

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ АДЕКВАТНОСТИ РАЗРАБОТАННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МГНОВЕННОЙ ПОДАЧИ ЖИДКОСТИ ШЕСТЕРЕННЫМ НАСОСОМ

© 2009 Л. В. Родионов, Г. О. Белов, М. В. Будько, А. Н. Крючков, Е. В. Шахматов

Самарский государственный аэрокосмический университет

В статье описывается экспериментальное подтверждение адекватности разработанной математической модели мгновенной подачи жидкости шестеренным насосом. Приводится краткая характеристика разработанного стендового оборудования.

Математическая модель, шестеренный насос, подача жидкости, гаситель колебаний

В работе [1] описана математическая модель определения мгновенной подачи жидкости шестеренным качающим узлом. Для подтверждения адекватности разработанной модели необходима экспериментальная проверка.

С этой целью была разработана экспериментальная установка (рис.1).



Рис. 1. Внешний вид стендовой установки

К баку емкостью 80 литров на фланце присоединен подкачивающий центробежный насос, обеспечивающий подкачку рабочей жидкости на вход в шестеренный насос (при необходимости изменения давления подкачки используется давление наддува бака). Рабочая жидкость поступает в шестеренный насос через отсечной кран и фильтр. Давление на входе и выходе из насоса контролируется с помощью манометров. Непосредственно у входа и выхода из насоса в трубопровод установлены датчики пульсаций давления для оценки динамических

процессов в области всасывания и нагнетания шестеренного насоса. После насоса на прямом участке трубопровода расположено ещё два датчика пульсаций давления.

В качестве измерительной системы использовался портативный 12-канальный анализатор вибрационных и акустических сигналов LMS SCADAS Mobile (SCM05). SCM05 – прибор для предварительного формирования сигнала, сбора данных и обработки сигнала в широком и разнотипном диапазоне.

Далее установлен гаситель колебаний, необходимый для корректного определения собственных характеристик шестеренного насоса как источника пульсаций рабочей среды при работе его с неотражающей нагрузкой, что фактически сводится к реализации режима «бегущей» волны в напорном трубопроводе [2]. Для контроля режима «бегущей» волны датчики расположены на одинаковом расстоянии друг от друга.

Данный режим реализован путем установки гасителя колебаний с постоянным активным сопротивлением (ПАС) и входным импедансом:

$$Z_{BX}^{ГАС} = Z_{TP}^B = \frac{\rho \cdot c}{S}, \quad (1)$$

где Z_{TP}^B - волновое сопротивление напорного трубопровода; ρ - плотность рабочей жидкости; c - скорость звука в среде; S - площадь поперечного сечения трубы [3].

Гаситель ПАС представляет собой параллельное соединение трубки с индуктив-

ностью L и байпасной емкости C , которая подключается через гидравлические сопротивления R . При выборе параметра $R = \sqrt{L/C} = Z_{TP}^B$ такой гаситель обладает постоянным входным активным сопротивлением, равным волновому сопротивлению трубы. При этом отражения волны от его входа не происходит и характеристики насоса (пульсации) определяются в режиме «бегущей» волны. Этот режим контролировался измерением пульсаций в трех точках трубы, частотные характеристики в которых не должны иметь резонансов.

Далее по потоку установлен магнитно – запорный кран (МЗК), необходимый для дискретного изменения площади проходного сечения и проведения исследований виброакустических характеристик системы при различных давлениях и расходах рабочей среды. Установка оснащена частотным приводом фирмы «Schneider» для обеспечения различных частот вращения привода насоса.

Разработанная установка позволяет исследовать динамические процессы в шестеренных насосных агрегатах.

Результатом расчета в математической модели являются временные зависимости пульсаций расхода и их спектральные характеристики. В результате проведения эксперимента получены временные зависимости пульсаций давления и их спектральные характеристики. Для сравнения данных, полученных при помощи моделирования, с экспериментальными данными, был осуществлен перевод пульсаций расхода в пульсации давления с использованием следующей зависимости:

$$\frac{A_p}{A_Q} = Z_{BX}^{ГАС}, \quad (2)$$

где A_p и A_Q - амплитуды пульсаций давления и расхода на искомой частоте.

Тогда, с учетом формулы (1), амплитуда пульсаций давления будет равна:

$$A_p = A_Q \cdot \frac{\rho \cdot c}{S}. \quad (3)$$

На созданной экспериментальной установке (рис. 1), при выполнении условия реализации режима «бегущей» волны (уста-

новке гасителя колебаний), был проведен эксперимент по определению пульсаций давления в гидромеханической системе с шестеренным насосом для подтверждения математической модели пульсаций расхода.

Апробация модели проведена на различных давлениях на выходе из ШН от 0,3 до 2,5 МПа и при различной частоте вращения от 500 до 3500 об/мин.

В результате проведенных экспериментов получены сигналы и спектры, сравнение которых с модельными приведено на рис. 2-5.

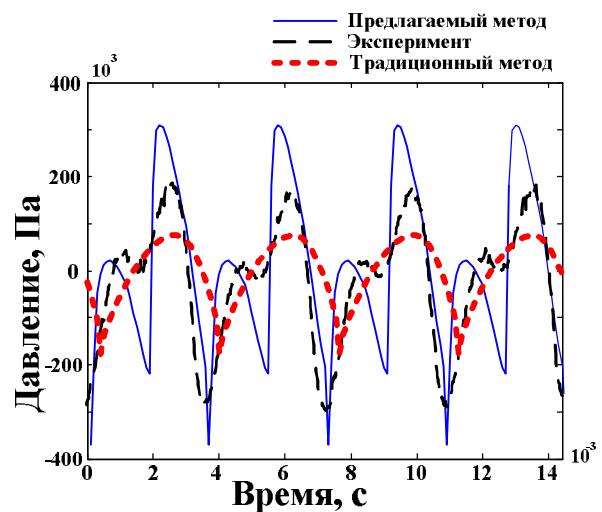


Рис. 2. Сравнение временных зависимостей пульсаций давления в области нагнетания при частоте вращения $n=1500$ об/мин

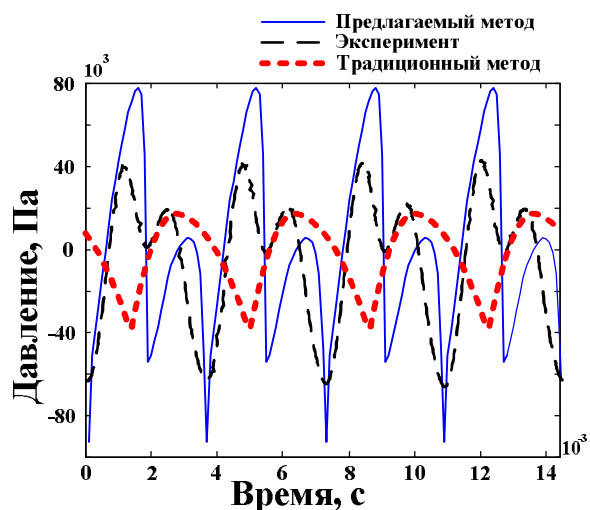


Рис. 3. Сравнение временных зависимостей пульсаций давления в области всасывания при частоте вращения $n=1500$ об/мин

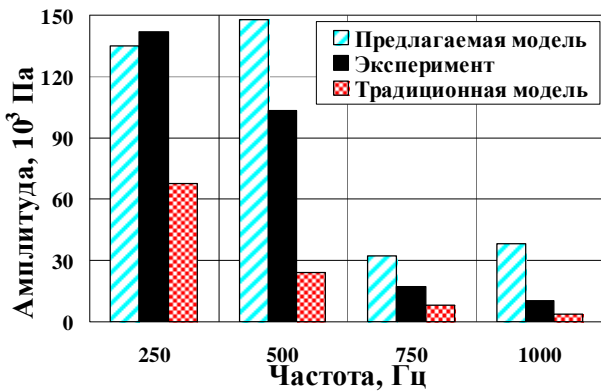


Рис. 4. Сравнение спектральных характеристик пульсаций давления в области нагнетания при частоте вращения $n=1500$ об/мин

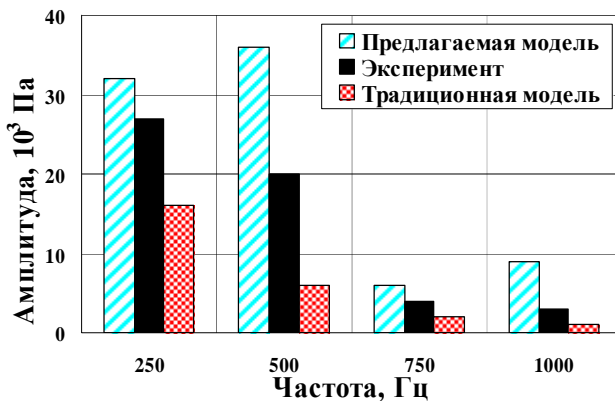


Рис. 5. Сравнение спектральных характеристик пульсаций давления в области всасывания при частоте вращения $n=1500$ об/мин

Сравнение по СКЗ амплитуды пульсаций давления предлагаемой и существующей моделей с экспериментом показало, что предлагаемая модель точнее существующей на 23%.

Адекватность модели оценивалась по критерию Фишера F .

В рассматриваемом случае значение критерия $F=1,19$. Для уровня значимости $q=0,05$ и $n-1=17$ $F_{табл}=3,59$. $F_{табл}>F$, что говорит об адекватности разработанной модели.

Результирующая приведенная погрешность измерений пульсаций давления в случае использования АЦП L-264 и рациональных приемов цифровой обработки составит:

$$\delta P_{пр} = \sqrt{0.5^2 + 0.5^2 + 0.091^2 + 0.75^2} \approx 1.1\%$$

Таким образом, использование предложенной математической модели позволяет точнее определить пульсационное состояние шестеренного качающего узла, а следовательно и определить такой важный показатель, как его ресурс.

Библиографический список

1. Родионов, Л.В. Математическое векторное моделирование пульсаций подачи жидкости шестеренным качающим узлом [Текст] / Л.В. Родионов, Б.Б. Косенок, А.Н. Крючков, Е.В. Шахматов // Известия СНЦ РАН. -Т.11, - 2009. - №3. - С. 252-261.
2. Артюхов, А.В. Методика определения динамических характеристик гидравлических насосов [Текст] / А.В. Артюхов, В.П. Шорин // Динамические процессы в силовых и энергетических установках летательных аппаратов: Сб. научн. тр. / Куйбышев. авиац. ин-т. – Куйбышев: 1988. – С. 70-77.
3. Шорин, В.П. Проектирование гасителей колебаний для гидравлических систем управления [Текст] / В.П. Шорин, А.Г. Ги-мадиев, Е.В. Шахматов // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1987. С. 127-133.

References

1. L.V. Rodionov, B.B. Kosenok, A.N. Kruchkov, E.V. Shakhmatov. Mathematical vector modelling of pulsation of supply of fluid by the gear pump // Izvestiya of Samara Science Center of Russian Acadimia of Science. Vol.11, - 2009. - #3. - pp. 252-261. [In Russian]
2. Artuhov A.V., Shorin V.P. Technique of definition of dynamic characteristics of hydraulic pumps // Dynamic processes in power and power plants of the aircrafts: The collection of proceedings / Kuybishev aviation institute – Kuybishev, 1988. – pp. 70-77. [In Russian]
3. Shorin V.P., Gimadiev A.G., Shakhmatov E.V. Designing of oscillation damperfor for hydraulic control systems: Izvestiya of Academy of Sciences of USSR. Power and transport. – 1987. pp. 127-133. [In Russian]

**EXPERIMENTAL ACKNOWLEDGEMENT OF ADEQUACY OF THE DEVELOPED
MATHEMATICAL MODEL OF INSTANT GIVING
OF THE LIQUID BY THE GEAR PUMP**

© 2009 L. V. Rodionov, G. O. Belov, M. V. Budko, A. N. Kruchkov, E. V. Shahmatov

Samara state aerospace university

In work is described experimental acknowledgement of adequacy of the developed mathematical model of instant giving of the liquid.

Mathematical model, gear pump, fluid supply, oscillation damper

Информация об авторах

Родионов Леонид Валерьевич, кандидат технических наук, ассистент кафедры «Автоматические системы энергетических установок» Самарского государственного аэрокосмического университета. E-mail: rl63@bk.ru. Область научных интересов: гидродинамика и виброакустика.

Белов Глеб Олегович, аспирант кафедры «Автоматические системы энергетических установок» Самарского государственного аэрокосмического университета. E-mail: glebbelov@mail.ru. Область научных интересов: гидродинамика и виброакустика.

Будько Михаил Владимирович, студент Самарского государственного аэрокосмического университета. E-mail: aseu@ssau.ru. Область научных интересов: гидродинамика шестеренных насосных агрегатов.

Крючков Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматические системы энергетических установок» Самарского государственного аэрокосмического университета. E-mail: kan@ssau.ru. Область научных интересов: расчёт и проектирование корректирующих устройств для пневмо- и гидросистем, виброакустика.

Шахматов Евгений Владимирович, доктор технических наук, профессор, проректор по науке и инновациям Самарского государственного аэрокосмического университета. E-mail: shakhm@ssau.ru. Область научных интересов: динамика пневмо- и гидросистем, виброакустика машин.

Rodionov Leonid Valeryevich, Candidate of Engineering Science, Lecturer of Department “Automatic systems of power plant” of Samara State Aerospace University. E-mail: rl63@bk.ru. Area of research: hydrodynamics and vibroacoustic.

Belov Gleb Olegovich, postgraduate student of Department “Automatic systems of power plant” of Samara State Aerospace University. E-mail: glebbelov@mail.ru. Area of research: hydrodynamics and vibroacoustic.

Budko Mihail Vladimirovich, student of Samara State Aerospace University. E-mail: aseu@ssau.ru. Area of research: hydrodynamics of gear pump.

Kruchkov Alexander Nikolaevich, doctor of the technical science, professor of Department “Automatic systems of power plant” of Samara State Aerospace University. E-mail: kan@ssau.ru. Area of research: calculation and designing of correcting devices for pneumo- and hydrosystems, vibroacoustic.

Shakhmatov Evgeniy Vladimirovich, doctor of the technical science, professor, pro-rector of science and innovation of Samara State Aerospace University. E-mail: shakhm@ssau.ru. Area of research: dynamics of hydraulic and pneumatic systems, vibroacoustic of machine.