

УДК 681.2.083

DOI: 10.17223/00213411/64/2-2/106

Г.В. СУМИН, А.А. ДЕНИСЕВИЧ, А.Г. ГОРЮНОВ, С.Н. ЛИВЕНЦОВ

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ МАЛЫХ РАСХОДОВ РАДИОАКТИВНЫХ ЖИДКОСТЕЙ РАДИОХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Разрабатывалась установка для повышения точности дозирования растворов в технологических процессах ядерных производств. Система реализована с использованием дифференциального манометра и капиллярного сенсора перепада давления. Проведены эксперименты с различными конфигурациями капиллярного сенсора: длины капилляра, внутренние диаметры. Эксперименты проводились на жидкостях различной плотности и вязкости. Представлены результаты экспериментов, структурная схема системы измерения.

Ключевые слова: расход, давление, капилляр, датчик, дозирование.

Введение

Одной из главных особенностей проекта «Прорыв», ключевая задача которого – реализация замкнутого ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ), является малая производительность аппаратов и, как следствие, малые выходные материальные потоки, измерение которых важно для поддержания корректных технологических режимов. Измерение малых расходов (до 18 л/ч) растворов радиохимических производств является специфичной задачей, так как накладываются определенные ограничения на использование оборудования для проведения измерений из-за агрессивности и радиоактивности применяющихся растворов [1].

Проблема точного дозирования на производствах в настоящий момент решается за счет использования перистальтических насосов. Однако из-за своей конструкции при длительном использовании данного насоса в результате механических воздействий гибкий шланг испытывает деформацию, вследствие чего меняется характеристика расхода. Измерения расходов используемых растворов необходимы как для устранения влияния механической деформации, так и для контроля количества используемых реагентов и повышения точности дозирования растворов путем корректировки значения мощности питающих насосов по измеренным значениям расхода. Точное поддержание заданных расходов технологических сред на входах аппаратов, особенно экстракторов – необходимое условие успешного проведения технологической операции [2, 3].

В настоящее время на рынке приборов контроля расхода жидких сред существует множество датчиков, основанных на различных принципах действия: тахометрические, расходомеры постоянного и переменного перепада давления, ультразвуковые, кориолисовы расходомеры и др. Но далеко не все приборы позволяют измерять малые расходы в диапазоне до 18 л/ч.

Известны следующие серийно выпускаемые датчики измерения малых расходов жидких сред:

- ультразвуковые расходомеры серии Es-Flow (компания «Bronkhorst»);
- кориолисовы расходомеры-дозаторы серии mini CORI-FLOW (компания «Bronkhorst»);
- кориолисовы расходомеры серии LF (компания «Micro Motion» корпорации «Emerson»).

Однако указанные измерители малых расходов не могут применяться для радиоактивных жидкостей и не могут устанавливаться в «горячих» камерах (из-за невозможности отделения и дистанционного удаления электронного модуля от сенсора).

Цель работы – разработка установки для повышения точности дозирования растворов в технологических процессах ядерных производств.

1. Разработка системы измерения малых расходов

Для решения проблемы, представленной во введении, была разработана система измерения малых расходов на основе датчика дифференциального давления ДМ5017 и гидравлического сопротивления.

Потеря давления в гидравлическом сопротивлении любого типа зависит от расхода. Поэтому при измерении перепада давления, существующего с обеих сторон гидравлического сопротивления (преобразователь), можно судить о расходе. Преобразователь давления в расход представляет собой капиллярную трубку определенной длины, скрученную в виде спирали.

Получив уравнение зависимости между расходом (эталонным) и перепадом давления на капилляре, можно в дальнейшем, зная перепад, по уравнению рассчитать расход (экспериментальный). Схема измерителя малых расходов представлена на рис. 1.

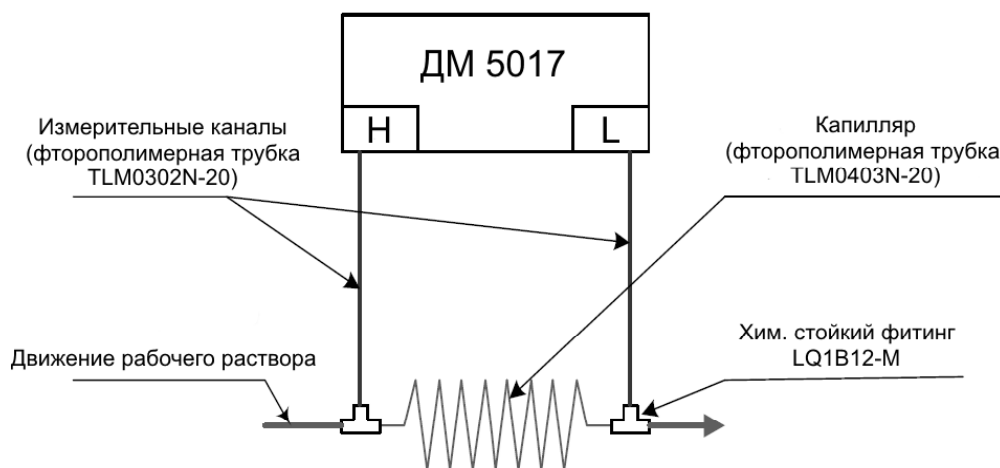


Рис. 1. Схема измерителя малых расходов

Для регистрации перепада давления к торцам фторполимерной трубки TLM0403N-20 подведены измерительные каналы (капилляр TLM0302N-20), которые присоединяются к фитингам LQ1B12-M, а именно к выступающей части, так как по прямому участку тройника будет проходить рабочий раствор. Рабочий раствор представляет собой агрессивную жидкость (азотная кислота и трибутилфосфат). В данной ситуации агрессивная жидкость может по соединительным трубкам попасть в сенсорный блок датчика дифференциального давления, что приведет к его поломке, так как при взаимодействии ее с преобразователями они могут выйти из строя, и тогда будет невозможно производить измерения расхода.

Чтобы избежать данной проблемы, было решено использовать промывочную жидкость, которая подается насосом из бака с разделительной жидкостью через сенсорный блок датчика дифференциального давления по направлению к преобразователю. В качестве разделительной жидкости для уменьшения влияния на производственный процесс можно использовать дистиллированную воду либо среду без радиоактивного излучения, не изменяющую технологический процесс, расход которой измеряется. Экспериментально установлено, что для подводящих капилляров длиной до 10 м (фторполимерная трубка с внутренним диаметром 2 мм) достаточно осуществлять промывку с периодом 1 раз в 8 ч длительностью в 1 с, что не оказывает существенного воздействия на технологический процесс [4, 5].

Применение датчика ДМ 5017 обусловлено его отличительной особенностью: наличием модуля реализации дополнительных функций (дискретные выходы релейного типа, сигнализирующее устройство и дискретный вход типа «Сухой контакт»). Управление модулем происходит по интерфейсу RS-485 с помощью протокола Modbus RTU.

Для управления и снятия выходных характеристик с измерителя малых расходов используется программируемый логический контроллер (ПЛК) 154-220 А.М. фирмы «ОВЕН». Контроллер также производит предварительные расчеты, необходимые для корректного функционирования системы. Визуализация получаемых данных в виде графиков реализуется в программной среде Codesys 2.3.

Структурная схема системы автоматизации представлена на рис. 2. Рабочий раствор прокачивается через контур с помощью перистальтического насоса, управление которым производится с ПЛК по протоколу Modbus RTU. Перепад давления, полученный на капиллярном расходомере, передается датчиком ДМ 5017 в ПЛК для дальнейшей обработки также по протоколу Modbus RTU. Состояние клапанов и промывочного насоса определяют дискретные выходы дополнитель-

ного модуля датчика ДМ 5017, управление которым происходит с ПЛК. Данные для архивирования передаются с ПЛК на ПК по протоколу Modbus TCP/IP.

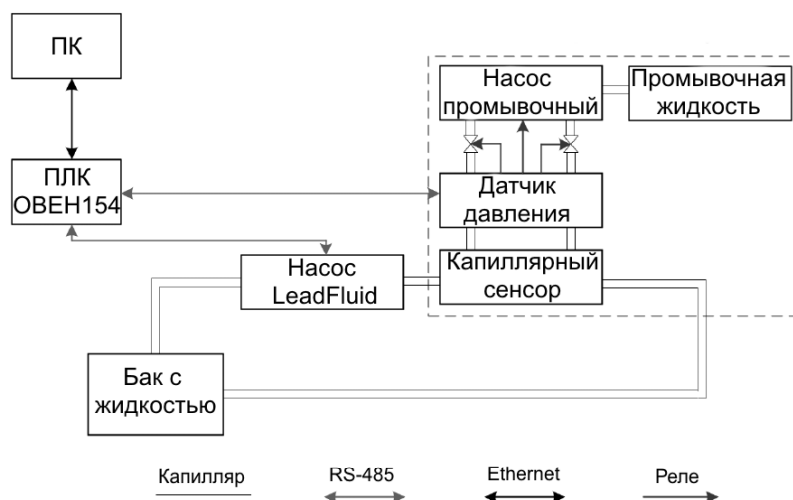


Рис. 2. Структурная схема автоматизации системы измерения малых расходов

2. Экспериментальные исследования системы измерения малых расходов

Для изучения влияния конфигурации капиллярного сенсора и исследуемой жидкости на показания перепада давления была проведена серия экспериментов. Измерения проводились на капиллярах, имеющих разные длины, диаметры намотки, внутренние диаметры капилляра, и на жидкостях различной вязкости и плотности.

На рис. 3 приведен пример обработки эксперимента, в котором использовался капилляр длиной 2 м, намотанный на шнек, диаметр которого 2 см, внутренний диаметр капилляра 3 мм. Эксперимент проводился на дистиллированной воде с плотностью 998.2 кг/м^3 при температуре 25°C .

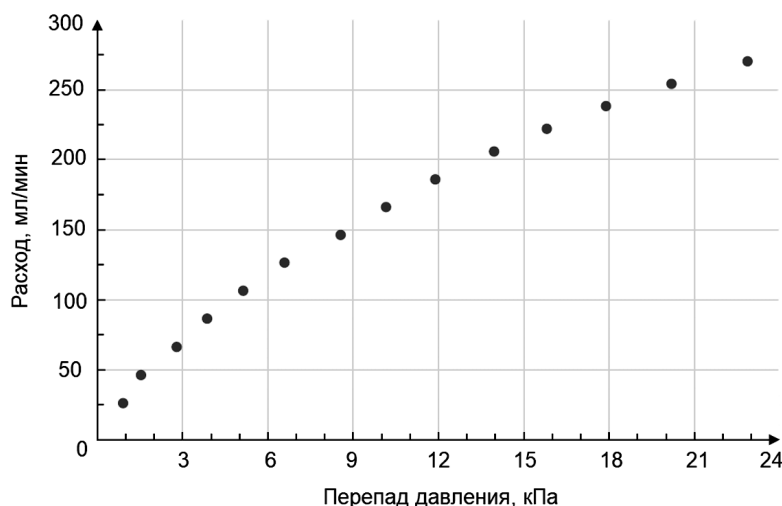


Рис. 3. Зависимость расхода от перепада давления на сенсоре

На рис. 4 приведено сопоставление значений эталонного расхода и значений расхода, полученных с опытного расходомера. По полученным данным максимальная приведенная к диапазону измерения погрешность измерения расхода составила 3.4%.

Далее представлены результаты экспериментов с разной длиной, внутренним диаметром капилляра исследуемой жидкости различной вязкости и плотности. В качестве исследуемой жидкости использовались растворы глицерина с водой различной концентрации.

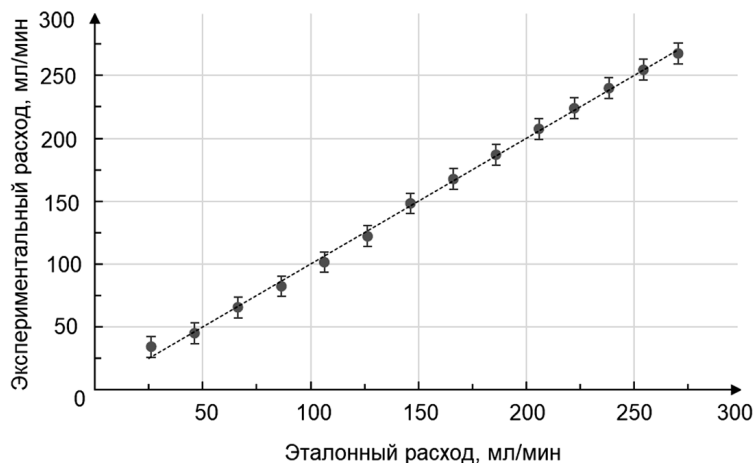


Рис. 4. Сопоставление значений эталонного расхода и значений расхода, полученных с опытного расходомера

На рис. 5 представлены результаты эксперимента для жидкости вязкостью 3.32 сСт и плотностью 1095 г/см³ на капиллярах разной длины (90, 120 и 180 см) и различного внутреннего диаметра (2, 3 и 4 мм).

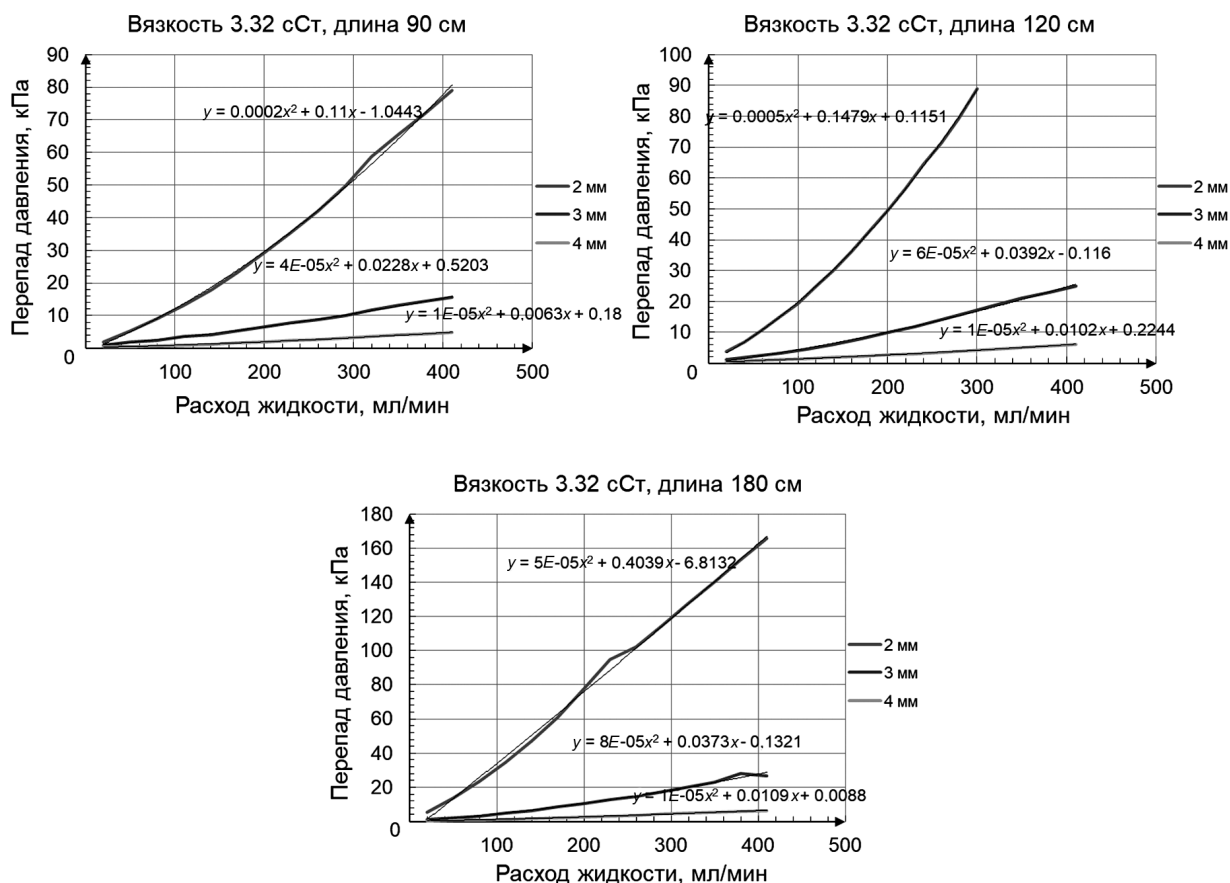


Рис. 5. Результаты экспериментов для жидкости вязкостью 3.32 сСт на капиллярах с разными длинами и внутренними диаметрами

На рис. 6 представлены результаты эксперимента для жидкости вязкостью 5.52 сСт и плотностью 1125 г/см³ на капиллярах разной длины (90, 120 и 180 см) и различного внутреннего диаметра (2, 3 и 4 мм).

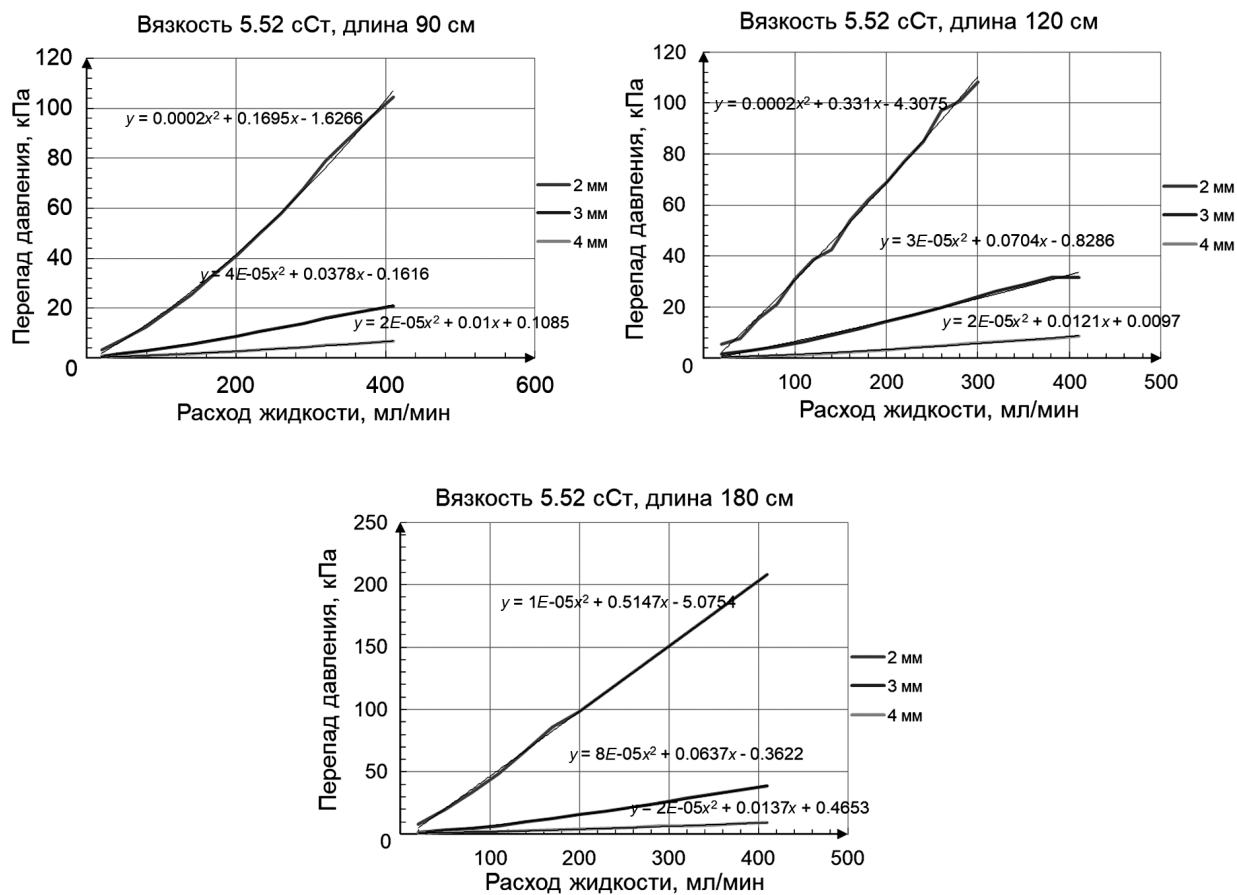


Рис. 6. Результаты экспериментов для жидкости вязкостью 5.52 сСт на капиллярах с разными длинами и внутренними диаметрами

На рис. 7 представлены результаты эксперимента для жидкости вязкостью 13.16 сСт и плотностью 1170 г/см^3 на капиллярах разной длины (90, 120 и 180 см) и различного внутреннего диаметра (3 и 4 мм). На капилляре с внутренним диаметром 2 мм эксперименты не проводились, так как перепад давления был существенно больше 100 кПа (максимальное значение перепада давления на ДМ5017).

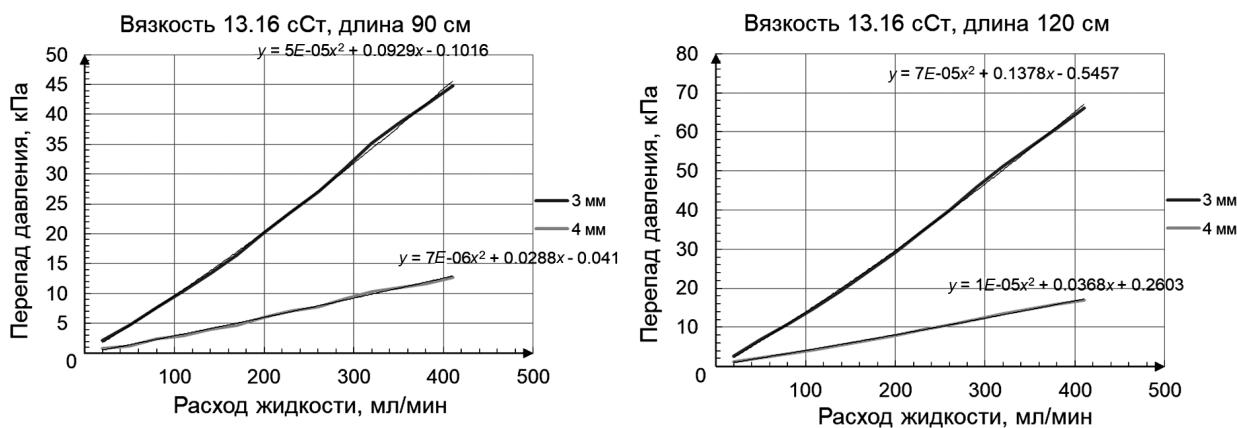


Рис. 7. Результаты экспериментов для жидкости вязкостью 13.16 сСт на капиллярах с разными длинами и внутренними диаметрами (см. также с. 111)

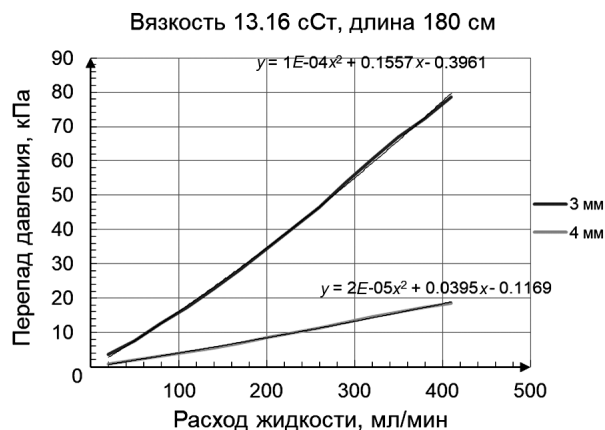


Рис. 7. Окончание

Заключение

В результате проделанной работы разработан измеритель малых расходов на основе капиллярного расходомера. Конструкция измерителя удовлетворяет следующим условиям: возможности разделения и дистанционного удаления сенсорной части от электронной и возможности измерения расхода агрессивной жидкости.

Экспериментальные испытания показали, что приведенная погрешность измерения расходов на диапазоне от 0 до 300 мл/мин составляет не более 3.5%, на диапазоне от 0 до 100 мл/мин – не более 3%.

Разработано ПО, которое позволило реализовать взаимодействие между основными элементами системы. Управление и сбор информации со всех устройств производится с ПК оператора.

На основе разработанного измерителя малых расходов синтезирована и испытана автоматизированная система стабилизации малых расходов.

Проведены эксперименты с различными конфигурациями сенсоров давления и жидкостями различной плотности и вязкости. Результаты, полученные в ходе экспериментов, в дальнейшем будут использованы для разработки справочного материала по конфигурации сенсора для конкретных параметров исследуемой жидкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shadrin A.Y., Ivanov V.B., Skupov M.V., et al. // Atomic Energy. – 2016. – V. 121. – P. 119–126.
2. Кремлевский П.П. Расходеры и счетчики количества веществ: справочник. Кн. 1. – 5-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2002. – 409 с.
3. Левин В.М. Расходомеры малых расходов для схем промышленной автоматики. – М.: Энергия, 1972. – 72 с.
4. Монахов В.И. Измерение расхода и количества жидкости, газа и пара. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 128 с.
5. Pletnev A.O., Denisevich A.A., Goryunov A.G., and Manenti F. // Chem. Eng. Trans. – 2018. – V. 70. – P. 1411–1416. DOI: 10.3303/CET1870236.

Поступила в редакцию 20.10.2020.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, Россия

Сумин Григорий Викторович, студент, техник НОЛ ЭАФУ НИ ТПУ, e-mail: gvs9@tpu.ru;

Денисевич Александр Александрович, аспирант, ассистент ОЯТЦ НИ ТПУ, e-mail: DenisevichAA@tpu.ru;

Горюнов Алексей Германович, д.т.н., зав. кафедрой – руководитель отделения на правах кафедры НИ ТПУ, e-mail: alex1479@tpu.ru;

Ливенцов Сергей Николаевич, д.т.н., профессор, заведующий НОЛ ЭАФУ НИ ТПУ, e-mail: liventsov@tpu.ru.

*G.V. SUMIN, A.A. DENISEVICH, A.G. GORYUNOV, S.N. LIVENTSOV***DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR MEASURING LOW CONSUMPTIONS OF RADIOACTIVE LIQUIDS OF RADIO-CHEMICAL PRODUCTIONS**

The purpose of the work is a development of an installation for increasing the accuracy of dosing solutions in technological processes of nuclear industries. The system is implemented by using a differential pressure gauge and a capillary differential pressure sensor. Experiments have been carried out with various configurations of a capillary sensor: different capillary lengths, internal diameters. The experiments were carried out on liquids of various density and viscosity. The results of experiments, block diagram of the circuit are presented.

Keywords: *flow rate, pressure, capillary, sensor, dosing.*

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Sumin Grigoriy Viktorovich, Student, Technician of SEL EAPS NR TPU, e-mail: gvs9@tpu.ru;

Denisevich Alexander Alexandrovich, Post-Graduate Student, Assistant at the NFCD NR TPU, e-mail: DenisevichAA@tpu.ru;

Goryunov Aleksey Germanovich, Doctor of Technical Sciences, Head of the NFCD NR TPU, e-mail: alex1479@tpu.ru;

Liventsov Sergey Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of SEL EAPS NR TPU, e-mail: liventsov@tpu.ru.