

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

УДК 615.473:620.174.21

М. Г. Киселёв, С. Г. Монич, В. А. Петров, Ахмад Али

ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ОСТАНОВКИ ШТОК-ПОРШНЯ ШПРИЦА ОДНОКРАТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРЕД СТАДИЕЙ ВЫДАВЛИВАНИЯ ЖИДКОСТИ НА ВЕЛИЧИНУ УСИЛИЯ, НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ ЕГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

UDC 615.473:620.174.21

M. G. Kiselev, S. G. Monich, V. A. Petrov, Ahmad Ali

EFFECT OF DURATION OF STOPPING A DISPOSABLE SYRINGE PLUNGER ROD BEFORE LIQUID EXTRUSION STAGE ON THE AMOUNT OF FORCE REQUIRED TO MOVE IT

Аннотация

Статья посвящена количественной оценке влияния продолжительности остановки шток-поршня шприца между стадиями всасывания жидкости и её последующего выдавливания на величину усилия, необходимого для его перемещения, а также в обосновании, на основе полученных экспериментальных данных, значения этого параметра при проведении испытания шприцев. Создано устройство, позволяющее регистрировать и измерять величину усилия, необходимого для движения шток-поршня медицинских шприцев однократного применения, а также разработана методика проведения экспериментов по оценке влияния продолжительности остановки шток-поршня между стадиями всасывания жидкости и её последующего выдавливания на значение этого усилия для двух- и трёхкомпонентного шприцев емкостью 3 мл.

Ключевые слова:

инъекционный шприц, шток-поршень, усилие движения, стадия выдавливания, стадия всасывания, устройство, методика проведения испытаний.

Abstract

The article is devoted to a quantitative assessment of the influence of duration of stopping a syringe plunger rod between the stages of liquid suction and its subsequent extrusion on the amount of force required for its movement, as well as to an experimental data-based substantiation of the value of this parameter, when testing syringes. A device has been created that detects and measures the amount of force required to move a plunger rod of disposable syringes, and a testing procedure has been developed for conducting experiments to assess the impact of duration of stopping a plunger rod between the stages of liquid suction and subsequent extrusion on the value of this force for two- and three-component 3 ml syringes.

Keywords:

injection syringe, plunger rod, travel force, extrusion stage, suction stage, device, testing procedure.

Введение

Шприцы медицинские представляют собой инструменты, используемые

для инъекций, проведения диагностических пункций или отсасывания патологического содержимого из полостей человеческого организма [1, 4]. Наиболь-



шее распространение в медицинской практике получили одноразовые шприцы (ШОП – шприц одноразового при-

менения) [5–7, 11]. Различают два основных вида одноразовых шприцев: двух- и трехкомпонентные (рис. 1).



Рис. 1. Фотография общего вида двухкомпонентного (а) и трехкомпонентного (б) шприцев: 1 – шток-поршень; 2 – цилиндр; 3 – уплотнитель

Двухкомпонентные шприцы состоят из цилиндра и поршня со штоком, которые выполнены в виде одной детали. В трехкомпонентных шприцах дополнительно используется уплотнитель, который расположен на конце поршня [8–10]. Благодаря наличию этого элемента, трехкомпонентные шприцы по сравнению с двухкомпонентными характеризуются большей плавностью перемещения шток-поршня при меньшем прикладываемом к нему усилие [2, 3].

Требования, предъявляемые к медицинским шприцам однократного применения, и методы их испытаний установлены ГОСТ ISO 7886-1–2011 [6]. Одним из важных эксплуатационных показателей одноразовых шприцев является усилие, необходимое для движения шток-поршня. В [6] приведена методика проведения испытания шприцев по этому показателю. В частности, установлено, что в процессе их проведения скорость перемещения шток-поршня должна быть постоянной и составлять (100 ± 5) мм/мин. При этом по завершении стадии перемещения шток-поршня на всасывание жидкости, необходимо сделать остановку (паузу) в тече-

нии 30 с перед его перемещением на выдавливание жидкости.

Вместе с тем в литературе отсутствуют данные, которые позволяют научно обосновать численное значение продолжительности остановки шток-поршня перед стадией выдавливания жидкости, нормируемое в ходе проведения испытания шприцев.

В связи с этим цель данной работы заключалась в количественной оценке влияния продолжительности остановки шток-поршня шприца между стадиями всасывания жидкости и ее последующего выдавливания на величину усилия, необходимого для его перемещения, а также в обосновании, на основе полученных экспериментальных данных, значения этого параметра при проведении испытания шприцев.

Методика проведения экспериментальных исследований

Для выполнения экспериментальных исследований было создано специальное устройство, принцип работы которого поясняется схемой, представленной на рис. 2.



Цилиндр испытуемого шприца 1 устанавливается вертикально наконечником вниз в отверстие несущей планки 2 до контакта упоров с её поверхностью и посредством зажима 11 неподвижно на ней фиксируется. Упор 10 штока-поршня с помощью двух прижимных планок 3 соединяется с толкателем 9, который прикреплен к подвижной каретке 8. Последняя от электродвигателя 6 постоянного тока МН через

муфты 5 и передачу «винт – гайка» 4 получает поступательное движение вдоль вертикальной оси, перемещаясь по направляющим скользящим 7. Несущая планка 2 неподвижно соединена с тензометрическим датчиком усилия 12. На наконечник шприца устанавливается инъекционная игла диаметром 0,6 мм, конец которой помещен в стакан 14 с дистиллированной водой.

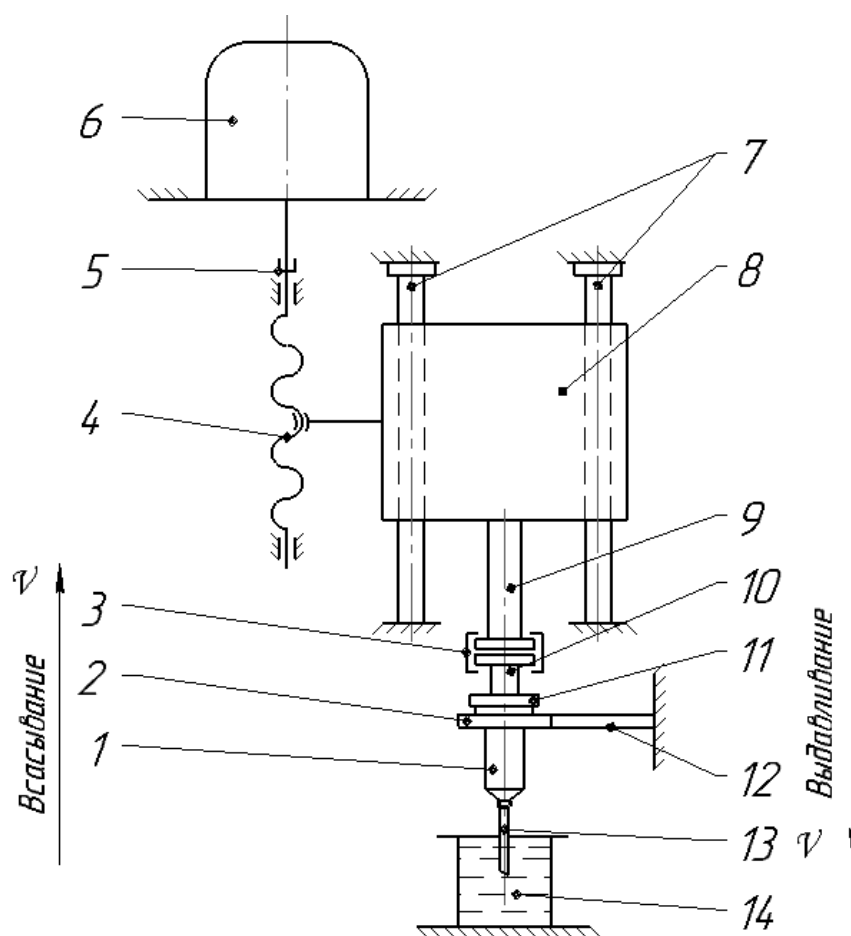


Рис. 2. Принципиальная схема устройства для проведения экспериментов

При движении каретки вместе со штоком-поршнем вверх происходит стадия всасывания жидкости в цилиндр поршня, а при их движении вниз – стадия её выдавливания. Направление движения штока-поршня изменяется за счет реверсирования направления вращения вала электродвигателя, подключенного к блоку питания.

В момент окончания стадии всасывания электродвигатель отключается и по истечении определенного промежутка времени $t_{ост}$ он вновь включается для выполнения стадии выдавливания жидкости.

Возникающее между штоком-поршнем и поверхностью цилиндра усилие вызывает упругую деформацию тензо-

метрического датчика, сигнал с которого поступает на усилитель и далее на цифровой запоминающий осциллограф ALEX2102CEX. На экране последнего фиксируется изменение усилия F , необходимого для перемещения шток-поршня за время его движения относительно поверхности цилиндра шприца. Предварительно путем нагружения тензOMETрического датчика аттестованными грузами осуществляется тарировка измерительной системы, в результате которой устанавливается количественная зависимость между показаниями осциллографа и массой грузов.

Объектом испытания служили двух- и трехкомпонентные шприцы однократного применения емкостью 3 мл. Скорость перемещения шток-поршня v была постоянной и составляла 100 мм/мин. В одном случае перемещение шток-поршня происходило без остановки, а в других – с его остановкой перед стадией выдавливания жидкости продолжительностью 10, 20 и 30 с.

Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение

На рис. 3 представлена осциллограмма изменения усилия F для двухкомпонентного шприца емкостью 3 мл при различном времени остановки $t_{\text{ост}}$ движения шток-поршня перед стадией выдавливания жидкости.

На рис. 3 приняты следующие обозначения: $F_{\text{вс}}$ – усилие, необходимое для движения шток-поршня на стадии всасывания жидкости; $F_{\text{выд}}$ – то же на стадии выдавливания жидкости; $F_{\text{ост}}$ – на стадии остановки движения шток-поршня.

Из сравнительного анализа приведенных осциллограмм видно, что во всех случаях с момента начала стадии всасывания жидкости (точка А) усилие F резко возрастает до точки Б, после чего остается практически постоян-

ным $F_{\text{вс}}$ до завершения этой стадии (точка В). В случае дальнейшего движения шток-поршня без остановки перед стадией выдавливания жидкости (см. рис. 3, а) усилие F изменяет знак на противоположный, резко возрастает до точки Г и далее принимает постоянное значение $F_{\text{выд}}$, которое сохраняется таким вплоть до окончания этой стадии (точка Д).

При движении шток-поршня с остановкой перед стадией выдавливания жидкости (см. рис. 3, б–г) происходит следующее. В момент остановки шток-поршня усилие F резко снижается от точки В до Г и далее принимает практически постоянное значение $F_{\text{ост}}$, которое сохраняется на протяжении всего времени $t_{\text{ост}}$. В момент начала движения шток-поршня на выдавливание жидкости (точка Д) сила F изменяет знак на противоположный и резко возрастает до точки Е, после чего принимает постоянное значение $F_{\text{выд}}$, которое сохраняется до момента окончания стадии выдавливания жидкости (точка Ж). Из сопоставления полученных осциллограмм следует, что наличие остановки шток-поршня перед выдавливанием жидкости и её длительность не влияют на характер зависимости $F(f)$. Из полученных данных также вытекает важный с практической точки зрения вывод о том, что при испытании таких шприцев в качестве нормируемых параметров оправдано использовать численные значения $F_{\text{вс}}$ и $F_{\text{выд}}$, которые имеют практически постоянную величину как на стадии всасывания жидкости, так и на стадии её выдавливания.

Для трехкомпонентного шприца емкостью 3 мл характер зависимости $F(t)$ существенно изменяется (рис. 4).

Во всех случаях при начале движения шток-поршня как на стадии всасывания жидкости, так и на стадии её выдавливания наблюдается резкий скачок усилия F , соответствующий на ос-



циллограммах $F_{вс\ max}$ и $F_{выд\ max}$. Это обусловлено переходом от трения покоя поверхности уплотнителя к трению движения по поверхности цилиндра

шприца, что, как известно [5], сопровождается скачкообразным изменением сил трения скольжения.

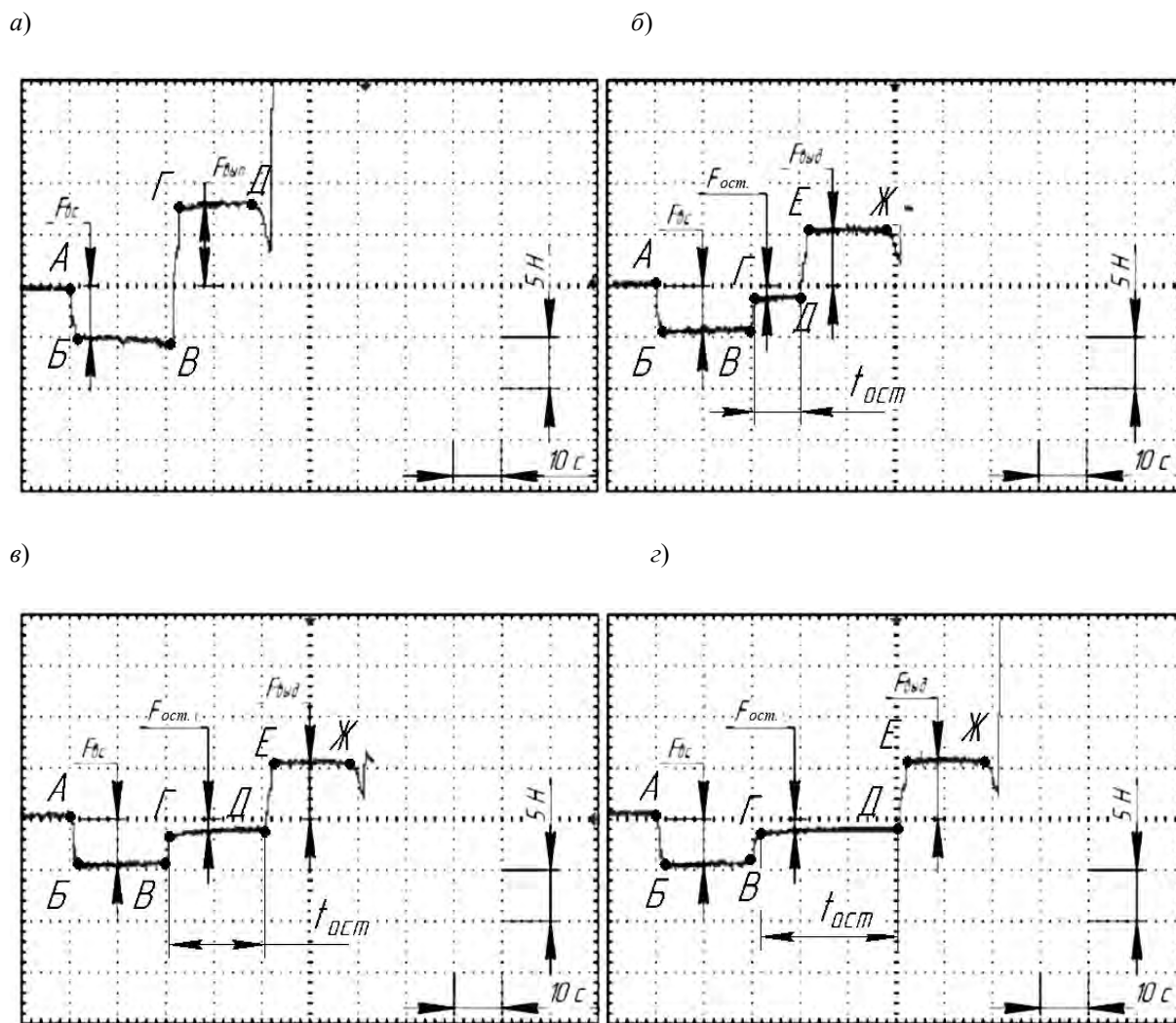


Рис. 3. Осциллограмма изменения усилия F , необходимого для перемещения шток-поршня двухкомпонентного шприца емкостью 3 мл при различном времени его остановки: a – без остановок; $б$ – $t_{ост} = 10$ с; $в$ – $t_{ост} = 20$ с; $г$ – $t_{ост} = 30$ с

При начале движения шток-поршня без его остановки на стадии выдавливания (см. рис. 4, a) усилие F от нулевого значения (точка А) резко возрастает до точки Б, после чего также резко несколько снижается до точки В, а затем вновь возрастает до точки Г. Далее оно постепенно увеличивается до точки Д, которой соответствует уси-

лие $F_{вс}$. При последующем движении шток-поршня на выдавливание жидкости усилие F изменяет знак на противоположный и резко возрастает до точки Е, затем несколько снижается до точки Ж, после чего плавно уменьшается до окончания стадии выдавливания жидкости (точка З), в конце которой принимает значение $F_{выд}$.



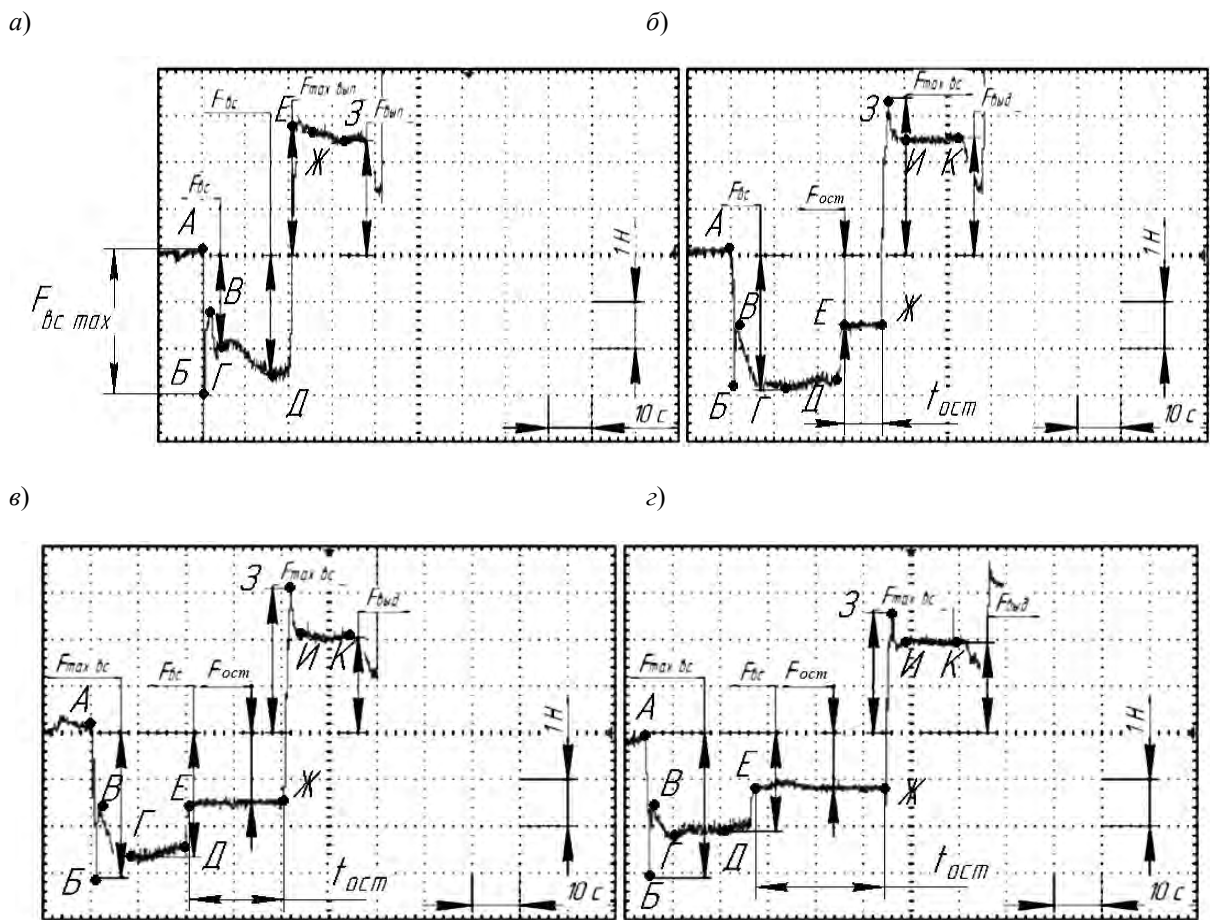


Рис. 4. Осциллограммы изменения усилия F , необходимого для перемещения шток-поршня трехкомпонентного шприца емкостью 3 мл при различном времени его остановки: a – без остановки; $б$ – $t_{ост} = 10$ с; $в$ – $t_{ост} = 20$ с; $г$ – $t_{ост} = 30$ с

При движении шток-поршня с остановками перед стадией выдавливания жидкости (см. рис. 4, б–г) изменение усилия F на стадии всасывания жидкости имеет практически такой же характер, как в выше рассмотренном случае. Различие состоит в том, что после остановки шток-поршня перед стадией выдавливания жидкости усилие F снижается от точки Д до Е и далее принимает постоянное значение $F_{ост}$ на участке ЕЖ. В начале стадии выдавливания, т. е. при начальном движении шток-поршня, усилие F изменяет знак на противоположный и резко возрастает до точки З, которой соответствует значение $F_{выд\ max}$. После этого усилие F несколько снижается до точки И и далее остается практически постоянным

вплоть до завершения стадии выдавливания жидкости (участок ИК). Из сопоставления осциллограмм изменения $F(t)$ при различной продолжительности остановки $t_{ост}$ шток-поршня перед стадией выдавливания жидкости следует, что наиболее стабильные во времени значения $F_{вс}$ и $F_{выд}$ наблюдаются при $t_{ост} = 30$ с.

В результате расшифровки полученных осциллограмм определены численные значения усилия, необходимого для движения шток-поршня двух- и трехкомпонентного шприцев емкостью 3 мл при различной продолжительности его остановки перед стадией выдавливания жидкости, которые приведены в табл. 1.



Табл. 1. Значения усилия, необходимого для движения шток-поршня двух- и трехкомпонентного шприцев емкостью 3 мл при различной продолжительности его остановки перед стадией выдавливания жидкости

Вид шприца	Продолжительность остановки шток-поршня $t_{ост}$, с	Значение усилия F , необходимого для перемещения шток-поршня на различных стадиях его движения				
		$F_{вс\ max}$, Н	$F_{вс}$, Н	$F_{ост}$, Н	$F_{выд\ max}$, Н	$F_{выд}$, Н
Двухкомпонентный	Без остановки		5	–		8
	10		4,5	1		5,5
	20		4,5	1		5,5
	30		4,5	1		6,0
Трехкомпонентный	Без остановки	2,6	2	–	2,8	2,5
	10		2,95	1,5	3,4	2,5
	20	3,1	2,7	1,5	3,1	2,0
	30	3,1	2,1	1,2	2,55	1,9

Из обобщенного анализа приведенных данных следует отметить следующее. Во всех случаях величина усилия $F_{вс}$ и $F_{выд}$, необходимого для перемещения шток-поршня трехкомпонентного шприца, существенно меньше, чем у двухкомпонентного. При этом перемещение шток-поршня последнего не сопровождается скачкообразным изменением усилия F при переходе от стадии покоя к стадии движения, что характерно для трехкомпонентного шприца. Следовательно, усилие, необходимое для перемещения шток-поршня двухкомпонентного шприца, в принципе характеризуется двумя стабильными во времени значениями: $F_{вс}$ и $F_{выд}$, которые и следует нормировать при испытаниях таких шприцев. При этом продолжительность остановки шток-поршня перед стадией выдавливания жидкости должна составлять порядка 10...20 с. Для трехкомпонентного шприца, перемещение шток-поршня которого сопровождается скачкообразным изменением усилия при начале его движения на стадиях всасывания жидкости и её последующего выдавливания, следует использовать нормируемые значения четырех параметров: $F_{вс\ max}$, $F_{выд\ max}$, $F_{вс}$ и $F_{выд}$. При этом продолжительность

остановки шток-поршня должна составлять 30 с, при которой указанные усилия имеют практически постоянные значения.

Выводы

1. Создано устройство, позволяющее регистрировать и измерять величину усилия, необходимого для движения шток-поршня медицинских шприцев однократного применения, а также разработана методика проведения экспериментов по оценке влияния продолжительности остановки шток-поршня между стадиями всасывания жидкости и её последующего выдавливания на значение этого усилия для двух- и трёхкомпонентного шприцев емкостью 3 мл.

2. Получены экспериментальные данные, отражающие влияние наличия остановки шток-поршня испытуемых шприцев и её продолжительности на характер изменения величины усилия, необходимого для его перемещения как на стадии всасывания жидкости (воды), так и на последующей стадии ее выдавливания.

3. На основании обобщенного анализа полученных экспериментальных данных установлено следующее:



– в начале движения шток-поршня двухкомпонентного шприца на стадии всасывания жидкости усилие F , необходимое для его перемещения, резко возрастает от нуля до значения $F_{вс}$, после чего остается практически постоянным вплоть до окончания этой стадии. При начале его движения на стадии выдавливания жидкости как с предварительной его остановкой, так и без нее усилие F изменяет знак на противоположный, резко возрастая до значения $F_{выд}$, которое остается постоянным вплоть до окончания этой стадии. Наличие остановки шток-поршня продолжительностью 10...20 с обеспечивает более стабильные, чем при её отсутствии, во времени значения усилий $F_{вс}$ и $F_{выд}$;

– в начале движения шток-поршня трехкомпонентного шприца как на стадии всасывания жидкости, так и на стадии её выдавливания имеет место скачкообразное изменение усилия F от нуля до максимальных значений $F_{вс \max}$ и $F_{выд \max}$, после чего оно также резко снижается с последующим возрастанием на стадии всасывания и снижением на стадии выдавливания жидкости, принимая далее практически постоян-

ные значения $F_{вс}$ и $F_{выд}$. Наиболее стабильные во времени значения усилий $F_{вс \max}$, $F_{выд \max}$, $F_{вс}$ и $F_{выд}$ наблюдаются при выполнении остановки шток-поршня перед стадией выдавливания жидкости продолжительностью 30 с.

4. На основе установленных зависимостей изменения усилия, необходимого для перемещения шток-поршня шприцев однократного применения, обоснованы рекомендации по нормированию этого параметра в ходе проведения соответствующих испытаний. Так, для двухкомпонентного шприца в качестве нормируемых параметров следует использовать численные значения $F_{вс}$ и $F_{выд}$, а при проведении испытания осуществлять перед стадией выдавливания жидкости остановку шток-поршня длительностью 10...20 с. При испытании трехкомпонентного шприца в качестве нормируемых параметров следует использовать численные значения $F_{вс \max}$, $F_{выд \max}$, $F_{вс}$ и $F_{выд}$, а перед стадией выдавливания жидкости осуществлять остановку шток-поршня продолжительностью 30 с.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кабатов, Ю. Ф. Шприцы / Ю. Ф. Кабатов. – 3-е изд. – Москва: Советская энциклопедия, 1978. – Т. 27.
2. От птичьего пера до компьютерного шприца / С. А. Рабинович [и др.] // Клиническая стоматология. – 2001. – № 2.
3. Сабитов, В. Х. Медицинские инструменты / В. Х. Сабитов. – Москва: Медицина, 1985. – 175 с.
4. ИСО 10993-1:2011. Оценка биологическая медицинских устройств. Ч. 1: Оценка и испытания. – Москва: Стандартинформ, 2011. – 17 с.
5. Крагельский, И. В. Трение, изнашивание и смазка: справочник / И. В. Крагельский, В. В. Алисина. – Москва: Машиностроение, 1979. – 358 с.
6. ГОСТ ISO 7886-1–2011. Шприцы инъекционные однократного применения стерильные. Ч. 1: Шприцы для ручного использования. – Москва: Стандартинформ, 2011. – 32 с.
7. Рабинович, С. А. Эволюция медицинского шприца: от волынки до цифровых технологий / С. А. Рабинович, Ю. Л. Васильев, С. Т. Сохов. – Москва: Поли Медиа Пресс, 2013. – 104 с.
8. Физические основы современных методов исследования материалов: методические указания к лабораторным работам / Сост. Е. А. Рогачев. – Омск: ОмГТУ, 2017. – 45 с.
9. Кабатов, Ю. Ф. Медицинский инструментальный, аппаратура и оборудование / Ю. Ф. Кабатов. – Москва: Медицина, 1977. – 211 с.



10. **Коваленко, А. Е.** Усовершенствованные зубоорудные инструменты / А. Е. Коваленко, В. А. Репин, В. Х. Сабитов // Медтехника. – 1975. – № 5. – С. 59–61.

11. **Крендаль, П. Е.** Медицинское товароведение / П. Е. Крендаль, Ю. Ф. Кабатов. – Москва: Медицина, 1974. – 464 с.

Статья сдана в редакцию 3 апреля 2020 года

Михаил Григорьевич Киселев, д-р техн. наук, проф., Белорусский национальный технический университет. E-mail: kiselev.maikl@gmail.com.

Сергей Геннадьевич Монич, канд. техн. наук, Белорусский национальный технический университет. E-mail: sgmonich@bntu.by.

Владимир Алексеевич Петров, студент, Белорусский национальный технический университет. E-mail: 7890pva4321@mail.ru.

Ахмад Али, магистрант, Белорусский национальный технический университет.

Mikhail Grigoryevich Kiselev, DSc (Engineering), Prof., Belarusian National Technical University. E-mail: kiselev.maikl@gmail.com.

Sergey Gennadyevich Monich, PhD (Engineering), Belarusian National Technical University. E-mail: sgmonich@bntu.by.

Vladimir Alekseyevich Petrov, student, Belarusian National Technical University. E-mail: 7890pva4321@mail.ru.

Ahmad Ali, MSc student, Belarusian National Technical University.

