

УДК 621.664

Ю.В. Кулешков, проф., канд. техн. наук, Т.В. Руденко, канд. техн. наук,
М.В. Красота, доц., канд. техн. наук, В.В. Русских, доц., канд. техн. наук,
К.Ю. Кулешкова, инженер

Кировоградский национальный технический университет

Ресурсные испытания шестеренного насоса с увеличенным удельным рабочим объемом

В статье представлены результаты проведения ресурсных испытаний шестеренных насосов с увеличенным удельным рабочим объемом. Приведена методика ускоренных ресурсных испытаний, методики расчета технического, среднего и гамма-процентного ресурса. Проведен анализ изменения коэффициента подачи насоса в зависимости от времени наработки.

шестеренный насос, удельный рабочий объем, ресурс, коэффициент подачи насоса

Методика проведения ускоренных ресурсных стендовых испытаний. Цель проведения ускоренных стендовых ресурсных испытаний состояла в определении технического ресурса экспериментального НШ с увеличенным удельным рабочим объемом (УУРОН) и сравнении полученного результата с серийным насосом.

Технический ресурс экспериментального НШ с УУРОН может быть найден путем определения времени наработки насоса на ресурсный отказ, наступление которого определяется снижением коэффициента подачи насоса до предельного состояния. В соответствии с ГСТУ 3-25-180-97 [1] предельным состоянием НШ следует считать такое состояние, при котором номинальное значение коэффициента подачи, определенное техническими требованиями, уменьшится на 20%.

Первый этап – режим обкатки и испытания при использовании чистой рабочей жидкости в соответствии с ГОСТ 1862-84, режимы обкатки и испытания в соответствии с ГСТУ 3-25-180-97 [1]. Обкатку и испытание насосов проводили на стенде для исследования технических характеристик насосов DS 1036-4/N в соответствии с ДСТУ 2192-93 и ГОСТ 14658 – 86 на ПАТ “Гидросила”.

В процессе обкатки проверяется функционирование насоса, его герметичность, отсутствие подсосывания воздуха, коэффициент подачи и номинальная мощность по программе, предусмотренной в ГСТУ 3-25-180-97 [1].

После обкатки перед проведением ресурсных испытаний определяли коэффициент подачи - η_v и потребляемую мощность насоса - N . Определение этих показателей проводилось при следующих режимах:

Рабочее давление, МПа	16,0
Число оборотов, об/с	40
Рабочая жидкость	масло минеральное МГЕ-46В
Температура рабочей жидкости, °С	50±5°С.

После обкатки на указанных режимах и испытаний по основным техническим параметрам насосы ставились на ускоренные ресурсные испытания.

Ресурсным испытаниям подвергали девять экспериментальных насосов. Ускоренные ресурсные стендовые испытания проводилась на стенде ресурсных испытаний СИН-25 на Кировоградском ПАТ “Гидросила”.

Испытания проводилась в соответствии с методикой, изложенной в [1], которая предусматривает: ускорение ресурсных испытаний путем циклического изменения нагрузки испытуемого НШ от нуля до номинального значения (0...16 МПа) с частотой цикла 0,5...1,25 Гц. При этом скорость нарастания давления в гидравлической системе до номинальной величины не должна превышать 350 МПа/с, а во время снижения не больше 1000 МПа/с; общий объем испытаний не менее 10^6 циклов; испытания проводят в четыре этапа, продолжительность этапа должна быть $2,5 \cdot 10^5$ циклов. После каждого этапа ресурсных испытаний исследуемый определялся коэффициент подачи насоса.

Ресурсные испытания проводили в соответствии с режимами, представленными в таблице 1.

В ходе проведения стендовых испытаний контроль коэффициента подачи, общего КПД, проводили после проведения каждого из четырех этапов испытаний.

Представленная методика ресурсных испытаний обеспечивает ускорение испытаний с коэффициентом ускорения $K_{\text{уск}} = 10$.

Таблица 1 - Режимы ресурсных испытаний экспериментального НШ

Показатели режимов стендовых ресурсных испытаний НШ	Значения показателей
Давление, МПа	16
Частота вращения, с^{-1} (об/мин)	40 (2400)
Частота повторения цикла нагружения насоса, Гц	1,0
Количество этапов испытания	4
Продолжительность этапа испытания	$2,5 \cdot 10^5$ циклов ($2,5 \cdot 10^5$ с или приблизительно 70 ч.)
Общая продолжительность испытаний	10^6 циклов (10^6 с или приблизительно 280 ч.)
Коэффициент ускорения ресурсных испытаний	10
Температура рабочей жидкости, °С	не более 50
Рабочая жидкость	МГЕ 46В(ТУ 38.001347-83)

Методика определения технического ресурса при проведении стендовых ресурсных испытаний. Последовательность определения технического ресурса следующая:

1. Определение коэффициента подачи НШ перед проведением i -го этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний - η_{v0} .

2. Проведение i -го этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний по методике, приведенной выше.

3. Определение коэффициента подачи НШ после проведения i -го этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний - η_{vi} .

4. Определение скорости изменения коэффициента подачи экспериментального НШ с УУРОН при проведении i -го этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний по формуле

$$V_{\eta_i} = \frac{\eta_{v0} - \eta_{vi}}{K_{\text{уск}} \cdot t} = \frac{\Delta \eta_{vi}}{K_{\text{уск}} \cdot t}, \quad (1)$$

где η_{v0} - КП НШ перед проведением i -го этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний;

η_{vi} - КП НШ после проведения i -го этапа стендовых ресурсных ускоренных

испытаний;

t - продолжительность этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний,
 $t \approx 70$ час;

$K_{\text{уск}}$ - коэффициент ускорения стендовых ресурсных испытаний, $K_{\text{уск}} = 10$.

5. Сравнение полученного коэффициента подачи НШ после проведения i -го этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний с предельным, то есть определение справедливости неравенства

$$\eta_{v0} - \eta_{vi} < 0,2. \quad (2)$$

При этом, если неравенство (2) выполняется, то проводим II-й этап (следующий этап) стендовых ресурсных ускоренных испытаний.

6. Проведение N-го этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний по методике, которая представлена выше.

7. Определение КП НШ после проведения N - го этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний - η_{vN} .

8. Определение скорости изменения коэффициента подачи экспериментального НШ при проведенные N-го этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний по формуле

$$V_{\eta i} = \frac{\eta_{vN-1} - \eta_{vN}}{K_{\text{уск}} \cdot t} = \frac{\Delta \eta_{vN}}{K_{\text{уск}} \cdot t}, \quad (3)$$

где η_{vN-1} - коэффициента подачи НШ перед проведением (N- i)-го этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний;

η_{vN} - коэффициента подачи НШ после проведения N-го этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний;

9. Сравнение полученного коэффициента подачи НШ после проведения N-го этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний с предельным значением, то есть определение справедливости неравенства

$$\eta_{v0} - \eta_{vN} < 0,2. \quad (4)$$

При этом, если неравенство (2) выполняется, то проводим следующий (N+i)-й этап стендовых ресурсных ускоренных испытаний.

Если же неравенство (4) не выполняется, то есть выполняется неравенство вида

$$\eta_{v0} - \eta_{vN} > 0,2, \quad (5)$$

то технический ресурс НШ определяют по формуле

$$T = t \cdot N \cdot K_{\text{уск}} - \frac{\eta_{v2} - \eta_{vN}}{V_{\eta N}}, \quad (6)$$

где N - номер этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний;

$V_{\eta N}$ - скорость изменения КП НШ при проведении N-го этапа испытаний.

В случае, если насос не вырабатывает ресурс после очередного этапа испытаний технический ресурс НШ определяют в соответствии со следующей зависимости

$$T = t \cdot N \cdot K_{\text{уск}} + \frac{\eta_{v2} - \eta_{vN}}{V_{\eta N}}, \quad (7)$$

где N - номер этапа стендовых ресурсных ускоренных испытаний;

$V_{\eta N}$ - скорость изменения КП НШ при проведении N -го этапа испытаний.

Методика расчета среднего и гамма-процентного ресурса экспериментальных НШ. Результаты ускоренных стендовых испытаний НШ определяли как средний ресурс экспериментальной партии НШ. Средний ресурс наработки НШ \bar{O}_i определяли по известной формуле

$$\bar{T}_n = \frac{\sum_{i=1}^n T_{ni}}{n}, \quad (8)$$

где T_{ni} - наработка i -того насоса на ресурсный отказ, то есть к тому моменту, когда его коэффициент подачи достигнет предельного значения

$$\eta_{vz} = \eta_{vn} - 0,20, \quad (9)$$

где η_{vn} - номинальное значение коэффициента подачи НШ.

Обычно, при определении коэффициента подачи насосов, после наработки во время стендовых ускоренных ресурсных испытаний определенного количества часов оказывается, что их КП точно не отвечает равенству (9), а колеблется около этого значения. Для определения КП каждого насоса использовали интерполяцию для насосов, в которых $\eta_{vf} > \eta_{vnn}$ и экстраполяцию для тех насосов, в которых $\eta_{vf} < \eta_{vnn}$.

Более информативным показателем следует считать гамма - процентный ресурс. Расчет гамма – процентного ресурса проводили по методике, изложенной в [2], которая состоит в следующем.

Во-первых, предполагаем, что теоретический закон распределения ресурса машин подчиняется нормальному распределению. Тогда гамма - процентный ресурс рассчитывают по формуле

$$T_\gamma = \bar{T} - H_\gamma S_{a_i}, \quad (10)$$

где \bar{T} - средний ресурс НШ, час;

H_γ - квантиль нормального закона распределения;

S_{a_i} - стандартное отклонение единичного замера, которое определяется в соответствии с выражением

$$S_{a_i} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}{n-1}}, \quad (11)$$

где T_i - i -тое значение наработки на отказ, час;

n - число объектов исследования.

Результаты определения технического ресурса экспериментальных НШ с УУРОН. Результаты ускоренных стендовых испытаний экспериментального НШ показали, что скорость падения КП экспериментального НШ неравномерна и имеет тенденцию к нарастанию по мере изнашивания деталей насоса, что наглядно видно из графика, представленного на рис. 1.

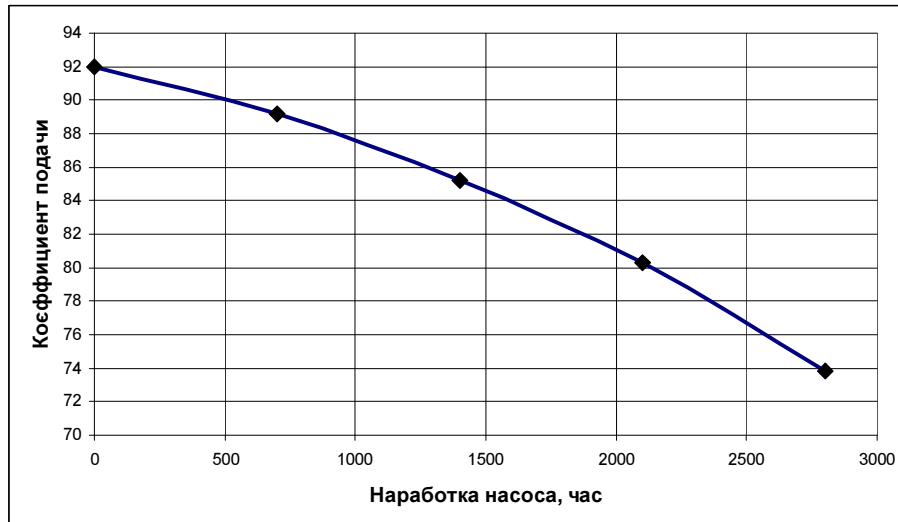


Рисунок 1 - Графік залежності зміни коефіцієнта подачі експериментального насоса НШ- 32 УУРОН від наработки

Середній ресурс експериментального НШ- 32 УУРОН, визначається в відповідності з виразом (8), становить 3060,0 годин, що, практично відповідає ресурсу серійного НШ, який за даними ГСТУ 3-25-180-97 [1] становить 3000 годин.

Гамма-процентний ($\gamma = 90\%$) ресурс експериментального НШ-32 УУРОН, визначається в відповідності з формулою (10), приймаючи $\bar{T} = 3060,0$ год, $H_{\gamma=90\%} = 1,282$, $S_{T_i} = 44,554$.

Тоді гамма - процентний ($\gamma = 90\%$) ресурс експериментального НШ-32 УУРОН, становить: $T_{\gamma} = 3060,0 - 1,282 \cdot 44,554 = 3003,0$ год, що практично збігається з гамма - процентним ресурсом серійного НШ, який в відповідності з ГСТУ 3-25-180-97 становить 3000 годин [1].

Стендові ресурсні випробування експериментальних НШ з УУРОН дозволили встановити, що швидкість падіння КП нерівномірна і має тенденцію до зростання за мірою зношування деталей насоса. Середній ресурс НШ з УУРОН становить 3060,0 годин, що практично збігається з середнім ресурсом серійного насоса, який становить 3000,0 годин. Гамма-процентний ($\gamma = 90\%$) ресурс НШ з УУРОН становить 3003,0 годин, що, практично збігається з гамма-процентним ресурсом серійного НШ, який становить 3000 годин.

Список літератури

1. Насоси шестеренні об'ємного гідроприводу. Технічні умови. ГСТУ 3-25-180-97. – К.: Мінпром політики України, 1998. – 48 с.
2. Методика стендових випробувань шестеренного насоса / [Кулешков Ю.В., Матвієнко О.О., Руденко Т.В. та ін] // збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету «Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація» – Кіровоград, КНТУ – 2011. – № 24 (ч.ІІ) – С. 97–110.
3. Черновол М.І., Кулешков Ю.В. Основні напрями вдосконалення шестеренних насосів сільськогосподарської техніки Вісник аграрної науки, серпень 2008 № 8 – С. 52 - 54.
4. Усовершенствование математической модели мгновенной подачи шестеренного насоса / [Кулешков Ю.В., Осин Р.А., Руденко Т.В., Матвиенко А.А.] // збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету «Техніка в сільськогосподарському

- виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація» – Кіровоград, КНТУ. – 2008. – № 20. – С. 253–262.
5. Кулешков Ю.В., Черновол М.І., Руденко Т.В. Гуцул В.І., Осін Р.А. Дослідження поведінки математичної моделі питомого робочого об'єму шестеренного насоса типу НШ від параметрів зубчастого зацеплення. Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація Випуск 23 Кіровоград 2010.- С. 278 – 390.
 6. Кулешков Ю.В., Руденко Т.В. Осін Р.А., Повышение удельной подачи шестеренного насоса. MOTROL Motorization and Power Industry in Agriculture/ Volume 11A/ Simferopol – Lublin 2009. S.193 – 206.
 7. Черновол М.І., Кулешков Ю.В. Оптимізація зубчастого зацеплення шестеренного насоса типу НШ у напрямі підвищення його питомого об'єму. Вісник аграрної науки, травень 2011, № 5. – С. 42 – 45.
 8. Шестеренные насосы с асимметричной линией зацепления шестерен / [Кулешков Ю.А., Черновол М.И., Без О.В., Титов Ю.А.] //Теория, конструкция и расчет – Кіровоград: «КОД», 2009. – 243 с.
 9. Гідроприводи об'ємні. Насоси об'ємні та гідромотори. ДСТУ 2192-93. – Загальні технічні вимоги. Чинний від 1.07.94 р.
 10. ГОСТ 13823-78 (СТ СЭВ 2576-80, СТ СЭВ 2577-80) Гидроприводы объемные, насосы объемные и гидромоторы. Общие технические требования. Государственный комитет СССР по стандартам.
 11. М.: 1978. – 7 с.
 12. Юдин Е.М. Шестеренные насосы. Основные параметры и их расчет/ Юдин Е.М. – [2-е изд. перераб. и доп.]. – М.: Машиностроение, 1964. – 236 с.
 13. Чиняев И.А. Роторные насосы: [справочное пособие] / Чиняев И.А. – Л.: Машиностроение, 1969. – 216 с.
 14. Артемьев Ю.Н. Качество ремонта и надежность машин в сельском хозяйстве. – М.: Колос, 1981. – 239 с.

Ю. Кулешков, Т. Руденко, М. Красота, В. Русских, К. Кулешкова

Ресурсні випробування шестеренного насоса із збільшеним питомим робочим об'ємом

В статті представлені результати проведення ресурсних випробувань шестеренних насосів із збільшеним питомим робочим об'ємом. Наведена методика прискорених ресурсних випробувань, методика розрахунку технічного, середнього і гамма-процентного ресурсу. Проведений аналіз зміни коефіцієнта подачі насоса в залежності від часу напрацювання

Y.Kuleshkov, T. Rudenko, M. Krasota, V. Russkih, K. Kuleshkova

Resource tests of cog-wheel pump with the megascopic specific swept volume

In the article the results of realization of resource tests of cog-wheel pumps are presented with the megascopic specific swept volume. Methodology over of speed-up resource tests, methodologies of calculation technical, middle and гамма-процентного resource, is brought. The analysis of change of coefficient of serve of pump is conducted depending on time of work.

Получено 21.09.12