

УДК 004.9

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ В ОБЪЕМНОМ ГИДРОПРИВОДЕ

И.М. Мурсеев, Ю.И. Привалова
ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск.

Аннотация. Автоматизированное проектирование это процесс, при котором все или часть проектных решений получают с использованием средств вычислительной техники. Одной из основных типовых задач автоматизированного проектирования является расчет или одновариантный анализ. В данной работе описывается разработанный авторами программный комплекс «Расчет потерь давления в гидрелиниях объемного гидропривода» в среде программирования Visual Basic. На основе реализованного приложения совершенствуется ряд работ по расчету и конструированию объемного гидропривода, а также проведению вычислительного эксперимента на базе реальных технических данных.

Ключевые слова: объемный гидропривод, автоматизированный расчет, система автоматизированного проектирования, среда программирования Visual Basic.

Введение

Проектирование – комплекс работ по исследованию, конструированию и расчету объекта, целью которого является получение комплекта конструкторской документации для дальнейшего его изготовления. Процесс автоматизации основных типовых задач является актуальным направлением в проектировании технических устройств. Это обусловлено непрерывным развитием современных средств вычислительной техники, что способствует совершенствованию программно-методических комплексов и более сложных систем автоматизированного проектирования [1-3].

Типовыми задачами автоматизированного проектирования являются:

1. Расчет (одновариантный анализ). Определение выходных параметров и характеристик объекта проектирования при неизменных значениях его внутренних параметров и постоянной структуре.

2. Анализ (многовариантный анализ). Определение изменения выходных параметров и характеристик объекта в зависимости от изменения его внутренних параметров.

3. Оптимизация. Определение наилучших (оптимальных) значений выходных параметров и характеристик путем целенаправленного изменения внутренних параметров объекта (параметрическая оптимизация) или его структуры (структурная оптимизация).

4. Синтез. Генерация исходного варианта проектируемого объекта, включая его структуру (структурный синтез) и значение

внутренних параметров (параметрический синтез).

В данной работе описывается разработанный авторами программный комплекс «Расчет потерь давления в гидрелиниях объемного гидропривода» в среде программирования Visual Basic.

Объемный гидропривод

Объемный гидропривод (ГП) – совокупность гидравлических устройств, предназначенных для приведения в движение машин и механизмов при помощи рабочей жидкости (РЖ). Передача движения от источника энергии (насоса) к гидродвигателю осуществляется за счет перемещающихся внутри системы замкнутых несжимаемых объемов жидкости, т.е. РЖ обеспечивает геометрические и кинематические связи в системе.

Принцип работы объемного ГП основан на законе Паскаля, уравнении Бернулли и практической несжимаемости РЖ.

Объемный ГП включает в себя один или несколько насосов, гидродвигатели, гидроаппараты и вспомогательные устройства: кондиционеры РЖ, гидроемкости, гидрелинии и т.д. (рисунок 1) [4-8].

Насосы преобразуют механическую энергию приводных двигателей в энергию потока рабочей жидкости. В качестве приводных двигателей гидроприводов строительных и дорожных машин применяют в основном дизельные двигатели внутреннего сгорания, а для стационарных гидроприводов обычно используют трехфазные асинхронные электродвигатели переменного тока с короткозамкнутым ротором.

Гидродвигатели (гидроцилиндры и гидромоторы) преобразуют энергию потока жидкости, поступающей от насоса, в механическую энергию и приводят в движение соответствующие исполнительные механизмы (например, отвал бульдозера или автогрейдера, ковш экскаватора или фронтального погрузчика, лебедку автомобильного крана или трубоукладчика, кузов автосамосвала и т.д.).

Насосы и гидродвигатели (гидроцилиндры и гидромоторы) являются преобразователями энергии и называются объемными гидромашинами, основными параметрами которых являются рабочий объем и номинальное давление.

Гидроаппараты (клапаны, дроссели, распределители, гидрозамки, делители, сумматоры и регуляторы потока) предназначены для управления параметрами потока рабочей жидкости (давлением и расходом РЖ).

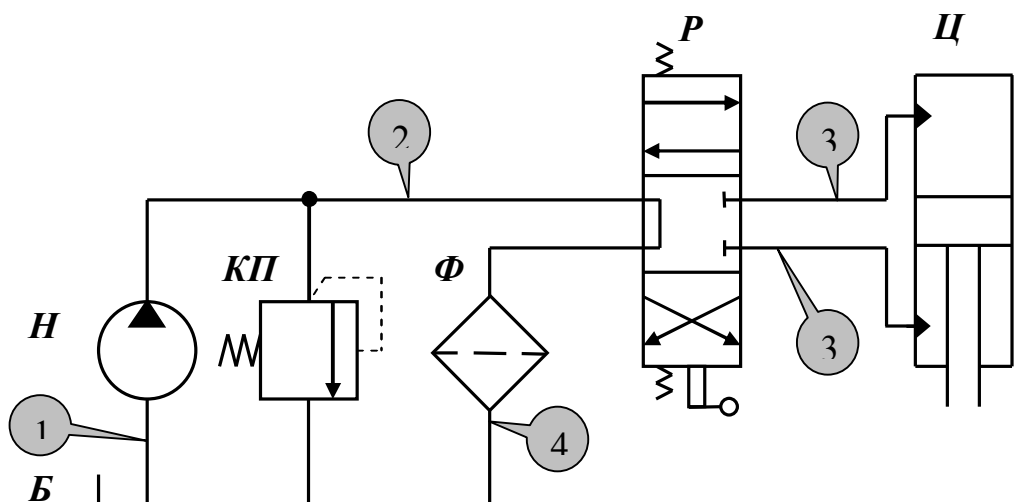
Кондиционеры РЖ поддерживают ее качественные показатели. К ним относятся фильтры, теплообменники (охладители и

нагреватели), влагоотделители, воздухопускные устройства.

Гидроемкости – баки, резервуары, гидроаккумуляторы (обычно – пневматические, реже – пружинные) необходимы для размещения запаса рабочей жидкости в процессе функционирования гидропривода. Кроме того, гидроемкости служат для охлаждения и оттаивания РЖ.

Гидролинии соединяют элементы ГП и предназначены для движения РЖ или передачи давления. К гидросистемам относятся трубы, каналы, рукава высокого и низкого давления.

Все гидравлические устройства оснащены уплотнительными элементами (кольцами, манжетами) для герметизации подвижных и неподвижных соединений, например, вала насоса или гидромотора, штока гидроцилиндра, золотника распределителя. Для утилизации утечек РЖ из гидроэлементов (например, насосов и гидромоторов) в гидробак иногда применяют дренажные гидролинии.



Б – гидробак; **Н** – насос нерегулируемый; **КП** – клапан предохранительный; **Ф** – фильтр; **Р** – распределитель четырехлинейный (с открытым центром), трехпозиционный, с ручным управлением (с самовозвратом золотника в среднюю позицию); **Ц** – гидроцилиндр двустороннего действия с односторонним штоком; 1 – всасывающая гидролиния; 2 – напорная гидролиния; 3 – исполнительные гидролинии; 4 – сливная гидролиния.

Рис. 1. Принципиальная схема гидропривода возвратно-поступательного действия

Отдельные гидравлические устройства конструктивно могут быть объединены в агрегаты, блоки и установки, например, насосный агрегат, аксиально-поршневой насос с регулятором мощности, рулевая машина, механизм управления, блок клапанов, фильтр со встроенным предохранительным клапаном и т.д.

На рисунке 1 приведен вариант принципиальной схемы гидропривода возвратно-поступательного действия, состоящий из гидробака, насоса, клапана предохранительного, фильтра, распределителя, гидроцилиндра. Гидролиния между баком и насосом называется всасывающей (1), между насосом и

распределителем – напорной (2), между распределителем и гидродвигателем – исполнительной (3), а между распределителем и баком – сливной (4). Обычно в сливной гидролинии устанавливается фильтр. При замене

гидроцилиндра Ц гидромотором М получаем гидропривод вращательного действия. Принципиальная схема гидропривода вращательного действия приведена на рисунке 2.

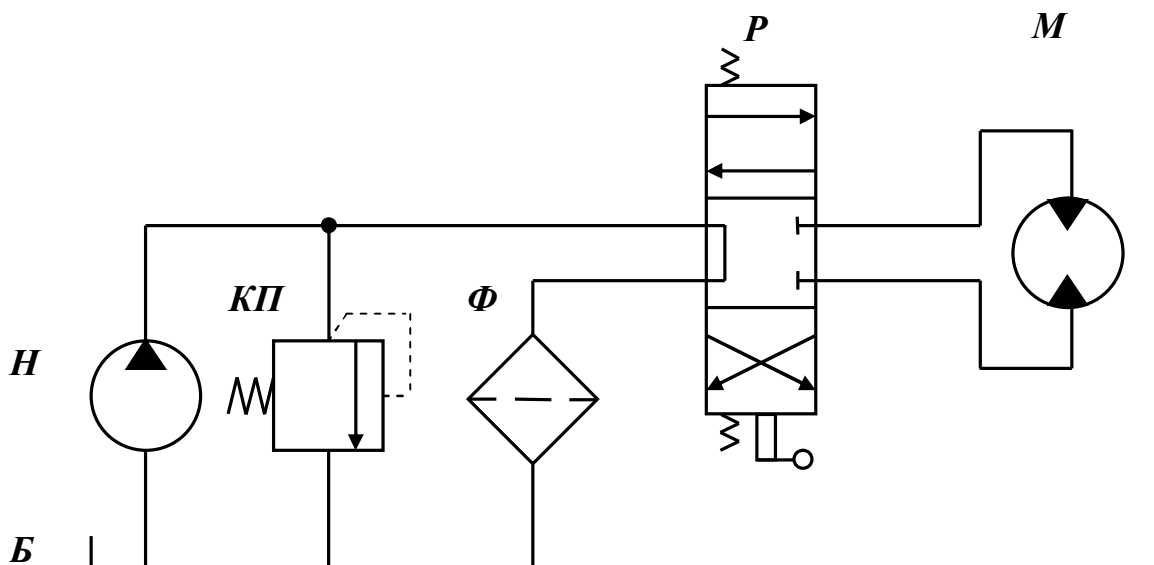


Рис. 2. Принципиальная схема гидропривода вращательного действия

Кроме того, в состав объемного гидропривода могут входить манометры, термометры, расходомеры, уровнемеры и другие контрольно-измерительные приборы и гидрооборудование, а также, электротехнические изделия (стационарные и выносные блоки управления, блоки питания, концевые выключатели, реле, переключатели и т.д.) [4-6].

Программный комплекс «Расчет потерь давления в гидролиниях объемного гидропривода»

Результатом расчета являются значения потерь давления в напорной, сливной и всасывающей гидролиниях объемного гидропривода (рис. 1, 2). Потери давления по длине гидролинии и в местных сопротивлениях, принадлежащих этой гидролинии, суммируются и вычисляются для каждой гидролинии. Кроме того, принимаем следующие общепринятые допущения, практически не влияющие на результаты расчета: общая длина напорной гидролинии складывается из длины напорной и исполнительной гидролиний; общая длина сливной гидролинии складывается из длины сливной и исполнительной гидролиний.

Расчетные зависимости.

1. Режим движения жидкости зависит от числа (критерия) Рейнольдса.

$$Re_i = \frac{V_i \cdot d_i}{k}, \quad i = 1, \dots, 3,$$

где i – индекс (порядковый номер) гидролинии ($i = 1$ – всасывающая гидролиния, $i = 2$ – сливная гидролиния, $i = 3$ – напорная гидролиния); Re_i – число Рейнольдса; k – кинематический коэффициент вязкости жидкости, m^2/c ; V_i – скорости движения жидкости в гидролиниях, m/c ; d_i – внутренние диаметры гидролиний, m .

2. Коэффициент путевых потерь λ (коэффициент Дарси) зависит от режима движения жидкости.

А) для ламинарного режима ($Re_i < 2320$)

$$\lambda_i = \frac{75}{Re_i},$$

Б) для турбулентного режима ($Re_i > 2320$)

$$\lambda_i = \frac{0,3164}{Re_i^{0,25}},$$

где λ_i – коэффициент путевых потерь (коэффициент Дарси); Re_i – число Рейнольдса.

3. Потери давления по длине гидролиний.

$$\Delta p_{li} = \lambda_i \frac{l_i}{d_i} \times \frac{V_i^2}{2} \rho \times 10^{-6}, \quad i, \dots, 3,$$

где Δp_{li} – потери давления по длине гидролиний, МПа; λ_i – коэффициент путевых потерь (коэффициент Дарси); l_i – длины гидролиний, м; V_i – скорости движения жидкости в гидролиниях, м/с; d_i – внутренние диаметры гидролиний, м; ρ – плотность рабочей жидкости, кг/м³.

4. Потери давления в местных сопротивлениях.

$$\Delta p_{\xi_i} = \xi_i \frac{V_i^2}{2} \rho \times 10^{-6}, \quad i = 1, \dots, 3,$$

где Δp_{ξ_i} – потери давления в местных сопротивлениях, МПа; ξ_i – суммарный коэффициент местного сопротивления.

Вычисляется отдельно для каждой гидролинии (для всасывающей гидролинии $\xi_1 = 0$; для сливной и напорной гидролинии суммарный коэффициент местного сопротивления вычисляется в соответствии с количеством и типом каждого местного сопротивления; V_i – скорости движения жидкости в гидролиниях, м/с; ρ – плотность рабочей жидкости, кг/м³.

5. Суммарные потери давления в гидролиниях.

$$\Delta p_i = \Delta p_{li} + \Delta p_{\xi_i}, \quad i = 1, \dots, 3,$$

где Δp_i – суммарные потери давления в гидролинии, МПа; Δp_{li} – потери давления по длине гидролиний, МПа; Δp_{ξ_i} – потери давления в местных сопротивлениях, МПа.

Программный комплекс «Расчет потерь давления в гидролиниях объемного гидропривода» реализован в среде программирования Visual Basic. (рис. 3, 4). Все данные для расчета в приложении размещены с помощью элемента управления MultiPage. Для вывода результатов использован элемент управления ListBox.

Расчет потерь давления в гидролиниях объемного гидропривода

Параметры | Значения

Начальные значения

Длина гидролинии, мм

$l1$ 0,9

$l2$ 5

$l3$ 5,9

Плотность рабочей жидкости, кг/м³ 865

Скорость движения жидкости, м/с

$v1$ 1,15

$v2$ 2,05

$v3$ 4,61

Внутренний диаметр гидролинии, м

$d1$ 0,032

$d2$ 0,025

$d3$ 0,016

Расчет потерь давления

Рис. 3. Приложение «Расчет потерь давления в гидролиниях объемного гидропривода» (ввод исходных данных)

| Параметры | Значения | | |
|------------------------------|------------------------|--------------------|---------------------|
| | Всасывающая гидролиния | Сливная гидролиния | Напорная гидролиния |
| Внутренний диаметр d | 0.032 | 0.025 | 0.016 |
| Длина гидролинии l | 0.9 | 5 | 5.9 |
| Скорость движения v | 1.15 | 2.05 | 4.61 |
| Число Рейнольдса Re | 3680 | 5125 | 7376 |
| Коэффициент Дарси | 0.0406 | 0.0374 | 0.0341 |
| Потери давления по λ | 0.001 | 0.014 | 0.116 |
| Потери давления в мс | 0 | 0.028 | 0.102 |
| Суммарные потери да | 0.001 | 0.042 | 0.218 |

Рис. 4. Приложение «Расчет потерь давления в гидролиниях объемного гидропривода» (вывод результатов расчета)

Проведен вычислительный эксперимент на основе реальных данных, который показал перспективность данного подхода в проектировании технических устройств.

Заключение

При разработке конструкторской и технической документации сложных технических устройств инженеры используют универсальные программно-методические комплексы и системы автоматизированного проектирования (САПР). Однако не всегда удается воспользоваться стандартным набором инструментов САПР для проектирования. Именно поэтому актуальным остается создание уникальных программных комплексов, которые могут удовлетворить все потребности при создании объектов проектирования. Это способствует совершенствованию процессов проектирования, сокращению трудовых и временных затрат на создание опытного образца. Такая тенденция, вероятно всего, сохранится, т.к. информационные технологии и вычислительная техника непрерывно развиваются.

Библиографический список

1. Норенков, И.П. Основы автоматизированного проектирования: Учебник для вузов / И.П. Норенков. – МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 3448 с.
2. Системы автоматизированного проектирования / Л.Н. Андреев, Д.Е. Бортяков, С.В. Мещеряков. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002. – 78 с.
3. Дементьев, Ю.В. САПР в автомобиле- и тракторостроении: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Ю.В. Дементьев, Ю.С. Щетинин; ред. В.М. Шарипов. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 224 с.
4. Галдин, Н.С. Гидравлические машины, объемный гидропривод: учебное пособие / Н.С. Галдин. – 2-е изд., стер. – Омск: СибАДИ, 2014. – 272 с.
5. Галдин, Н.С. Многоцелевые гидроударные рабочие органы дорожно-строительных машин: Монография / Н.С. Галдин. – Омск; Изд-во СибАДИ, 2005. – 223 с.
6. Галдин, Н.С. Элементы объемных гидроприводов мобильных машин. Справочные материалы: уч. пособие / Н.С. Галдин. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2005. – 127 с.
7. Добровольский, В.А. Детали машин / В.А. Добровольский [и др.]. – М.: Машгиз, 1959. – 581 с.
8. Электронный ресурс. – Режим доступа: URL: <http://www.urb2-5a.ru/gidrobur2>.

AUTOMATED CALCULATION OF PRESSURE LOSSES IN VOLUMETRIC HYDRAULIC DRIVE

I.M. Murseev, Y.I. Privalova

Abstract. Computer aided design is the process by which all or part of the design solutions obtained using computer technology. One of the main model of computer aided design problems is to calculate or univariate analysis. This paper describes how the authors developed the software package "The Calculation of pressure losses in the hydraulic lines of the hydraulic drive of volumetric" in the programming environment Visual Basic. On the basis of the implemented application improves a number of works on calculation and design of a volumetric hydraulic actuator, and the computational experiment based on real technical data.

Keywords: volumetric hydraulic actuator, automated calculation, computer aided design, programming environment Visual Basic.

References

1. Norenkov I.P. *Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniya* [Basics of computer-aided design]. Moscow, MGTU im. N.Je. Baumana, 2006. 448 p.
2. Andreev L.N., Bortyakov D.E., Meshheryakov S.V. *Sistemy avtomatizirovannogo proektirovaniya* [Computer-Aided Engineering Systems]. St. Petersburg, Izd-vo SPbGTU, 2002. 78 p.
3. Dementiev Y.V., Shchetinin Y.S. *SAPR v avtomobile- i traktorostroenii* [CAD system in the motorcar and tractor building]. Moscow, Akademiya Publ., 2004. 224 p.
4. Galdin N.S. *Gidravlicheskie mashiny, ob'emnyy gidroprivod* [Hydraulic machines, hydraulic volume]. Omsk: SibADI, 2014. 272 p.

5. Galdin N.S. *Mnogoceleevye gidroudarnye rabochie organy dorozhno – stroitel'nyh mashin* [Multi-purpose working bodies of hydraulic road -building machines]. Omsk; Izd-vo SibADI, 2005. 223 p.

6. Galdin N.S. *Jelementy obemnyh gidroprivodov mobil'nyh mashin. Spravochnye materialy: uch. posobie* [Elements of volume hydraulic actuators of mobile cars. Reference materials]. Omsk: Izd-vo SibADI, 2005. 127 p.

7. Dobrovol'skij V.A. *Detali mashin* [Details of cars]. Moscow, Mashgiz, 1959. 581 p.

8. Available at: URL: <http://www.urb2-5a.ru/gidrobur2>.

Мурсеев Ильдар Мухамедович (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные машины и гидропривод» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, ул. Мира, 5, e-mail: murseevoms@mail.ru).

Привалова Юлия Ивановна (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, ул. Мира, 5, e-mail: priv7777@mail.ru).

Murseev I.M. (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, the associate professor Hoisting-and-transport cars and a hydraulic actuator of The Siberian State Automobile and Highway academy (SibADI) (644080 Omsk, Mira Ave. 5, e-mail: remizovich_uv@sibadi.org).

Privalova Yu.I. (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, the associate professor Information technology of The Siberian State Automobile and Highway academy (SibADI) (644080 Omsk, Mira Ave. 5, e-mail: priv7777@mail.ru).

УДК 629.084

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ДИНАМИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ УПЛОТНЯЕМОЙ УПРУГО ВЯЗКОЙ ПЛАСТИЧНОЙ СРЕДЫ

С.В. Савельев¹, В.В. Михеев², А.С. Белодед¹

¹ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск;

²Омский государственный технический университет (ОмГТУ), Россия, г. Омск.

Аннотация. Статья посвящена исследованиям процесса динамического деформирования уплотняемой грунтовой среды. Предлагается оригинальный подход к моделированию данного процесса. Уплотняемая среда рассматривается в виде упруговязкопластичного тела, деформируемого внешней периодической силой. В качестве элементов характеризующих реологические свойства такой среды, выбраны элементы: Гука, Ньютона и Сен-Венана. Модель позволяет исследовать напряженно-деформируемое состояние среды в процессе деформирования по всей толщине уплотняемого слоя. Реализация предложенного модельного подхода позволяет повысить энергоэффективность процесса уплотнения, выбрать рациональные режимы протекания данного процесса и параметры уплотнителя.

Ключевые слова: деформация, уплотнение, среда, исследования, процесс.