температурным графиком, то расчет ускоренного режима необходимо производить следующим образом:

– определить ϑ_{H_j}, $\vartheta_{R_{H_j}}$, ϑ_{y_j}, Δt_{K_j}, t'_{y_j}, t''_{y_j} по формулам (1) – (7);

– определить среднюю температуру рабочей жидкости при подъеме с t'_{H_j} до t''_{H_j} и с t'_{y_j} до t''_{y_j} по формуле:

$$t'''_j = \frac{t'_j + t''_j}{2};$$

– определить $\prod_{i=1}^{i} K_{CT_j}$ на каждом подрежиме в интервале температур от $t^{i}_{H_j}$ до $(t^{L}_{y_j} + \Delta t_{K_j})$ по формуле (8);

– определить скорость $\vartheta^{L}_{y_j}$ на каждом подрежиме по формуле (9);

– принять одну из скоростей постоянной для всех подрежимов, ориентируясь на самый длительный из них;

– изменяя $t^{L}_{y_j}$, Δt_{K_j}, $\prod_{i=1}^{i} K_{CT_j}$, добиться приближенного равенства скоростей $\vartheta^{L}_{y_j}$ с погрешностью $\pm 10\%$;

– определить время испытаний на каждом подрежиме $\tau^{L}_{H_j} = \tau^{i}_{u_H} n^{t}_{H_j}$,

где $n^{t}_{H_j}$ – количество температурных циклов;

– определить количество циклов перемещений выходного звена на каждом подрежиме:

$$n^{i}_{H_j} = \tau^{i}_{H_j} f_{H_j};$$

– определить время старения $\tau^{CT_i}_{y}$ на каждом ускоренном подрежиме по формуле (15);

– определить частоту перемещения выходного звена на ускоренном режиме по формуле (10);

– определить количество циклов перемещений выходного звена на каждом ускоренном подрежиме по формуле (12);

– определить время испытаний $\tau^{i}_{y_j}$ на каждом ускоренном подрежиме по формулам (13) и (14);

№ изм. | № изв
Инв. № дубликата | 4835
Инв. № подлинника

– выбрать время подъема и снижения температуры рабочей жидкости $\tau'''_{ч.y_j}$ из условий сохранения скорости изменения температуры в пределах до 10 °С/мин;

– определить количество температурных циклов на ускоренном режиме по формуле:

$$n^t_{y_j} = \frac{\tau'''_{y_j}}{\tau'''_{цy_j}} \quad \left(\text{или } n^t_{y_j} = \frac{\tau''_{y_j}}{\tau''_{цy_j}}\right);$$

– определить время испытаний в температурном цикле на каждом ускоренном подрежиме по формуле:

$$\tau^i_{y.y_j} = \frac{\tau^i_{y_j}}{n^t_{y_j}}.$$

3.16. Проверить суммарную эквивалентность по старению резиновых уплотнений на всех режимах испытаний:

$$|\Delta| = \left| \frac{\sum\limits_{j=1}^{j} \tau^{пр}_{y_j} - \sum\limits_{j=1}^{j} \tau^{ст\,пр}_{y_j}}{\sum\limits_{j=1}^{j} \tau^{пр}_{y_j}} \right| 100, \qquad (16)$$

где $|\Delta| \leq 5\%$ – условие эквивалентности;

$\sum\limits_{j=1}^{j} \tau^{пр}_{y_j}$ и $\sum\limits_{j=1}^{j} \tau^{ст\,пр}_{y_j}$ – величины, приведенные к одной температуре $t_{пр}$, значение которой выбирается произвольно.

3.17. Определить минимальные $\left(R^{min}_{y_j}\right)$ и максимальные $\left(R^{max}_{y_j}\right)$ значения нагрузки на каждом ускоренном режиме по формулам:

$$R^{min}_{y_j} = R^{min}_{H_j} K_t \left(\frac{n_{H_j}}{n_{y_j}}\right)^{\frac{1}{m}}; \qquad (17)$$

$$R^{max}_{y_j} = R^{max}_{H_j} K_t \left(\frac{n_{H_j}}{n_{y_j}}\right)^{\frac{1}{m}}. \qquad (18)$$

Показатель степени m приведен в рекомендуемом приложении 4 и выбирается в зависимости от ожидаемой долговечности на режимах.

3.18 При постоянной заданной нагрузке следует принимать $R_y = R_H$.

3.19. Определить переменные (R_{a_j}) и постоянные (R_{m_j}) составляющие нагрузки на каждом длительном и ускоренном режимах испытаний по формулам:

$$R_{a_j} = \frac{R^{max}_j - R^{min}_j}{2}; \qquad (19)$$

№ изм. № изв. Инв. № дубликата 4835 Инв. № подлинника

$$R_{m_j} = \frac{R_j^{max} + R_j^{min}}{2}, \qquad (20)$$

где R_j^{max} и R_j^{min} выбираются из табл 1

3.20 Определить значения приведенной нагрузки ($R_j^{пр}$) на каждом длительном и ускоренном режимах по формуле:

$$R_j^{пр} = \left| R_{a_j} \right| + \psi \left| R_{m_j} \right|. \qquad (21)$$

Значения коэффициента чувствительности к асимметрии цикла ψ приведены в рекомендуемом приложении 5 к настоящему стандарту.

Для знакопостоянных режимов нагружения нагрузкой растяжения рекомендуется приведение по формуле Одинга к отнулевому циклу:

$$R_j^{пр} = \sqrt{R_j^{max}(R_j^{max} - R_j^{min})}. \qquad (22)$$

3.21 Проверить суммарную эквивалентность по накоплению усталостных повреждений на всех режимах длительных и ускоренных испытаний для выходного звена по формуле:

$$\Delta D = \left[\frac{\sum_{j=1}^{j} n_{y_j} \left(R_{y_j}^{пр} \right)^m \frac{1}{K_t^m}}{\sum_{j=1}^{j} n_{H_j} \left(R_{H_j}^{пр} \right)^m} - 1 \right] 100, \qquad (23)$$

где $-10\% \leq \Delta D \leq 200\%$ – условие эквивалентности.

3.22. Необходимо уточнить при наличии инерционных масс нагрузку на выходном звене по следующим зависимостям:

$$\Sigma R_H = R_H + R_{u_H}; \qquad (24)$$

$$\Sigma R_y = R_y + R_{u_y}; \qquad (25)$$

$$R_{u_H} = M_H f_H^2 A_H 4\pi^2; \qquad (26)$$

$$R_{u_y} = M_y f_y^2 A_y 4\pi^2. \qquad (27)$$

При $n_y \neq n_H$ сохранить равенство $\Sigma R_y = \Sigma R_H K_t \left(\frac{n_H}{n_y} \right)^{1/m}$, изменяя R_{u_y} или R_y в формуле (25)

№ изм | № изв. | 4835 | Инв. № дубликата | Инв. № подлинника

3.23. Определить средние значения нагрузок на растяжение (R_{pj}^{cp}) и на сжатие (R_{cj}^{cp}) штока по формулам:

$$R_{pj}^{cp} = \frac{R_{pj}^{max} + R_{pj}^{min}}{2}; \qquad (28)$$

$$R_{cj}^{cp} = \frac{R_{cj}^{max} + R_{cj}^{min}}{2}. \qquad (29)$$

3.24. Проверить суммарную эквивалентность по износу выходных силовых подшипников, нагружаемых внешней нагрузкой на всех режимах длительных и ускоренных испытаний отдельно для нагрузок на растяжение (ΔJ_p) и на сжатие (ΔJ_c) штока по формуле:

$$|\Delta J_p| = \left| \frac{\sum_{j=1}^{i} n_{yj} A_{yj} (R_{p.yj}^{cp})^K}{\sum_{j=1}^{i} n_{нj} A_{нj} (R_{p.нj}^{cp})^K} - 1 \right| 100, \qquad (30)$$

где $|\Delta J_p| \leq 20\%$ – условие эквивалентности;

$K = 3{,}33$ для роликовых подшипников;

$K = 3$ для шариковых подшипников и для подшипников скольжения:

$$|\Delta J_c| = \left| \frac{\sum_{j=1}^{i} n_{yj} A_{yj} (R_{c\,yj}^{cp})^K}{\sum_{j=1}^{i} n_{нj} A_{нj} (R_{c\,нj}^{cp})^K} - 1 \right| 100, \qquad (31)$$

где $|\Delta J_c| \leq 20\%$ – условие эквивалентности.

3.25. В случае несоблюдения эквивалентности по накоплению усталостных повреждений и по износу подшипников на длительных и ускоренных режимах, определить нагрузку на выходном звене по формуле.

$$R_{yj} = 2 \left[\frac{\sum_{j=1}^{i} A_{нj} n_{нj} (R_{нj}^{cp})^K}{\sum_{j=1}^{i} A_{yj} n_{yj}} \right]^{1/K}, \qquad (32)$$

уточнить ее методом последовательных приближений с соблюдением эквивалентности по накоплению усталостных повреждений ($-10\% \leq \Delta D \leq 200\%$) и по износу подшипников ($|\Delta \tau| \leq 20\%$) на длительных и ускоренных режимах, используя формулы (23), (30), (31).

№ изм | № изв | 4835 | Инв. № дубликата | Инв. № подлинника

3.26. Для многоканальных гидроприводов определить экспериментально (например, осциллографированием) давление в полостях цилиндра и перепад давления рабочей жидкости на поршне для каждого канала гидропривода на длительных режимах и на ускоренных режимах. Значения давлений в полостях (P) и перепадов давлений на поршне (ΔP) свести в табл. 2.

3.27. Определить приведенные давления на каждом длительном и ускоренном режимах по формуле:

$$P_j^{пр} = \sqrt{P_j^{max}\left(P_j^{max} - P_j^{min}\right)}. \qquad (33)$$

3.28 Определить критичную полость цилиндра, для которой приведенные давления рабочей жидкости будут максимальными на каждом длительном и ускоренном режимах.

3.29. Проверить эквивалентность длительных и ускоренных испытаний по накоплению усталостных повреждений по формуле:

$$\Delta D = \left| \frac{\sum_{j=1}^{j} n_{yj} \left(P_{yj}^{пр}\right)^m}{\sum_{j=1}^{j} n_{нj} \left(P_{нj}^{пр}\right)^m} - 1 \right| 100, \qquad (34)$$

где – $10\% \leq \Delta D \leq 200\%$ – условие эквивалентности.

3.30 Определить переменные (ΔP_{aj}) и постоянные (ΔP_{mj}) составляющие перепадов давления рабочей жидкости на поршне в каждом канале на каждом длительном и ускоренном режимах по формулам:

$$\Delta P_{aj} = \frac{\Delta P_j^{max} - \Delta P_j^{min}}{2}; \qquad (35)$$

$$\Delta P_{mj} = \frac{\Delta P_j^{max} + \Delta P_j^{min}}{2}. \qquad (36)$$

3.31. Определить приведенные перепады давления на каждом длительном и ускоренном режимах по формуле:

$$\Delta P_j^{пр} = \Delta P_{aj} + \Psi \Delta P_{mj}. \qquad (37)$$

№ изм | № изв
4835
Инв № дубликата | Инв № подлинника

Таблица 2

Режим испытания.	Давление рабочей жидкости, МПа (кгс/см^2)														
	Канал I							Канал II							
	Полость 1		Полость 2		Поршень 1			Полость 1		Полость 2		Поршень 2			
	P_{I-1}^{max}	P_{I-1}^{min}	P_{I-2}^{max}	P_{I-2}^{min}	ΔP_I^{max}	ΔP_I^{min}	ΔP_I^{cp}	P_{II-1}^{max}	P_{II-1}^{min}	P_{II-2}^{max}	P_{II-2}^{min}	ΔP_{II}^{max}	ΔP_{II}^{min}	ΔP_{II}^{cp}
Длительные (по ТУ)														
Ускоренные														

3.32. Определить критичный канал (цилиндр), для которого приведенные значения перепадов давления рабочей жидкости на поршне будут максимальными на каждом длительном и ускоренном режимах

3.33. Проверить эквивалентность длительных и ускоренных испытаний по накоплению усталостных повреждений по формуле:

$$\Delta D = \left[\frac{\sum_{j=1}^{j} n_{yj} (\Delta P_{yj}^{np})^m}{\sum_{j=1}^{j} n_{Hj} (\Delta P_{Hj}^{np})^m} - 1 \right] 100, \qquad (38)$$

где $-10\% \leq \Delta D \leq 200\%$ – условие эквивалентности.

3.34. При $-10\% > \Delta D > 200\%$ добиться необходимых значений давлений и перепадов давлений рабочей жидкости регулировкой распределительных устройств.

3.35. Проверить суммарную эквивалентность по износу подшипников, нагружаемых внутренними нагрузками (рассогласование каналов) на длительных и ускоренных режимах отдельно для нагрузок на растяжение и на сжатие штока по формуле:

$$|\Delta J| = \left| \frac{\sum_{j=1}^{j} A_{yj} n_{yj} (\Delta P_{yj}^{cp})^k}{\sum_{j=1}^{j} A_{Hj} n_{Hj} (\Delta P_{Hj}^{cp})^k} - 1 \right| 100, \qquad (39)$$

где $|\Delta J| \leq 20\%$ – условие эквивалентности.

3.36. Определить время регламентных работ (смазка шарнирных соединений, осей) при ускоренных испытаниях:

$$\tau_y^p = \tau_H^p \frac{\sum_{j=1}^{j} \tau_{yj}}{\sum_{j=1}^{j} \tau_{Hj}}. \qquad (40)$$

№ изм. № изв.
Инв № дубликата Инв № подлинника 4835

3.37. Расчетные данные режимов ускоренных ресурсных испытаний свести в табл. 3.

Таблица 3

Номер режима	Амплитуда перемещения выходного звена, мм	Нагрузка на выходном звене, Н (кгс)	Температура, °С: окружающей среды	Температура, °С: рабочей жидкости	Кол. циклов перемещений выходного звена	Частота перемещений выходного звена, Гц	Время испытаний на режиме, ч
1	A_{H_1}	$R_{y_1}^{min} \dots R_{y_1}^{max}$	$t_{окр\ H_1}$	t_{y_1}	n_{y_1}	f_{y_1}	τ_{y_1}
2	A_{H_2}	$R_{y_2}^{min} \dots R_{y_2}^{max}$	$t_{окр\ H_2}$	t_{y_2}	n_{y_2}	f_{y_2}	τ_{y_2}
j	A_{H_j}	$R_{y_j}^{min} \dots R_{y_j}^{max}$	$t_{окр.H_j}$	По температурному графику	n_{y_j}	f_{y_j}	τ_{y_j}
Итого:					$\sum_{j=1}^{j} n_{y_j}$		$\sum_{j=1}^{j} \tau_{y_j}$

3.38. В случае, если стендовое оборудование не позволяет увеличить температуру рабочей жидкости работающего гидропривода, допускается производить ускорение испытаний только по скорости при $t_y = t_H$ в соответствии с пп. 3.1 – 3.16. Необходимо заполненный рабочей жидкостью неработающий гидропривод выдержать в конце каждого этапа наработки ресурса в тепловой камере при максимально допустимой температуре $t_{доп}$ в течение времени, определяемого по формуле:

$$\Delta\tau_y^{ст} = \sum_{j=1}^{j} \tau_{H_j}^{пр} - \sum_{j=1}^{j} \tau_{y_j}^{пр}, \qquad (41)$$

где $\sum_{j=1}^{j} \tau_{H_j}^{пр}$ и $\sum_{j=1}^{j} \tau_{y_j}^{пр}$ – величины, приведенные к одной температуре $t_{доп}$.

3.39. Пример расчета режимов ускоренных ресурсных испытаний гидроприводов при $A_y = A_H, n_y \neq n_H, R_y \neq R_H$ приведен в справочном приложении 6.

3.40. При проведении испытаний на усталость в опытном и серийном производстве (кроме ресурсных испытаний) принимается $\Delta D < 200\%$, так как эквивалентность по накоплению усталостных повреждений элементов привода защищается испытаниями на усталость.

№ изм. № изв. 4835 Инв. № дубликата Инв. № подлинника

4. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ УСКОРЕННЫХ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЙ ГИДРОПРИВОДОВ ПРИ $n_\mu = n_y$, $A_y \neq A_н$, $R_y \neq R_н$

4.1. Исходные данные для расчета режимов ускоренных ресурсных испытаний приведены в табл. 1.

4.2. Определить $v_{н_j}$, $v_{R_{н_j}}$, v_{y_j}, $\Delta t_{к_j}$, t_{y_j}, v'_{y_j}, $\prod_{j=1}^{i} K_{ст_j}$ по формулам (1) – (9).

4.3. Определить амплитуду перемещений выходного звена на каждом ускоренном режиме по формуле:

$$A_{y_j} = A_{н_j}\left(\frac{v_{н_j}}{v_{y_j}}\right)^{ab}\left(\frac{t_{н_j}}{t_{y_j}+\Delta t_{к_j}}\right)^{a_1}\left(\frac{P_{н_j}}{P_{y_j}}\right)^{a\gamma}. \qquad (42)$$

4.4. Определить частоту перемещения выходного звена на каждом ускоренном режиме f_{y_j} по формуле (10) или (11)

4.5. Принять количество циклов перемещений выходного звена на каждом ускоренном режиме, равным количеству циклов на каждом длительном режиме соответственно:

$$n_{y_j} = n_{н_j}. \qquad (43)$$

4.6. Определить время ресурсных испытаний на каждом ускоренном режиме τ_y по формулам (13) и (14).

4.7. Если температура рабочей жидкости задана температурным графиком (см. черт. 4), то расчет ускоренного режима следует производить в соответствии с п. 3.15, а амплитуды перемещения выходного звена определять в соответствии с формулой (42) для каждой температуры $t_н^i$, t_y^i (при $n_y = n_н$), приведя их к средней амплитуде по формуле:

$$A_{y_j} = \frac{\sum_{i=1}^{i} A_y^i n_н^i \left(\frac{t_y^i}{100}\right)^a}{\sum_{i=1}^{i} n_н^i \left(\frac{t_y^i}{100}\right)^a}. \qquad (44)$$

4.8. Произвести расчеты по п. п. 3.14 и 3.16.

№ изм. | № изв | 4835 | Инв № дубликата | Инв № подлинника

4.9. Определить нагрузку на выходном звене по формуле:

$$R_{yj} = 2\left[\frac{A_{нj}\, n_{нj} (R_{нj}^{ср})^{k}}{A_{yj}\, n_{yj}}\right]^{1/k} \qquad (45)$$

4.10. Проверить суммарную эквивалентность по накоплению усталостных повреждений и по износу подшипников на длительных и ускоренных режимах по формулам (23), (30), (31).

4.11. В случае несоблюдения эквивалентности по накоплению усталостных повреждений на длительных и ускоренных режимах, определить методом последовательных приближений нагрузку на выходном звене с соблюдением эквивалентности по накоплению усталостных повреждений ($-10\% \leq \Delta D \leq 200\%$) и по износу подшипников ($|\Delta J| \leq 20\%$) на длительных и ускоренных режимах, используя формулы (23), (30), (31).

4.12. Принять нагрузку на выходном звене, удовлетворяющую условию:

$$\left.\begin{aligned} -10\% \leq \Delta D \leq 200\%; \\ |\Delta J| \leq 20\%. \end{aligned}\right\} \qquad (46)$$

4.13. Для многоканальных гидроприводов выполнить расчеты по пп. 3.26 – 3.35.

4.14. Расчетные данные режимов ускоренных ресурсных испытаний свести в табл. 4.

Таблица 4

Номер режима	Амплитуда перемещения выходного звена, мм	Нагрузка на выходном звене, Н (кгс)	Температура, °С		Кол. циклов перемещений выходного звена	Частота перемещений выходного звена, Гц	Время испытаний на режиме, ч
			окружающей среды	рабочей жидкости			
1	A_{y_1}	$R_{y_1}^{min} \dots R_{y_1}^{max}$	$t_{окр\ н_1}$	t_{y_1}	$n_{н_1}$	f_{y_1}	τ_{y_1}
2	A_{y_2}	$R_{y_2}^{min} \dots R_{y_2}^{max}$	$t_{окр\ н_2}$	t_{y_2}	$n_{н_2}$	f_{y_2}	τ_{y_2}
j	A_{y_j}	$R_{y_j}^{min} \dots R_{y_j}^{max}$	$t_{окр.н_j}$	t_{y_j}	$n_{н_j}$	f_{y_j}	τ_{y_j}

Итого: $\sum_{j=1}^{i} n_{нj}$ $\sum_{j=1}^{i} \tau_{yj}$

№ изм. | № изв | 4835 | Инв. № дубликата | Инв. № подлинника

4.15. В случае, если стендовое оборудование не позволяет увеличить температуру рабочей жидкости работающего гидропривода, допускается производить ускорение испытаний при $t_y = t_н$ в соответствии с расчетами, изложенными в разделах 3 и 4, а для соблюдения эквивалентности по тепловому старению уплотнений необходимо заполненный рабочей жидкостью неработающий гидропривод выдержать в конце каждого этапа наработки ресурса в тепловой камере при максимально допустимой температуре $t_{доп}$ в течение времени, определяемого по формуле (41).

4.16. Пример расчета режимов ускоренных ресурсных испытаний гидроприводов при $n_н = n_y$; $A_y \neq A_н$; $R_y \neq R_н$ приведен в справочном приложении 7.

5 РАСЧЕТ РЕЖИМОВ УСКОРЕННЫХ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЙ ГИДРОПРИВОДОВ ПРИ $n_y \neq n_н$, $A_y \neq A_н$; $R_y \neq R_н$

5.1. Исходные данные для расчета режимов ускоренных ресурсных испытаний приведены в табл. 1.

5.2. Определить $\vartheta_{нj}$ и $\vartheta_{R нj}$ по формулам (1) – (3)

5.3. Принять температуру и давление рабочей жидкости общие для всех ускоренных режимов.

5.4. Определить $\prod_{i=1}^{i} K_{ст}$ по формуле (8).

5.5. Определить скорость перемещения выходного звена общую для всех ускоренных режимов по формуле:

$$\vartheta'_y = \left[\frac{\sum_{j=1}^{j} \tau_{нj} (\vartheta_{нj})^{1+ab} \left(\frac{t_{нj}}{t_y}\right)^{a_1} \left(\frac{P_{нj}}{P_{yj}}\right)^{a\gamma}}{\sum_{j=1}^{j} \frac{\tau_{нj}}{\prod_{i=1}^{i} K_{стj}}} \right]^{\frac{1}{1+ab}} \qquad (47)$$

5.6. Определить $\Delta t_{кj}$ по формуле (6).

5.7. Определить τ_{yj} по формуле (13).

5.8. Проверить суммарную эквивалентность по старению резиновых уплотнений на длительных и ускоренных режимах по формуле (16).

№ изм. | № изв. | 4835 | Инв. № дубликата | Инв. № подлинника

5.9. В случае несоблюдения эквивалентности по старению резиновых уплотнений уточнить ϑ_y по формуле:

$$\vartheta_y = \vartheta_y' \left(\frac{\sum_{j=1}^{j} \bar{\tau}_{yj}^{пр}}{\sum_{j=1}^{j} \tau_{yj}^{ст.пр}} \right). \qquad (48)$$

5.10. Определить новые значения $\Delta t_{кj}$ и τ_{yj} по формулам (6) и (13).

5.11. Проверить суммарную эквивалентность по старению резиновых уплотнений по формуле (16).

5.12. Определить A_y общую для всех ускоренных режимов по формуле:

$$A_y = \frac{\sum_{j=1}^{j} A_{нj} n_{нj}}{\sum_{j=1}^{j} n_{нj}}. \qquad (49)$$

В процессе расчета амплитуду перемещения выходного звена допускается уточнять.

5.13. Определить количество циклов перемещений выходного звена на ускоренных режимах по формуле:

$$n_{yj} = n_{нj} \frac{A_{нj}}{A_y} \left(\frac{\vartheta_{нj}}{\vartheta_y} \right)^{ab} \left(\frac{t_{нj}}{t_y + \Delta t_{кj}} \right)^{a_1} \left(\frac{P_{нj}}{P_{yj}} \right)^{a\gamma}. \qquad (50)$$

5.14. Все ускоренные режимы объединить в один режим с параметрами:

$$t = t_y;$$

$$A = A_y;$$

$$\tau = \sum_{j=1}^{j} \tau_{yj};$$

$$f = \frac{\vartheta_y}{2\pi A} \quad или \quad f = \frac{\vartheta_y}{4A};$$

$$n = \sum_{j=1}^{j} n_{yj}.$$

5.15. Уточнить количество циклов перемещений выходного звена на ускоренном режиме по формуле:

$$n = f\, 3600\, \tau. \qquad (51)$$

№ изм. № изв. 4835 № дубликата № подлинника

5.16. Определить среднее значение нагрузки на выходном звене отдельно на сжатие и на растяжение штока по формуле:

$$R^{ср}=\left[\frac{\sum\limits_{j=1}^{j} n_{нj}\, A_{нj}\,(R_{нj}^{ср})^{к}}{A\,n}\right]^{1/к}. \qquad (52)$$

5.17. Определить $R_{aj}, R_{mj}, R_{j}^{пр}$ на длительных и ускоренном режиме по формулам (19) - (21).

5.18. Проверить суммарную эквивалентность по накоплению усталостных повреждений для выходного звена и по износу подшипников на длительных режимах и ускоренном режиме по формулам:

$$\Delta D=\left[\frac{n\,(R^{пр})^{m}}{\sum\limits_{j=1}^{j} n_{нj}\,(R_{нj}^{пр})^{m}}-1\right]100, \qquad (53)$$

где $-10\% \leq \Delta D \leq 200\%$ - условие эквивалентности;

$$|\Delta J|=\left|\frac{n\,A\,(R^{ср})^{к}}{\sum\limits_{j=1}^{j} n_{нj}\,A_{нj}\,(R_{нj}^{ср})^{к}}-1\right|100, \qquad (54)$$

где $|\Delta J| \leq 20\%$ - условие эквивалентности.

5.19. В случае несоблюдения эквивалентности по накоплению усталостных повреждений на длительных режимах и ускоренном режиме определить методом последовательных приближений нагрузку на выходном звене с соблюдением эквивалентности по накоплению усталостных повреждений ($-10\% \leq \Delta D \leq 200\%$) и по износу подшипников ($|\Delta J| \leq 20\%$) на длительных режимах и ускоренном режиме, используя формулы (53) и (54).

5.20. Принять нагрузку на выходном звене на ускоренном режиме, удовлетворяющую условию по формуле (46).

5.21. Для многоканальных гидроприводов выполнить расчеты по пп. 3.26 - 3.35.

№ изм. № изв
4835
Инв. № дубликата Инв. № подлинника

5.22. Расчетные данные режимов ускоренных ресурсных испытаний свести в табл. 5.

Таблица 5

Номер режима	Амплитуда перемещения выходного звена, мм	Нагрузка на выходном звене, Н (кгс)	Температура, °С		Количество циклов перемещений выходного звена	Частота перемещений выходного звена, Гц	Время испытаний на режиме, ч
			окружающей среды	рабочей жидкости			
1	A_y	$R_y^{min} \dots R_y^{max}$	$t_{окр.y}$	t_y	n_y	f_y	τ_y

5.23. Пример расчета режимов ускоренных ресурсных испытаний гидроприводов при $n_y \neq n_н$, $A_y \neq A_н$, $R_y \neq R_н$ приведен в справочном приложении 8.

6. РАСЧЕТ РЕЖИМА РАБОТЫ ГИДРОПРИВОДОВ С ПОСТОЯННЫМ УПРАВЛЯЮЩИМ СИГНАЛОМ ПРИ УСКОРЕННЫХ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЯХ

6.1. Исходные данные, заданные в ТЗ (ТУ), должны быть внесены в табл. 6.

Таблица 6

Постоянная нагрузка на выходном звене, Н (кгс)	Время испытаний, ч	Температура, °С	
		рабочей жидкости	окружающей среды
$R_н$	$\tau_н = \tau_н^{ст}$	$t_н = t_{окр.н}$	
$R_y = R_н$	$\tau_y = \tau_y^{ст}$	$t_y = t_{окр\ y}$	

6.2. Определить максимально допустимую температуру для рабочей жидкости $t_{доп}$ и на ускоренном режиме принять $t_y \leq t_{доп}$.

6.3. Определить время испытаний на ускоренном режиме по формуле (15).

7. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ НА УСТАЛОСТЬ ОДНОКАНАЛЬНЫХ (ОДНОКАМЕРНЫХ) ГИДРОПРИВОДОВ

7.1. Исходные данные для расчета режимов ускоренных испытаний на усталость принимаются по ТЗ (ТУ) на гидропривод.

Режимы длительных ресурсных испытаний приведены в табл. 1. Аналогичные данные даются для входного звена, для полостей подачи и слива и др.

7.2. Произвести анализ конструкции гидропривода по схеме нагружения силовых деталей и в соответствии с классификацией групп деталей по материалу, из которого они изготовлены.

7.3. Для гидроприводов вращательного движения произвести экспериментальное определение нагрузок на режимах длительных ресурсных испытаний, заданных в ТЗ (ТУ), например, тензометрированием.

7.4. Определить переменные (R_{a_H}) и постоянные (R_{m_H}) составляющие нагрузки на каждом длительном режиме по формулам (19) и (20)

7.5. Определить приведенные нагрузки ($R^{пр}_{Hj}$) на каждом длительном режиме по формуле (21) или (22).

7.6. При расчете режимов ускоренных испытаний на усталость на этапе проектирования, когда неизвестны коэффициенты концентрации напряжений, обусловленные конструкцией, коэффициент концентрации напряжений в амплитудной части нагрузки не учитывается.

7.7. При уточнении режимов ускоренных испытаний по результатам испытаний или прочностному расчету приведение нагрузок (напряжений) производить для критичных деталей с учетом коэффициентов концентрации напряжений K_{σ_D}:

$$R^{пр}_{Hj} = K_{\sigma_D}\left|R_{a_{Hj}}\right| + \psi\left|R_{m_{Hj}}\right|, \qquad (55)$$

где K_{σ_D} – коэффициент концентрации напряжений с учетом эксплуатационных, конструктивных и технологических факторов (контактная коррозия в среде, масштабный фактор, чистота обработки, химико-термическая обработка и т.д.)

7.8. Определить действующие напряжения $\sigma^{пр}_{Hj}$ на каждом длительном режиме по приведенным нагрузкам $R^{пр}_{Hj}$ для критичных деталей

№ изм. | № изв | 4835 | Инв. № дубликата | Инв. № подлинника

7.9. Определить по действующим напряжениям $\sigma_{нj}^{пр}$ ожидаемую долговечность N_j в соответствии с кривой усталости для критичных деталей на каждом длительном режиме.

При отсутствии кривой усталости допускается оценка ожидаемой долговечности N_j по результатам испытаний аналогичных конструкций по формуле:

$$N_j = N_{аналог} \left(\frac{\sigma_j}{\sigma_{аналог}} \right)^m . \qquad (56)$$

7.10. Принять эквивалентную нагрузку $R_{экв}$ для ускоренных испытаний на усталость и определить приведенную нагрузку $R_{экв}^{пр}$ по формуле (21) и (22).

За эквивалентную нагрузку рекомендуется принимать: номинальное развиваемое усилие, максимальную эксплуатационную нагрузку, нагрузку на наиболее длительном режиме или нагрузку на режиме, вносящем наибольшее усталостное повреждение и др.

7.11. Определить эквивалентное число циклов нагружения $n_{экв}$ для всех групп силовых деталей, классифицируемых по материалу, из которого они изготовлены, по формуле:

$$n_{экв} = \sum_{j=1}^{j} \left(\frac{R_{нj}^{пр}}{R_{экв}^{пр}} \right)^m n_{нj} , \qquad (57)$$

где m – выбирается по рекомендуемому приложению 4 в зависимости от ожидаемой долговечности N_j.

7.12. Метод испытаний на условном эквивалентном режиме неприемлем при наличии в полете повторяющихся нагрузок высокого уровня (перегрузочный режим), вызывающих в конструкции напряжения на уровне предела текучести материала $\sigma_{0,2}$ В этом случае при испытаниях на выносливость следует проводить блочное нагружение гидропривода.

7.13. Допускается в случае большого машинного времени испытаний приведение к эквивалентному условному режиму всех режимов, кроме перегрузочных.

7.14. Расчет $n_{экв}$ для деталей, напряжения в которых изменяются непропорционально нагрузке, должен производиться по приведенным напряжениям.

7.15. Расчетные данные по определению $n_{экв}$ для всех групп деталей свести в табл. 7 и использовать при определении

Расчет усталостной долговечности по результатам испытаний на усталость приведен в разделе 9.

Таблица 7

Степень нагружения	Значение эквивалентной нагрузки		Эквивалентное число циклов нагружения $n_{экв}$
	силовой, Н (кгс)	давления, МПа ($кгс/см^2$)	
Нагрузка на выходном звене:	$\pm R_{экв.вых}$		
а) для деталей, нагружаемых перепадом давления:			
– стальных			$n_{экв.ст}$
– дюралевых			$n_{экв\ дюр}$
– титановых			$n_{экв\ тит}$
б) для деталей, нагружаемых давлением:			
– стальных			$n'_{экв\ ст}$
– дюралевых			$n'_{экв\ дюр}$
– титановых			$n'_{экв.тит}$
Нагрузка на входном звене	$\pm R_{экв.вх}$		$n_{экв.вх}$
Давление в линии подачи	$0 \ldots P_{экв\ под}$		$n_{экв\ под}$
Давление в линии слива	$0 \ldots P_{экв.сл}$		$n_{экв.сл}$

Примечания: 1. При $R_{экв} = \pm R_{разв}$ перепад давления на эквивалентном режиме $\Delta P_{экв} = \pm (P_{под} - P_{сл})$; давление на эквивалентном режиме $P_{экв}^{max} = P_{под}$, $P_{экв}^{min} = P_{сл}$, где $P_{под}$ и $P_{сл}$ – давление в напорной и сливной гидролинии при $R_{разв}$.

2. Знак "$\pm$" обозначает знакопеременное нагружение.

7.16. Определить зачетное число циклов нагружения при испытании на усталость для защиты заданного ресурса по каждой группе деталей с учетом суммарного коэффициента надежности η_{Σ} по формуле:

$$n_y = \eta_{\Sigma} n_{экв}. \qquad (58)$$

7.17. Результаты расчета n_y по каждой группе деталей используются в случае разрушения деталей до наработки n_y^{max} и при определении защищенного испытаниями ресурса по группам деталей

7.18. Расчет $n_{экв}$ и n_y не производится, если в техническом задании на гидропривод заданы требования по эквивалентным нагрузкам и эквивалентным циклам нагружения.

7.19. Определить коэффициент надежности в соответствии с нормами летной годности НЛГС-2 по формуле:

$$\eta_\Sigma = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4, \qquad (59)$$

где η_1 – коэффициент, учитывающий возможные неточности при составлении программы испытаний и при использовании расчетных методов для предварительной оценки срока службы;

η_2 – коэффициент, учитывающий место разрушения, характер разрушения и скорость распространения трещины,

η_3 – коэффициент, учитывающий достоверность данных о повторяемости нагрузок;

η_4 – коэффициент, учитывающий разброс циклической долговечности идентичных образцов.

η_1 =1 при программе, наиболее полно отражающей картину повторяющихся в эксплуатации нагрузок как по величине, так и по последовательности их действия;

η_1 =1,5, когда вся совокупность повторяющихся в эксплуатации нагрузок сведена в программе испытаний к какой-то последовательности условных циклов нагрузки с использованием при этом соответствующих расчетных методов для оценки сделанного приведения;

η_1 =2 при предварительной оценке срока службы расчетом;

η_2 =1, если трещина началась в месте, доступном для наблюдения, не затрагивает в начале развития основные силовые детали конструкции и распространяется медленно;

η_2 = 1,2 – во всех других случаях (практически для всех гидроприводов должно быть η_2 = 1,2);

η_3 = 1,0, если используются данные о повторяемости нагрузок, полученные в полете за сравнительно большой период эксплуатации в различных условиях;

η_3 = 1,5 – во всех остальных случаях;

η_4 принимается в зависимости от количества испытанных образцов по табл. 8.

Таблица 8

Количество образцов	Коэффициент надежности η_4
1	5,0
2	4,0
3	3,5
4	3,2
5	3,1
6	3,0

7.20. Коэффициенты η_1 и η_3 учитываются в заданных на гидропривод режимах ресурсных испытаний. При расчете $n_{экв}$ по режимам ресурсных испытаний, заданным в техническом задании, следует принимать $\eta_\Sigma = \eta_2 \eta_4$. В случае расчета $n_{экв}$ по режимам нагружения, соответствующим типовому полету, определенному на основании летных статистических данных, следует анализировать и учитывать при определении η_Σ коэффициенты $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4$.

При испытании по блочной программе, реализующей нагрузки типового полета, полученные на основании статистических данных при определении η_Σ следует учитывать η_2 и η_4. Если блочная программа реализует нагрузки режимов ресурсных испытаний, заданные в ТЗ, то $\eta_\Sigma = \eta_2 \eta_4$. Допускается принимать η_2 = 1 при наличии обоснованного анализа надежности.

7.21. Разрешается для сокращения машинного времени испытаний увеличение частоты циклов с сохранением нагруженности гидропривода, контролируемой экспериментально, например, тензометрированием. Увеличение частоты циклов, влияющее на характеристики сопротивления усталости материалов, должно учитываться при определении $n_{экв}$.

Инв. № дубликата | Инв. № подлинника | 4835 | Инв. № изм. | Инв. № изв.

7.22. Расчетные данные режимов ускоренных испытаний на усталость свести в табл. 9.

Таблица 9

Ступень нагружения	Значение эквивалентной нагрузки		Число циклов нагружения	Частота циклов, Гц	Время испытаний, ч
	силовой, Н (кгс)	давления, МПа (кгс/см^2)			
Нагрузка на выходном звене	$\pm R_{экв.вых}$		$n^{max*}_{у.вых}$	$f_{у.вых}$	$\tau_{у.вых}$
Нагрузка на входном звене	$\pm R_{экв.вх}$		$n_{у.вх}$	$f_{у.вх}$	$\tau_{у.вх}$
Давление в линии подачи	$0 \dots P_{экв.под}$		$n_{у.под}$	$f_{у.под}$	$\tau_{у.под}$
Давление в линии слива	$0 \dots P_{экв.сл}$		$n_{у.сл}$	$f_{у.сл}$	$\tau_{у.сл}$

* $n^{max}_{у.вых}$ – см. п. 7.16.

8. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ НА УСТАЛОСТЬ МНОГОКАНАЛЬНЫХ (МНОГОКАМЕРНЫХ) ГИДРОПРИВОДОВ

8.1. Определить эквивалентное число циклов нагружения эквивалентными нагрузками, реализующими нагружение внешними усилиями за назначенный ресурс, в соответствии с разделом 7.

8.2. Определить экспериментально (например, тензометрированием) напряжение в опасных сечениях цилиндровой группы или давление рабочей жидкости в полостях силового цилиндра и перепады давления на поршне для каждого канала и между каналами гидропривода на длительных режимах для регулировки нейтрального положения золотников в пределах требований ТУ, дающих наибольшее нагружение внутренними силами, и составить табл. 10.

8.3. Определить переменные ΔP_{aj} и постоянные ΔP_{mj} составляющие изменения перепада давления рабочей жидкости на поршне каждого канала (между каналами) на каждом длительном режиме по формулам (35) и (36).

8.4. Определить приведенные значения давления (перепады давления) в каждой полости (канале) на каждом длительном режиме по формулам (33) и (37).

8.5. Задать изменение давления в полостях гидропривода на эквивалентном режиме. Рекомендуется принимать на эквивалентном режиме изменение давления в полостях от номинального давления слива до номинального или рабочего по ТУ давления рабочей жидкости на входе в гидропривод ($P_{ном.сл} \dots P_{под}$).

№ изм. № изв. 4835 Инв. № дубликата Инв. № подлинника

Таблица 10

Режим испытания	Давление рабочей жидкости, МПа (кгс/см^2)											
	Канал I						Канал II					
	Полость 1		Полость 2		Поршень 1		Полость 1		Полость 2		Поршень 2	
	P_{I-1}^{max}	P_{I-1}^{min}	P_{I-2}^{max}	P_{I-2}^{min}	ΔP_{I}^{max}	ΔP_{I}^{min}	P_{II-1}^{max}	P_{II-1}^{min}	P_{II-2}^{max}	P_{II-2}^{min}	ΔP_{II}^{max}	ΔP_{II}^{min}
Длительный (по ТУ)												
Ускоренный												

8.6. Определить приведенное давление при ускоренных испытаниях по формуле (33).

8.7. Определить для каждой полости гидропривода эквивалентное число циклов нагружения по всем группам деталей, нагружаемых давлением

$$n_{экв} = \sum_{j=1}^{i} \left(\frac{P^{пр}_{н\,max\,j}}{P^{пр}_{экв}} \right)^{m} n_{н\,j} . \qquad (60)$$

Выбрать $n_{экв} = n^{max}_{экв}$ по каждой группе деталей по всем полостям. Деталями гидропривода, нагруженными давлением в полостях гидропривода, являются цилиндры, корпусы, распределительные устройства, цилиндровые втулки, гайки, болты и др.

8.8. Задать перепад давления рабочей жидкости на поршне и между каналами на эквивалентном режиме ($\Delta P_{экв}$). При этом следует исходить из принятого в п. 8.5 давления испытания, т.е. $\Delta P_{экв} = \pm \left(P_{ном.сл} \dots P_{под} \right)$, где знак "±" понятие условное, обозначающее знакопеременное нагружение.

8.9. Определить для каждого канала эквивалентное число циклов нагружения по всем группам деталей, нагружаемых перепадом давления

$$n_{экв} = \sum_{j=1}^{i} \left(\frac{\Delta P^{пр}_{н\,max\,j}}{\Delta P^{пр}_{экв}} \right)^{m} n_{н\,j} . \qquad (61)$$

Выбрать $n_{экв} = n^{max}_{экв}$ по каждой группе деталей по всем каналам. Деталями гидропривода, нагружаемыми перепадом давления, являются поршни, участки штока между поршнями, втулки между каналами и др.

8.10. Расчетные данные по определению $n_{экв}$ по всем видам нагружения для всех групп деталей свести в табл. 7.

8.11. Определить зачетное число циклов нагружения при испытании на усталость для защиты заданного ресурса по максимальной величине $n_{экв}$ по пп. 8.7, 8.9 с учетом коэффициента надежности η_{Σ} по формуле (58).

Выбрать $n_{ц} = n^{max}_{ц}$ с учетом п 7.17.

№ изм. | № изв. | 4835 | Инв. № дубликата | Инв. № подлинника

8.12. Расчетные данные режимов ускоренных испытаний на усталость свести в табл. 11.

Таблица 11

Ступень нагружения	Значение эквивалентной нагрузки		Число циклов нагружения	Частота циклов, Гц	Время испытаний, ч
	силовой, Н (кгс)	давления, МПа ($кгс/см^2$)			
Нагрузка на выходном звене	$\pm R_{экв\ вых}$		$n_{у.вых}$	$f_{у.вых}$	$\tau_{у\ вых}$
Нагрузка на входном звене	$\pm R_{экв\ вх}$		$n_{у.вх}$	$f_{у.вх}$	$\tau_{у.вх}$
Давление в линии подачи	$0 \ldots P_{экв.под}$		$n_{у.под}$	$f_{у.под}$	$\tau_{у\ под}$
Давление в линии слива	$0 \ldots P_{экв\ сл}$		$n_{у.сл}$	$f_{у.сл}$	$\tau_{у.сл}$
Переменное давление в полостях	$P_{ном.сл} \ldots P_{ном\ под}$		$n_у^{max}$	$f_у$	$\tau_{у.пол}$

8.13. Пример расчета режимов ускоренных испытаний многоканальных гидроприводов на усталость приведен в справочном приложении 9.

9. РАСЧЕТ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ НА УСТАЛОСТЬ

9.1. С целью своевременного выявления разрушений в гидроприводе испытания на усталость проводятся в несколько блоков. В каждом блоке реализуется наработка различного числа циклов по группам деталей гидропривода. Переработка по циклам для некоторых групп деталей учитывается при установлении их усталостной долговечности.

9.2. Перед началом испытаний и после каждого блока необходимо провести контрольные проверки параметров гидропривода, выявляющие разрушение силовых деталей

9.3. Перед отработкой ступени нагружения в каждом блоке производится контроль фактических нагрузок на ускоренной частоте циклов нагружения.

9.4. После наработки числа циклов, необходимого для подтверждения ресурса до первого ремонта, межремонтного и назначенного ресурсов, или после наработки до базы испытаний, равной $5 \cdot 10^7$ циклов, производится разборка гидропривода, осмотр и дефектация деталей.

№ изм. № изв
4835
Инв. № дубликата Инв. № подлинника

9.5. Гидропривод считается выдержавшим испытания на усталость, если наработка при испытаниях с разрушениями или без них защищает заданный ресурс

9 6. Производится расчет усталостной долговечности для каждой группы деталей и отдельных разрушившихся деталей по следующей формуле:

$$T = T_{ПМ} \frac{n_{исп}}{n_{экв}\, \eta_{\Sigma}}, \qquad (62)$$

где $T_{ПМ}$ – защищаемый по программе ресурс в летных часах (в часах полета);

$n_{экв}$ – эквивалентное число циклов в защиту ресурса $T_{ПМ}$ для рассматриваемой группы деталей (см. табл. 7);

$n_{исп}$ – отработанное число циклов при испытании на усталость для рассматриваемой группы деталей, максимальное в случае испытаний без разрушения или среднеарифметическое в случае испытаний с разрушением;

η_{Σ} – коэффициент надежности для рассматриваемой группы деталей, выбираемой в соответствии с требованиями раздела 7.

№ изм. № изв
4835
Инв. № дубликата Инв. № подлинника

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Справочное

ТЕРМИНЫ И ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Термин	Определение
Ускоренные испытания	По ГОСТ 16504-74
Критические дефекты	По ГОСТ 15467-79
По сопротивлению усталости	По ГОСТ 23207-78
Несущая способность конструкции	Способность конструкции воспринимать действия какого-то количества нагружений, определяемого по моменту разрушения
Силовые детали конструкции	Детали, испытывающие нагружение механической нагрузкой при работе гидропривода
Критичные детали	Детали с наименьшей несущей способностью по какому-либо фактору разрушения (износу, старению, сопротивлению усталости и др.)
Идентичные изделия	Детали, сборочные единицы или гидроприводы в целом, изготовленные по одной документации и имеющие при испытаниях по одной программе одинаковые напряжения
Многоканальный (многокамерный) гидропривод	Гидропривод, состоящий из параллельно или последовательно расположенных гидроцилиндров с дросселирующими распределительными устройствами, объединенными общим входным звеном
Нагружение внутренними силами в многоканальных (многокамерных) гидроприводах	Нагружение, обусловленное рассогласованием распределительных устройств
Эквивалентное нагружение гидропривода	Нагружение на условном (эквивалентном) режиме, суммарное усталостное повреждение на котором равно повреждению гидропривода за время ресурса

№ изм. | № изм. | 4835 | Инв. № дубликата | Инв. № подлинника

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Обязательное

УСЛОВНЫЕ БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ

τ – время испытаний

$\tau^{ст}$ – время старения

$\tau^{р}$ – время (периодичность) регламентных работ

v – скорость движения выходного звена

t – температура рабочей жидкости

$t_{окр}$ – температура окружающей среды

$\Delta t_к$ – приращение температуры в резиновом уплотнении подвижного соединения с увеличением скорости

A – амплитуда хода выходного звена

n – количество циклов перемещений выходного звена или число циклов нагружения

σ – напряжение в силовых деталях

R – нагрузка

P – давление рабочей жидкости

$P_п$ – давление рабочей жидкости в напорной гидролинии

$P_{сл}$ – давление рабочей жидкости в сливной гидролинии

$R_ц$ – инерционная нагрузка на выходном звене

M – инерционная масса, приведенная к выходному звену

$K_{ст}$ – коэффициент старения резиновых уплотнений, характеризующий скорость старения резины при увеличении температуры на каждый 10 °С в данном интервале температур $[(t_у + \Delta t_к) - t_н]$

f – частота перемещения выходного звена (частота циклов)

$\tau_ц$ – время цикла

K_t – коэффициент, учитывающий изменение предела выносливости σ_{-1} при изменении температуры испытаний, $K_t = \frac{\sigma_{-1t_в}}{\sigma_{-1t_н}}$,

($K_t \approx 1$ для алюминиевых сплавов при температуре до 120 °С, для стальных и титановых материалов – при температуре до 250 °С)

a – показатель степени кривой усталости уплотнения

a_1 – показатель степени кривой зависимости износа от температуры уплотнения в процессе трения

b – показатель степени кривой зависимости силы трения (уплотнение – шток) от скорости движения выходного звена ($b = -0,1$)

№ изм. | № изв. | 4835 | Инв. № дубликата | Инв. № подлинника

m – показатель степени кривой усталости материала силовых деталей (линейно изменяющаяся функция)

C – коэффициент пропорциональности ($C = 0,1$ °С·с/мм)

D – показатель накопления усталостных повреждений в силовых деталях

γ – показатель степени кривой зависимости силы трения от давления рабочей жидкости ($\gamma = 0,4$)

$\sigma_в$ – временное сопротивление материала при растяжении

N – циклическая долговечность

ψ – коэффициент чувствительности к асимметрии цикла выбирается для каждого режима (см. рекомендуемое приложение 5):

– для сталей – в зависимости от предела прочности;

– для легких сплавов – в зависимости от ожидаемой циклической долговечности и отношения амплитуды напряжения (переменной составляющей нагрузки) к среднему напряжению (постоянной составляющей нагрузки)

$t_{доп}$ – максимально допустимая температура

$R_{экв}$ – нагрузка на условном (эквивалентном) режиме

Индекс "н" при буквенных обозначениях относится к длительным испытаниям, индекс "у" – к ускоренным.

№ изм. | № изв. | 4835 | Инв. № дубликата | Инв. № подлинника

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
Рекомендуемое

КОЭФФИЦИЕНТЫ СТАРЕНИЯ (K_{CT}) РЕЗИНОВЫХ УПЛОТНЕНИЙ

Интервал температур, °С	Резиновая смесь										
	В-14	В-14-1	ИРП-1078	ИРП-1054	НО-68-1	ИРП-1353; 51-1668 НТА	ВР-7	ИРП-1287	ИРП-1316	ИРП-1375	ИРП-1377
От 50 до 60 включ.	2,37	2,27	2,31	1,82	3,19	2,30	–	2,05	–	2,03	1,94
Св. 60 до 70 "	2,23	2,20	2,60	2,20	2,82	2,18	–	1,90	–	1,95	1,87
" 70 " 80 "	2,15	2,16	2,99	2,63	2,65	2,06	–	1,84	1,74	1,87	1,80
" 80 " 90 "	2,11	2,12	3,34	3,04	2,52	1,95	–	1,79	1,73	1,81	1,75
" 90 " 100 "	2,00	2,10	–	–	2,44	1,87	–	1,69	1,73	1,75	1,69
" 100 " 110 "	1,90	2,08	–	–	2,38	1,80	–	1,65	1,73	1,26	1,23
" 110 " 120 "	–	2,00	–	–	–	1,72	–	1,64	1,65	1,25	1,22
" 120 " 130 "	–	1,92	–	–	–	1,65	–	1,61	1,60	1,23	1,20
" 130 " 140 "	–	1,92	–	–	–	1,61	–	1,55	1,59	–	–
" 140 " 150 "	–	–	–	–	–	1,59	–	1,53	1,58	–	–
" 150 " 160 "	–	–	–	–	–	1,60	–	1,58	1,57	–	–
" 160 " 170 "	–	–	–	–	–	1,67	–	1,63	1,58	–	–
" 170 " 180 "	–	–	–	–	–	1,80	2,40	1,68	1,58	–	–
" 180 " 190 "	–	–	–	–	–	1,96	2,34	1,72	1,59	–	–
" 190 " 200 "	–	–	–	–	–	2,20	2,30	1,75	1,60	–	–
" 200 " 210 "	–	–	–	–	–	–	–	1,78	–	–	–
" 210 " 220 "	–	–	–	–	–	–	–	1,80	–	–	–

№ изм. № изв.
Инв. № дубликата 4835
Инв. № подлинника

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
Рекомендуемое

ПОКАЗАТЕЛИ СТЕПЕНИ a, a_1 и m

1. Показатель степени a кривой усталости уплотнения приведен в табл. 1.

Таблица 1

Марка материала уплотнения	a
В-14, В-14-1, ИРП-1078, ИРП-1054, ИРП-1353, НО-68-1, 51-1668 НТА	2,40
ВР-7 ИРП-1287 ИРП-1316	3,85
ИРП-1375 ИРП-1377	4,90
Фторопласт	2,40

2. Показатель степени a_1 кривой зависимости износа уплотнения от температуры в процессе трения приведен в табл. 2.

Таблица 2

Интервал температур	a_1
$(t_y + \Delta t_к) \leq 65^\circ C$	0
$65^\circ C < (t_y + \Delta t_к) < 100^\circ C$	$a \dfrac{(t_y + \Delta t_к) - 65}{35}$
$(t_y + \Delta t_к) \geq 100^\circ C$	a

3. Показатель степени m приведен в табл. 3.

Таблица 3

Материал	Ожидаемая циклическая долговечность N	Показатель степени m
Сталь	До $3 \cdot 10^5$	4
	10^6	5
	10^7	7
	10^8	9
	$3 \cdot 10^8$ и более	10

№ изм. № изв. 4835 Инв. № дубликата Инв. № подлинника

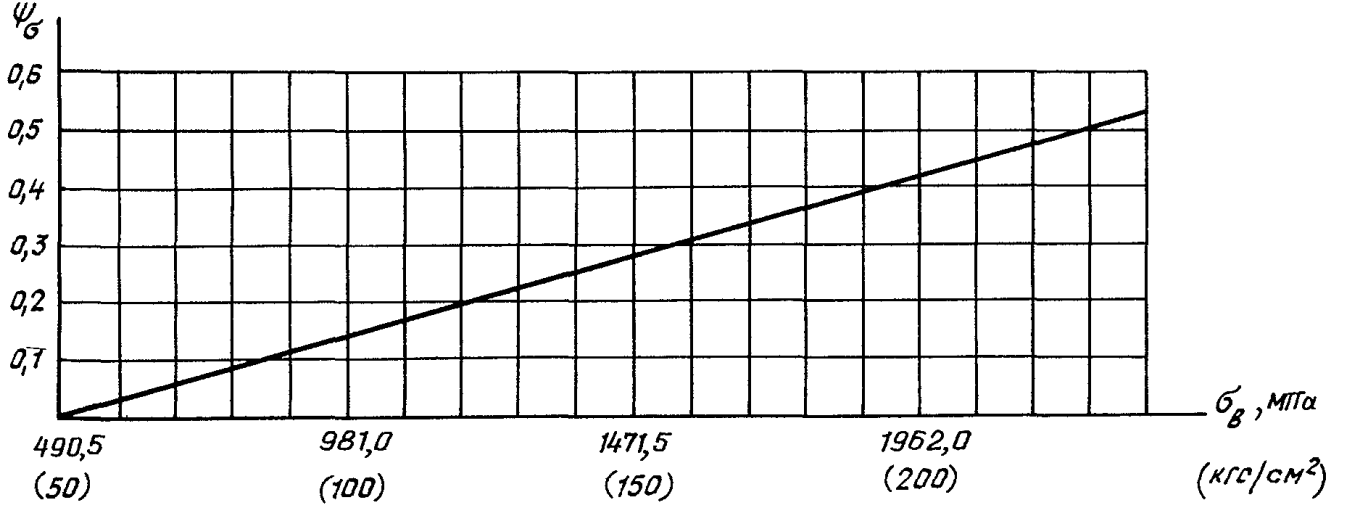
Продолжение табл. 3

Материал	Ожидаемая циклическая долговечность N	Показатель степени m
Алюминиевые сплавы	До $3 \cdot 10^5$	3
	10^6	4
	10^7	6
	10^8	8
	10^9 и более	10
Титановые сплавы	До $3 \cdot 10^5$	4
	10^6	5
	10^7	7
	10^8	9
	$3 \cdot 10^8$ и более	10

При промежуточных значениях ожидаемой циклической долговечности показатель степени m определяется линейной интерполяцией.

№ изм. № изв. Инв. № дубликата Инв. № подлинника 4835

1. Значения коэффициента ψ_σ чувствительности к асимметрии цикла напряжений для сталей выбираются по графику на черт. 1.

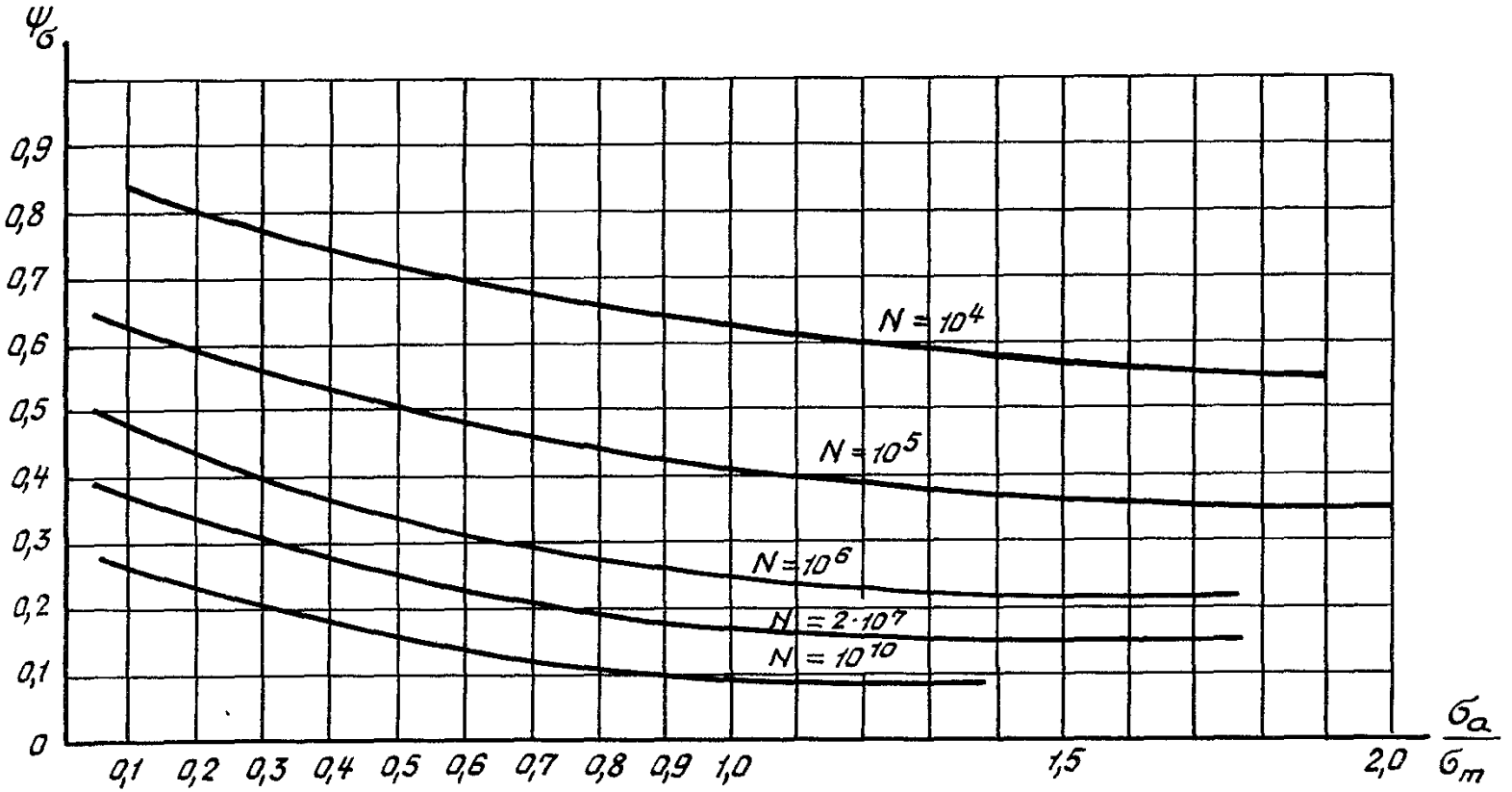


Черт. 1

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
Рекомендуемое

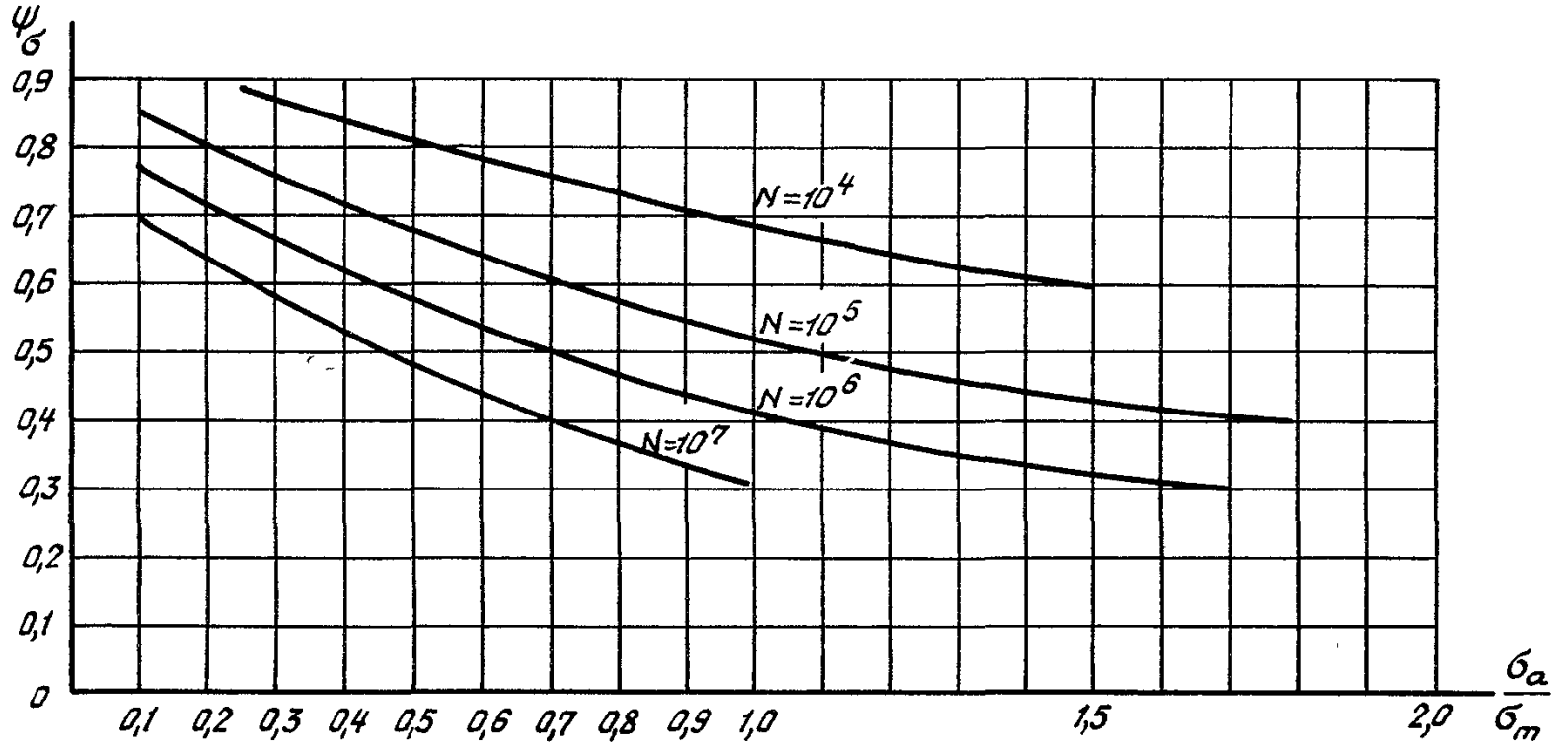
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

2. Значения коэффициента ψ_σ чувствительности к асимметрии цикла напряжений для ковочных алюминиевых сплавов типа АК-4 выбираются по графику на черт. 2.



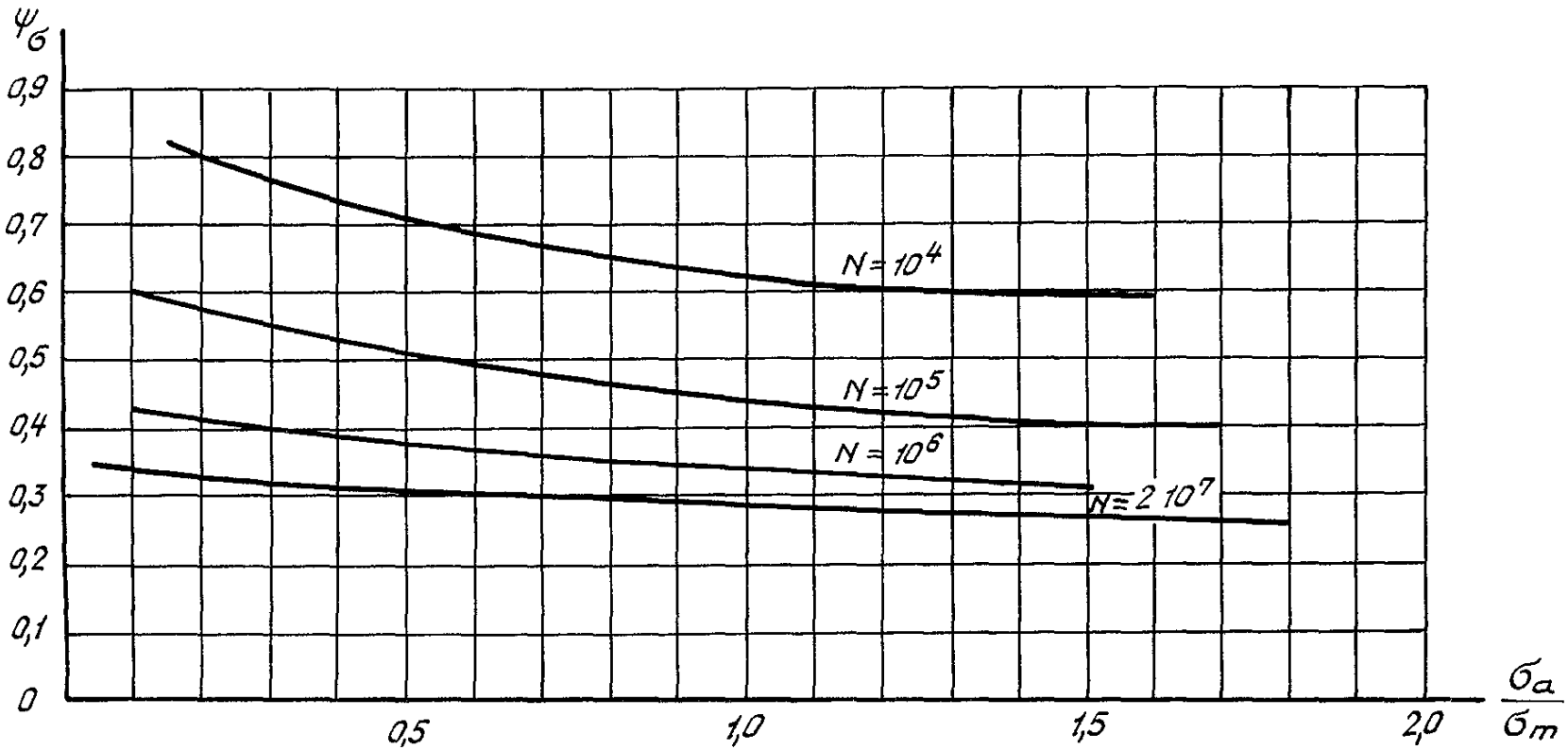
Черт 2

3. Значения коэффициента ψ_σ чувствительности к асимметрии цикла напряжений для литейных алюминиевых сплавов типа АЛ-9 выбираются по графику на черт. 3



Черт 3

4. Значения коэффициента ψ_σ чувствительности к асимметрии цикла напряжений для высокопрочных алюминиевых сплавов типа В-95 выбираются по графику на черт. 4.



Черт 4

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
Справочное

ПРИМЕР РАСЧЕТА РЕЖИМОВ УСКОРЕННЫХ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЙ ГИДРОПРИВОДОВ ПРИ $A_y = A_н, n_y \neq n_н, R_y \neq R_н$

1. Исходные данные для расчета режимов ускоренных ресурсных испытаний приведены в табл. 1 и на черт. 1.

Таблица 1

Номер режима	Амплитуда перемещения выходного звена, мм	Нагрузка на выходном звене, Н (кгс)	Температура, °С		Кол. циклов перемещений выходного звена	Частота перемещений выходного звена, Гц	Время испытаний на режиме, ч
			окружающей среды	рабочей жидкости			
1	10±1	±981 ±98 (±100±10)	25±10	80±10	10900	0,30	10
2	25±2			70±10	6000	0,16	
3	5±1			См. черт. 1	248400	0,30	230

Итого: 265300 циклов за 250 ч.

Максимально развиваемое усилие P_{max} = 1962 Н (200 кгс) при скорости движения звена v = 0.

Максимальная скорость выходного звена v_{max} = 125 мм/с; при R = 0.

Уплотнения – из резиновой смеси ИРП-1353.

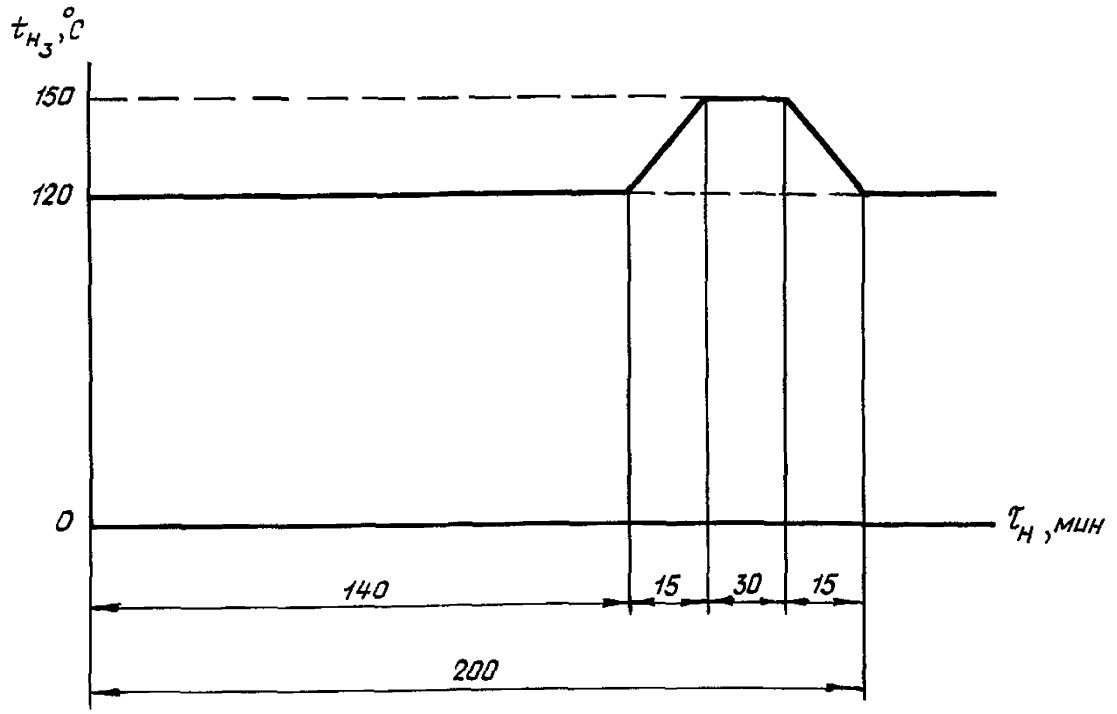
Выходные подшипники – типа ШН.

Количество каналов – 1.

Материал выходного звена – сталь.

№ изм. № изв. Инв. № дубликата Инв. № подлинника 4835

График циклической выдержки температуры
рабочей жидкости на режиме 3



Черт. 1

2. Давление рабочей жидкости оставляем без изменения $P_У = P_Н$.

3. Определяем скорость движения выходного звена для каждого режима:

$$\vartheta_{Нj} = 2\pi f_{Нj} A_{Нj};$$

$\vartheta_{Н1}$ = 2 · 3,14 · 0,3 · 10 = 19,0 мм/с;
$\vartheta_{Н2}$ = 2 · 3,14 0,16 · 25 = 26,2 мм/с;
$\vartheta_{Н3}$ = 2 · 3,14 0,3 · 5 = 9,5 мм/с.

4. Определяем максимально допустимую скорость движения выходного звена в соответствии с нагрузочной характеристикой гидропривода для каждого режима:

$$\vartheta_{RНj} = \frac{\vartheta_{max}}{\sqrt{R_{max}}} \sqrt{R_{max} - R_{Нj}};$$

$$\vartheta_{RН1} = \frac{125}{\sqrt{1962}} \sqrt{1962-981} = 88,7 \text{ мм/с};$$

$$\left(\vartheta_{RН1} = \frac{125}{\sqrt{200}} \sqrt{200-100} = 88,7 \text{ мм/с}\right).$$

№ изм. № изв
4835
Инв. № дубликата Инв. № подлинника

Так как нагрузка на выходном звене на всех трех режимах одинакова и равна 981 Н (100 кгс), то максимально допустимые скорости на всех трех режимах равны между собой, а именно:

$$\vartheta_{R_{H_1}} = \vartheta_{R_{H_2}} = \vartheta_{R_{H_3}} = 88{,}7 \text{ мм/с}.$$

5 Определяем скорость движения выходного звена для каждого ускоренного режима:

$$\vartheta_{y_j} = 0{,}9\ \vartheta_{R_{H_j}} = 0{,}9 \cdot 88{,}7 \approx 80 \text{ мм/с}; \quad \vartheta_{y_1} = \vartheta_{y_2} = 80 \text{ мм/с}.$$

Для режима 3 принимается степень ускорения ≈ 6. В этом случае ϑ_{y_3} принять равной 60 мм/с.

6. Определяем приращение температуры в резиновом уплотнении от увеличения скорости движения выходного звена для каждого ускоренного режима

$$\Delta t_{K_j} = C\ (\vartheta_{y_j} - \vartheta_{H_j}),$$

где $C = 0{,}1\ ^\circ\text{C} \cdot \text{с/мм}$;

$\Delta t_{K_1} = 0{,}1(80-19) = 6{,}1^\circ\text{C}$;

$\Delta t_{K_2} = 0{,}1(80-26{,}2) = 5{,}4^\circ\text{C}$;

$\Delta t_{K_3} = 0{,}1(60-9{,}5) = 5{,}0^\circ\text{C}$.

7. Выбираем температуру рабочей жидкости для каждого режима:

- для режима 1: $\vartheta_{y_1} \approx 4\ \vartheta_{H_1}$; $t_{y_1} = t_{H_1} + 20^\circ\text{C} = 80 + 20 = 100^\circ\text{C}$;
- для режима 2: $\vartheta_{y_2} \approx 3\ \vartheta_{H_2}$; $t_{y_2} = t_{H_2} + 15^\circ\text{C} = 70 + 15 = 85^\circ\text{C}$;
- для режима 3: $\vartheta_{y_3} \approx 6\ \vartheta_{H_3}$; $t_{y_3} = t_{H_3} + 35^\circ\text{C}$,

где $t'_{H_3} = 120^\circ\text{C}$;

$t''_{H_3} = 150^\circ\text{C}$;

$t'''_{H_3} = \frac{120+150}{2} = 135^\circ\text{C}$;

$t'_{y_3} = 120 + 35 = 155^\circ\text{C}$;

$t''_{y_3} = 150 + 35 = 185^\circ\text{C}$;

$t'''_{y_3} = \frac{155+185}{2} = 170^\circ\text{C}$.

№ изм. № изв. 4835 Инв. № дубликата Инв. № подлинника

8. Выбираем коэффициенты старения K_{CT} для резиновой смеси ИРП-1353 при соответствующих интервалах температур с учетом Δt_{K_j}:

от 70 до 80°С K_{CT}=2,06; от 80 до 90°С K_{CT}=1,95;

от 90 до 100°С K_{CT}=1,87; от 100 до 110°С K_{CT}=1,80;

от 120 до 130°С K_{CT}=1,65; от 130 до 140°С K_{CT}=1,61;

от 140 до 150°С K_{CT}=1,59; от 150 до 160°С K_{CT}=1,60;

от 160 до 170°С K_{CT}=1,67; от 170 до 180°С K_{CT}=1,80;

от 180 до 190°С K_{CT}=1,96.

9. Определяем произведение коэффициентов старения:

$$\prod_{i=1}^{i} K_{CT_j} = K_{CT_1}^{0,1\Delta t_1} K_{CT_2} \dots K_{CT_{i-1}} K_{CT_i}^{0,1\Delta t_i};$$

ΠK_{CT_1}=1,95·1,87·1,80^{0,61}=5,2 в интервале 80,0–106,1°С;

ΠK_{CT_2}=2,06·1,95·1,87^{0,04}=4,1 в интервале 70,0–90,4°С;

$\Pi K'_{CT_3}$=1,65·1,61·1,59·1,60=6,75 в интервале 120–160°С;

$\Pi K''_{CT_3}$=1,60·1,67·1,80·1,96=9,45 в интервале 150–190°С;

$\Pi K'''_{CT_3}$=1,61^{0,5}·1,59·1,60·1,67·1,80^{0,5}=7,2 в интервале 135–175°С.

10. Для соблюдения фактора эквивалентности по старению резиновых уплотнений ($v_y^{CT} = v_y$) уточняем скорость движения выходного звена v_y при t_y=const для каждого ускоренного режима:

$$v'_{y_j} = v_{H_j}\left[\prod_{i=1}^{i} K_{CT_j}\left(\frac{t_{H_j}}{t_{y_j}+\Delta t_{K_j}}\right)^{a_1}\right]^{\frac{1}{1+ab}},$$

где $a_{1_1} = a_{1_3}$=2,4;

$$a_{1_2} = \frac{a\,(t_y+\Delta t_K-65)}{35} = \frac{2,4\,(90,4-65)}{35}=1,74;$$

$$v'_{y_1} = 19\left[5,2\left(\frac{80}{100+6,1}\right)^{2,4}\right]^{\frac{1}{1-0,24}} = 68,0 \text{ мм/с};$$

№ изм. № изв. 4835 Инв. № дубликата Инв. № подлинника

$$v'_{y_2} = 26,2\left[4,1\left(\frac{70}{85+5,4}\right)^{1,74}\right]^{\frac{1}{1-0,24}} = 93,5 \text{ мм/с};$$

$$v'_{y_3} = 9,5\left[6,75\left(\frac{120}{155+5}\right)^{2,4}\right]^{\frac{1}{1-0,24}} = 47,5 \text{ мм/с};$$

$$v''_{y_3} = 9,5\left[9,45\left(\frac{150}{185+5}\right)^{2,4}\right]^{\frac{1}{1-0,24}} = 85,0 \text{ мм/с};$$

$$v'''_{y_3} = 9,5\left[7,2\left(\frac{132}{170+5}\right)^{2,4}\right]^{\frac{1}{1-0,24}} = 56,0 \text{ мм/с}.$$

Таким образом, эквивалентность режимов длительных и ускоренных испытаний выполняется при следующих значениях скоростей:

v'_{y_1} =68 мм/с; v'_{y_2} =93,5 мм/с; v'_{y_3} =60 мм/с – средняя скорость на режиме 3.

При значениях скоростей v_{y_1} =80 мм/с, v_{y_2} =80 мм/с, v_{y_3} =60 мм/с, определенных в п. 5 настоящего приложения, имеем: на режиме 1 – недостаривание уплотнений, на режиме 2 – перестаривание уплотнений. Разрешается перерасчет эквивалентности по старению не производить, если суммарный допуск по старению на всех режимах не превышает ±5%.

11. Определяем частоту перемещения выходного звена для каждого ускоренного режима при условии $A_{y_j} = A_{H_j}$:

$$f_{y_j} = \frac{v_{y_j}}{2\pi A_{y_j}};$$

$$f_{y_1} = \frac{80}{2 \cdot 3,14 \cdot 10} = 1,27 \text{ Гц};$$

$$f_{y_2} = \frac{80}{2 \cdot 3,14 \cdot 25} = 0,51 \text{ Гц};$$

$$f_{y_3} = \frac{60}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} = 1,91 \text{ Гц}.$$

№ изм | № изв.
Инв. № дубликата | Инв. № подлинника | 4835

12. Определяем количество циклов перемещений выходного звена для каждого ускоренного режима

$$n_{y_j} = n_{H_j} \left(\frac{v_{H_j}}{v_{y_j}} \right)^{ab} \left(\frac{t_{H_j}}{t_{y_j} + \Delta t_{K_j}} \right)^{a_1};$$

$$n_{y_1} = 10\,900 \left(\frac{19}{80} \right)^{-0,24} \left(\frac{80}{106,1} \right)^{2,4} = 7840;$$

$$n_{y_2} = 6000 \left(\frac{26,2}{80} \right)^{-0,24} \left(\frac{70}{90,4} \right)^{1,74} = 5020.$$

Для длительного режима 3 определяем количество температурных циклов:

$$n^t_{H_3} = \frac{\tau_{H_3}}{\tau^t_{y_3}} = \frac{230 \cdot 60}{200} = 69.$$

Определяем время испытаний на каждом подрежиме длительного режима 3:

$$\tau^i_{H_3} = \tau^i_{ц_H} n^t_{H_3}; \quad \tau'_{H_3} = \frac{140}{60} 69 = 161 \text{ ч}; \quad \tau''_{H_3} = \frac{30}{60} 69 = 34,5 \text{ ч};$$

$$\tau'''_{H_3} = \frac{30}{60} 69 = 34,5 \text{ ч}.$$

Определяем количество циклов перемещений выходного звена на длительном режиме 3:

$$n^i_{H_j} = \tau_{H_j} f_{H_j} \; 3600;$$

$$n'_{H_3} = 161 \cdot 0,3 \cdot 3600 = 173\,880;$$

$$n''_{H_3} = 34,5 \cdot 0,3 \cdot 3600 = 37\,260;$$

$$n'''_{H_3} = 34,5 \cdot 0,3 \cdot 3\,600 = 37\,260;$$

Итого: $n_{H_3} = 248\,400$ циклов.

Определяем количество циклов перемещений выходного звена на ускоренном режиме 3:

$$n'_{y_3} = 173\,880 \left(\frac{9,5}{60} \right)^{-0,24} \left(\frac{120}{160} \right)^{2,4} = 136\,000;$$

$$n''_{y_3} = 37\,260 \left(\frac{9,5}{60} \right)^{-0,24} \left(\frac{150}{190} \right)^{2,4} = 32\,500;$$

$$n'''_{y_3} = 37\,260 \left(\frac{9,5}{60} \right)^{-0,24} \left(\frac{135}{175} \right)^{2,4} = 31\,300.$$

Итого: $n_{y_3} = 186\,900$ циклов.

Инв. № дубликата
Инв. № подлинника
4835
№ изм.
№ изв.

13. Определяем время ресурсных испытаний на каждом ускоренном режиме:

$$\tau_{y_j} = \tau_{H_j}\left(\frac{\vartheta_{H_j}}{\vartheta_{y_j}}\right)^{1+ab}\left(\frac{t_{H_j}}{t_{y_j}+\Delta t_{K_j}}\right)^{a_1};$$

$$\tau_{y_1} = 10\left(\frac{19}{80}\right)^{1-0,24}\left(\frac{80}{106,1}\right)^{2,4} = 1,71 \text{ ч};$$

$$\tau_{y_2} = 10\left(\frac{26,2}{80}\right)^{1-0,24}\left(\frac{70}{90,4}\right)^{1,74} = 2,74 \text{ ч};$$

$$\tau'_{y_3} = 161\left(\frac{9,5}{60}\right)^{1-0,24}\left(\frac{120}{160}\right)^{2,4} = 20,40 \text{ ч};$$

$$\tau''_{y_3} = 34,5\left(\frac{9,5}{60}\right)^{1-0,24}\left(\frac{150}{190}\right)^{2,4} = 4,90 \text{ ч};$$

$$\tau'''_{y_3} = 34,5\left(\frac{9,5}{60}\right)^{1-0,24}\left(\frac{135}{175}\right)^{2,4} = 4,58 \text{ ч}.$$

Проверяем время ресурсных испытаний:

$$\tau_{y_j} = \frac{n_{y_j}}{f_{y_j}\ 3600};$$

$$\tau_{y_1} = \frac{7840}{1,27 \cdot 3600} = 1,73 \text{ ч};$$

$$\tau_{y_2} = \frac{5020}{0,51 \cdot 3600} = 2,74 \text{ ч};$$

$$\tau'_{y_3} = \frac{136000}{1,91 \cdot 3600} = 19,80 \text{ ч};$$

$$\tau''_{y_3} = \frac{32500}{1,91 \cdot 3600} = 4,75 \text{ ч};$$

$$\tau'''_{y_3} = \frac{31300}{1,91 \cdot 3600} = 4,57 \text{ ч}.$$

14. Определяем время старения для каждого ускоренного режима:

$$\tau^{ст}_{y_j} = \frac{\tau^{ст}_{H_j}}{\prod_{i=1}^{i} K_{ст_j}};$$

$$\tau^{ст}_{y_1} = \frac{10}{5,2} = 1,92 \text{ ч};$$

$$\tau^{ст}_{y_2} = \frac{10}{4,1} = 2,44 \text{ ч};$$

$$\tau^{ст'}_{y_3} = \frac{161}{6,75} = 24,00 \text{ ч};$$

№ изм. № изв. 4835 Инв. № подлинника

$$\tau_{y_3}^{ст''} = \frac{34,5}{9,45} = 3,65 \text{ ч};$$

$$\tau_{y_3}^{ст'''} = \frac{34,5}{7,2} = 4,79 \text{ ч}.$$

15. Проверяем суммарную эквивалентность по старению резиновых уплотнений на всех режимах испытаний при приведенной температуре $t_{пр}$ = 165 °С:

$$|\Delta| = \left| \frac{\sum_{j=1}^{k} \tau_{y_j}^{пр} - \sum_{j=1}^{k} \tau_{y_j}^{ст.пр}}{\sum_{j=1}^{k} \tau_{y_j}^{пр}} \right| 100;$$

$$|\Delta| \leq 5\%;$$

$ПК_{ст_1} = 1,8^{0,39} \cdot 1,72 \cdot 1,65 \cdot 1,61 \cdot 1,59 \cdot 1,6 \cdot 1,67^{0,5} = 19,05$ в интервале 106,1 – 165,0 °С;

$ПК_{ст_2} = 1,87^{0,96} \cdot 1,8 \cdot 1,72 \cdot 1,65 \cdot 1,61 \cdot 1,59 \cdot 1,6 \cdot 1,67^{0,5} = 52,3$ в интервале 90,4 – 165,0 °С;

$ПК'_{ст_3} = 1,67^{0,5} = 1,29$ в интервале 160 – 165 °С;

$ПК''_{ст_3} = 1,67^{0,5} \cdot 1,8 \cdot 1,96 = 4,55$ в интервале 165 – 190 °С;

$ПК'''_{ст_3} = 1,67^{0,5} \cdot 1,8^{0,5} = 1,73$ в интервале 165 – 175 °С;

$$\tau_{y_1}^{пр} = \frac{1,73}{19,05} = 0,09 \text{ ч};$$

$$\tau_{y_2}^{пр} = \frac{2,74}{52,3} = 0,05 \text{ ч};$$

$$\tau_{y_3}^{'пр} = \frac{19,8}{1,29} = 15,35 \text{ ч};$$

$$\tau_{y_3}^{''пр} = 4,75 \cdot 4,55 = 21,60 \text{ ч};$$

$$\tau_{y_3}^{'''пр} = 4,57 \cdot 1,73 = 7,90 \text{ ч};$$

$$\tau_{y_1}^{ст\,пр} = \frac{1,92}{19,05} = 0,10 \text{ ч};$$

$$\tau_{y_2}^{ст\,пр} = \frac{2,44}{52,3} = 0,05 \text{ ч};$$

$$\tau_{y_3}^{ст'пр} = \frac{24}{1,29} = 18,60 \text{ ч};$$

$$\tau_{y_3}^{ст''пр} = 3,65\ 4,55 = 16,60 \text{ ч};$$

$$\tau_{y_3}^{ст.'''пр} = 4,79\ 1,73 = 8,29 \text{ ч};$$

№ изм. № изв 4835 Инв. № дубликата Инв. № подлинника

$$\sum_{j=1}^{j=3} \tau_{y_j}^{пр} = 0,09 + 0,05 + 15,35 + 21,60 + 7,90 = 44,99 \text{ ч};$$

$$\sum_{j=1}^{j=3} \tau_{y_j}^{ст.пр} = 0,10 + 0,05 + 18,60 + 16,60 + 8,29 = 43,64 \text{ ч};$$

$$|\Delta| = \left| \frac{44,99 - 43,64}{44,99} \right| 100 = 3\ \%.$$

16. Определяем нагрузку на выходном звене:

$$R_{y_1} = R_{y_2} = R_{y_3} = R_y = R_н \left(\frac{\sum_{j=1}^{j} n_{н_j}}{\sum_{j=1}^{j} n_{y_j}} \right)^{1/6};$$

$$R_y = 981 \left(\frac{10900 + 6000 + 248400}{7840 + 5020 + 199800} \right)^{1/6} = 1020 \text{ Н};$$

$$\left[R_y = 100 \left(\frac{10900 + 6000 + 248400}{7840 + 5020 + 199800} \right)^{1/6} = 104 \text{ кгс} \right].$$

17. Проверяем суммарную эквивалентность по накоплению усталостных повреждений выходного звена на всех режимах длительных и ускоренных испытаний:

$$\Delta D = \left[\frac{\sum_{j=1}^{j} n_{y_j} \left(R_{y_j}^{пр} \right)^6}{\sum_{j=1}^{j} n_{y_j} \left(R_{н_j}^{пр} \right)^6} - 1 \right] 100,$$

$$-10\% \leq \Delta D \leq 200\%;$$

$$\Delta D = \left[\frac{1020^6 \ (7840 + 5020 + 199800)}{981^6 \ (10900 + 6000 + 248400)} - 1 \right] 100 = -3,8\%;$$

$$\left(\Delta D = \left[\frac{104^6 \ (7840 + 5020 + 199800)}{100^6 \ (10900 + 6000 + 248400)} - 1 \right] 100 = -3,8\% \right).$$

Эквивалентность по накоплению усталостных повреждений выходного звена на длительных и ускоренных режимах обеспечивается.

18. Проверяем суммарную эквивалентность по износу подшипников на длительных и ускоренных режимах испытаний:

$$|\Delta J| = \left[\frac{\sum_{j=1}^{j} n_{y_j} A_{y_j} \left(R_{y_j}^{ср} \right)^3}{\sum_{j=1}^{j} n_{н_j} A_{н_j} \left(R_{н_j}^{ср} \right)^3} - 1 \right] 100,$$

$$|\Delta J| \leq 20\%;$$

№ изм. | № изв. | 4835 | Инв. № дубликата | Инв. № подлинника

$$|\Delta J| = \left[\frac{\left(\frac{1020}{2}\right)^3 (10 \cdot 7840 + 25 \cdot 5020 + 5 \cdot 199800)}{\left(\frac{981}{2}\right)^3 (10 \cdot 10900 + 25 \cdot 6000 + 5 \cdot 248400)} - 1 \right] 100 = 9{,}9\ \%;$$

$$|\Delta J| = \left[\frac{\left(\frac{104}{2}\right)^3 (10 \cdot 7840 + 25 \cdot 5020 + 5 \cdot 199800)}{\left(\frac{100}{2}\right)^3 (10 \cdot 10900 + 25 \cdot 6000 + 5 \cdot 248400)} - 1 \right] 100 = 9{,}9\%.$$

Эквивалентность по износу подшипников на режимах длительных и ускоренных испытаний обеспечивается.

19. Расчетные данные режимов ускоренных ресурсных испытаний свести в табл. 2.

Таблица 2

Номер режима	Амплитуда перемещения выходного звена, мм	Нагрузка на выходном звене, Н (кгс)	Температура, °С		Кол. циклов перемещений выходного звена	Частота перемещений выходного звена, Гц	Время испытаний на режиме, ч
			окружающей среды	рабочей жидкости			
1	10±1	±1020±100	25±10	100±10	7840	1,27	1,73
2	25±2	(±104±10)		85±10	5020	0,51	2,74
3	5±1			См. черт. 2	199800	1,91	29,12

Итого: 212660 циклов за 33,59 ч

20. Принимаем время подъема и снижения температуры рабочей жидкости $\tau'''_{ц y_3} = 10$ мин.

21. Определяем количество температурных циклов на ускоренном режиме:

$$n^t_{y_3} = \frac{\tau'''_{y_3}}{\tau'''_{ц.y_3}} = \frac{4{,}57 \cdot 60}{10} = 27{,}5 \text{ цикла.}$$

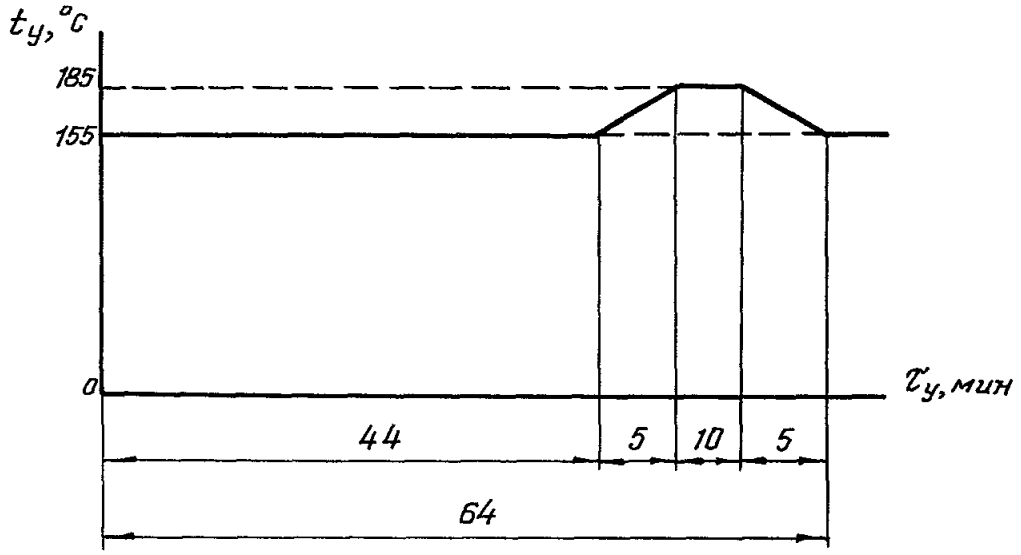
22. Определяем время испытаний в температурном цикле на каждом ускоренном подрежиме:

$$\tau'_{ц.y_3} = \frac{\tau'_{y_3}}{n^t_{y_3}} = \frac{19{,}8 \cdot 60}{27{,}5} = 44 \text{ мин;}$$

$$\tau''_{ц.y_3} = \frac{\tau''_{y_3}}{n^t_{y_3}} = \frac{4{,}75\ 60}{27{,}5} = 10 \text{ мин.}$$

№ изм | № изв. | 4835 | Инв. № дубликата | Инв. № подлинника

График циклической выдержки температуры рабочей жидкости
на режиме 3 ускоренных испытаний



Черт. 2

№ изм. № изв.
Инв. № дубликата
Инв. № подлинника 4835

ПРИЛОЖЕНИЕ 7
Справочное

ПРИМЕР РАСЧЕТА РЕЖИМОВ УСКОРЕННЫХ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЙ ГИДРОПРИВОДОВ ПРИ $n_н = n_у$; $A_у \neq A_н$; $R_у \neq R_н$

1. Исходные данные для расчета режимов ускоренных ресурсных испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1

Номер режима	Амплитуда перемещения выходного звена, мм	Нагрузка на выходном звене, Н (кгс)	Температура, °С		Кол. циклов перемещений выходного звена	Частота перемещений выходного звена, Гц	Время испытаний на режиме, ч
			окружающей среды	рабочей жидкости			
1	15±1	±981±98 (±100±10)	25±10	85±10	72000	0,20	100
2	30±2			80±10	51400	0,14	
3	10±1			110±5	144000	0,16	240

Итого: 267400 циклов за 440 ч

Максимально развиваемое усилие R_{max} = 1962 Н (200 кгс) при скорости движения выходного звена $v = 0$.

Максимальная скорость движения выходного звена v_{max} = 110 мм/с при $R = 0$.

Уплотнения из резиновой смеси ИРП-1353.

Подшипники типа ШН.

Количество канатов – 1.

Материал выходного звена – сталь.

2. Определяем скорость движения выходного звена для каждого режима:

$$v_{H_j} = 2\pi f_{H_j} A_{H_j};$$

$v_{H_1} = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,2 \cdot 15 = 18,84$ мм/с;

$v_{H_2} = 2 \cdot 3,14\ 0,14 \cdot 30 = 26,90$ мм/с;

$v_{H_3} = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,16 \cdot 10 = 10,50$ мм/с.

№ изм. № изв. 4335 Инв. № дубликата Инв. № подлинника

3. Определяем максимально допустимую скорость движения выходного звена в соответствии с нагрузочной характеристикой гидропривода (по техническим условиям) при нагрузке для каждого режима:

$$v_{R_{H_j}} = \frac{v_{max}}{\sqrt{R_{max}}} \sqrt{R_{max} - R_{H_j}};$$

$$v_{R_{H_j}} = \frac{110}{\sqrt{1962}} \sqrt{1962 - 981} = 78 \text{ мм/с};$$

$$\left(v_{R_{H_j}} = \frac{110}{\sqrt{200}} \sqrt{200 - 100} = 78 \text{ мм/с} \right).$$

Поскольку нагрузка на выходном звене для всех трех режимов одинакова, максимально допустимые скорости на всех трех режимах равны между собой:

$$v_{R_{H_1}} = v_{R_{H_2}} = v_{R_{H_3}} = 78{,}0 \text{ мм/с}.$$

4. Определяем скорость движения выходного звена для каждого ускоренного режима:

$v_y = 0{,}9\, v_{R_H} = 0{,}9 \cdot 78 = 70$ мм/с;

$v_{y_1} = v_{y_2} = 70$ мм/с.

Для режима 3 принимается степень ускорения ≈ 6. В этом случае v_{y_3} принять равной 60 мм/с.

5. Определяем приращение температуры в резиновом уплотнении от увеличения скорости движения выходного звена для каждого ускоренного режима:

$$\Delta t_{K_j} = C \left(v_{y_j} - v_{H_j} \right),$$

где $C = 0{,}1\ ^\circ\text{C} \cdot \text{с/мм}$;

$\Delta t_{K_1} = 0{,}1\ (70 - 18{,}8) \approx 5{,}1\ ^\circ\text{C}$;

$\Delta t_{K_2} = 0{,}1\ (70 - 26{,}9) \approx 4{,}3\ ^\circ\text{C}$;

$\Delta t_{K_3} = 0{,}1\ (60 - 10) \approx 5{,}0\ ^\circ\text{C}$.

6. Выбираем температуру рабочей жидкости для каждого режима:

для режима 1: $v_{y_1} \approx 4\, v_{H_1}$, $t_{y_1} = t_{H_1} + 20^\circ\text{C} = 85 + 20 = 105^\circ\text{C}$;

для режима 2: $v_{y_2} \approx 3\, v_{H_2}$, $t_{y_2} = t_{H_2} + 15^\circ\text{C} = 80 + 15 = 95^\circ\text{C}$;

для режима 3: $v_{y_3} \approx 6\, v_{H_3}$, $t_{y_3} = t_{H_3} + 40^\circ\text{C} = 110 + 40 = 150^\circ\text{C}$.

№ изм. № изв. 4835 Инв. № дубликата Инв. № подлинника

7 Принимаем $P_y = P_н$.

8. Для соблюдения фактора эквивалентности по старению резиновых уплотнений $\left(\tau_{y_j}^{ст} = \tau_{y_j}\right)$ методом последовательных приближений уточняем температуру рабочей жидкости t_y при $\vartheta_y = const$ для каждого ускоренного режима по формуле:

$$\vartheta'_{y_j} = \vartheta_{н_j}\left[\prod_{i=1}^{i} K_{ст_j}\left(\frac{t_{н_j}}{t_{y_j} + \Delta t_{к_j}}\right)^{a_1}\right]^{\frac{1}{1+ab}}.$$

Определяем $\prod_{i=1}^{i} K_{ст}$ и a_1 для каждого режима.

Расчет ведем для резиновой смеси ИРП-1353. Из приложения 3 выбираем значения коэффициентов старения для данной резины:

$$\prod_{i=1}^{i} K_{ст_j} = K_{ст_1}^{0,1\,\Delta t_1} \cdot K_{ст_2} \cdot \ldots \cdot K_{ст_{i-1}} \cdot K_{ст_i}^{0,1\,\Delta t_i};$$

$\Pi K_{ст_1} = 1{,}95^{0,5} \cdot 1{,}87 \cdot 1{,}8 \cdot 1{,}72^{0,01} = 4{,}73$ в интервале 85,0–110,1°С;

$\Pi K_{ст_2} = 1{,}95 \cdot 1{,}87^{0,93} = 3{,}50$ в интервале 80,0–99,3°С;

$\Pi K_{ст_3} = 1{,}72 \cdot 1{,}65 \cdot 1{,}61 \cdot 1{,}59 \cdot 1{,}6^{0,5} = 9{,}15$ в интервале 110 – 155°С;

$a_{1_1} = a_{1_3} = 2{,}4$, так как на режимах 1 и 3 $(t_y + \Delta t_к) > 100$°С;

$$a_{1_2} = \frac{a(t_y + \Delta t_к - 65)}{35} = \frac{2{,}4(99{,}3-65)}{35} = 2{,}35.$$

Определить ϑ'_y для каждого режима:

$$\vartheta'_{y_1} = 18{,}8\left[4{,}73\left(\frac{85}{110{,}1}\right)^{2{,}4}\right]^{1{,}32} = 63 \text{ мм/с};$$

$$\vartheta'_{y_2} = 26{,}9\left[3{,}50\left(\frac{80}{99{,}3}\right)^{2{,}35}\right]^{1{,}32} = 71 \text{ мм/с};$$

$$\vartheta'_{y_3} = 10{,}5\left[9{,}15\left(\frac{110}{155}\right)^{2{,}4}\right]^{1{,}32} = 65 \text{ мм/с}.$$

№ изм № изв
Инв № дубликата 4835
Инв № подлинника

9. Определяем амплитуду перемещений выходного звена для каждого ускоренного режима:

$$A_{y_j} = A_{H_j}\left(\frac{v_{H_j}}{v_{y_j}}\right)^{ab}\left(\frac{t_{H_j}}{t_{y_j}+\Delta t_{K_j}}\right)^{a_1};$$

$$A_{y_1} = 15\left(\frac{18,8}{70}\right)^{-0,24}\left(\frac{85}{110,1}\right)^{2,4} = 11,0 \text{ мм};$$

$$A_{y_2} = 30\left(\frac{26,9}{70}\right)^{-0,24}\left(\frac{80}{99,3}\right)^{2,35} = 23,0 \text{ мм};$$

$$A_{y_3} = 10\left(\frac{10,5}{60}\right)^{-0,24}\left(\frac{110}{155}\right)^{2,4} = 6,6 \text{ мм}.$$

10. Определяем частоту перемещения выходного звена для каждого ускоренного режима:

$$f_{y_j} = \frac{v_{y_j}}{2\pi A_{y_j}};$$

$$f_{y_1} = \frac{70}{2\cdot 3,14\cdot 11} = 1 \text{ Гц};$$

$$f_{y_2} = \frac{70}{2\cdot 3,14\cdot 23} = 0,5 \text{ Гц};$$

$$f_{y_3} = \frac{60}{2\cdot 3,14\cdot 6,6} = 1,45 \text{ Гц}.$$

11. Принимаем количество циклов перемещений выходного звена для каждого ускоренного режима, равным количеству циклов для каждого длительного режима $n_{y_j} = n_{H_j}$.

12. Определяем время ресурсных испытаний на каждом ускоренном режиме:

$$\tau_{y_j} = \tau_{H_j}\left(\frac{v_{H_j}}{v_{y_j}}\right)^{1+ab}\left(\frac{t_{H_j}}{t_{y_j}+\Delta t_{K_j}}\right)^{a_1};$$

$$\tau_{y_1} = 100\left(\frac{18,8}{70}\right)^{1-0,24}\left(\frac{85}{110,1}\right)^{2,4} = 19,6 \text{ ч};$$

$$\tau_{y_2} = 100\left(\frac{26,9}{70}\right)^{1-0,24}\left(\frac{80}{99,3}\right)^{2,35} = 28,8 \text{ ч};$$

$$\tau_{y_3} = 240\left(\frac{10,5}{60}\right)^{1-0,24}\left(\frac{110}{155}\right)^{2,4} = 27,8 \text{ ч}.$$

№ изм | № изв. | 4835 | Инв. № дубликата | Инв. № подлинника

Проверяем время ресурсных испытаний

$$\tau_{y_j} = \frac{n_{y_j}}{f_{y_j}\ 3600};$$

$\tau_{y_1} = \frac{72\,000}{1 \cdot 3600} = 20{,}0$ ч;

$\tau_{y_2} = \frac{51\,400}{0{,}5 \cdot 3600} = 28{,}6$ ч;

$\tau_{y_3} = \frac{144\,000}{1{,}45 \cdot 3600} = 27{,}6$ ч.

13. Определяем время старения для каждого ускоренного режима:

$$\tau_{y_j}^{ст} = \frac{\tau_{н_j}}{\prod_{i=1}^{j} K_{ст_j}};$$

$\tau_{y_1}^{ст} = \frac{100}{4{,}73} = 21{,}2$ ч;

$\tau_{y_2}^{ст} = \frac{100}{3{,}5} = 28{,}6$ ч;

$\tau_{y_3}^{ст} = \frac{240}{9{,}15} = 26{,}2$ ч.

14. Проверяем суммарную эквивалентность по старению резиновых уплотнений на всех режимах испытаний при приведенной температуре $t_{пр} = 155\ ^{\circ}C$:

$$|\Delta| = \left| \frac{\sum_{j=1}^{j} \tau_{y_j}^{пр} - \sum_{j=1}^{j} \tau_{y_j}^{ст.пр}}{\sum_{j=1}^{j} \tau_{y_j}^{пр}} \right| 100,$$

$$|\Delta| \leq 5\%;$$

$ПК_{ст_1} = 1{,}72^{0{,}99} \cdot 1{,}65 \cdot 1{,}61 \cdot 1{,}59 \cdot 1{,}6^{0{,}5} = 9{,}14$ в интервале 110,1–155,0°С;

$ПК_{ст_2} = 1{,}87^{0{,}07} \cdot 1{,}8 \cdot 1{,}72 \cdot 1{,}65 \cdot 1{,}61 \cdot 1{,}59 \cdot 1{,}6^{0{,}5} = 17{,}3$ в интервале 99,3–155,0°С;

$\tau_{y_1}^{пр} = \frac{20}{9{,}14} = 2{,}19$ ч;

$\tau_{y_2}^{пр} = \frac{28{,}6}{17{,}3} = 1{,}65$ ч;

$\tau_{y_3}^{пр} = \tau_{y_3} = 27{,}60$ ч;

$\tau_{y_1}^{ст.пр} = \frac{21{,}2}{9{,}14} = 2{,}32$ ч;

$\tau_{y_2}^{ст.пр} = \frac{28{,}6}{17{,}3} = 1{,}65$ ч;

№ изм. № изв. Инв. № дубликата Инв. № подлинника 4835

$\tau_{y_3}^{ст.пр} = \tau_{y_3}^{ст}$ =26,2 ч;

$\sum_{j=1}^{j=3} \tau_{y_j}^{пр}$ =2,19+1,65+27,6=31,44 ч;

$\sum_{j=1}^{j=3} \tau_{y_j}^{ст.пр}$ =2,32+1,65+26,2=30,17 ч;

$$|\Delta| = \left| \frac{31,44-30,17}{31,44} \right| 100 = 4\%$$

15. Определяем нагрузку на выходном звене на каждом ускоренном режиме:

$$R_1^{ср} = R_2^{ср} = R_3^{ср} = R^{ср} = \frac{\sum_{j=1}^{i} A_{нj}\, n_{нj}\, R_{нj}^{ср}}{\sum_{j=1}^{i} A_{y_j}\, n_{y_j}};$$

17 Для соблюдения эквивалентности по накоплению усталостных повреждений и износу подшипников на длительных и ускоренных режимах в соответствии с формулами (23) и (30) методом последовательных приближений определяем нагрузку на выходном звене.

18. Принимаем нагрузку на выходном звене $R_y = \pm 1177$ Н (± 120 кгс).

19. Проверяем суммарную эквивалентность по износу подшипников на длительных и ускоренных режимах:

$$|\Delta J| = \left| \frac{\sum_{j=1}^{i} A_{yj}\, n_{yj} \left(R_{yj}^{cp}\right)^3}{\sum_{j=1}^{i} A_{Hj}\, n_{Hj} \left(R_{Hj}^{cp}\right)^3} - 1 \right| 100,$$

$$|\Delta J| \leq 20\%;$$

$$|\Delta J| = \left| \frac{11 \cdot 72000 \cdot 588{,}5^3 + 23 \cdot 51400 \cdot 588{,}5^3 + 6{,}6 \cdot 144000 \cdot 588{,}5^3}{15 \cdot 72000 \cdot 490{,}5^3 + 30 \cdot 51400 \cdot 490{,}5^3 + 10 \cdot 144000 \cdot 490{,}5^3} - 1 \right| \times$$

$\times 100 = 20\%$;

$$\left(|\Delta J| = \left| \frac{11 \cdot 72000 \cdot 60^3 + 23 \cdot 51400 \cdot 60^3 + 6{,}6 \cdot 144000 \cdot 60^3}{15 \cdot 72000 \cdot 50^3 + 30 \cdot 51400 \cdot 50^3 + 10 \cdot 144000 \cdot 50^3} - 1 \right| \times \right.$$

$\left. \times 100 = 20\% \right)$.

Эквивалентность по износу подшипников на длительных и ускоренных режимах обеспечивается.

20. Проверяем суммарную эквивалентность по накоплению усталостных повреждений на длительных и ускоренных режимах для выходного звена:

$$\Delta D = \left[\frac{\sum_{j=1}^{i} n_{yj} \left(R_{yj}^{np}\right)^6}{\sum_{j=1}^{i} n_{Hj} \left(R_{Hj}^{np}\right)^6} - 1 \right] 100,$$

$$-10\% \leq \Delta D \leq 200\%.$$

$$\Delta D = \left[\frac{(72000+51400+144000)\, 1177^6}{(72000+51400+144000)\, 981^6} - 1 \right] \quad 100 = 198\%;$$

№ изм. | № изв. | 4835 | Инв. № дубликата | Инв. № подлинника

$$\left(\Delta D = \left[\frac{(72000+51400+144000)\ 120^6}{(72000+51400+144000)\ 100^6} - 1\right] 100 = 198\%\right).$$

Эквивалентность по накоплению усталостных повреждений на длительных и ускоренных режимах для выходного звена обеспечивается.

21. Расчетные данные вписываются в табл. 2

Таблица 2

Номер режима	Амплитуда перемещения выходного звена, мм	Нагрузка на выходном звене, Н (кгс)	Температура, °С		Кол. циклов перемещений выходного звена	Частота перемещений выходного звена, Гц	Время испытаний на режимах, ч
			окружающей среды	рабочей жидкости			
1	11,0±1	±1177±110 (±120±10)	25±10	105±5	72000	1,00	20,0
2	23,0±2			95±5	51400	0,50	28,6
3	6,6±1			150±5	144000	1,45	27,6

Итого: 267400 циклов за 76,2 ч

№ изм. № изв
Инв. № дубликата 4835
Инв. № подлинника

ПРИЛОЖЕНИЕ 8
Справочное

ПРИМЕР РАСЧЕТА РЕЖИМОВ УСКОРЕННЫХ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЙ ГИДРОПРИВОДОВ ПРИ $n_y \neq n_н$, $A_y \neq A_н$, $R_y \neq R_н$

1. Исходные данные для расчета режимов ускоренных ресурсных испытаний приведены в табл 1

Таблица 1

Номер режима	Амплитуда перемещения выходного звена, мм	Нагрузка на выходном звене, Н (кгс)	Температура, °С		Кол циклов перемещений выходного звена	Частота перемещений выходного звена, Гц	Время испытаний на режиме, ч
			окружающей среды	рабочей жидкости			
1	15±1	±1471±150 (±150±15)	25±10	35±10	72000	0,2	100,0
2	35±2	±1962±196 (±200±20)	25±10	80±5	51400	0,1	142,8
3	8±1	±981±98 (±100±10)	25±10	100±5	144000	0,3	133,3

Итого: 267400 циклов за 376,1 ч

2. Определяем скорость перемещения выходного звена для каждого длительного режима:

$$v_{нj} = 2\pi f_{нj} A_{нj};$$

$v_{н_1} = 2 \cdot 3,14 \cdot 15 \cdot 0,2 = 18,84$ мм/с;
$v_{н_2} = 2\ 3,14 \cdot 35 \cdot 0,1 = 21,98$ мм/с;
$v_{н_3} = 2 \cdot 3,14 \cdot 8 \cdot 0,3 = 15,07$ мм/с.

Максимально развиваемое усилие R_{max} = 2943 Н (300 кгс) при скорости движения выходного звена v = 0 мм/с

Максимальная скорость выходного звена v_{max} = 200 мм/с при R = 0.

Выходные силовые подшипники и подшипники подканалов типа ШН

Уплотнения изготовлены из резиновой смеси ИРП-1353.

Количество каналов – 2.

№ изм | № изв
Инв № дубликата | Инв № подлинника | 4835

3. Определяем максимально допустимую скорость движения выходного звена на каждом длительном режиме в соответствии с нагрузочной характеристикой гидропривода:

$$v_{R_{Hj}} = \frac{v_{max}}{\sqrt{R_{max}}} \sqrt{R_{max} - R_{Hj}};$$

$$v_{R_{H_1}} = \frac{200}{\sqrt{2943}} \sqrt{2943 - 1471} = 158{,}54 \text{ мм/с};$$

$$\left(v_{R_{H_1}} = \frac{200}{\sqrt{300}} \sqrt{300 - 150} = 158{,}54 \text{ мм/с} \right);$$

$$v_{R_{H_2}} = \frac{200}{\sqrt{2943}} \sqrt{2943 - 1962} = 115{,}5 \text{ мм/с};$$

$$\left(v_{R_{H_2}} = \frac{200}{\sqrt{300}} \sqrt{300 - 200} = 115{,}5 \text{ мм/с} \right);$$

$$v_{R_{H_3}} = \frac{200}{\sqrt{2943}} \sqrt{2943 - 981} = 163{,}34 \text{ мм/с};$$

$$\left(v_{R_{H_3}} = \frac{200}{\sqrt{300}} \sqrt{300 - 100} = 163{,}34 \text{ мм/с} \right).$$

4. Принимаем температуру рабочей жидкости t_y = 110 °С и давление рабочей жидкости $P_y = P_H$ одинаковые для всех ускоренных режимов.

5. Определяем скорость перемещения выходного звена, равную для всех ускоренных режимов:

$$v'_y = \left[\frac{\sum_{j=1}^{j} \tau_{Hj} \left(v_{H_j} \right)^{1+ab} \left(\frac{t_{Hj}}{t_y} \right)^{a_1}}{\sum_{j=1}^{j} \tau_{Hj} \prod_{i=1}^{i} K_{cT}} \right]^{\frac{1}{1+ab}}$$

где $a = 2{,}4$;

$a_1 = a = 2{,}4$;

$b = -0{,}1$;

$\Pi K_{cT\ 50\ \ldots 110} = 2{,}3 \cdot 2{,}18\ \ 2{,}06 \cdot 1{,}95\ \ 1{,}87\ \ 1{,}8 = 67{,}79$;

$\Pi K_{cT\ 80\ \ldots 110} = 1{,}95 \cdot 1{,}87 \cdot 1{,}8 = 6{,}56$;

$\Pi K_{cT\ 100\ \ldots 110} = 1{,}80$.

№ изм | № изв. | Инв № дубликата | Инв № подлинника | 4835

$$\vartheta'_y = \left[\frac{100\ (18{,}84)^{0,76} \left(\frac{65}{110}\right)^{2,4} + 142{,}8\ (21{,}98)^{0,76} \left(\frac{80}{110}\right)^{2,5} + 133{,}3\ (15{,}07)^{0,76} \left(\frac{100}{110}\right)^{2,4}}{\frac{100}{67{,}79} + \frac{142{,}8}{6{,}56} + \frac{133{,}3}{1{,}8}} \right]^{1,32} = 43{,}4 \text{ мм/с}$$

6. Определяем приращение температуры в резиновом уплотнении от увеличения скорости движения выходного звена на каждом ускоренном режиме:

$$\Delta t_{K_j} = c\,(\vartheta'_y - \vartheta_{H_j}),$$

где $c = 0{,}1\ ^\circ\text{C}\cdot\text{с/мм}$.

$\Delta t_{K_1} = 0{,}1\ (43{,}4 - 18{,}84) = 2{,}46\ ^\circ\text{C}$;

$\Delta t_{K_2} = 0{,}1\ (43{,}4 - 21{,}98) = 2{,}14\ ^\circ\text{C}$;

$\Delta t_{K_3} = 0{,}1\ (43{,}4 - 15{,}07) = 2{,}83\ ^\circ\text{C}$.

7. Определяем время испытаний на каждом ускоренном режиме:

$$\tau_{y_j} = \tau_{H_j} \left(\frac{\vartheta_{H_j}}{\vartheta'_y}\right)^{1+ab} \left(\frac{t_{H_j}}{t_y + \Delta t_{K_j}}\right)^{a_1};$$

$$\tau_{y_1} = 100 \left(\frac{18{,}84}{43{,}4}\right)^{0,76} \left(\frac{65}{110+2{,}46}\right)^{2,4} = 14{,}30 \text{ ч};$$

$$\tau_{y_2} = 142{,}8 \left(\frac{21{,}98}{43{,}4}\right)^{0,76} \left(\frac{80}{110+2{,}14}\right)^{2,4} = 37{,}95 \text{ ч};$$

$$\tau_{y_3} = 133{,}3 \left(\frac{15{,}07}{43{,}4}\right)^{0,76} \left(\frac{100}{110+2{,}83}\right)^{2,4} = 44{,}94 \text{ ч}.$$

8 Проверяем суммарную эквивалентность по старению резиновых уплотнений на длительных и ускоренных режимах:

$$|\Delta| = \left| \frac{\sum_{j=1}^{j} \tau_y^{ст.пр} - \sum_{j=1}^{j} \tau_H^{ст.пр}}{\sum_{j=1}^{j} \tau_y^{ст.пр}} \right| 100,$$

$$|\Delta| \leq 5\%.$$

$$\sum_{j=1}^{j} \tau_{H_j}^{ст.пр} = \frac{\tau_{H_1}}{ПК_{ст}\,50\ .\ 110} + \frac{\tau_{H_2}}{ПК_{ст}\,80\ .\ .\ .110} + \frac{\tau_{H_3}}{ПК_{ст}\,100\ .\ 110};$$

№ изм. № изв
4835
Инв № дубликата Инв № подлинника

$$\sum_{j=1}^{j} \tau_{H_j}^{ст\,пр} = \frac{100}{67,79} + \frac{142,8}{6,56} + \frac{133,3}{1,8} = 97,3 \text{ ч.}$$

$$\sum_{j=1}^{j} \tau_{y_j}^{ст.пр} = \tau_{y_1} ПК_{ст\ 110.\ \ 112,46} + \tau_{y_2} ПК_{ст\ 110..\ 112,14} + \tau_{y_3} ПК_{ст\ 110...112,83}$$

$$ПК_{ст\ 110...112,46} = 1,72^{0,246} = 1,14;$$

$$ПК_{ст\ 110..\ 112,14} = 1,72^{0,214} = 1,12;$$

$$ПК_{ст\ 110..\ 112,83} = 1,72^{0,283} = 1,16;$$

$$\sum_{j=1}^{j} \tau_{y_j}^{ст.пр} = 14,3 \cdot 1,14 + 37,95 \cdot 1,12 + 44,94 \cdot 1,16 = 111 \text{ ч;}$$

$$|\Delta| = \left| \frac{111 - 97,3}{111} \right| 100 = 12,3\%.$$

9. Уточняем скорость движения выходного звена на ускоренном режиме:

$$v_y = v_y' \left(\frac{\sum_{j=1}^{j} \tau_{y_j}^{ст\,пр}}{\sum_{j=1}^{j} \tau_{H_j}^{ст.пр}} \right);$$

$$v_y = 43,4 \left(\frac{111}{97,3} \right) = 49,5 \text{ мм/с.}$$

10. Определяем приращение температуры в резиновом уплотнении от увеличения скорости движения выходного звена на каждом ускоренном режиме:

$$\Delta t_{K_1} = 0,1\ (49,5 - 18,84) = 3,0\ ^{\circ}C;$$

$$\Delta t_{K_2} = 0,1\ (49,5 - 21,98) = 2,7\ ^{\circ}C;$$

$$\Delta t_{K_3} = 0,1\ (49,5 - 15,07) = 3,4\ ^{\circ}C$$

11 Определяем время испытаний на ускоренных режимах:

$$\tau_{y_1} = 100 \left(\frac{18,84}{49,5} \right)^{0,76} \left(\frac{65}{110+3} \right)^{2,4} = 12,63 \text{ ч;}$$

$$\tau_{y_2} = 142,8 \left(\frac{21,98}{49,5} \right)^{0,76} \left(\frac{80}{110+2,7} \right)^{2,4} = 34,45 \text{ ч;}$$

$$\tau_{y_3} = 133,3 \left(\frac{15,07}{49,5} \right)^{0,76} \left(\frac{100}{110+3,4} \right)^{2,4} = 40,00 \text{ ч.}$$

12. Проверка суммарной эквивалентности по старению резиновых уплотнений на длительных и ускоренных режимах:

$$|\Delta| = \left| \frac{\sum_{j=1}^{j} \tau_{y_j}^{ст\,пр} - \sum_{j=1}^{j} \tau_{H_j}^{ст\,пр}}{\sum_{j=1}^{j} \tau_{y_j}^{ст.пр}} \right| 100,$$

$$|\Delta| \leq 5\%;$$

№ изм | № изв. | 4835 | Инв. № дубликата | Инв. № подлинника

$$\sum_{j=1}^{i} \tau_{Hj}^{ст.пр} = 97{,}3 \text{ ч.}$$

$$\sum_{j=1}^{i} \tau_{yj}^{ст.пр} = \tau_{y_3} ПК_{ст\ 110\ ..113} + \tau_{y_2} ПК_{ст\ 110\ ..112{,}7} + \tau_{y_3} ПК_{ст\ 110\ \ 113{,}4};$$

$$ПК_{ст\ 110\ ..113} = 1{,}72^{0{,}3} = 1{,}18;$$

$$ПК_{ст\ 110\ ..112{,}7} = 1{,}72^{0{,}27} = 1{,}15;$$

$$ПК_{ст\ 110\ ..113{,}4} = 1{,}72^{0{,}34} = 1{,}20;$$

$$\sum_{j=1}^{i} \tau_{yj}^{ст.пр} = 12{,}63 \cdot 1{,}18 + 34{,}45 \cdot 1{,}15 + 40 \cdot 1{,}2 = 102{,}33 \text{ ч;}$$

$$|\Delta| = \left| \frac{98{,}42 - 97{,}3}{98{,}42} \right| 100 = 4{,}9\%.$$

Эквивалентность по старению резиновых уплотнений обеспечивается.

13 Определяем амплитуду перемещений выходного звена общую для всех ускоренных режимов:

$$A_y = \frac{\sum_{j=1}^{i} A_{Hj}\ n_{Hj}}{\sum_{j=1}^{i} n_{Hj}};$$

$$A_y = \frac{15 \cdot 72000 + 35 \cdot 51400 + 8 \cdot 144000}{72000 + 51400 + 144000} = 15 \text{ мм.}$$

14. Определяем количество циклов перемещений выходного звена на ускоренных режимах:

$$n_{y_j} = n_{Hj} \frac{A_{Hj}}{A_y} \left(\frac{\vartheta_{Hj}}{\vartheta_y} \right)^{ab} \left(\frac{t_{Hj}}{\tau_y + \Delta t_{Kj}} \right)^{a_1};$$

$$n_{y_1} = 72000 \frac{15}{15} \left(\frac{18{,}84}{49{,}5} \right)^{-0{,}24} \left(\frac{65}{110+3} \right)^{2{,}4} = 24064 \text{ цикла;}$$

$$n_{y_2} = 51400 \frac{35}{15} \left(\frac{21{,}98}{49{,}5} \right)^{-0{,}24} \left(\frac{80}{110+2{,}7} \right)^{2{,}4} = 63803 \text{ цикла;}$$

$$n_{y_3} = 144000 \frac{8}{15} \left(\frac{15{,}07}{49{,}5} \right)^{-0{,}24} \left(\frac{100}{110+3.4} \right)^{2{,}4} = 75190 \text{ циклов.}$$

$$\sum_{j=1}^{i} n_{yj} = 24064 + 63803 + 75190 \approx 163000 \text{ циклов.}$$

№ изм | № изв. | 4835 | Инв. № дубликата | Инв. № подлинника

15. Все ускоренные режимы объединяем в один режим с параметрами:

t = 110 °С, A = ±15 мм;

$$\tau = \sum_{j=1}^{j} \tau_{uj};$$

τ = 12,63 + 34,45 + 40 = 87,08 ч;

$$f = \frac{\vartheta_{„A"}}{2\pi A_{„A"}};$$

$$f = \frac{49,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 15} = 0,53 \text{ Гц}.$$

16. Уточняем количество циклов перемещений выходного звена на ускоренном режиме:

$$n = f\,3600\,\tau;$$

n = 0,53 · 3600 · 87,08 = 166000 циклов.

17. Определяем среднее значение нагрузки на выходном звене:

$$R^{ср} = \frac{\sum_{j=1}^{j} n_{Hj} A_{Hj} (R_{Hj}^{ср})}{A\,n};$$

$$R^{ср} = \frac{72000 \cdot 15\ 735,5 + 51400\ 35 \cdot 981 + 144000 \cdot 8 \cdot 490,5}{166000\ 15} = 1256 \text{ Н};$$

$$\left(R_{„A"}^{ср} = \frac{72000 \cdot 15\ 75 + 51400\ 35 \cdot 100 + 144000 \cdot 8 \cdot 50}{166000\ 15} = 128 \text{ кгс}\right)$$

18. Проверяем суммарную эквивалентность по накоплению усталостных повреждений на длительных и ускоренном режимах для выходного звена:

$$\Delta D = \left[\frac{n(R^{пр})^6}{\sum_{j=1}^{j} n_{Hj} (R_{Hj}^{пр})^6} - 1\right] 100;$$

$$-10\% \leqslant \Delta D \leqslant 200\%;$$

$$\Delta D = \left[\frac{166000 \cdot 2512^6}{72000 \cdot 1471^6 + 51400 \cdot 1962^6 + 144000 \cdot 981^6} - 1\right] 100 = 998\%;$$

№ изм. | № изв | 4835 | Инв. № дубликата | Инв. № подлинника

$$\frac{166000 \cdot 256^6}{72000 \cdot 150^6 + 51400 \cdot 200^6 + 144000 \cdot 100^6} - 1 \Bigg| 100 = 998\% \Bigg).$$

ность по накоплению усталостных повреждений на длительных
жимах для выходного звена не обеспечивается.

блюдения эквивалентности по накоплению усталостных повреждений
ников на длительных и ускоренном режимах в соответствии с фор-
(54) методом последовательных приближений определяем нагрузку
ене.

аем нагрузку на выходном звене $R = \pm 2011$ Н (± 205 кгс).

яем суммарную эквивалентность по износу выходных силовых
длительных и ускоренном режимах:

$$\Im = \left| \frac{n A (R^{cp})^3}{\sum_{j=1}^{i} n_{Hj} A_{Hj} (R_{Hj}^{cp})^3} - 1 \right| 100,$$

$$|\Delta \Im| \leq 20\%;$$

$$\frac{166000 \cdot 15 \cdot 1005{,}5^3}{72000 \cdot 15 \cdot 735{,}5^3 + 51400 \cdot 35 \cdot 981^3 + 144000 \cdot 8 \cdot 490{,}5^3} -$$

1,4%;

$$\frac{166000 \cdot 15 \cdot 102{,}5^3}{0 \cdot 15 \cdot 75^3 + 51400 \cdot 35 \cdot 100^3 + 144000 \cdot 8 \cdot 50^3} - 1 \Bigg| 100 = 11{,}4\% \Bigg).$$

ость по износу выходных силовых подшипников на длительных
жиме обеспечивается.

ем суммарную эквивалентность по накоплению усталостных пов-

$$\Delta D = \left[\frac{166000 \cdot 2011^6}{72000 \cdot 1471^6 + 51400 \cdot 1962^6 + 144000 \cdot 981^6} - 1 \right] 100 = 190\%;$$

$$\left(\Delta D = \left[\frac{166000 \cdot 205^6}{72000 \cdot 150^6 + 51400 \cdot 200^6 + 144000 \cdot 100^6} - 1 \right] 100 = 190\% \right).$$

Эквивалентность по накоплению усталостных повреждений на режимах длительных и ускоренных испытаний для выходного звена обеспечивается.

23. Определяем экспериментально давления в полостях цилиндра и перепад давления рабочей жидкости на поршне для каждого канала гидропривода на длительных и ускоренном режимах. Результаты вписываем в табл. 2.

24. Определяем приведенные давления на каждом длительном и ускоренном режимах:

$$P_j^{пр} = \sqrt{P_j^{max} \left(P_j^{max} - P_j^{min} \right)}.$$

Результаты вписываем в табл. 3.

№ изм. | № изв. | 4835 | Инв. № дубликата | Инв. № подлинника

Таблица 2

Режим	Номер режима	Давление рабочей жидкости, МПа (кгс/см^2)													
		Канал I							Канал II						
		Полость 1		Полость 2		Поршень 1			Полость 1		Полость 2		Поршень 2		
		P_{I-1}^{max}	P_{I-1}^{min}	P_{I-2}^{max}	P_{I-2}^{min}	ΔP_I^{max}	ΔP_I^{min}	ΔP_I^{cp}	P_{II-1}^{max}	P_{II-1}^{min}	P_{II-2}	P_{II-2}^{min}	ΔP_{II}^{max}	ΔP_{II}^{min}	ΔP_{II}^{cp}
Длительный	1	14,70 (150,00)	12,95 (132,00)	8,88 (90,5)	8,68 (88,50)	6,03 (61,5)	4,07 (41,50)	5,05 (51,50)	15,70 (160)	13,73 (140,0)	11,77 (120)	11,57 (118,0)	4,12 (42,0)	1,96 (20,0)	3,04 (31,0)
	2	14,22 (145,00)	13,05 (133,00)	9,81 (100,0)	9,42 (96,00)	4,81 (49,0)	3,24 (33,0)	4,02 (41,00)	14,91 (152)	13,83 (141,0)	10,99 (112)	10,70 (109,0)	4,22 (43,0)	2,84 (29,0)	3,53 (36,0)
	3	15,20 (155,00)	14,70 (150,00)	10,20 (104,0)	9,81 (100,00)	5,39 (55,0)	4,51 (46,00)	4,95 (50,50)	15,70 (160)	14,86 (151,5)	11,28 (115)	11,13 (113,5)	4,56 (46,5)	3,58 (36,5)	4,07 (41,5)
Ускоренный	–	12,40 (126,48)	12,32 (125,66)	6,96 (71,0)	6,86 (69,97)	5,54 (56,5)	5,36 (54,67)	5,45 (55,59)	15,70 (160)	13,93 (142,0)	9,81 (100)	9,61 (98,0)	6,08 (62,0)	4,12 (42,0)	5,10 (52,0)

Инв. № дубликата

Инв. № подлинника 4885

№ изм.

№ изм.

Таблица 3

Режим	Номер режима	Значения приведенного давления, МПа (кгс/см^2)			
		Канал I		Канал II	
		Полость 1	Полость 2	Полость 1	Полость 2
Длительный	1	51,00 (52,0)	1,31 (13,40)	5,55 (56,6)	1,52 (15,5)
	2	4,09 (41,70)	1,96 (20,00)	4,02 (41,0)	1,79 (18,3)
	3	2,73 (27,80)	2,00 (20,40)	3,61 (36,8)	1,28 (13,1)
Ускоренный	–	1,00 (10,2)	0,83 (8,55)	5,27 (53,7)	1,38 (14,1)

25. Критичной является первая полость второго канала, имеющая максимальные значения $P_{пр}$ на длительных и ускоренном режимах.

26. Проверяем эквивалентность длительных и ускоренных испытаний по накоплению усталостных повреждений:

$$\Delta D = \left[\frac{n \left(p^{пр}\right)^m}{\sum\limits_{j=1}^{i} n_{нj} \left(P_{нj}^{пр}\right)^m} - 1 \right] 100,$$

$$-10\% \leqslant \Delta D \leqslant 200\%$$

$$\Delta D = \left[\frac{166000 \cdot 5,27^6}{72000 \cdot 5,55^6 + 51400 \cdot 4,02^6 + 144000 \;\; 3,61^6} - 1 \right] 100 = 36\%,$$

$$\left(\Delta D = \left[\frac{166000 \cdot 53,7^6}{72000 \cdot 56,6^6 + 51400 \cdot 41^6 + 144000 \cdot 36,8^6} - 1 \right] 100 = 36\% \right).$$

27. Определяем переменные (ΔP_{aj}) и постоянные (ΔP_{mj}) составляющие перепадов давления рабочей жидкости на поршне в каждом канале и приведенные перепады давления ($\Delta P_j^{пр}$) на каждом длительном и ускоренном режиме:

$$\Delta P_{aj} = \frac{\Delta P_j^{max} - \Delta P_j^{min}}{2};$$

$$\Delta P_{mj} = \frac{\Delta P_j^{max} + \Delta P_j^{min}}{2};$$

№ изм. № изв. 4835 № дубликата № подлинника

$$\Delta P_j^{пр} = |\Delta P_{aj}| + \psi |\Delta P_{mj}|.$$

Результаты сводим в табл. 4.

28. Критичным каналом на длительных режимах является первый канал, на ускоренном режиме – второй канал.

29. Проверяем эквивалентность длительных и ускоренных испытаний по накоплению усталостных повреждений:

$$\Delta D = \left[\frac{n (\Delta P^{пр})^m}{\sum_{j=1}^{j} n_{нj} (\Delta P_{нj}^{пр})^m} - 1 \right] 100,$$

$$-10\% \leq \Delta D \leq 200\%;$$

$$\Delta D = \left[\frac{166000 \cdot 2^6}{72000 \cdot 2,26^6 + 51400 \cdot 1,59^6 + 144000 \cdot 1,43^6} - 1 \right] 100 = -7\%;$$

$$\left(\Delta D = \left[\frac{166000 \cdot 20,4^6}{72000 \cdot 23^6 + 51400 \ \ 16,2^6 + 144000 \cdot 14,6^6} - 1 \right] 100 = -7\% \right).$$

Таблица 4

Режим	Номер режима	Перепад давления рабочей жидкости, МПа (кгс/см^2)					
		Канал I			Канал II		
		ΔP_{a_I}	ΔP_{m_I}	$\Delta P_I^{пр}$	$\Delta P_{a_{II}}$	$\Delta P_{m_{II}}$	$\Delta P_{II}^{пр}$
Длительный	1	0,98 (10,00)	5,05 (51,50)	2,26 (23,00)	1,08 (11)	3,04 (31,0)	1,69 (17,2)
	2	0,78 (8,00)	4,02 (41,00)	1,59 (16,20)	0,69 (7)	3,53 (36,0)	1,39 (14,2)
	3	0,44 (4,50)	4,95 (50,50)	1,43 (14,60)	0,49 (5)	4,07 (41,5)	1,30 (13,3)
Ускоренный	–	0,09 (0,92)	5,45 (55,59)	1,18 (12,04)	0,98 (10)	5,10 (52,0)	2,00 (20,4)

№ изм. № изв. 4835 Инв. № дубликата Инв. № подлинника

30. Проверяем эквивалентность длительных и ускоренных испытаний по износу подшипников, нагружаемых внутренними нагрузками рассогласование каналов).

$$|\Delta J| = \left| \frac{A\ n\ (\Delta P^{cp})^3}{\sum_{j=1}^{j} A_{Hj}\ n_{Hj}\ (\Delta P_{Hj}^{cp})^3} - 1 \right| 100,$$

$$|\Delta J| \leq 20\%;$$

$$|\Delta J| = \left| \frac{15 \cdot 166000 \cdot 5{,}45^3}{15 \cdot 72000 \cdot 5{,}05^3 + 35 \cdot 51400 \cdot 4{,}02^3 + 8 \cdot 144000 \cdot 4{,}95^3} - 1 \right| \times$$

$\times 100 = 0{,}75\%;$

$$\left(|\Delta J| = \left| \frac{15 \cdot 166000\ 55{,}59^3}{15 \cdot 72000 \cdot 51{,}5^3 + 35 \cdot 51400 \cdot 41^3 + 8 \cdot 144000 \cdot 50{,}5^3} - 1 \right| \times \right.$$

$\left. \times 100 = 0{,}75\% \right).$

Эквивалентность по износу подшипников, нагружаемых перепадом давления, на режимах длительных и ускоренных испытаний обеспечивается.

31 Результаты расчета сводятся в табл. 5.

Таблица 5

Наименование параметра	Численное значение
Амплитуда перемещений выходного звена, мм	±15 ±1
Частота перемещений выходного звена, Гц	0,5 ± 0,05
Нагрузка на выходном звене, Н (кгс)	±2011 ±200 (±205 ±20)
Температура рабочей жидкости, °С	110±5
Температура окружающей среды, °С	25±10
Количество циклов	166000
Длительность режима, ч	87,08

№ изм. № изв.
Инв. № дубликата 4835
Инв. № подлинника

ПРИЛОЖЕНИЕ 9
Справочное

ПРИМЕР РАСЧЕТА РЕЖИМОВ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ МНОГОКАНАЛЬНЫХ (МНОГОКАМЕРНЫХ) ГИДРОПРИВОДОВ НА УСТАЛОСТЬ ЗА НАЗНАЧЕННЫЙ РЕСУРС

1. В качестве примера по определению режимов ускоренных испытаний на усталость рассматривается нагружение двухканального гидропривода с последовательным расположением каналов

2. Рассматривается только определение эквивалентного нагружения гидропривода, имитирующее нагружение гидропривода внутренними силами. Эквивалентное нагружение гидропривода, реализующее нагружение внешними усилиями, либо задано в техническом задании, либо рассчитывается согласно разделу 7 настоящего стандарта.

3. Исходные данные для расчета режимов ускоренных испытаний, заданные в техническом задании (технических условиях), приведены в табл. 1.

Таблица 1

Номер режима	Амплитуда перемещения выходного звена, мм	Нагрузка на выходном звене, Н (кгс)	Температура, °С		Кол. циклов за назначенный ресурс
			окружающей среды	рабочей жидкости	
1	15 ± 1	0	25 ± 10	35^{+25}_{-10}	950000
2	30 ± 1	$\pm 156800 \pm 19600$ ($\pm 16000 \pm 2000$)	25 ± 10	35 ± 10	75000
3	10 ± 1	$\pm 127400 \pm 9800$ ($\pm 13000 \pm 1000$)	100 ± 10	105 ± 10	4862500

4. Для обоих каналов на всех режимах на различных регулировках золотников в пределах требований технических условий было проведено осциллографирование давления в полостях гидропривода и определены экспериментальные значения давлений по полостям и перепадов давлений на поршнях гидропривода. Значения их для регулировок золотников, дающих наибольшее нагружение различных групп деталей гидропривода, приведены в табл 2.

5. Определяем эквивалентное нагружение деталей из стальных сплавов, нагружаемых перепадом давления. По формулам (35) и (36) определяем постоянные и переменные составляющие перепада давлений ΔP_α и ΔP_m, по формуле (37) - приведенные перепады давлений. Коэффициент ψ принимаем равным 0,15.

№ изм. № изв. 4835 Инв. № дубликата Инв. № подлинника

Таблица 2

Номер режима	Давление рабочей жидкости, МПа (кгс/см^2)											
	Канал I						Канал II					
	Полость 1 (первая регулировка)		Полость 2 (вторая регулировка)		Поршень 1 (вторая регулировка)		Полость 1 (вторая регулировка)		Полость 2 (первая регулировка)		Поршень 2 (вторая регулировка)	
	P_{I-1}^{max}	P_{I-1}^{min}	P_{I-2}^{max}	P_{I-2}^{min}	ΔP_I^{max}	ΔP_I^{min}	P_{II-1}^{max}	P_{II-1}^{min}	P_{II-2}^{max}	P_{II-2}^{min}	ΔP_{II}^{max}	ΔP_{II}^{min}
1	17,76 (181)	13,34 (136)	14,22 (145)	5,89 (60)	15,60 (159)	1,18 (12)	13,34 (136)	4,61 (47)	18,54 (189)	14,71 (150)	16,58 (169)	4,32 (44)
2	13,73 (140)	5,49 (56)	17,36 (177)	8,83 (90)	12,07 (123)	-6,38 (-65)	7,45 (76)	0 (0)	26,58 (271)	16,87 (172)	26,19 (267)	10,59 (108)
3	14,81 (151)	7,85 (80)	15,60 (159)	5,89 (60)	10,20 (104)	-5,79 (-59)	6,57 (67)	0 (0)	26,09 (266)	17,36 (177)	26,09 (266)	13,14 (134)

6 Принимаем изменение давления в полостях гидропривода при ускоренных испытаниях от 0,49 до 19,62 МПа (от 5 до 200 кгс/см^2). Соответственно перепад давления на поршнях гидропривода при ускоренных испытаниях

$\Delta P_{экв} = \pm 19$ МПа (± 195 кгс/см^2)

7 Определяем эквивалентное число циклов нагружения для стальных деталей, нагружаемых перепадом давления на поршне, по формуле (62). Показатель степени m принимаем равным 6 для ожидаемой долговечности не менее $3 \cdot 10^6$ циклов на всех режимах

8. Результаты расчетов по пп. 5 – 7 сведены в табл 3

9. Определяем число циклов испытания по формуле (58). Для одного испытываемого образца принимаем коэффициент $\eta_4 = 5$ и $\eta_2 = 1,2$, тогда $\eta_\Sigma = \eta_2 \cdot \eta_4 = 6$.

Зачетное число циклов при испытании для стальных нерезервированных деталей, нагружаемых перепадом давления на поршне, соответственно будет:

– для канала I – 249000 циклов;

– для канала II – 452280 циклов.

Коэффициент надежности для двух испытываемых образцов при $\eta_4 = 4$ и $\eta_2 = 1$ (разрушение одного из образцов не приводит к усложнению полета) $\eta_\Sigma = 4$.

Зачетное число циклов для стальных резервированных деталей, нагружаемых перепадом давления на поршне, составляет:

$$n_y = \eta_\Sigma n_{экв\,max} = 4 \cdot 75380 = 301520 \text{ циклов.}$$

Примечание. Ожидаемая долговечность на режимах при условии отработки без разрушения 452280 циклов на эквивалентном режиме будет $N_{j\,ожид} = 452280 \left(\dfrac{\Delta P^{пр}_{экв}}{\Delta P^{пр}_{j}} \right)^4$

и соответственно составит: $17,22 \cdot 10^6$; $4,86 \cdot 10^6$; $7,69 \cdot 10^6$ циклов, что подтверждает правильность выбора степени $m = 6$ (с некоторым запасом по режиму 1).

№ изм. № изв. 4835 Инв. № дубликата Инв. № подлинника

Инв № дубликата		№ изм.										
Инв № подлинника	4835	№ изв.										

Таблица 3

Номер режима	Кол. циклов за назначенный ресурс	Канал I				Канал II			
		Поршень 1			эквивалентное число циклов нагружения	Поршень 2			Эквивалентное число циклов нагружения
		ΔP_{a_I}	ΔP_{m_I}	$\Delta P_I^{пр}$		$\Delta P_{a_{II}}$	$\Delta P_{m_{II}}$	$\Delta P_{II}^{пр}$	
		МПа (кгс/см^2)				МПа (кгс/см^2)			
1	950000	7,21 (73,5)	8,39 (85,5)	8,47 (86,3)	7140	6,13 (62,5)	10,447 (106,5)	7,70 (78,5)	4040
2	75000	9,22 (94,0)	2,84 (29,0)	9,65 (98,4)	1240	7,80 (79,5)	18,390 (187,5)	10,55 (107,6)	2120
3	4862500	7,99 (81,5)	2,21 (22,5)	8,33 (84,9)	33120	6,47 (66,0)	19,620 (200,0)	9,42 (96,0)	69220

Итого циклов: 41500 75380

10. Эквивалентное нагружение сухаря и втулки, нагружаемых перепадом давлений, между каналами, определено аналогично (см. пп. 5-9) и приведено в табл. 4.

Таблица 4

Номер режима	Кол. циклов за назначенный ресурс	$\Delta P^{max}_{кан}$	$\Delta P^{min}_{кан}$	$\Delta P_{а\,кан}$	$\Delta P_{т\,кан}$	$\Delta P^{пр}_{кан}$	Эквивалентное число циклов нагружения
		МПа (кгс/см^2)					
1	950000	4,80 (49)	-1,47 (-15)	3,14 (32)	1,67 (17)	3,38 (34,5)	29
2	75000	13,34 (136)	7,26 (74)	3,04 (31)	10,30 (105)	4,58 (46,7)	14
3	4862500	12,46 (127)	6,87 (70)	2,75 (28)	9,61 (98)	4,24 (43,2)	574

Итого циклов: 617

Перепад давлений между каналами определен по осциллограммам (см. п. 4).

Эквивалентный перепад давлений $\Delta P^{пр}_{экв}$ между каналами при принятом давлении испытаний от 0,49 до 19 62 МПа (от 5 до 200 кгс/см^2) составляет $\Delta P_{экв} = \pm 19$ МПа (± 195 кгс/см^2).

Зачетное число циклов при испытании нерезервированных стальных сухаря и втулки ($\eta_{\Sigma} = 6$) составляет $n_{y_2} = 6 \cdot 617 = 3702$ цикла.

11. Определяем эквивалентное нагружение деталей из стальных сплавов, нагружаемых давлением в полостях, по формуле (33) определяем $P^{пр}$.

Приведенное давление в полостях при ускоренных испытаниях составляет:

$P^{пр}_{экв} = 0 \ldots 19{,}37$ МПа ($0 \ldots 197{,}5$ кгс/см^2).

Результаты расчетов приведены в табл. 5.

Таблица 5

Номер режима	$P^{пр}$, МПа (кгс/см^2)	$n_{экв}$	$P^{пр}$, МПа (кгс/см^2)	$n_{экв}$	$P^{пр}$, МПа (кгс/см^2)	$n_{экв}$	$P^{пр}$, МПа (кгс/см^2)	$n_{экв}$
	Полость 1-1		Полость 1-2		Полость 2-1		Полость 2-2	
1	8,86 (90,3)	8680	10,89 (111,0)	29940	10,79 (110)	28360	8,44 (86,0)	6480
2	10,64 (108,5)	2060	12,17 (124,1)	4620	7,45 (76)	240	16,09 (164,0)	24590
3	10,16 (103,6)	101300	12,31 (125,5)	320120	6,57 (67)	7400	15,09 (153,8)	1084300
Итого циклов:		112040		354680		36000		1115370

№ изм. № изв. 4835 Инв. № дубликата Инв. № подлинника

12. Зачетное число циклов при испытании для стальных нерезервированных деталей, нагружаемых давлением в полостях (η_{Σ} = 6), составляет:

$$n_{y_3} = \eta_{\Sigma}\, n_{экв\,max} = 6 \cdot 1115370 = 6692220 \text{ циклов.}$$

Зачетное число циклов при испытании для стальных резервированных деталей, нагружаемых давлением в полостях (η_{Σ} = 4), составляет:

$$n_{y_4} = 4\ 1115370 = 4461480 \text{ циклов.}$$

Если имеются детали, выполненные из других материалов, то для них определяется свое эквивалентное число циклов.

Результаты расчета по пп 9, 10, 12 приведены в табл. 6.

Таблица 6

Группа деталей	Эквивалентная нагрузка, МПа (кгс/см^2)	Число образцов	Зачетное число циклов
Давление в цилиндре	0,49. .19,62	1	6692220
	(5. . .200)	2	4461480
Перепад давления в каналах	±19	1	452280
	(±195)	2	301520
Перепад давления между каналами	±19 (±195)	1	3702

13. Максимальное число циклов при ускоренных испытаниях на усталость n_y^{max} = 6692220 циклов

Реализация нагружений внутренними силами производится:

– для деталей, нагружаемых перепадом давления между каналами, – на ступени нагружения нагрузкой на выходном звене;

– для деталей, нагружаемых давлением и перепадом давления в каналах, – на ступенях нагружения нагрузкой на выходном звене и нагружения давлением в полостях, когда давление подается одновременно в обе средние камеры, а затем – в обе крайние камеры (за счет регулировки в противофазе золотников распределительных устройств).

14. Для защиты сопротивления усталости деталей, зачетное число циклов испытаний которых меньше n_y^{max}, при необходимости оговариваются промежуточные разборки и осмотры.

Разрушение деталей после наработки ими зачетного числа циклов не является браковочным признаком.

№ изм. № изв. 4835 Инв. № бликата Инв. № цинника
gost.e-ecolog.ru