

УДК 681.523

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ТЕКУЧИХ СРЕД В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Ю.М. Знамцев, О.В. Виштак, С.Н. Грицюк, М.В. Рогова*

Проведен анализ использования технических жидкостей в технологических системах энергетических предприятий в двух аспектах: применение в качестве рабочих сред энергоносителей и применение в качестве технологических сред. Показано, что существует много технических задач, связанных с применением различных жидких сред. Проведен обобщенный кинематический анализ возможных способов управления их движением, дана оценка энергосиловых аспектов управляющих воздействий, так как реализация того или иного способа управления требует определенных энергетических затрат. Для анализа способов управления течением жидких сред использованы основные фундаментальные уравнения гидродинамики. Как наиболее используемый способ управления течением жидких сред выделен способ управления величиной средней скорости потока.

*Ключевые слова:* технические жидкости; кинематический анализ; способы управления расходом жидких сред; технические системы энергетических предприятий.

---

## ЭНЕРГЕТИКАЛЫК ИШКАНАЛАРДЫН ТЕХНИКАЛЫК СИСТЕМАЛАРЫНДА СУЮК ЧӨЙРӨНҮН КЫЙМЫЛЫН БАШКАРУУНУН АЙРЫМ АСПЕКТИЛЕРИ

*Ю.М. Знамцев, О.В. Виштак, С.Н. Грицюк, М.В. Рогова*

Бул макалада энергетикалык ишканалардын технологиялык системаларындагы суюктуктардын пайдаланылышына эки аспектиде талдоо жүргүзүлдү: суюктуктарды жумушчу чөйрө катары пайдалануу – энергия алып жүрүүчүлөр жана технологиялык чөйрө катары пайдалануу. Ар кандай суюктуктарды пайдалануу менен байланышкан көптөгөн техникалык милдеттер бар экендиги көрсөтүлдү. Алардын кыймылын башкаруунун мүмкүн болгон ыкмаларына кеңири кинематикалык талдоо жүргүзүлдү, башкаруучу таасир кылуунун энергиялык күчүнүн аспектилерине баа берилди, анткени тигил же бул башкаруу ыкмасын ишке ашыруу белгилүү бир энергетикалык чыгымдарды талап кылат. Суюк чөйрөнүн агымын башкаруу ыкмасына талдоо жүргүзүү үчүн гидродинамиканын негизги фундаменталдык теңдештиктери пайдаланылды. Суюк чөйрөнүн агымын башкаруунун кеңири пайдаланылган ыкмасы катары агымдын орточо ылдамдыгынын чоңдугун башкаруу ыкмасы белгиленди.

*Түйүндүү сөздөр:* техникалык суюктуктар; кинематикалык талдоо; суюк чөйрөнүн чыгымдалышын башкаруу ыкмасы; энергетикалык ишканалардын техникалык системалары.

---

## SOME ASPECTS OF TRAFFIC MANAGEMENT FLUID MEDIA IN TECHNICAL SYSTEMS ENERGY ENTERPRISES

*Y.M. Znamtsev, O.V. Vishtak, S.N. Gritsyuk, M.V. Rogova*

The article analyzes the use of technical liquids in technological systems of energy enterprises, and the analysis is carried out in two aspects: the use as working media-energy carriers and the use as technological media. It is shown that there are many technical problems associated with the use of various liquid media, and in this regard, a generalized kinematic analysis of possible ways to control their movement is determined, the assessment of the energy-power aspects of the control actions is given, since the implementation of a particular control method requires certain energy costs. The basic fundamental equations of hydrodynamics are used to analyze the methods of controlling the flow of liquid media. As the most used method for controlling the flow of liquid media, a method for controlling the average flow rate is identified.

*Keywords:* technical fluids; kinematic analysis; methods of controlling the flow of liquid media; technical systems of energy companies.

Во многих областях науки и энергетики находят разнообразное применение различные технические жидкости, без участия которых функционирование целого ряда технико-технологических систем энергетических предприятий не представляется возможным. Для их анализа логично выделить два принципиально разных варианта использования технических жидкостей (ТЖ) [1, 2]: применение ТЖ в качестве рабочих сред – энергоносителей (РТЖ); применение ТЖ в качестве технологических сред (ТТЖ). В первом случае рабочая техническая жидкость (РТЖ), как правило, циркулирует по замкнутому гидравлическому контуру, осуществляя перенос гидромеханической энергии от источника (насосной станции) к исполнительному механизму для совершения им необходимой полезной работы (системы гидропривода станков и механизмов, транспортные системы и др.) [3].

Наличие замкнутого гидравлического контура дает возможность длительного использования некоторого ограниченного объема РТЖ, без ее непрерывной замены и пополнения. В случае использования ТЖ в качестве технологической среды (ТТЖ) происходит подача вещества и/или энергии ТТЖ в зону выполнения технологических операций для обеспечения возможности протекания либо интенсификации технологического процесса. В этом случае обычно производится дозированная подача требуемого объема ТТЖ с последующим возмещением израсходованной ТТЖ из соответствующего резервуара (системы топливоподдачи ДВС, поддачи СОЖ в зону металлообработки, струйные технологические установки) [4, 5].

Существуют также системы промежуточного типа, в которых происходит циркуляция некоторого объема ТЖ по замкнутому контуру в течение достаточно ограниченного времени, затем производится обновление использованной ТЖ (системы сепарации и регенерации ТЖ и др.) [6].

Работа всех подобных систем основана на едином общем принципе – управлении движением потоков используемых ТЖ. При этом способы организации управления потоками РТЖ или ТТЖ можно поделить на кинематические и динамические [2]. Учитывая многообразие технических задач, связанных с применением различных жидких сред, целесообразно прове-

сти обобщенный кинематический анализ возможных способов управления их движением, и дать оценку энергосиловых аспектов управляющих воздействий, поскольку реализация того или иного способа управления требует определенных энергетических затрат.

Для анализа способов управления течением жидких сред необходимо использовать основные фундаментальные уравнения гидродинамики, отражающие физические законы сохранения энергии [7–9]. К ним относится уравнение неразрывности, выражающее закон сохранения вещества (массы). В интегральной форме имеем [8, 9]:

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho dV = \int \left( \frac{d\rho}{dt} + \vec{V} \nabla \rho + \rho \nabla \vec{V} \right) dV = 0. \quad (1)$$

Откуда получается дифференциальная форма уравнения неразрывности [5]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0. \quad (2)$$

Из (2) следует, что

$$\int_V \frac{d\rho}{dt} dV = - \int_V \nabla \cdot (\rho \vec{V}) dV. \quad (3)$$

На основе теоремы Остроградского–Гаусса из (3) получаем:

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho dV = - \oint_S \rho V_n dS \quad \text{или}$$

$$\frac{dM_V}{dt} = - \oint_S \rho V_n dS = Q_M. \quad (4)$$

Таким образом, скорость изменения массы  $M_V$  внутри фиксированного объема  $V$  равна массе жидкости, вытекающей из объема  $V$  через поверхность  $S$  в единицу времени, что и отражает закон сохранения массы. Величина  $\frac{dM_V}{dt} = Q_M$

характеризует массовый расход среды, который согласно (4) определяется скоростью протекания единицы массы среды через поверхность  $S$  выделенного объема  $V$ . В общем случае, с учетом (4) можно записать поток массы через произвольную поверхность сечением  $S$  (массовый расход):

$$Q_M = \int_S \rho V_n dS. \quad (4')$$

где  $V_n$  – проекция местной скорости  $\vec{V}$  на нормаль  $\vec{n}$  к поверхности  $S$ .

Во многих технических задачах бывает достаточно знать среднюю по сечению  $S$  скорость  $\langle V \rangle$ . На основании (4) имеем:

$$\langle V \rangle = \frac{1}{S\rho} \int \rho V_n dS = \frac{Q_M}{S'\rho}. \quad (5)$$

Из (5) следует:  $Q_M = \rho S \langle V \rangle$ . На основании чего можно записать:

$$\frac{\delta Q_M}{Q_M} = \frac{\delta \rho}{\rho} + \frac{\delta S}{S} + \frac{\delta \langle V \rangle}{\langle V \rangle}. \quad (6)$$

Соотношение (6) позволяет провести кинематический анализ способов управления расходом рабочей среды: согласно (6) относительное изменение массового расхода складывается из относительных вариаций плотности среды  $\frac{\delta \rho}{\rho}$ , проходного сечения  $\frac{\delta S}{S}$  и средней скорости  $\frac{\delta \langle V \rangle}{\langle V \rangle}$ .

В рамках такого кинематического анализа способов организации управления течением жидких сред целесообразно использовать и вариационно-параметрический принцип их классификации по способу управления массовым расходом ТЖ, так как он является наиболее универсальной обобщенной характеристикой движения сплошных текучих сред:  $Q_M = \rho \langle \hat{V} \rangle S$ , где  $\rho$  – объемная плотность среды;  $\langle \hat{V} \rangle$  – модуль средней скорости (местная скорость) ее течения;  $S$  – площадь поперечного “живого” сечения потока среды [2]. (Для потоков заряженных сред, например, плазмы, аналогом величины  $Q_M$  является сила тока:  $I = \rho_e \langle V \rangle S$ , где  $\rho_e$  – объемная плотность заряда.) Очевидно, что управление движением текучей среды сводится, в конечном счете, к модуляции расхода среды через заданное контрольное сечение. Последнее может быть достигнуто вариацией одного либо нескольких из параметров:  $\rho$ ,  $V_{cp}$ ,  $S$  [4].

Управление расходом за счет изменения плотности среды в практическом отношении наиболее реализуемо для легкокипящих жидкостей (например, фреона), либо в случае парогазо-жидкостных смесей [10]. Подобного рода системы наиболее пригодны, например, в тепло- и массообменных аппаратах, в том числе космического назначения. Что касается традиционных гидродинамических систем, то в них управление расходом ТЖ обеспечивается, как правило, вариацией модуля средней скорости среды  $\langle \hat{V} \rangle$ , либо вариацией площади поперечного сечения  $S$ .

Последний способ реализуется чаще всего на основе механических регулирующих элементов (клапаны, задвижки, заслонки, золотники и т. д.) [3].

К числу наиболее используемых способов управления течением жидких сред относится способ управления величиной средней скорости потока. Поскольку, в принципе, скорость является векторной величиной, то путем соответствующих управляющих воздействий можно менять как модуль, так и направление местной скорости потока, что используется, например, в устройствах струйной техники [2, 4].

Управление изменением модуля средней скорости потока может осуществляться различными способами: турбуляризацией [10, 11], либо, наоборот, ламинаризацией течения, использованием упругих границ и др. [1]. В последнее время в связи с появлением и развитием новых направлений гидродинамики: магнитной (МГД) [12] и электро- (ЭГД)-гидродинамики [13], феррогидродинамики [14], гидродинамики электро-реологических сред, микрогидродинамики [15] стали внедряться и совершенствоваться новые методы непосредственного “бесконтактного” управления движением и характеристиками жидких сред с помощью различных видов физических полей, в первую очередь электромагнитных, а также их сочетаний [16].

#### Литература

1. Меркулов В.И. Управление движением жидкости / В.И. Меркулов. Новосибирск: Наука, 1981.
2. Знамцев Ю.М. Автоматизация процессов управления расходом технических жидкостей в гидрофицированном технологическом оборудовании на основе электрогидродинамических усилителей-преобразователей мощности с минимальной энергетической избыточностью управления / Ю.М. Знамцев: автореф. дис... канд. техн. наук. Саратов: СГТУ, 2004. 16 с.
3. Навроцкий К.А. Теория и проектирование гидравлических приводов / К.А. Навроцкий. М.: Машиностроение, 1991. 384 с.
4. Знамцев Ю.М. Разработка ЭГД-устройств точного дозирования жидких топлив и масел и вопросы автоматизации систем с ДВС / Ю.М. Знамцев, В.В. Власов // Проблемы экономичности и эксплуатации ДВС в АПК СНГ. Вып. 7. Саратов: СГУ, 1996. С. 11–12.

5. Бердичевский Е.Г. Смазочно-охлаждающие средства для обработки материалов: справочник / Е.Г. Бердичевский. М.: Машиностроение, 1984. 224 с.
6. Кочанов Э.С. Электрические методы очистки и контроля буровых топлив / Э.С. Кочанов, Ю.С. Кочанов, А.Е. Скачков. Л.: Судостроение, 1990. 216 с.
7. Ландау Л.Д. Гидродинамика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. М.: 1986. 736 с.
8. Бреховских Л.М. Введение в механику сплошных сред / Л.М. Бреховских, В.В. Гончаров. М.: Наука, 1982.
9. Емцов Б.Т. Техническая гидромеханика / Б.Т. Емцов. М.: Машиностроение, 1978. 463 с.
10. Кутателадзе С.С. Гидродинамика газожидкостных систем / С.С. Кутателадзе, М.А. Стыркович. М.: Энергия, 1976. 296 с.
11. Нагорный В.С. Устройства автоматки гидро- и пневмосистем / В.С. Нагорный, А.А. Денисов. М.: Высшая школа, 1991. 367 с.
12. Ватажин А.Б. Магнитогиродинамика течения в каналах / А.Б. Ватажин, Г.А. Любимов, С.А. Регирер. М.: Наука, 1970.
13. Милчер Дж. Р. Электрогиродинамика / Дж. Р. Милчер // Магнитная гиродинамика. 1974. № 2. С. 3–30.
14. Розенцвейг Р. Феррогиродинамика / Р. Розенцвейг. М.: Мир, 1989. 351 с.
15. Gijs A.M. Magnetic bead handling on-chip: new opportunities for analytical applications. A.M. Gijs // Microfluid-Nanofluid. 2004. Vol. 1. P. 22–40.
16. Знамцев Ю.М. Анализ возможностей синтеза мехатронных систем с ЭГД и МГД устройствами автоматки. Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании / Ю.М. Знамцев, М.В. Рогова, С.Н. Грицюк // Сб. трудов I межд. научн-практ. конф. М.: НИЯУ МИФИ; БИТИ НИЯУ МИФИ, 2019. С. 60–64.