

В.И.Большаков, И.Б.Листопадов

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОСИСТЕМЫ В РАСЧЕТНЫХ СХЕМАХ

Приведены результаты исследований гидросистемы на имитационных моделях. Показано влияние массы жидкости в трубопроводе и основной массы на точность результатов моделирования систем с различными расчетными схемами.

Динамические нагрузки в гидроприводе металлургических машин оказывают существенное влияние на их надежность и долговечность. При неблагоприятном сочетании комплекса динамических условий в их конструкциях и линиях привода возникают колебания, что приводит к нарушению технологических режимов работы машин, отказам основных узлов и деталей привода. Оценку величин нагрузок можно выполнить путем проведения натурных экспериментов на действующем оборудовании, однако чаще всего это увеличивает трудоемкость исследований и риск аварий. В то же время значительная часть исследований может выполняться расчетным путем, в том числе имитационным моделированием.

Общим для всех известных методик исследований является подготовка исходных данных (длины и сечения трубопроводов, их расположение и коммутация, наличие гидроэлементов и их характеристики, массы движущихся жестких звеньев, вид и параметры привода, условия эксплуатации), которые преобразуются в элементы расчетной схемы, необходимые для исследования гидромеханических систем. Источником информации для подготовки исходных данных являются гидравлические схемы (длины, сечения, расположение), паспортные (справочные) данные о характеристиках гидроэлементов, рабочие чертежи (массы, моменты инерции, коэффициенты передач). На этом этапе исследований серьезных различий методического характера обычно нет.

Различия появляются на стадии преобразования исходных данных в расчетные параметры, такие как, например, приведенная масса жидкости, учет свойств жидкости. Вид и значения расчетных параметров зависят от выбора расчетной схемы, которая является основой математической и имитационной моделей. Некоторые авторы, например В.Е.Злобинский в работе [1] утверждают, что точное решение соответствует расчетной схеме, в которой жидкость в трубопроводах представлена распределенной по длине трубопровода массой. При использовании других расчетных схем решение, по мнению автора работы [1] является приближенным, с различным приближением к точному решению. Нами в работах [2,3] показано, что точность результатов исследований реальных гидромеханизмов с силовым приводом, в расчетных схемах которых масса жидкости в трубопроводе представлена в виде дискретных масс, при соблюдении опти-

мальной для решаемой задачи методики исследований, в сравнении с результатами эксперимента не ниже 10%.

Анализ публикаций, посвященных исследованиям гидромеханических систем, не позволяет оценить в полной мере достоинства и недостатки известных методик исследований и расчета и их составляющих и меру приближения результатов исследований к результатам эксперимента. Работ по сравнительному анализу методик исследований и расчета гидромеханических систем в части точности решения не проводилось.

При исследовании колебательных систем, в том числе и гидромеханических, определенную сложность составляет замена распределенной массы жидкости в трубопроводах дискретными массами. От количества дискретных масс в трубопроводе зависит расчетная схема исследуемого объекта, математическая и имитационные модели системы. Зависимость достоверности результатов исследования от количества дискретных масс в трубопроводе до настоящего времени изучена недостаточно.

Для определения точности динамических параметров, полученных в результате моделирования, нами проведено исследование гидромеханической системы, схема которой приведена на рис.1-а, представленной в виде одномассовой (рис.1-б) и двухмассовой (рис.1-в) моделей. Модели адаптированы по результатам экспериментальных исследований, содержащимся в работе [4]. Параметры моделей при адаптации и уравнения математических моделей систем приведены в работе [5]. На рис. 1 обозначено: m_0 – масса груза; m_1 – приведенная масса ($m_1 = m_0 + \rho(V_0 + F_0^2 l / 3 F_1)$); m_2 – масса жидкости ($m_2 = \rho F_1 l / 3$); F_0 – площадь плунжера; F_1 – площадь трубопровода; V_0 – объем гидроцилиндра; $C = EF_1^2 / (V_0 + F_1 l)$;

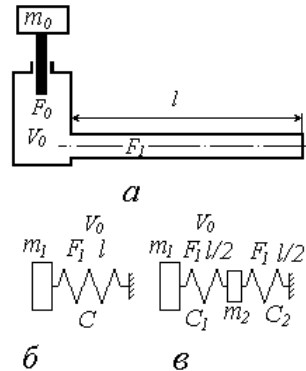


Рис.1. Расчетные схемы:
а – гидросистемы;
б – одномассовой модели;
в – двухмассовой модели

$C_1 = EF_1^2 / (V_0 + F_1 l / 2)$; $C_2 = EF_1^2 / F_1 l / 2$ – жесткости связей, E – приведенный модуль упругости жидкости и трубопровода.

Критериями оценки значений частот колебаний служили: для колебаний низшей частоты – расчетные значения частоты по уравнению $\beta = \sqrt{\frac{EF_1^2}{m_1(V_0 + F_1 l)}}$; для колебаний высшей частоты – время двойного пробега фронта волны давления по длине трубопровода ($T = 2l/a$), где a – скорость пробега волны.

На имитационных моделях исследовались одно и двухмассовые системы с изменением концевых масс m_0 от 0,1кг до 50кг и длины трубопро-

вода l от 1м до 50м. Точность расчета динамических параметров систем приведена в таблице.

Таблица. Точность параметров систем

	L,м (м,кг)	1	2	5	9,5	15	50
<u>Трас</u> Тодн	0,1	0,76	1,05	0,78	0,81	0,84	
	1,0	1,12	0,87	1,06	1,23	1,25	0,79
	10	0,97	1,07	0,98	1,05	0,94	0,95
	50	0,98	1,04	1,0	1,0	0,99	0,97
<u>Тодн</u> Тдв	0,1	1,17	0,83	1,24	1,01	1,07	
	1,0	0,75	1,0	0,83	0,92	1,15	1,04
	10	1,05	0,92	0,99	1,02	1,02	1,03
	50	0,98	0,95	0,99	0,99	0,99	0,97
<u>Тж</u> 2l/a	0,1	1,14	1,11	0,99	0,94	0,9	0,83
	1,0	1,14	1,11	1,02	0,95	0,88	0,82
	10	1,14	1,11	1,06	1,01	0,98	0,89
	50	1,14	1,11	1,06	1,01	0,96	0,94
<u>Родн</u> Рдв	0,1	0,94	0,89	0,88	1,19	0,75	0,71
	1,0	1,0	1,06	0,9	0,89	0,82	0,74
	10	0,98	0,99	1,01	0,98	1,12	0,99
	50	0,99	1,0	1,0	1,0	1,01	1,06
<u>2Адв</u> 2Аод	0,1	0,96	1,0	1,0	1,06	1,06	1,14
	1,0	1,04	1,08	1,04	1,37	1,41	1,59
	10	0,95	0,95	0,97	1,0	1,22	1,03
	50	0,97	0,97	0,98	1,0	1,01	1,06
<u>Тз.од</u> Тз.дв	0,1		1,0				
	1,0	1,03	1,07	0,95	1,09	1,02	1,02
	10	1,01	0,97	0,95	1,0	0,98	0,9
	50	0,99	0,97	1,08	1,01	0,98	0,87

В таблице приведены отношения, характеризующие относительную точность решения: периодов колебаний одномассовой системы, значения которых получены расчетным путем и на модели (*Трасч./Тодн*); периодов колебаний с низшей частотой концевой массы одномассовой и двухмассовой моделей (*Тодн./Тдвух.*); периода колебаний с высшей частотой концевой массы двухмассовой модели к времени пробега фронта волны по двойной длине трубопровода (*Тжс./2l/a*); максимальных давлений в трубопроводе (*Родн./Рдвух.*); размаха колебаний (*2Адв/2Аод*); времени затухания колебаний (*Тз.одТз.дв.*).

Для анализа результатов исследований был предпринят поиск обобщенного критерия, характеризующего основные параметры системы – величину концевой массы, длину трубопровода, площади плунжера и трубопровода, объем гидроцилиндра. В качестве обобщенного критерия использован критерий динамической оценки гидросистем, предложенный А.В. Праздниковым в работе [4], при котором можно пренебречь распределенной массой жидкости в трубопроводе. Критерий, полученный для

замены гидромеханической системы (рис.1–а) расчетной схемой (рис.1–б) имеет вид: $m_{жс}/k_v m_1 \leq 1$, где $m_{жс} = \rho l F_1$; $k_v = 1 + l F_1 / V_0$; $m_1 = m_0 (F_1 / F_0)^2$.

Обозначения соответствуют обозначениям на рис.1. Особенностью критерия является приведение концевой массы к трубопроводу. Таким образом, критерий динамической оценки гидросистем содержит все параметры, характеризующие гидромеханическую систему – величину концевой массы, площади сечений плунжера и трубопровода, объем гидроцилиндра и длину трубопровода.

На рис.2 приведены тренды отношений частотных параметров исследованных систем, характеризующих точность решения, от критерия (1). На рис.3 приведены тренды отношений давлений в трубопроводе и размахов колебаний концевой массы одно и двухмассовых систем от критерия (1). Аппроксимация массивов данных производилась полиномиальной зависимостью шестой степени. Достоверность аппроксимации показана на рис.2 и рис.3.

Анализ результатов исследования приведенных в таблице и в виде графиков на рис.2,3 показывает, что до значения критерия динамической оценки гидросистемы $m_{жс}/k_v m_1 < 3$ тренды отношений $T_{рас}/T_{одн} = T/T_{одн}$; $T/T_{двух}$; $P_{одн.}/P_{двух}$; $2A_{дв.}/2A_{од.}$, а $T_{жс.}/2l/a$ до значения $m_{жс}/k_v m_1 < 5$ изменяются линейно, с достоверностью не ниже 0,61. Выше указанных пределов линии трендов имеют нелинейный характер, и точность параметров резко падает. Относительная точность расчета динамических параметров системы составляет для параметров одномассовой системы не бо-

лее 20%; для параметров двухмассовой системы не более 10%. Таким образом, при замене гидросистемы (рис.1–а) можно пренебречь распределенной массой в трубопроводе, если соблюдается условие $m_{жс}/k_v m_1 \leq 3$. Точность результатов расчета динамических параметров при исследовании системы с одномассовой расчетной схемой не ниже 20%. Если со-

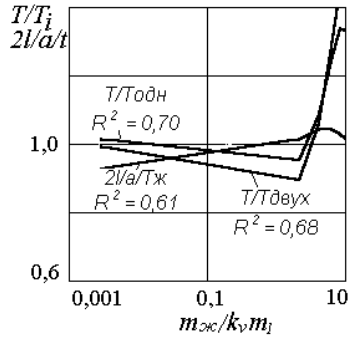


Рис.2. Зависимость трендов отношений частотных параметров систем от критерия динамической оценки исходной гидросистемы

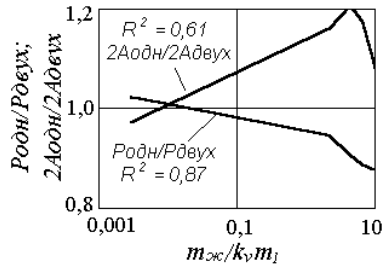


Рис.3. Зависимость трендов отношений давлений и размаха колебаний концевых масс от критерия динамической оценки исходной гидросистемы

блюдается условие $m_{жс}/k_v m_l \leq 5$, то распределенная масса жидкости в трубопроводе заменяется одной дискретной массой. Точность результатов расчета динамических параметров при исследовании системы с двухмассовой расчетной схемой не ниже 10%.

При выборе расчетной схемы оценку гидросистемы с одной концевой массой можно проводить, используя более простой критерий для динамической оценки гидросистемы – отношение массы жидкости в трубопроводе к концевой массе. Нами установлено, что (для данного типа гидросистем) отношение масс $m_{жс}/m_0$ пропорционально с высокой степенью достоверности ($R^2=0,99$) критерию динамической оценки гидросистемы. На рис.4 приведен построенный по результатам исследования системы график тренда отношения масс от критерия динамической оценки гидросистемы. При использовании в качестве критерия оценки отношение масс условие, при котором можно пренебречь распределенной массой в трубопроводе имеет вид:

$m_{жс}/m_0 \leq 0,4$. Если соблюдается условие $m_{жс}/m_0 \leq 0,6$, то распределенная масса жидкости в трубопроводе заменяется одной дискретной массой.

Результаты проведенных исследований позволяют утверждать, что для гидравлических систем с концевой массой в качестве критерия динамической оценки системы возможно использования отношения массы жидкости в трубопроводе к концевой массе. Полученные имитационные модели с различными расчетными схемами позволяют облегчить выбор расчетной схемы и повысить качество исследования.

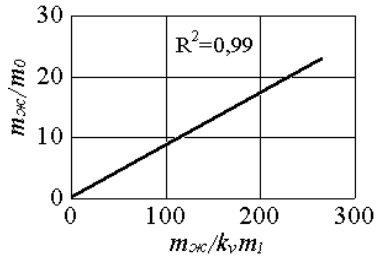


Рис.4. Зависимость тренда отношения масс от критерия динамической оценки исходной гидросистемы

1. Злобинский В.Е. Переходные процессы в гидромеханических системах металлургических машин Днепропетровск, ГМетаУ, 1996. – 112с.
2. Большаков В.И., Листопадов И.Б. Особенности адаптации дискретных имитационных моделей гидросистем // Підйомно–транспортна техніка, 2002.– №3–4.– С. 49–59.
3. Большаков В.И., Листопадов И.Б. Особенности составления расчетных схем гидравлических систем // В сб. Фундаментальные и прикладные проблемы Праздников А.В. черной металлургии, Вып.6, Киев, Наукова Думка, 2003.– С.408–416.
4. Гидропривод в металлургии // М.: Металлургия, 1973.–336с.
5. Большаков В.И., Листопадов И.Б. Особенности адаптации дискретных имитационных моделей гидросистем // Підйомно–транспортна техніка, 2002.– №3–4.– С. 49–59.