

И. Н. КРАЕВ, В. Н. ТИТОВ

### ИНДУКЦИОННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ РАСХОДА

(Рекомендована объединенным научным семинаром кафедр)

Все возрастающее применение измерительных приборов в химической промышленности и в смежных с ней отраслях вызывает необходимость создания более совершенных средств измерения расхода жидкостей. Работы, связанные с высокими скоростями химических реакций, часто требуют применения приборов расхода жидкости, обладающих малой инерционностью, имеющих простую схему измерения и позволяющие обеспечить надежный технологический контроль.

Измерение расхода и количества веществ, участвующих в технологических процессах химических производств, играет важную роль не только как средство контроля результатов производственного процесса, но и как один из основных факторов управления ходом производства.

Специфические условия химических производств, вызванные применением агрессивных сред, высоких давлений и др., часто требуют

использования специальных приборов. Индукционный расходомер может измерять объемный расход жидкостей, обладающих электрической проводимостью, в частности, едких кислот, вязкоз, сточных вод, жидких кислых горных пород, песчаных и водных шламов, бумажной сырьевой массы, смоляного клея, моющих средств и пищевых продуктов.

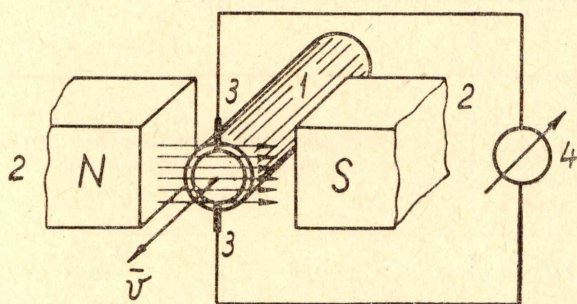


Рис. 1. Схема индукционного расходомера: 1 — трубопровод; 2 — магнит; 3 — измерительные электроды; 4 — регистрирующий прибор.

Создание индукционного расходомера является новым методом решения проблемы измерения расхода жидкостей, причем методом не гидравлическим. Принцип, заложенный в его основе, широко известен и заключается в том (рис. 1), что при движении проводника в магнитном поле, в направлении, перпендикулярном этому проводнику и магнитным силовым линиям, в нем индуцируется э. д. с., величина кото-



рой прямо пропорциональна числу силовых линий, пересекаемых проводником в единицу времени.

Индукционный расходомер имеет ряд существенных преимуществ перед расходомерами, основанными на измерении перепада давлений, и расходомерами с переменной площадью проходного сечения.

В этом расходомере нет дроссельного устройства, потери напора и отвода давления, вследствие этого расход вышеупомянутых жидкостей измеряется с постоянной точностью.

Расходомер, изготовленный в лаборатории института, состоит из датчика, в котором индуцируется э. д. с., обусловленная движением жидкости в магнитном поле, и вторичного прибора.

Фотография датчика приведена на рис. 2. Магнитная система датчика состоит из магнита броневых типа, имеющем две бескаркасные седлообразные обмотки, предназначена для создания однородного магнитного поля между электродами датчика. Труба датчика выполнена из немагнитной нержавеющей стали. Коррозийная устойчивость прибора обеспечивается тем, что внутренняя поверхность трубы датчика покрыта изоляционным материалом, в качестве которого использовалась твердая резина. В зависимости от условий работы расходомера изолирующий слой наносится из твердой резины, фторопласта (различных марок), стекловолокна, эпоксидной смолы и т. д.

Возникающий при движении жидкости электрический потенциал снимается с двух электродов малого диаметра, расположенных в диаметрально противоположных точках сечения трубы. Торцевые поверхности электродов заделаны так, что они не вызывают возмущений потока жидкости. Труба датчика жестко закреплена в воздушном зазоре электромагнита и помещается в состоящий из двух половинок ферромагнитный корпус, выполняющий также функции экрана. Габариты датчика прибора при наружном диаметре трубопровода, равном 60 мм, не превышают  $100 \times 100 \times 200$  мм.

Выводы электродов выполнены экранированными проводами. Подвод питания к обмоткам электромагнита и отвод индуцируемой на электродах датчика э. д. с. осуществляется с помощью проходных изоляторов (рис. 3).

Проведенные измерения распределения магнитной индукции в воздушном зазоре датчика показали, что неоднородность поля в данной конструкции электромагнита как в осевом, так и в радиальном направ-

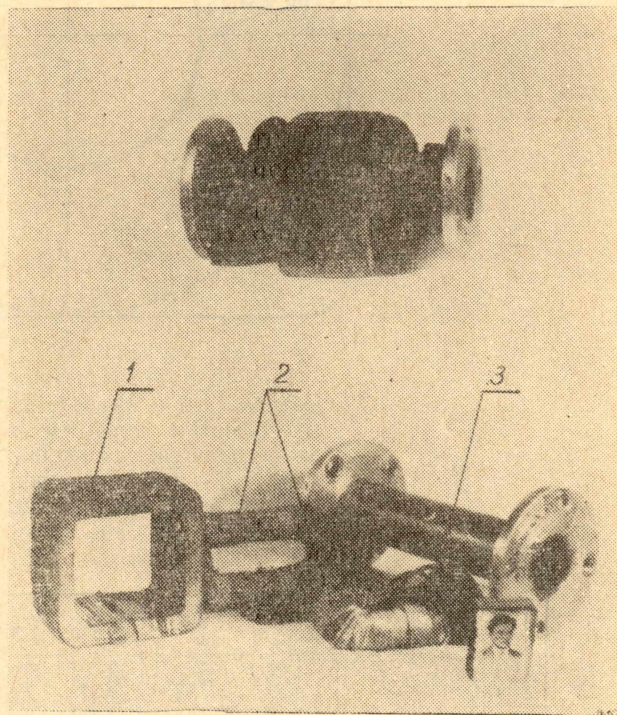


Рис. 2. Фотография датчика: 1 — сердечник магнита; 2 — обмотка возбуждения; 3 — измерительная труба.



лении составляет  $1 \div 1,5\%$ . Поэтому зависимость показаний прибора от эюры скоростей незначительна.

Принципиальная схема расходомера приведена на рис. 4. Э. д. с., индуцируемая в датчике и пропорциональная измеряемому расходу

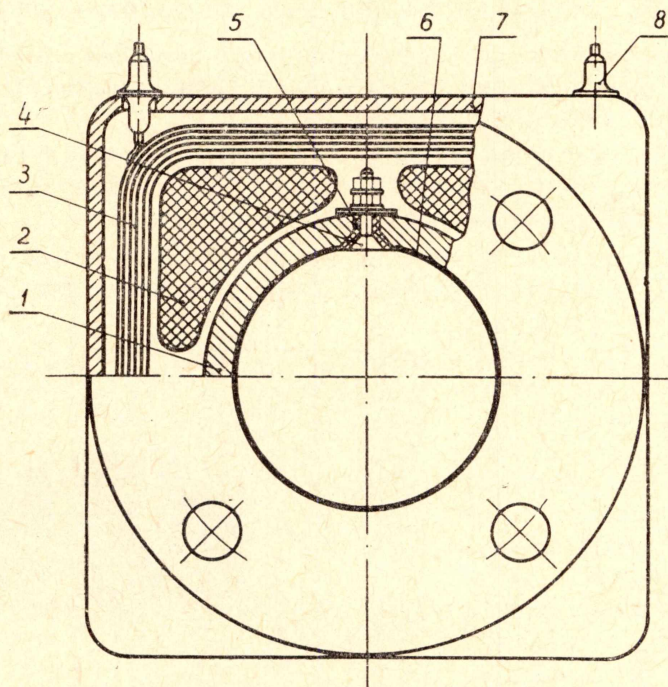


Рис. 3. Конструктивное исполнение датчика: 1 — измерительная труба; 2 — обмотка возбуждения магнита; 3 — сердечник магнита; 4 — электрод; 5 — изоляционная прокладка; 6 — изоляционный слой; 7 — экран; 8 — изолятор.

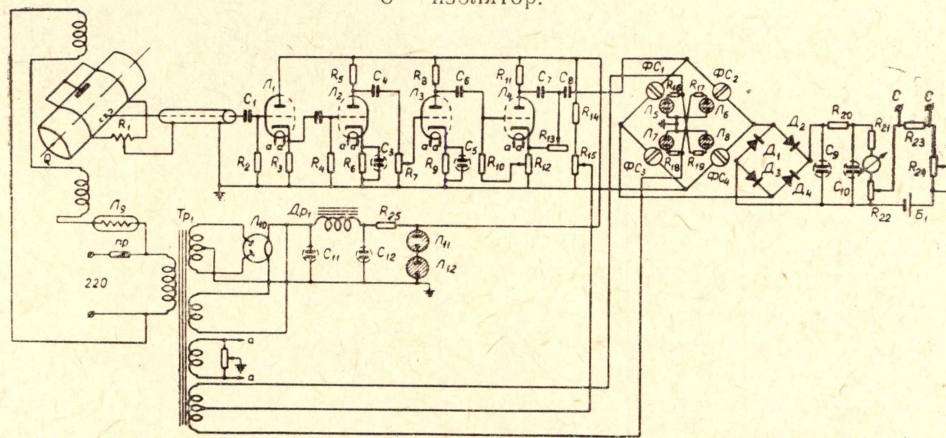


Рис. 4. Принципиальная схема расходомера.

жидкости, по экранированному кабелю линии связи подается на вход усилителя. Для того, чтобы практически весь сигнал, индуцируемый на электродах датчика, был подан на вход усилителя, входное сопротивление усилителя должно быть велико. Для этой цели на входе усилителя ставим катодный повторитель, собранный на лампе  $L_1$ . На лампах  $L_2$  и  $L_3$  собран усилитель напряжения с реостатно-емкостной связью. Усиленный сигнал подается на фазовращательный каскад,



собранный на лампе Л<sub>4</sub>. Наличие фазовращателя объясняется необходимостью согласования фазы выходного напряжения усилителя и фазы напряжения, поджигающего неоновые лампочки.

Компенсация трансформаторной э. д. с. осуществляется с помощью применения специального фазоизбирательного элемента. Таким элементом используемой схемы является мостовая схема умножения. Увеличение чувствительности фазоизбирательного элемента достигается включением четырех фотосопротивлений с одинаковыми параметрами по мостовой схеме. Подсветка фотосопротивлений осуществляется с помощью неоновых лампочек типа МН-8.

Для синусоидального магнитного поля сигнал, снимаемый с электродов датчика, состоит из двух составляющих, а именно:

$$e_0 = (e_1 \cos \omega t + e_2 \sin \omega t), \quad (1)$$

где  $e_1 \cos \omega t$  — напряжение в фазе с магнитным полем, пропорциональное скорости потока;

$e_2 \sin \omega t$  — напряжение поперек, не зависящее от потока и сдвинуто по фазе на  $90^\circ$ .

Чтобы получить напряжение, пропорциональное потоку жидкости, необходимо выделить первый член в уравнении (1) и подавить второй член. Это можно осуществить, если снимаемое с электродов напряжение умножить на член с постоянной амплитудой, совпадающей по фазе с магнитным полем  $e_3 \cos \omega t$ .

В нашем случае напряжением  $e_3 \cos \omega t$  питаются неоновые лампочки. Напряжение  $e_0$ , снимаемое с электродов, приложено к питающей диагонали моста.

Схема умножения работает следующим образом: при отсутствии подсветки все фотосопротивления оказываются в одинаковых условиях и мост сбалансирован.

В первую половину периода горят лампочки Л<sub>6</sub>, Л<sub>7</sub>, внося разбаланс в работу моста, лампочки Л<sub>5</sub>, Л<sub>8</sub> погашены. Величины сопротивлений ФС<sub>2</sub> и ФС<sub>3</sub> в первую половину периода изменяются от  $R_T$  до  $R_c$  и до  $R_T$ , т. е. частота изменения сопротивлений равна частоте изменения  $e_3 \cos \omega t$ .

Максимальный разбаланс моста наступает, когда фаза напряжения, питающего лампочки, совпадает с фазой напряжения, приложенного к питающей диагонали моста. В конце первой половины периода все лампочки погашены и мост опять сбалансирован.

Во вторую половину периода  $e_3 \cos \omega t$  поджигает лампочки Л<sub>5</sub>, Л<sub>8</sub>; картина изменения сопротивлений повторяется.

Аналитически результат умножения можно представить в виде

$$\begin{aligned} e'_0 &= (e_1 \cos \omega t + e_2 \sin \omega t) e_3 \cos \omega t = \\ &= \frac{1}{2} (e_1 e_3 + e_1 e_3 \cos 2\omega t + e_2 e_3 2\omega t). \end{aligned} \quad (2)$$

Поставив на выходе схемы умножения фильтр, можно выделить чистый сигнал

$$e = \frac{1}{2} e_1 e_3. \quad (3)$$

Полученный результат характеризует сигнал с электродов датчика. В качестве регистрирующего прибора предусмотрен показывающий прибор и самописец.

На рис. 5 представлена экспериментальная зависимость выходного сигнала датчика от величины расхода. Многократные измерения показали, что расходимость результатов незначительна.



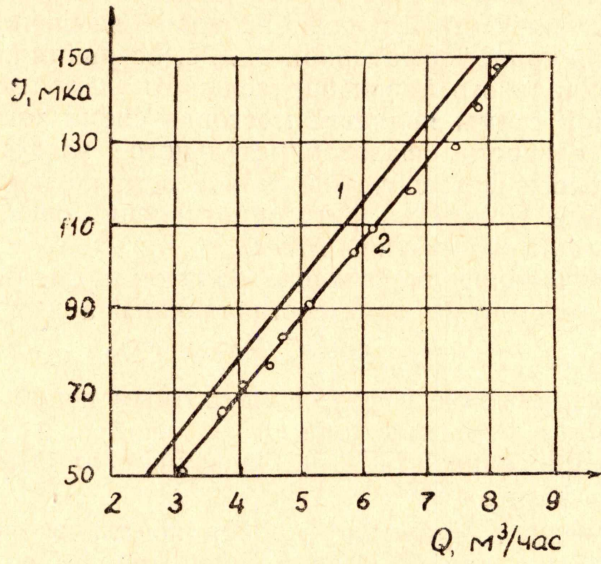


Рис. 5. Зависимость показаний регистрирующего прибора от величины расхода: 1 — расчетная; 2 — экспериментальная.

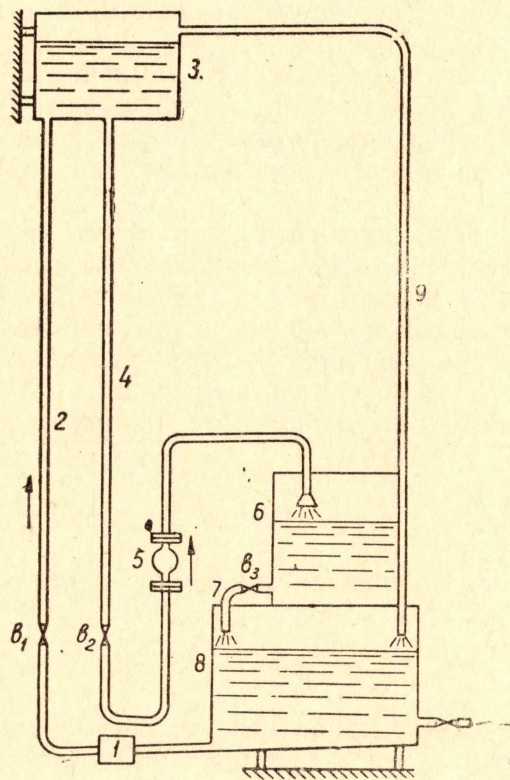


Рис. 6. Схема испытательной установки.



Исследование опытного образца электромагнитного расходомера проводилось на водомерной испытательной установке (рис. 6). Вода насосом 1 засасывается из питающего бака 8 и подается в напорный бак 3, расположенный на высоте 10 м. Жидкость из напорного бака 3 по трубопроводу 4 стекает в мерный бак 6. Датчик монтируется на участке трубопровода 4. Вентиль  $V_2$  служит для регулирования расхода жидкости через датчик. Мерный бак установки предварительно был проградуирован при помощи мерника.

Для поддержания относительно постоянного уровня в напорном баке 3 служит трубопровод 9, по которому жидкость при превышении некоторого уровня стекает в накопительный бак 8. Трубопровод 7 и вентиль  $V_3$  служат для спуска воды из измерительного бака 6 в накопительный бак 8.

Основная погрешность датчика не превосходит  $\pm 2\%$ .

---