ЖУРНАЛ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ, 2020, том 75, № 3, с. 281–287

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

УДК 543.07

ШПРИЦЕВОЙ НАСОС, ИЗГОТОВЛЕННЫЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ 3D ПЕЧАТИ И ПЛАТФОРМЫ ARDUINO

© 2020 г. А. С. Самохин*

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, химический факультет
Ленинские горы, 1, стр. 3, Москва, 119991 Россия
**e-mail: andrey.s.samokhin@gmail.com*

Поступила в редакцию 24.12.2018 г.
После доработки 01.09.2019 г.
Принята к публикации 01.09.2019 г.

Разработан открытый (open-source) проект шприцевого насоса для использования в аналитической лаборатории. Большинство деталей насоса распечатано на 3D принтере. Остальные детали (ходовой винт, цилиндрические направляющие, шаговый двигатель, подшипники, электронные компоненты) приобретены в специализированных магазинах. Блок управления построен на базе платы Arduino UNO. Взаимодействие с устройством, изменение любых настроек и выбор режима работы осуществляются при помощи платы расширения LCD Keypad Shield (подключение к компьютеру не требуется). Программа управления микроконтроллером написана в среде Arduino IDE. Сборка шприцевого насоса занимает несколько часов и практически не требует пайки. Универсальное крепление позволяет устанавливать любые шприцы диаметром от 6 до 25 мм. Шприцевой насос может как выдавливать жидкость, так и заполнять пустой шприц. Для оценки аналитических характеристик использовали стеклянный шприц Kloehn объемом 10 мл. Объем дозирования составлял 1 и 5 мл. Систематическая погрешность не превышала 0.1%, случайная – 3 мкл. Файлы проекта представлены на сайте: http://www.mass-spec.ru/projects/diy/syringe_pump/.

Ключевые слова: шприцевой насос, open-source, открытое аппаратное обеспечение, Arduino, 3D печать.

DOI: 10.31857/S0044450220030159

Благодаря усилиям энтузиастов чуть более 10 лет назад была создана платформа Arduino, позволяющая существенно снизить порог вхождения в область программирования микроконтроллеров и разработки электронных устройств. Приблизительно в то же время был собран и испытан первый прототип бытового 3D принтера, осуществляющего печать пластиком методом послойного наплавления. В настоящее время доступно несколько платформ для разработки электронных устройств (помимо Arduino, это, например, Netduino или Raspberry Pi). Кроме того, бытовые 3D принтеры получили широкое распространение, как благодаря наличию большого числа открытых проектов, так и запуску серийного производства. В сети Интернет есть тематические сайты с базами 3D моделей для печати и проектами, созданными на базе платформ Arduino или Raspberry Pi. Большинство моделей и проектов являются открытыми (open-source), что дает возможность не только воспроизвести разработку, но и при необходимости внести изменения в исходный код или 3D модель.

Большое число проектов разработано для применения в химических и биохимических лабораториях. В сети Интернет и на страницах научных журналов представлены проекты лотков для пузырьков и пробирок [1, 2], центрифуг [3, 4], магнитных мешалок [5–7], лабораторных шейкеров [8], перистальтических насосов [9–11], pH-метров [12–14], автоматических титраторов [15, 16], устройств сбора данных [17, 18], цифровых бюреток [19], микропипеток [20–22], колориметров [23–25], детекторов для хроматографии и капиллярного электрофореза [26, 27], роботизированных установок для автоматизации процедуры пробоподготовки и анализа [28–30], автосамплеров для газовых хроматографов [31], шприцевых насосов [32–45] и ряда других устройств.

Мы разработали еще один открытый проект шприцевого насоса, ориентированного на использование в аналитической лаборатории. На наш взгляд, самодельный шприцевой насос должен удовлетворять ряду требований, чтобы конкурировать с коммерческими устройствами. Во-первых, он должен быть полностью автономным. Изменение любого параметра (включая объем шприца) должно осуществляться без использования персонального компьютера или мобильных устройств. Во-вторых, система крепления шпри-

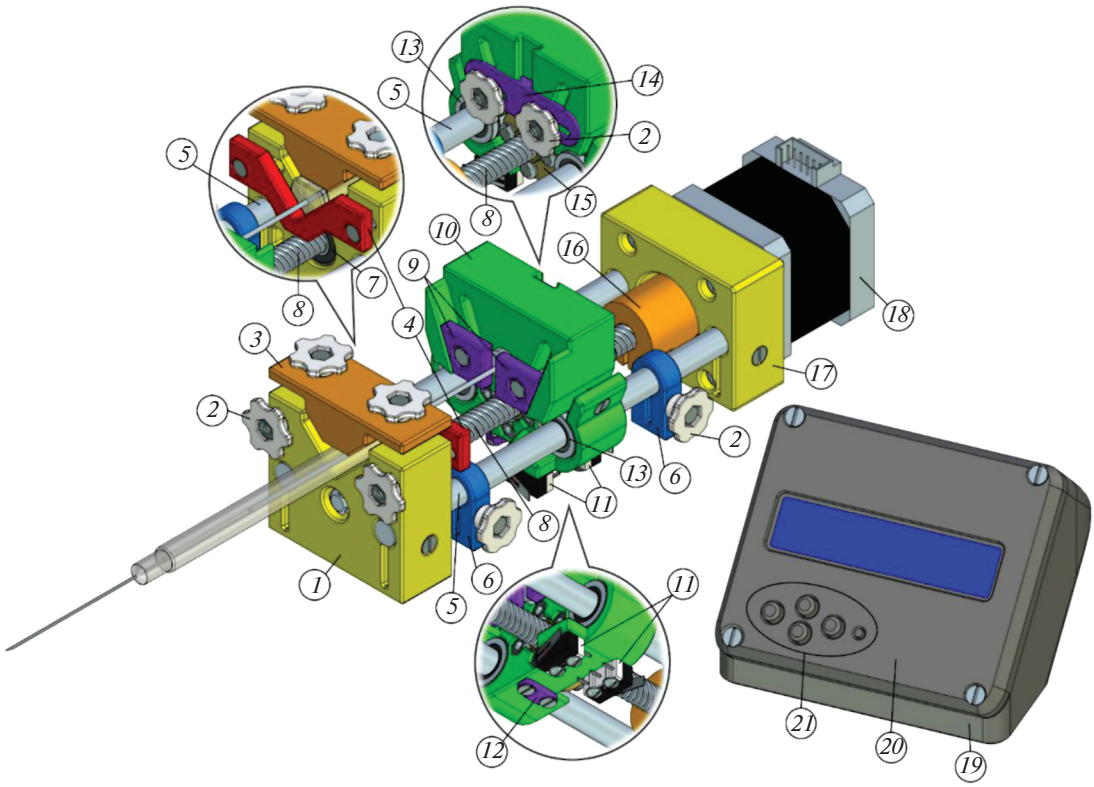

Рис. 1. Общий вид шприцевого насоса.

ца должна быть универсальной, позволять устанавливать шприцы различного объема и обеспечивать их быструю замену. В-третьих, скорость дозирования жидкости должна изменяться в широких пределах и строго контролироваться в процессе работы шприцевого насоса. Кроме того, чтобы упростить задачу воспроизведения проекта, управляющий блок должен быть собран из коммерчески доступных модулей (в этом случае не нужно изготавливать печатные платы самостоятельно). Ни один из предложенных ранее проектов шприцевых насосов не удовлетворяет всем перечисленным выше требованиям (табл. 1), что и послужило мотивацией к разработке нового устройства.

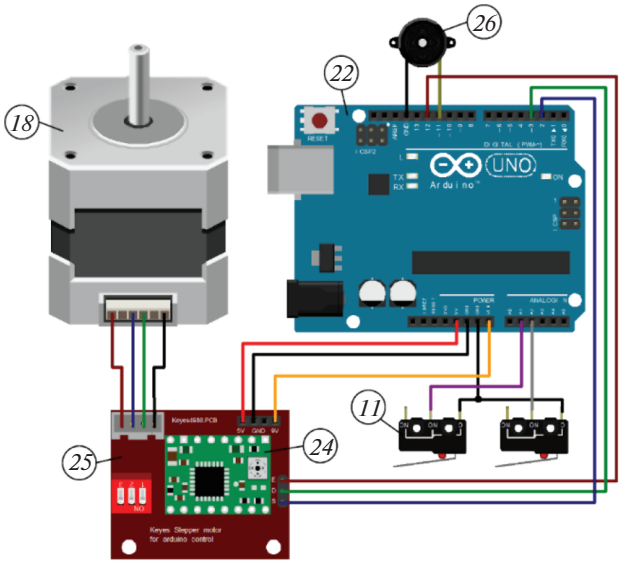

Рис. 2. Электрическая схема.

КОНСТРУКЦИЯ ШПРИЦЕВОГО НАСОСА

Общий вид шприцевого насоса и схема подключения электронных компонентов представлены на рис. 1 и 2 соответственно. Полный список всех деталей представлен в табл. 2.

Шприц закрепляется неподвижно на передней опоре *1* при помощи вертикального *3* и горизонтального *4* фиксаторов. Мы разработали два вертикальных фиксатора *3* для шприцев с наружными диаметрами 6–12 и 12–25 мм. Для автоматического заполнения шприца конец штока должен быть зафиксирован на каретке *10*. Дозирование заданного объема жидкости осуществляется за счет движения каретки *10* по цилиндрическим направляющим *5*. На каретке *10* закреплены два концевых выключателя *11*. Ограничители хода *6*

Таблица 1. Информация по шприцевым насосам, представленным в литературе

Способ изготовления деталей насоса	Универсальное крепление, обеспечивающее быструю замену шприца	Плата управления	Необходимость изготовления печатной платы	Способ управления шприцевым насосом	Литература
3D печать	Нет	Arduino Nano	Нет	Управление через serial port	[32]
3D печать	Нет	Плата на микроконтроллере ATmega 328P	Да	Управление через serial port	[33]
Ручное изготовление деталей	Нет	Arduino Nano	Нет	Управление через serial port	[34]
3D печать	Нет	–	–	–	[35]
3D печать	Нет	Arduino Uno	Нет	Автономное управление (при помощи кнопок и дисплея)	[36, 37]
3D печать	Нет	Arduino Uno	Нет	Управление через serial port или с помощью Android устройства (подключенного к насосу по bluetooth)	[38]
Лазерная резка акрила	Нет	Плата на микроконтроллере ATmega 328P	Да	Автономное управление (при помощи кнопок и дисплея)	[39]
3D печать	Да (однако возможна установка только пластиковых шприцев)	Arduino Uno	Нет	Управление через serial port	[40]
3D печать	Нет	Raspberry Pi	Нет	Управление через web-интерфейс	[41]
3D печать	Нет	Arduino Uno	Нет	Управление через интерфейс NI LabVIEW	[42]
Ручное изготовление деталей	Да	Raspberry Pi	Нет	Автономное управление (необходимо подключение клавиатуры, мыши и монитора) или удаленное управление (например, по протоколу SSH)	[43]
3D печать	Нет	Arduino Uno	Нет	Управление через serial port	[44]
3D- печать	Нет	Raspberry Pi	Нет	Автономное управление (при помощи сенсорного экрана)	[45]

Таблица 2. Перечень деталей и электронных компонентов

Позиция	Наименование	Стоимость**, руб.
1	Передняя опора*	65
2	“Барашек” для гайки/болта М3	2 × 8
3	Вертикальный фиксатор шприца*	20
4	Горизонтальный фиксатор шприца*	10
5	Направляющий вал (D = 8 мм)	(150–250) × 2
6	Ограничитель хода*	5 × 2
7	Подшипник (688zz)	30–50
8	Ходовой винт (Т8)	200–300
9	Фиксаторы штока шприца*	5
10	Каретка*	70
11	Концевой выключатель	(35–50) × 2
12	Держатель проводов*	1
13	Линейный подшипник (LM8SUU)	(60–200) × 2
14	Держатель фиксаторов штока шприца*	3
15	Гайка ходового винта (Т8)	100–200
16	Соединительная муфта*	20
17	Задняя опора*	75
18	Шаговый двигатель Nema 17	700–1200
19	Основание корпуса*	125
20	Крышка корпуса*	40
21	Кнопки*	3
22	Аналог платы Arduino Uno	400–600
23	Плата расширения LCD Keypad shield	300–600
24	Драйвер шагового двигателя A4988	150–400
25	Плата расширения для драйвера A4988	200–400
26	Активный зуммер	30–50

* Детали, отмеченные звездочкой, спроектированы нами и распечатаны на 3D принтере.
** Указаны себестоимость изготовления пластиковых деталей при 50%-ном заполнении (из расчета 2.5 рубля за грамм) и диапазон цен на коммерчески доступные детали, предлагаемые российскими интернет-магазинами.

позволяют задавать допустимые границы движения каретки *10* и штока шприца. Перемещение каретки *10* осуществляется за счет вращения ходового винта *8*, соединенного соосно с шаговым двигателем *18* при помощи соединительной муфты *16*. Такая конструкция используется в большинстве открытых проектов шприцевых насосов. В большинстве коммерчески доступных устройств соединение ходового винта и двигателя осуществляется при помощи зубчатой или ременной передачи. Использование понижающей передачи позволяет уменьшить угловую скорость и увеличить крутящий момент. Несмотря на это, даже соосное соединение обеспечивает высокую точность дозирования и достаточное давление каретки на шток шприца. В предлагаемой нами конструкции перемещение каретки на 1 мм происходит за 1600 микрошагов (при шаге резьбы 2 мм и работе двигателя в режиме 1/16 шага). Сила, с которой каретка давит на шток, составляет не менее 70 Н (при движении со скоростью 20 мм/мин) и может быть дополнительно увеличена за счет использования ходовых винтов с меньшим шагом.

Управление шприцевым насосом осуществляется при помощи платы Arduino UNO *21*. Для ввода и вывода информации используется плата расширения LCD Keypad Shield *23*, на которой располагается строчный дисплей 1602 и группа из 6 кнопок. Плата LCD Keypad Shield устанавливается поверх платы Arduino UNO в штатные разъемы (без применения пайки). Управление шаговым двигателем осуществляется при помощи драйвера A4988 *24*, установленного в соответствующую плату расширения *25*. Шаговый двигатель работает в режиме 1/16 шага (для чего все три переключателя, присутствующие на плате расширения, устанавливаются в положение on). Активный зуммер *26* используется для подачи звуковых

сигналов. Все электронные компоненты компактно размещаются в пластиковом корпусе, который состоит из основания *19* и крышки *20*. Управление устройством реализовано при помощи пяти кнопок *21*.

Программа управления микроконтроллером написана нами на языке C в среде Arduino IDE. Взаимодействие пользователя с устройством осуществляется с помощью многоуровневого меню, которое позволяет изменять объем шприца, единицы измерения (времени, объема, скорости потока), выбирать режим работы шприцевого насоса и задавать все необходимые параметры (объем или время дозирования, скорость потока). Значения всех параметров хранятся в энергонезависимой памяти. При изменении единиц измерения значения всех переменных пересчитываются автоматически. Точный контроль скорости потока и его равномерность обеспечиваются благодаря подаче управляющих импульсов на драйвер шагового двигателя, инициируемых прерываниями по совпадению на счетчике/таймере T1. Следует подчеркнуть, что из-за дискретности данных не все значения объема и скорости потока, задаваемые пользователем, могут быть реализованы. В этом случае устройство автоматически рассчитает ближайшее разрешенное значение и отобразит его на экране.

Нами реализовано три режима работы шприцевого насоса. В режиме Infuse происходит выдавливание жидкости из шприца при строго контролируемой скорости потока. Пользователь может задать либо объем жидкости, либо время дозирования. В режиме Refill происходит заполнение шприца. В режиме непрерывного цикла (Cycle Mode) направление движения поршня шприца меняется автоматически при срабатывании концевого выключателя.

Файлы проекта шприцевого насоса распространяются в соответствии с лицензией Creative Commons BY-SA 4.0 [46] и доступны на сайте: http://www.mass-spec.ru/projects/diy/syringe_pump/. Там же представлена подробная инструкция.

КАЛИБРОВКА ШПРИЦЕВОГО НАСОСА

Дозирование осуществляли с использованием шприцевого насоса, разработанного в рамках настоящей работы, а также двух коммерчески доступных моделей: HA 11 Plus (Harvard Apparatus) и KDS 100 (KD Scientific). Во всех случаях использовали один и тот же стеклянный шприц Kloehn 4010 (Kloehn) объемом 10 мл. Взвешивание проводили на аналитических весах Vibra HTR-220CE (Shinko Denshi) со специфицируемой погрешностью взвешивания 1 мг.

Процедура калибровки шприца заключалась в определении его внутреннего диаметра методом взвешивания. Для упрощения последующих расчетов внутренний диаметр шприца устанавливали равным 11.284 мм (в этом случае дозируемый объем, выраженный в мл, численно равен расстоянию, пройденному кареткой и выраженному в см). Шприц полностью заполняли бидистиллированной водой и устанавливали в шприцевой насос. Небольшой объем жидкости (0.5–1 мл) удаляли в слив. Далее осуществляли перемещение каретки с линейной скоростью 0.2 мм/с на расстояние 5 см (что соответствовало приблизительно 8.3 мл жидкости в случае шприца Kloehn 4010). Жидкость собирали в стеклянный пузырек объемом 20 мл и взвешивали на аналитических весах. Пузырек был закрыт крышкой с небольшим отверстием, что позволяло минимизировать испарение жидкости в процессе дозирования и взвешивания. Описанную процедуру повторяли 5 раз независимо для каждого шприцевого насоса. Внутренний диаметр рассчитывали по формуле:

$$D_{\text{in}} = 2\sqrt{\frac{V}{L\pi}} = 2\sqrt{\frac{mZ}{5\pi}},$$

где D_{in} – внутренний диаметр шприца, см; V – дозируемый объем, мл; L – расстояние, на которое переместился поршень, см; m – масса жидкости, г; Z – поправочный коэффициент (ISO 8655-6), зависящий от температуры и давления, мл/г).

Внутренний диаметр шприца Kloehn 4010, определенный методом взвешивания с использованием разработанного нами шприцевого насоса, и коммерчески доступных моделей HA 11 Plus и KDS 100, составил 14.551 ± 0.006, 14.580 ± 0.006 и 14.576 ± 0.007 мм соответственно ($n = 5$, $P = 0.95$). В случае разработанного нами насоса среднее значение диаметра статистически значимо отличалось от результатов, полученных при использовании коммерческих моделей. Скорее всего, причина наблюдаемых различий заключается в несоответствии действительного и номинального шагов резьбы ходового винта, используемого нами. Чтобы минимизировать значение систематической погрешности, для каждого насоса использовали индивидуальное значение внутреннего диаметра шприца, рассчитанное на этапе калибровки.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШПРИЦЕВОГО НАСОСА

Аналитические характеристики шприцевых насосов оценивали методом взвешивания. Диаметр шприца устанавливали равным значению, определенному на этапе калибровки. Объем дозирования составлял 1 или 5 мл. Скорость дозирования составляла 2, 7.5 или 20 мл/мин (что соответствовало линейной скорости перемещения каретки 0.2, 0.74 или 2 мм/с). Дозирование заданного объема жидкости при выбранной скорости

Таблица 3. Систематическая и случайная погрешности ($n = 8$)

Шприцевой насос	Скорость дозирования, мл/мин	Объем, мл	Систематическая погрешность		Случайная погрешность	
			мкл	%	мкл	%
Самодельный шприцевой насос	2	1	–0.7	–0.07	1.2	0.12
		5	–1.3	–0.03	2.2	0.04
	7.5	1	–0.3	–0.03	0.7	0.07
		5	–3.4	–0.07	2.5	0.05
	20	1	–0.7	–0.07	2.1	0.21
		5	–2.2	–0.04	1.0	0.02
HA 11 Plus*	2	1	4.0	0.40	0.9	0.09
		5	0.2	0.003	1.5	0.03
	7.5	1	4.8	0.48	1.0	0.10
		5	2.6	0.05	2.5	0.05
KDS 100**	2	1	–0.8	–0.08	1.2	0.12
		5	–3.3	–0.07	1.3	0.03

* Максимальная скорость дозирования HA 11 Plus составляет 7.8 мл/мин.
** Максимальная скорость дозирования KDS 100 составляет 2.1 мл/мин.

потока проводили 8 раз. Чтобы оценить систематическую погрешность, рассчитывали разность между заданным и средним значениями объема. Для оценки случайной погрешности рассчитывали стандартное отклонение.

Как видно из табл. 3, шприцевой насос, разработанный в рамках настоящей работы, не уступает коммерческим моделям как по точности, так и по воспроизводимости дозирования. Аналитические характеристики остаются неизменными во всем диапазоне рассмотренных скоростей потока (от 2 до 20 мл/мин). Систематическая погрешность не превышает 0.1%, а случайная – 3 мкл (при использовании шприца объемом 10 мл).

Как видно из табл. 2, стоимость всех деталей, необходимых для изготовления шприцевого насоса, не превышает 6 тысяч рублей (а в случае приобретения комплектующих в китайских интернет-магазинах – 3 тысяч рублей). Сборка устройства занимает несколько часов и практически не требует пайки. Использование доступных компонентов и наличие подробной инструкции позволяют легко воспроизвести данный проект.

* * *

Таким образом, создан проект шприцевого насоса, все файлы которого распространяются в соответствии с лицензией CC BY-SA 4.0 и доступны на сайте: http://www.mass-spec.ru/projects/diy/syringe_pump/. Шприцевой насос, разработанный в рамках этой работы, по своему функционалу и аналитическим характеристикам не уступает многим коммерчески доступным устройствам. Открытый исходный код позволяет адаптировать алгоритм его работы для решения определенных узконаправленных задач. Относительно невысокая цена деталей и простота сборки позволяет реализовать этот проект в любой аналитической лаборатории или студенческом практикуме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. https://www.thingiverse.com/thing:399955 (13.12.2018).
2. https://www.thingiverse.com/thing:2794834 (13.12.2018).
3. https://www.thingiverse.com/thing:1175393 (13.12.2018).
4. https://www.thingiverse.com/thing:33818 (13.12.2018).
5. https://www.thingiverse.com/thing:1663540 (13.12.2018).
6. https://www.thingiverse.com/thing:1175415 (13.12.2018).
7. *Mercer C., Leech D.* Inexpensive miniature programmable magnetic stirrer from reconfigured computer parts // J. Chem. Educ. 2017. V. 94. № 6. P. 816.
8. *Dhankani K.C., Pearce J.M.* Open source laboratory sample rotator mixer and shaker // HardwareX. 2017. V. 1. P. 1.
9. https://www.thingiverse.com/thing:254956 (13.12.2018).
10. https://www.thingiverse.com/thing:1134817 (13.12.2018).
11. http://2017.igem.org/Team:Aachen/Hardware (13.12.2018).
12. *Kubínová Š., Šlégr J.* ChemDuino: Adapting arduino for low-cost chemical measurements in lecture and laboratory // J. Chem. Educ. 2015. V. 92. № 10. P. 1751.
13. *Papadopoulos N.J., Jannakoudakis A.* A Chemical instrumentation course on microcontrollers and op amps. construction of a pH-meter // J. Chem. Educ. 2016. V. 93. № 7. P. 1323.
14. *Jin H., Qin Y., Pan S., Alam A.U., Dong S., Ghosh R., Deen M.J.* Open-source low-cost wireless potentiometric instrument for pH determination experiments // J. Chem. Educ. 2018. V. 95. № 2. P. 326.

15. *Famularo N., Kholod Y., Kosenkov D.* integrating chemistry laboratory instrumentation into the industrial internet: building, programming, and experimenting with an automatic titrator // J. Chem. Educ. 2016. V. 93. № 1. P. 175.
16. *Milanovic J.Z., Milanovic P., Kragic R., Kostic M.* "Do-it-yourself" reliable pH-stat device by using open-source software, inexpensive hardware and available laboratory equipment // PLoS One. 2018. V. 13. № 3. P. e0193744.
17. *Grinias J.P., Whitfield J.T., Guetschow E.D., Kennedy R.T.* An inexpensive, open-source usb arduino data acquisition device for chemical instrumentation // J. Chem. Educ. 2016. V. 93. № 7. P. 1316.
18. *Walkowiak M., Nehring A.* Using ChemDuino, Excel, and PowerPoint as tools for real-time measurement representation in class // J. Chem. Educ. 2016. V. 93. № 4. P. 778.
19. *Cao T., Zhang Q., Thompson J.E.* Designing, constructing, and using an inexpensive electronic buret // J. Chem. Educ. 2015. V. 92. № 1. P. 106.
20. https://www.thingiverse.com/thing:255519 (13.12.2018).
21. *Bravo-Martinez J.* Open source 3D-printed 1000 μL micropump // HardwareX. 2018. V. 3. P. 110.
22. *Brennan M.D., Bokhari F.F., Eddington D.T.* Open design 3D-printable adjustable micropipette that meets the ISO standard for accuracy // Micromachines. 2018. V. 9. № 4. P. 191.
23. *Anzalone G., Glover A., Pearce J.* Open-source colorimeter // Sensors. 2013. V. 13. № 4. P. 5338.
24. *McClain R.L.* Construction of a photometer as an instructional tool for electronics and instrumentation // J. Chem. Educ. 2014. V. 91. № 5. P. 747.
25. *Wittbrodt B.T., Squires D.A., Walbeck J., Campbell E., Campbell W.H., Pearce J.M.* Open-source photometric system for enzymatic nitrate quantification // PLoS One. 2015. V. 10. № 8. P. e0134989.
26. *Prikryl J., Foret F.* Fluorescence detector for capillary separations fabricated by 3D printing // Anal. Chem. 2014. V. 86. № 24. P. 11951.
27. *Cecil F., Zhang M., Guijt R.M., Henderson A., Nesterenko P.N., Paull B., Breadmore M.C., Macka M.* 3D printed LED based on-capillary detector housing with integrated slit // Anal. Chim. Acta. 2017. V. 965. P. 131.
28. *Carvalho M.C., Eyre B.D.* A low cost, easy to build, portable, and universal autosampler for liquids // Methods Oceanogr. 2013. V. 8. P. 23.
29. *Hsieh K.-T., Liu P.-H., Urban P.L.* Automated on-line liquid–liquid extraction system for temporal mass spectrometric analysis of dynamic samples // Anal. Chim. Acta. 2015. V. 894. P. 35.
30. *Chen C.-L., Chen T.-R., Chiu S.-H., Urban P.L.* Dual robotic arm "production line" mass spectrometry assay guided by multiple Arduino-type microcontrollers // Sens. Actuators B. 2017. V. 239. P. 608.
31. *Carvalho M.C., Murray R.H.* Osmar, the open-source microsyringe autosampler // HardwareX. 2018. V. 3. P. 10.
32. https://www.instructables.com/id/3D-Printed-Syringe-Pump-Rack/ (13.12.2018).
33. http://fab.cba.mit.edu/classes/863.13/people/wildebeest/projects/final/index.html (13.12.2018).
34. http://www.billconnelly.net/?p=176 (13.12.2018).
35. https://publiclab.org/notes/JSummers/12-30-2014/syringe- pump-mechanicals (13.12.2018).
36. http://www.thepulsar.be/article/ultra-low-flow-rates-with-diy-syringes-pumps/ (13.12.2018).
37. http://www.thepulsar.be/article/arduino-controller-for-our-low-cost-syringe-pump/ (13.12.2018).
38. https://chem.uncg.edu/croatt/flow-chemistry/ (13.12.2018).
39. https://karpova-lab.github.io/syringe-pump/index.html (13.12.2018).
40. https://github.com/pachterlab/poseidon (13.12.2018).
41. *Wijnen B., Hunt E.J., Anzalone G.C., Pearce J.M.* Open-source syringe pump library // PLoS One. 2014. V. 9. № 9. P. e107216.
42. *Рыжов О.А.* Прецизионный шприцевой насос для дозирования микрообъемов // Молодой ученый. 2015. № 11. P. 425.
43. *Cubberley M.S., Hess W.A.* An inexpensive programmable dual-syringe pump for the chemistry laboratory // J. Chem. Educ. 2017. V. 94. № 1. P. 72.
44. *LeSuer R.J., Osgood K.L., Stelnicki K.E., Mendez J.L.* OMIS: The open millifluidic inquiry system for small scale chemical synthesis and analysis // HardwareX. 2018. V. 4. P. e00038.
45. *Garcia V.E., Liu J., DeRisi J.L.* Low-cost touchscreen driven programmable dual syringe pump for life science applications // HardwareX. 2018. V. 4. P. e00027.
46. https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/ (13.12.2018).