

В.И. Большаков, И.Б. Листопадов

ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ СТРУКТУРОЙ

Показано на примерах, что в зависимости от задачи исследования сложную гидромеханическую систему можно представлять в виде различных моделей, соответствующих отдельным периодам работы системы, либо в виде универсальной модели для выполнения всего комплекса исследований.

Современное состояние вопроса.

Некоторые затруднения в составлении расчетных схем и математической модели возникают при исследовании гидросистем с изменяющейся структурой. Изменение структуры гидросистемы вызывается изменением ее параметров, расчетной схемы, начальных условий, вида и характера возмущения. К таким гидросистемам относятся гидромеханизмы, работающие от различных источников давления или несколько гидромеханизмов, работающих от одного источника давления, причем включение и выключение этих гидромеханизмов может быть не одновременным. Основным условием исследования гидросистем с изменяющейся структурой является сохранение основных частотных и энергетических характеристик как полной гидросистемы, так и ее участков.

Вопросы исследования систем с изменяющейся структурой на примере работы вертикальных гидравлических прессов содержатся в работе [1], в которой показано, что при исследовании различных периодов работы пресса возникают различные задачи исследований. Так, например, при опускании траверсы пресса основной задачей является определение максимальной скорости опускания траверсы, при которой не нарушается сплошность потока жидкости в наполнительной системе, что достигается при давлении в рабочем цилиндре, определенном из баланса сил по формуле, приведенной в работе [2]. В период прессования в качестве расчетной схемы применяется реологическая модель процесса обработки металла, например, приведенная в работе [3]. Следует отметить, что в этот период необходимо учитывать упругую деформацию колонн пресса. Особенности перехода от одной расчетной схемы к другой в работе [1] не представлены.

Методика исследования. Исследование гидросистем с изменяющейся структурой имеет свои особенности. Рассмотрим основные из них на примере исследования гидромеханической системы с концевой массой, работающей в различных режимах. При исследовании переходных процессов в инерционной гидросистеме с возмущением в виде соударения рабочего органа с падающей с высоты h массой m_0 (буферы, амортизаторы

ры и пр.) (рис.1,а) расчетная схема имитационной модели имеет вид (рис.1,б).

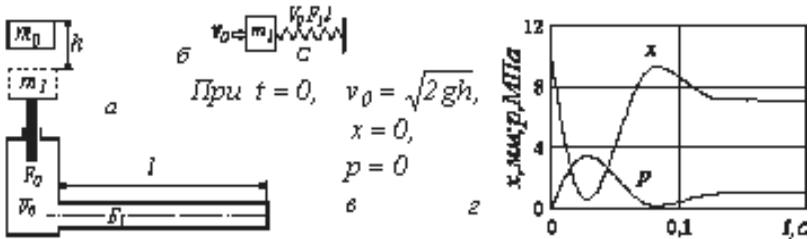


Рис.1. Исследование системы с заделкой и начальной скоростью >0 : а– гидросистема; б – расчетная схема; в – начальные условия; г – результаты исследования.

Расчетная схема представляет собой одномассовую систему с заделкой и служит базовой для имитационной модели. Связь (трубопровод) имеет параметры жесткости C , состоящие из начального объема жидкости в гидроцилиндре V_0 , площади сечения F_1 и длины l трубопровода. Масса m_1 представляет массу рабочего органа, массу груза и приведенную к плунжеру гидроцилиндра (F_0) массу жидкости в трубопроводе. Начальные условия работы модели приведены на рис.1,в. На рис.1,г приведены кривые изменения давления и перемещение рабочего органа. Модель имитирует переходной процесс (частота и амплитуда колебаний, время затухания).

Гидросистема с рабочим органом, который продолжает двигаться после завершения переходного процесса и затухания колебаний, дросселем f , приведена на рис.2,а. Расчетная схема имитационной модели имеет вид (рис.2,б). Начальные условия работы модели приведены на рис.2,в. Расчетная схема (рис.2,б) и имитационная модель гидросистемы более сложные по сравнению с расчетной схемой (рис.1,б) за счет введения расхода жидкости q через дроссель f . Частотная характеристика данной системы несколько отличается от частотной характеристики системы с заделкой из-за влияния дополнительных диссипативных сил (дросселирования жидкости) на частоту колебаний.

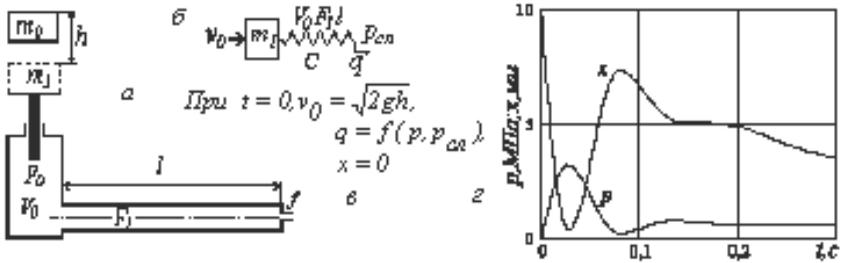


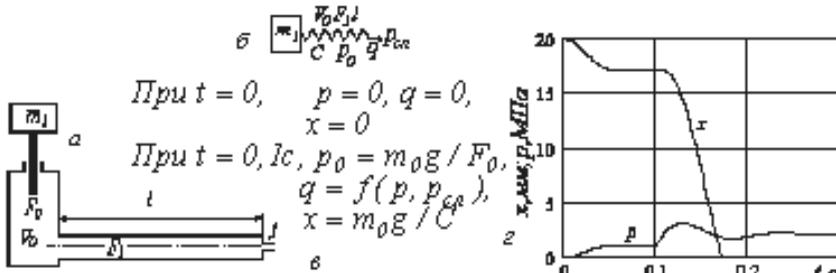
Рис2. Исследование гидравлической системы с начальной скоростью > 0 и дросселем: а – гидросистема; б – расчетная схема; в – начальные условия; г – результаты исследования.

Гидросистема с инерционным нагружением, в которой возмущение представлено в виде открывания дросселя, показана на рис.3. В реальном гидромеханизме перед открытием дросселя и опусканием рабочего органа жидкость в гидросистеме сжата до давления, обусловленного величиной массы рабочего органа. Для реализации этого режима в имитационной модели, имитирующей процесс опускания рабочего органа гидросистемы (рис.3,а), предварительно использовалась расчетная схема системы с заделкой (рис.1,б), но с другими, чем на рис.1,в, начальными условиями. Затем (через 0,1с) использовалась расчетная схема, приведенная на рис.3,б. Таким образом, при исследовании использованы две расчетные схемы в одной комплексной модели. Начальные условия работы модели показаны на рис.3,в. Следует отметить, что объединение моделей с разными расчетными схемами требует создания специальной системы автоматического управления комплексной моделью. В данном примере использована программная система управления «по времени». Результаты исследования показаны в виде графиков (рис.3,г). Видно, что процессы в гидросистеме происходят в соответствии с программой, заданной системой автоматического управления моделью. Частотные параметры системы (проявляется частота колебаний давления, вызванная возмущением типа «открытие дросселя») соответствуют значениям, полученным на модели, приведенной на рис.2.

Режим подъема рабочего органа гидросистемы с инерционным нагружением (рис.4,а) реализуется имитационной моделью, составленной в соответствии с расчетной схемы (рис.4,б). Расчетная схема отличается от расчетной схемы представленной на рис.3,б введением в начальные условия внешнего источника питания, который задан через давление напора (p_{nan}) на входе в гидросистему (рис.4,а) вместо давления слива (p_{ca}). Такая расчетная схема позволяет реализовать реверс движения рабочего органа, но требует некоторых изменений в уравнениях движения и процессов в

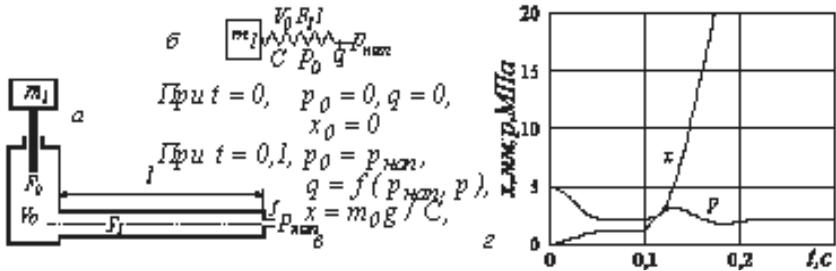
имитационной модели. Поскольку подъем рабочего органа совершается из произвольного начального положения, которое характеризуется наличием давления в гидроприводе, то исследование проводили в два этапа.

Рис.3. Исследование гидравлической системы при опускании с начальной скоро-



стью $v=0$ и дросселем: а – гидросистема; б – расчетная схема; в – начальные условия; г – результаты исследования.

Рис.4. Исследование гидравлической системы при подъеме массы с начальной



скоростью $v=0$: а – гидросистема; б – расчетная схема; в – начальные условия; г – результаты исследования.

На первом этапе, используя модель системы с инерционным нагружением, определяли значения давления в гидроприводе и координату (x) рабочего органа. На втором этапе, используя расчетную схему (рис.4,б) и начальные и граничные условия (рис.4,в), полученные на модели консервативной системы, исследовали режим подъема рабочего органа. Т.е. использовалась комплексная имитационная модель с использованием переменных начальных и граничных условий и с системой автоматического управления моделью. Следует отметить, что система автоматического управления моделью должна иметь для каждого изменяемого параметра, по меньшей мере, один канал управления. Результаты исследований приведены на рис.4,г. Поскольку параметры гидросистемы при исследованиях в различных режимах ее работы одинаковы, то характер переходных процессов представленных на рис.3,г и на рис.4,г практически одинаков. Отличие составляют скорости подъема и опускания рабочего органа, что объясняется разными условиями нагружения рабочего органа и произ-

вольно выбранным давлением источника питания (5МПа).

Методика исследования переходных процессов в гидросистеме при торможении рабочего органа в произвольном месте его подъема (рис.5.) заключалась в трансформации расчетной схемы (рис.4,б) в расчетную схему системы с заделкой (рис.1,а), приведенной на рис.1,б. Начальными условиями (установившаяся скорость перемещения и соответствующая этой скорости координата рабочего органа, давление в гидросистеме) являлись параметры, полученные при исследовании гидросистемы (рис.4,а). Результаты приведены на рис. 4,г. Текущее время, при котором определялись значения начальных условий, находилось за пределами переходного процесса в гидросистеме. Методически исследование состояло в последовательном решении уравнений, соответствующих расчетным схемам, приведенным на рис.1,б и на рис.4,б. Переход от одной модели к другой производился системой автоматического управления моделью, в которой управляемым параметром являлось сечение дросселя f (рис.4,а), а управляющим параметром – давление в гидросистеме.

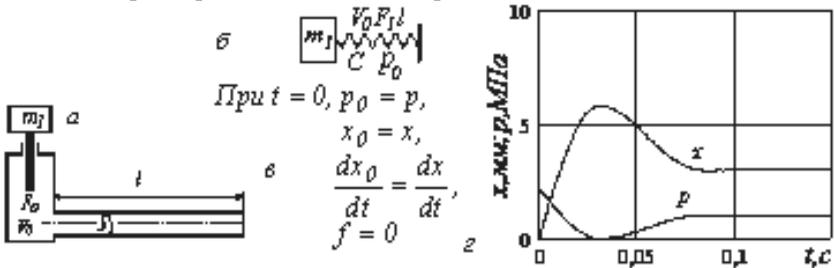


Рис.5. Исследование гидравлической массы при торможении массы с начальной скоростью $v=0$: а – гидросистема; б – расчетная схема; в – начальные условия; г – результаты исследования.

Методика исследования переходных процессов в гидросистеме (рис.6,а), возникающих при встрече и дальнейшем транспортировании груза (масса m_2) рабочим органом приведена на рис.6. При исследовании такого режима работы гидромеханической системы использовались методические приемы аналогичные приведенным ранее, т.е. использование комплексных имитационных моделей. В данном случае использовались модели, составленные по расчетным схемам, представленным на рис.4,б и рис.6,б. Начальные условия работы комплексной модели показаны на рис.6,в. Управляемым параметром в системе автоматического управления комплексной моделью является величина массы рабочего органа. Управляющим параметром – координата рабочего органа. Результаты исследования приведены на рис.6,г, на котором приведена реакция гидропривода на мгновенное изменение значения массы поднимаемого груза.

Приведенные методики исследования переходных процессов в гидромеханических системах с концевой массой и инерционным нагружением

при работе гидромеханических систем в различных режимах можно использовать для систем с любым другим видом нагружения (пружинным и др.).

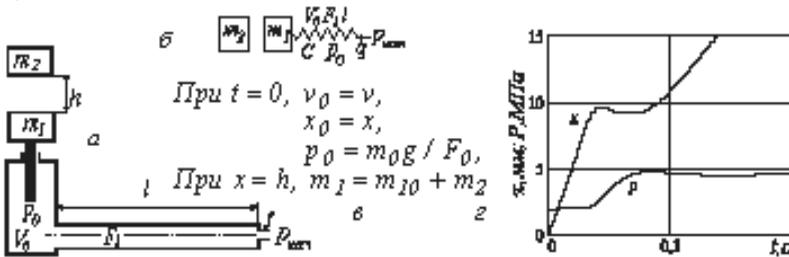


Рис.6. Исследование гидравлической системы при встрече с грузом во время подъема массы: а – гидросистема; б – расчетная схема; в – начальные условия; г – результаты исследования.

Анализ структуры исследованных гидросистем показывает, что расчетные схемы моделей представляют собой одну механическую расчетную схему с различными начальными и граничными условиями. Результаты исследований в виде значений энергосиловых и кинематических параметров одной модели (координаты, давления) служат начальными условиями для других моделей. В относительно простых моделях целесообразно использовать не несколько различных, а одну общую модель с одной общей расчетной схемой, но с переменными начальными условиями. Такой подход к исследованию гидромеханических систем требует создания систем автоматического управления моделью. В системах управления моделью управляющими параметрами обычно являются текущее время, координаты перемещений или расходов, давления в гидросистеме. Управляемыми параметрами в относительно простых моделях обычно являются сечения дросселей управления потоков жидкости, соударения внешних масс с рабочим органом системы, введение или удаление устройств управления расходом или давлением жидкости. Во всех этих случаях значение каждого параметра вводится в систему управления отдельным каналом. Если управляющие параметры являются постоянными и не связанными между собой дополнительными условиями, (управляемый параметр вводится при наличии двух или более условий состояния одного или нескольких управляющих параметров), то для управления каждым из изменяемых параметров требуется не более двух каналов. В таких случаях использование одной расчетной схемы и ее реализация в одной модели возможна, оправдана и позволяет получить в результате моделирования весь спектр динамических нагрузок, сохраняя при этом значения динамических параметров при переменных режимах работы гидромеханизма.

Комплексность, т.е. компоновка модели из нескольких частных моделей, позволяет использовать разработанные методики исследования при работе гидромеханических систем с другими, не рассмотренными в дан-

ном разделе режимами работы, например, с переменными основными параметрами модели, имитирующими присоединение или удаление части трубопровода с различными сечениями, трансформацией линейной системы в разветвленную систему. В таких, сравнительно редко встречающихся, случаях при изменении режима работы (структуры) гидросистемы изменяются ее динамические характеристики, что требует особого отношения к методике исследований. Если при разработке имитационной модели сложно создать систему автоматического управления моделью без искажения результатов исследования, то исследуется ряд моделей с относительно простыми индивидуальными для каждого режима работы или комплексными для группы режимов расчетными схемами. При таком подходе результаты исследований одного или нескольких совместно исследовавшихся режимов работы гидромеханизма используются в качестве начальных условий для исследования последующих режимов работы.

Следует иметь в виду, что при методике раздельного исследования динамических нагрузок при различных режимах работы гидромеханизма каждый режим или комплекс режимов работы гидромеханизма требует разработки индивидуальной имитационной (компьютерной) модели.

Заключение. Установлено, что при исследовании динамических гидромеханических систем, работающих в различных режимах целесообразно использовать два подхода к методике исследований. Первый – исследование одного или нескольких режимов работы гидромеханизма, для чего для каждого исследования составляется расчетная схема, соответствующее ей математическое описание процессов в гидроприводе и имитационная модель с соответствующей системой автоматического управления моделью. Второй – составление расчетной схемы, соответствующего ей математического описания и имитационной модели с системой автоматического управления моделью. Различие в подходах является чисто условным, не влияет на полноту и качество исследований и зависит от сложности модели, квалификации исследователя и возможностью средств моделирования.

1. *Большаков В.И., Листопадов И.Б.* Анализ особенностей составления расчетных схем систем с изменяющейся структурой. // *Подъемно–транспортная техника.* – 2005. – №2. – С.38–47.
2. *Добринский Н.С.* Гидравлический привод прессов. – М.: Машиностроение, 1975. – С.157–165.
3. *Большаков В.И., Листопадов И.Б.* Повышение точности прессования элементов колес // В сб. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.* – Вып.8. – Киев: Наукова Думка.– 2004. – С.369–375.

Статья рекомендована к печати д.т.н.В.А.Носковым