

Рис. 4. Значення коефіцієнтів тепловіддачі: квадратики — при кипінні води у щільному каналі, штрихова крива — розрахунки кипіння у великому об'ємі

таким чином, щоб ширина кільцевого зазора змінювалася від 2 до 8 мм.

Експериментальні дані, отримані при кипінні рідини в кільцевому каналі, подані на рис. 4, свідчать про істотну відмінність отриманих коефіцієнтів тепловіддачі  $\alpha$  від розрахованих за залежностями для кипіння рідини в умовах вільної конвекції у великому об'ємі, запропонованими у [2]. Видно помітні розходження як абсолютних значень коефіцієнтів тепловіддачі при рівних щільностях теплового потоку  $q$ , так і характеру взаємозв'язку

величин  $\alpha$  і  $q$  аналізованих процесів. Зі збільшенням щільності теплового потоку вплив щільності, що інтенсифікує тепловіддачу, зменшується, а починаючи з деяких значень  $q$ , спостерігається навіть погіршення тепловіддачі в порівнянні з вільним об'ємом рідини.

На базі досліджень розроблені і виготовлені автономні енергокомплекси на основі двофазних термосифонів з рознесеними у просторі зонами нагрівання й охолодження.

1. Пиоро И. Л., Антоненко В. А., Пиоро Л. С. Эффективные теплообменники с двухфазными термосифонами.—Киев; Наук. думка, 1991.
2. Стюшин Н. Г., Элинзон Л. М. Исследование интенсивности теплоотдачи кипящим жидкостям при атмосферном и пониженных давлениях в условиях естественной конвекции // ИФЖ.—1969.—16, N 1.—54 с.
3. Чернобыльский И. И., Тананайко Ю. М. Теплообмен при кипении жидкости в кольцевом канале // ЖТФ.—1956.—26, вып. 10.—С. 2316—2322.

#### INVESTIGATION OF HEAT EXCHANGE FOR MOBILE STEAM GENERATORS WITH A PURPOSE OF UTILIZATION OF POWER PLANTS

L. V. Pron', L. V. Kabakova

An experimental apparatus is designed for study of heat exchange with a purpose of utilization of power plants. The experimental data are received using a boiling water in the narrow space conditions.

УДК 621.454.2.04:621.646.2/.4

### О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ АГРЕГАТОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

© С. А. Шевченко

Державне конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля

Приведено аналіз конструктивних особливостей і застосування гідравлічних і газових регуляторів, в яких замість електромеханічного приводу для програмного переналаштування використовується електромагніт постійного струму. Розглядаються схеми та конструкції агрегатів регулювання з електромагнітним керуванням.

В настоящее время для программной перенастройки регуляторов ЖРД применяются электромеханические приводы (ЭП). Они используются в системах регулирования кажущейся скорости, системах регулирования уровня топлива и во внутренних систе-

мах стабилизации параметров самих двигателей. Величина усилия, передаваемого чувствительному элементу, пропорциональна углу поворота вала ЭП (рис. 1, а). ЭП являются сложными устройствами, и их масса в большинстве случаев превышает массу

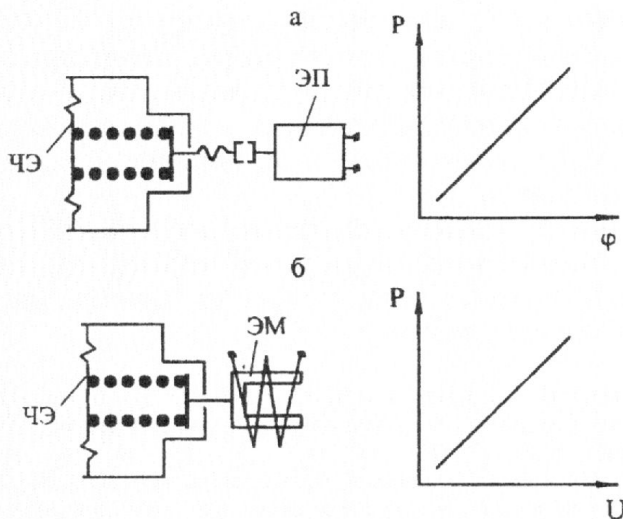


Рис. 1. Схемы механизмов перенастройки регуляторов: а — с электромеханическим приводом, б — с электромагнитным приводом; ЧЭ — чувствительный элемент

управляемых ими агрегатов двигателя.

В двигательных установках зачастую вместо ЭП можно использовать обычные электромагниты постоянного тока (ЭМ). В этом случае величина усилия, передаваемого чувствительному элементу пропорциональна величине напряжения, подаваемого на обмотку ЭМ [1] (рис. 1, б). Такие возможности есть как в системах непрерывного, так и в системах дискретного регулирования. Рассмотрим их подробнее.

#### ИЗМЕНЕНИЕ НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРОВ СООТНОШЕНИЯ РАСХОДОВ

В качестве примера на рис. 2 приведена схема стабилизатора давления непрямого действия, используемого в системах стабилизации соотношения расходов в камерах сгорания и в газогенераторах ЖРД. Назначение стабилизатора — поддерживать перед форсунками регулируемого агрегата равенство давлений горючего и окислителя. В изображенном случае магистраль окислителя является командной, а горючего — регулируемой. Регулируемое и управляющее давления сравниваются на чувствительном элементе — мембране 4. Сигнал рассогласования — разность давлений  $\Delta p_m = p_y - p_p$  — заставляет мембрану прогибаться относительно сопла 3 гидроусилителя. Это приводит к изменению давления перед поршнем 2 исполнительного механизма серводросселя, установленного в регулируемой магистрали горючего. Если  $\Delta p_m$  увеличивается, то давление перед поршнем уменьшается, поршень перемещается вправо, при этом дроссельная игла 1

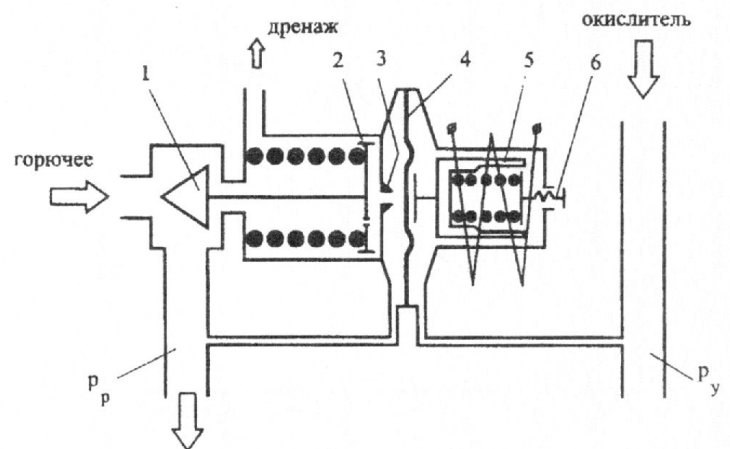


Рис. 2. Конструктивная схема стабилизатора соотношения расходов компонентов в газогенераторе ЖРД: 1 — игла серводросселя, 2 — поршень серводросселя, 3 — сопло гидроусилителя, 4 — мембрана, 5 — электромагнит, 6 — регулировочный винт

открывает проходное сечение магистрали горючего. Давление горючего на выходе из серводросселя увеличивается и рассогласование давлений  $\Delta p_m$  восстанавливается. При уменьшении  $\Delta p_m$  процесс идет в обратном направлении. Стабилизатор при контрольных испытаниях настраивают так, чтобы рассогласование  $\Delta p_m$  было близко к нулю. Можно представить случай, когда при огневых испытаниях двигателей или в процессе полета необходимо изменять соотношение расходов, т. е. изменять величину  $\Delta p_m$ . Этого можно достигнуть плавно или дискретно изменяя напряжение питания на обмотке ЭМ, что приведет к плавному или дискретному

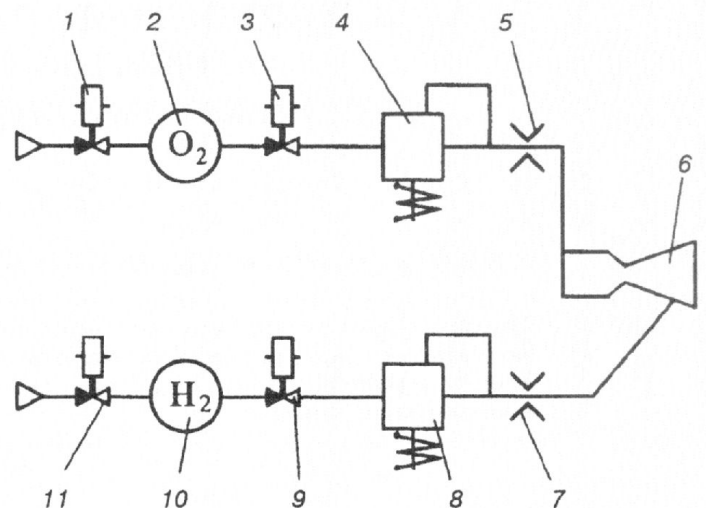


Рис. 3. Схема двигательной установки КЛА, работающей на продуктах электролизного разложения воды: 1, 3, 9, 11 — электропневмоклапаны, 2 — ресивер кислорода, 4 — редуктор давления кислорода, 5, 7 — расходные шайбы, 6 — микродвигатель, 8 — редуктор давления водорода

изменению соотношения расходов, в данном случае газогенератора. Закон изменения будет определяться формой тяговой характеристики ЭМ и законом изменения подаваемого на его катушку напряжения.

#### ИЗМЕНЕНИЕ ТЯГИ И СООТНОШЕНИЯ РАСХОДОВ В ДВИГАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ КОСМИЧЕСКОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА (КЛА)

Для ориентации КЛА на орбите перспективным направлением является применение двигательных установок, рабочее тело которых — газообразные кислород и водород, получаемые путем электролиз-

ного разложения воды. Проект такой двигательной установки был разработан в ГKB «Южное».

Так как точная настройка производительности электролизеров затруднительна, то для расходования избыточного рабочего тела целесообразно иметь возможность плавно или ступенчато изменять настройку редукторов, понижающих давление кислорода и водорода на входе в микродвигатели (рис. 3). Увеличивая давление настройки, например редуктора 4, при неизменной настройке редуктора 8 можно увеличивать расход кислорода, повышая коэффициент соотношения расходов, или наоборот, понизить его за счет увеличения давления настройки редуктора 8 при неизменной настройке редуктора 4. По конструкции редукторы могут быть

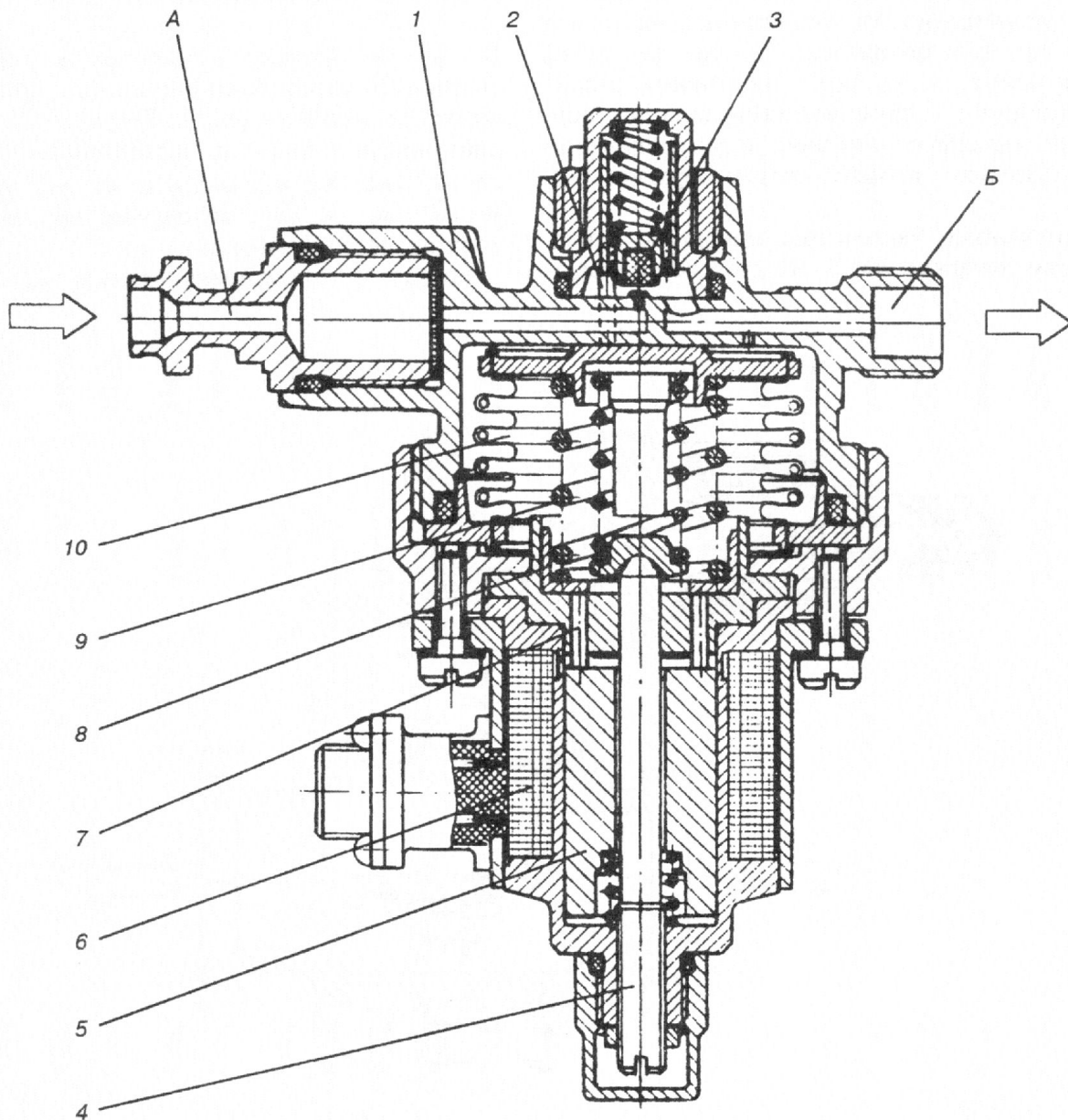


Рис. 4. Конструкция редуктора давления со ступенчатым изменением настройки: 1 — корпус, 2, 7 — толкатель, 3 — клапан, 4 — винт регулировочный, 5 — якорь, 6 — электромагнит, 8 — опора, 9 — пружина, 10 — сильфон



выполнены со ступенчатым или плавным изменением настройки. Схема позволяет изменять и тягу микродвигателя, одновременно увеличивая или уменьшая напряжение на ЭМ редукторов  $H_2$  и  $O_2$ .

Конструкция редуктора со ступенчатым изменением настройки показана на рис. 4. Чувствительным элементом редуктора является сильфон 10, а исполнительным элементом — дроссельная пара, образованная клапаном 3 и седлом в корпусе 1. Клапан и поршень кинематически связаны между собой толкателями 2. Входное давление подводится в полость А и, понижаясь при прохождении через зазор между клапаном и седлом, попадает в выходную полость Б и полость под сильфоном. Редуктор настраивают на требуемое выходное давление регулировочным винтом 4. При снижении выходного давления относительно настроенного значения под действием пружин подвижные детали редуктора смещаются вверх, и за счет увеличения зазора между клапаном и седлом восстанавливается первоначальное выходное давление. При увеличении выходного давления процесс идет в обратном направлении.

Для ступенчатого увеличения выходного давления редуктор содержит ЭМ 6. Якорь 5 через толка-

тели 7 кинематически связан с опорой 8 пружины 9. При подаче напряжения на обмотку ЭМ якорь притягивается к штоку и через толкатели сжимает пружину 9. За счет увеличения усилия пружины увеличивается давление за редуктором. Редуктор настраивают на требуемое выходное давление регулировочным винтом при обесточенном ЭМ, а величина ступенчатого увеличения давления обеспечивается за счет выбора хода якоря и жесткости пружины 9. Величина ступенчатого изменения давления составляет  $0.2 \cdot 10^5$  Па при давлении настройки 0.2 МПа.

#### ИЗМЕНЕНИЕ НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРА ДАВЛЕНИЯ ГАЗА С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ «ДО СЕБЯ»

В качестве примера, проверенного нами экспериментально, рассмотрим регулятор, конструкция которого показана на рис. 5. Регулятор поддерживает давление  $p_1$  в емкости, установленной на входе за счет сброса газа в дренаж через свой исполнительный клапан 5. Чувствительным элементом регулятора является мембрана 2.

Регулятор имеет пневмоусилитель, состоящий из

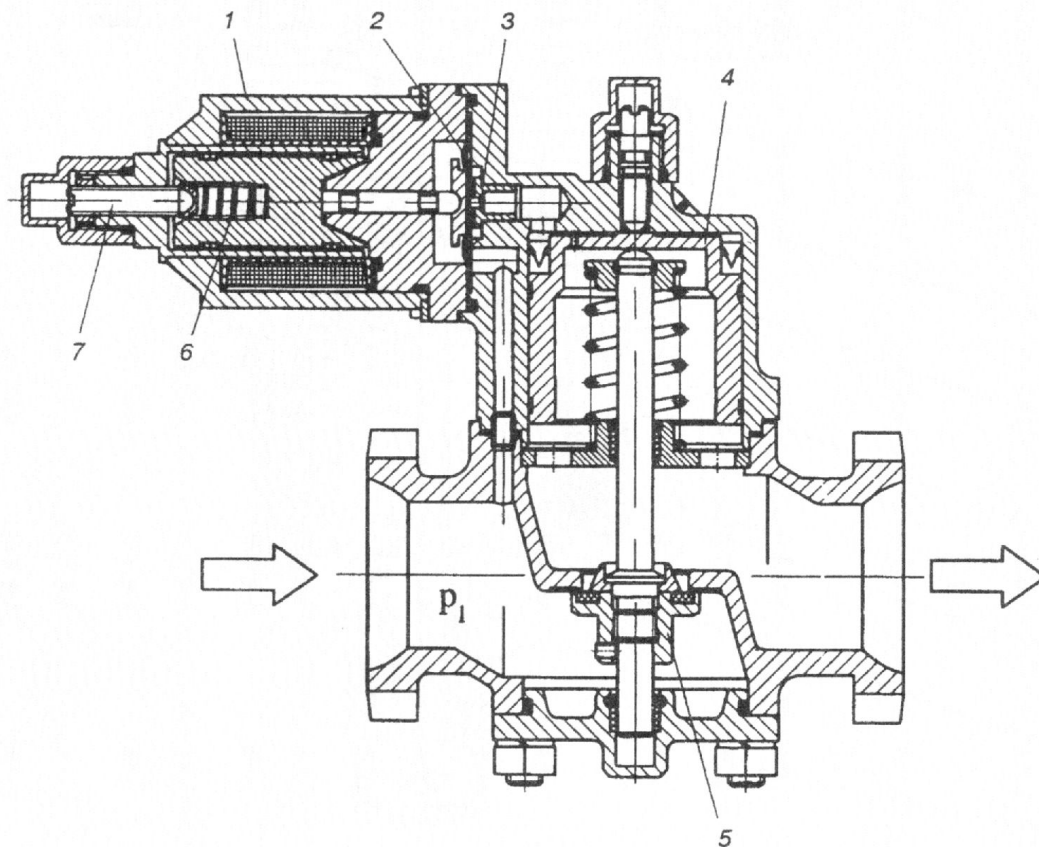


Рис. 5. Конструкция регулятора давления с обратной связью «до себя»: 1 — электромагнит, 2 — мембрана, 3 — сопло, 4 — поршень, 5 — клапан, 6 — регулировочный винт

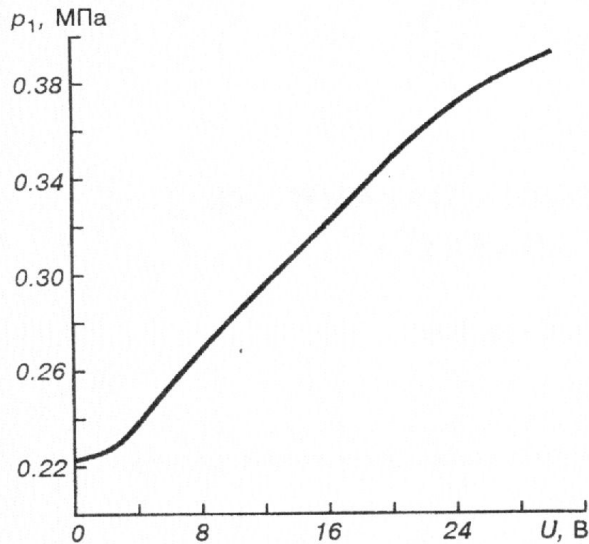


Рис. 6. Зависимость давления настройки регулятора от напряжения на обмотке электромагнита

дресселя переменного сопротивления, образованного поверхностью мембраны 2 и сопла 3, и дросселя постоянного сопротивления — жиклера в поршне 4. Поршень 4 является исполнительным элементом регулятора. Он открывает или закрывает при своем движении клапан 5, который в свою очередь увеличивает или уменьшает расход газа из емкости в дренаж. За счет изменения расхода и осуществляется регулирование давления газа в емкости. Регулятор настраивается на минимальное входное давление регулировочным винтом 7. Кроме настроечной пружины 6 на чувствительный элемент регулятора может воздействовать усилие якоря ЭМ 1. При увеличении напряжения на обмотке ЭМ увеличивается настроечное усилие на чувствительный элемент. Соответственно регулятор перенастраивается на большее входное давление.

Была изготовлена опытная партия таких регуляторов и проведены ее предварительные доводочные испытания. Изменение напряжения постоянного тока на обмотке ЭМ от 0 до 28 В приводит к

плавному увеличению настроечного давления от 0.22 до 0.39 МПа. Экспериментальная характеристика показана на рис. 6. В ходе испытаний было выяснено, что при повышении напряжения на обмотке ЭМ в системе возникают автоколебания, связанные с отрицательной жесткостью ЭМ. Для обеспечения устойчивости процесса регулирования необходимо, чтобы жесткость ЭМ была меньше жесткости чувствительного элемента.

Полученные нами результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Применение электромагнитного управления рационально в случаях, когда для изменения настройки необходимо изменять усилие на чувствительном элементе на величину не более 0.2—0.3 кН и не требуются большие перемещения элементов настройки. При больших усилиях и перемещениях резко увеличивается масса конструкции.

2. Наиболее просто задача использования электромагнитного управления решается в случаях дискретного регулирования. При непрерывном регулировании возникают трудности с обеспечением устойчивости процесса регулирования из-за отрицательной жесткости ЭМ.

3. В рассмотренных случаях применение ЭМ вместо ЭП дает выигрыш по массе конструкции на 1.5—2.5 кг и существенно уменьшает ее стоимость.

1. Ратманский О. И., Кричкер И. Р. Арматура реактивных систем управления космических летательных аппаратов.— М.: Машиностроение, 1980.—136 с.

#### ON POSSIBILITY TO USE FLOW CONTROL UNITS OF ELECTROMAGNETIC TYPE FOR LIQUID PROPELLANT ROCKET ENGINES

S. A. Shevchenko

An analysis of design peculiarities and utilization of liquid/gas flow control units is presented. The units employ an electromagnet of direct current for a programmed re-tuning instead of an electro-mechanical actuator. Several schemes and designs of control units of electromagnetic type are considered.