

Ю. А. Зими́на¹, А. А. Емельяненко^{2, 1}, М. А. Аляева¹

**КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПРОТОТИПА
СВЕТОДИОДНОГО ЭКСТРАКТОРА МУЦИНА**

¹ Волгоградский государственный университет

² Волгоградский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский
институт рыбного хозяйства и океанографии»

E-mail: emelyanenko_aleksei@mail.ru

В работе представлены конструкторско-технологические решения, принятые при разработке и изготовлении экспериментального прототипа светодиодного экстрактора биологически активного вещества, применяемого в производстве лекарственных и косметических средств. Решения основаны на применении светодиодного излучения в видимом диапазоне спектра как способе стимулирования живых организмов – моллюсков – к выделению секрета муцина. Решения состоят в разработке конструкции и технологии изготовления экстракционных элементов устройства с применением способа FDM-печати, чем достигается необходимая геометрия, текстура и качество экстракционных поверхностей (ребристость, зернистость, шероховатость), а также в применении программируемого контроллера и управляющей программы, позволяющей выявить наиболее производительный режим светового воздействия на организмы-доноры. Решения позволяют повысить производительность экстракции секрета без причинения травм животным, тем самым обеспечив многократную экстракцию за период жизни последних.

Ключевые слова: контейнер, текстура поверхности, FDM-печать, светодиодное излучение, пульсирующее излучение, управление режимами, контроллер, экстракция, экстрактор, прототип

Yu. A. Zimina¹, A. A. Emelyanenko^{2,1}, M. A. Alyaeva¹

**DESIGN AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OF THE EXPERIMENTAL
PROTOTYPE OF THE MUCIN LED-EXTRACTOR**

Volgograd State University

Volgograd branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution

«All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography»

The paper presents the design and technological solutions adopted during the development and manufacture of an experimental prototype of an LED-extractor of a biologically active substance used in the production of medicines and cosmetics. The solutions are based on the use of LED radiation in the visible range of the spectrum as a way to stimulate living organisms – mollusks – to secrete mucin. The solutions consist in the development of the design and manufacturing technology of the extraction elements of the device using the FDM-printing method, which achieves the necessary geometry, texture and quality of the extraction surfaces (ribbing, grain, roughness), as well as the use of a programmable controller and a control program that allows you to identify the most productive mode of light exposure to donor organisms. The solutions make it possible to increase the productivity of secret extraction without causing injury to animals, thereby ensuring multiple extraction over the life of the latter.

Keywords: container, surface texture, FDM-printing, LED-radiation, pulsating radiation, mode control, controller, extraction, extractor, prototype

Экстракция муцина – этап технологического цикла получения натурального биологически активного вещества в производстве лекарственных и косметических средств. Направления фармакологического и косметологического применения физиологического секрета – муцина – весьма активно развивается сегодня. Наиболее продуктивный источник муцина – брюхоногие моллюски, улитки. Общим принципом извлечения муцина является стимулирование животного к естественному выделению секрета путем создания физиологического стресса посредством тех или иных воздействующих факторов.

Применяют несколько способов (протоколов) стимулирования моллюсков к выделению секрета [1–3]: размещение на неестественной для животного опорной сетчатой поверхности в темноте и тишине, воздействие повышенной влажностью и температурой (мягким паром), центрифугирование, встряхивание на виброшите, озонирование (вариант – в сочетании с вибрацией) [4], воздействие ультразвуковым и ультрафиолетовым излучением, воздействие электрическим током, воздействие высоким давлением [5], воздействие химическим раздражителем (кислотой, щелочью, солью). Одни из этих способов не отличаются высокой производительностью. Другие же наносят травмирующее и в определенной доле особой летальное воздействие на животных, что, с одной стороны, в промышленном масштабе нецелесообразно экономически, так как за период жизни моллюски могут быть использованы в цикле экстракции сотни раз, а, с другой стороны, дает повод к дискуссии о биоэтическом имидже фирмы, реализующей подобную технологию. Сущест-

вуют также способы спиртового [6] и сублимационного [7] извлечения биологически активных веществ из тканей улитки, не предполагающие, разумеется, продолжения жизни моллюска.

Перспективным видится такой способ воздействия, который исключал бы нанесение вреда физиологическому состоянию моллюсков, но обеспечивал бы высокую производительность извлечения муцина.

Наиболее распространенным на данный момент способом получения секрета улитки является центрифугирование. Этот и другие способы механического воздействия – встряхивание, вибрация – приводят к повреждению (растрескиванию и раскалыванию) раковин некоторой части моллюсков. В то же время наиболее щадящий способ извлечения муцина – размещение моллюсков на сетке (являющейся механическим раздражителем органа движения моллюска – ноги) в темном и тихом помещении (емкости) – является наименее производительным. Поэтому представляется рациональным разместить моллюска на сетке или на поверхности с иной раздражающей текстурой в тех же условиях, но дополнить воздействие другим фактором, не несущим риска механического повреждения моллюска. Предпосылкой такого дополнительного воздействия является наличие помимо органов зрения (стебельчатых глаз) светочувствительных клеток в теле моллюсков, ощущающих свет и раздражаемых ярким светом. Такое раздражение также приводит к интенсивному выделению защитного секрета – муцина. В то же время, в отличие от уже применяемого ультрафиолетового излучения с его

риском ожогового поражения тканей безопасное яркое освещение может быть реализовано маломощным светодиодным излучением, для усиления раздражающего фактора которого оно будет пульсирующим. С целью проверки и оценки эффективности настоящей гипотезы разработан и изготовлен экспериментальный (лабораторный) прототип светодиодного экстрактора муцина, для чего принят ряд конструкторских и технологических решений.

Поскольку, во-первых, геометрические параметры профиля опорной поверхности для моллюска, очевидно, должны отвечать размерам его органа движения – ноги, а среди брюхоногих моллюсков существуют виды существенно разных размеров, и, во-вторых, результаты исследования, очевидно, должны отвечать особенностям гомеостаза конкретного вида моллюсков, то для определенности в качестве объекта исследования принята улитка вида *Helix pomatia Linnaeus* – брюхоногий стебельчатоглазый моллюск семейства гелицидов (*Mollusca Gastropoda Stylommatophora Helicidae*).

Технологическая схема получения товарного продукта – муцина – представлена на рис. 1. Не останавливаясь на технологических этапах вне экстрактора, содержание которых следует из наименования позиций рисунка, следует отметить, что предметами разработки были способ и устройство, характеризуемые позициями 2–5.

В качестве экспериментальной камеры лабораторного прототипа экстрактора использован пластиковый контейнер размерами 395×295×140 мм с крышкой. Крышка одновременно служит шасси аппаратной части устройства. Крышка-шасси (рис. 2) разработана в рамках подготовки эксперимента, несет всю необходимую аппаратную часть, имеет щелевые отверстия для вентиляции, изготовлена из листового акрила толщиной 4 мм способом программируемой гидроабразивной резки. Также успешно может быть применена и программируемая лазерная резка.

На крышке установлены: кулер (напряжением 12 В), обеспечивающий циркуляцию воздуха в контейнере; датчик температуры и влажности (термометр-гигрометр); две беспаячные монтажные площадки. На одной площадке установлена плата «Arduino Nano» однокристального микроконтроллера «ATmega328», предназначенная для управления режимами освещения. Электрическая схема платы приведе-

на на рис. 3. На другой площадке расположен повышающий DC-DC-преобразователь 5 В/12 В с выходным током 2 А (рис. 4). В качестве источника постоянного напряжения использован Powerbank с характеристиками 5 В, 2 А.

С внутренней стороны крышки установлен светильник, изготовленный из пластика PETG посредством 3D-печати, с хромированным отражателем и светодиодами силой тока 270 мА, мощностью 2,7 Вт в количестве 9 шт. Цвет испускаемого света – белый (диапазон видимой части спектра). Поскольку светодиодный светильник потребляет ток 270 мА, в схему включен полевой транзистор IRFZ40, работающий в режиме ключа.

Экстрактор в сборе (прототип) показан на рис. 5.

Светодиоды управляются контроллером, программа которого содержит пять режимов работы. Режим 1 обеспечивает пульсацию светильника с периодичностью 0,5 с, режим 2 – пульсацию с периодичностью 0,05 с, режим 3 – постоянное освещение без пульсации, режим 4 обнуляет программу контроллера, режим 5 переводит контроллер в исходное положение.

Поскольку при своем движении улитка смачивает поверхность под собой и совершает вдоль нее волнообразные движения, то профиль, текстура, шероховатость опорной поверхности – все это воздействующие на животное факторы, стимулирующие секрецию. Поэтому в качестве постоянного воздействующего фактора применялось размещение опытных животных на пластине с ребристой поверхностью. Для этого была разработана и напечатана на 3D-принтере способом перехлестной FDM-печати специальная экстракционная пластина из PETG-пластика размерами 159×149×7 мм с V-образным профилем, образующим желобки (ребра) в одном направлении (рис. 6), на которой и размещались улитки во время эксперимента. Угол профиля желобков (ребер) 45°, высота профиля 3,5 мм. Перехлестная печать малой плотности позволила получить развитую зернистую текстуру поверхности, что в совокупности с грубой шероховатостью $R_z=80...120$ мкм является в данном случае полезным эффектом. Эксперимент показал, что улитки способны удерживаться и передвигаться по такой поверхности при ее расположении в диапазоне от горизонтального до вертикального при условии, что пластина перед размещением улитки вымыта и просушена. Поэтому в дальнейшем был разработан и изготов-

лен из того же материала тем же способом 3D-печати промышленный вариант экстракционной камеры (рис. 7), сочетающий в себе все выше-приведенные характеристики экстракционных поверхностей и их оптимальное симметричное

наклонное (V-образное) расположение, позволяющее после окончания экстрагирования и извлечения улиток легко смывать секрет по наклонным желобкам в фильтровальную часть промышленной установки (рис. 1).

Управляющая программа контроллера имеет вид:

```
const int RLED=9; //Red LED on
Pin 9
const int BUTTON=2; //The Button
is connected to pin 2

boolean lastButton=LOW; //Last
Button State
boolean currentButton=LOW; //
Current Button State
int ledMode=0; //Cycle between
LED states

void setup()
{
  pinMode (RLED, OUTPUT); //Set
Red LED as Output
  pinMode (BUTTON, INPUT); //Set
button as input (not required)
}

/*
 * Debouncing Function
 * Pass it the previous button state,
 * and get back the current
debounced button state.
 */
boolean debounce(boolean last)
{
  boolean
current=digitalRead(BUTTON);
//Read the button state
  if (last !=current) //if it's different...
  {
    delay(5); //wait 5ms
    current=digitalRead(BUTTON);
//read it again
  }
  return current; //return the current
value
}

/*
 * LED Mode Selection
 * Pass a number for the LED state
and set it accordingly
```

```
*/
void setMode(int mode)
{
  //RED
  if (mode==1)
  {
    digitalWrite(RLED, HIGH);
    delay (500);
    digitalWrite(RLED, LOW);
    delay (500);
  }
  //GREEN
  else if (mode==2)
  {
    digitalWrite(RLED, HIGH);
    delay (50);
    digitalWrite(RLED, LOW);
    delay (50);
  }
  //BLUE
  else if (mode==3)
  {
    digitalWrite(RLED, HIGH);
  }
}

void loop()
{
  currentButton=debounce(lastButton)
; //read debounced state
  if (lastButton==LOW &&
currentButton==HIGH) //if it was
pressed...
  {
    ledMode++; //increment the LED
value
  }
  lastButton=currentButton; //reset
button value
  //if you've cycled through the
different options, reset the counter to
0
  if (ledMode==5) ledMode=0;
  setMode(ledMode); //change the LED state
}
```

Экспериментальный прототип экстрактора не является изолированной системой и сообщается с лабораторным помещением, поэтому в помещении должны поддерживаться комфортные животному показатели температуры и влажности. В промышленной технологической схеме температура и влажность в экстракционной камере поддерживаются автономно посредством термостата. Термостат тем не ме-

нее вентилируется с достаточным для животных расходом воздуха.

Изготовленный прототип экстрактора позволил проверить выдвинутую гипотезу о возможности не травмирующего стимулирования секреции муцина и оценить эффективность стимулирования. Не вдаваясь в биологическое описание эксперимента, приведем его количественные результаты.

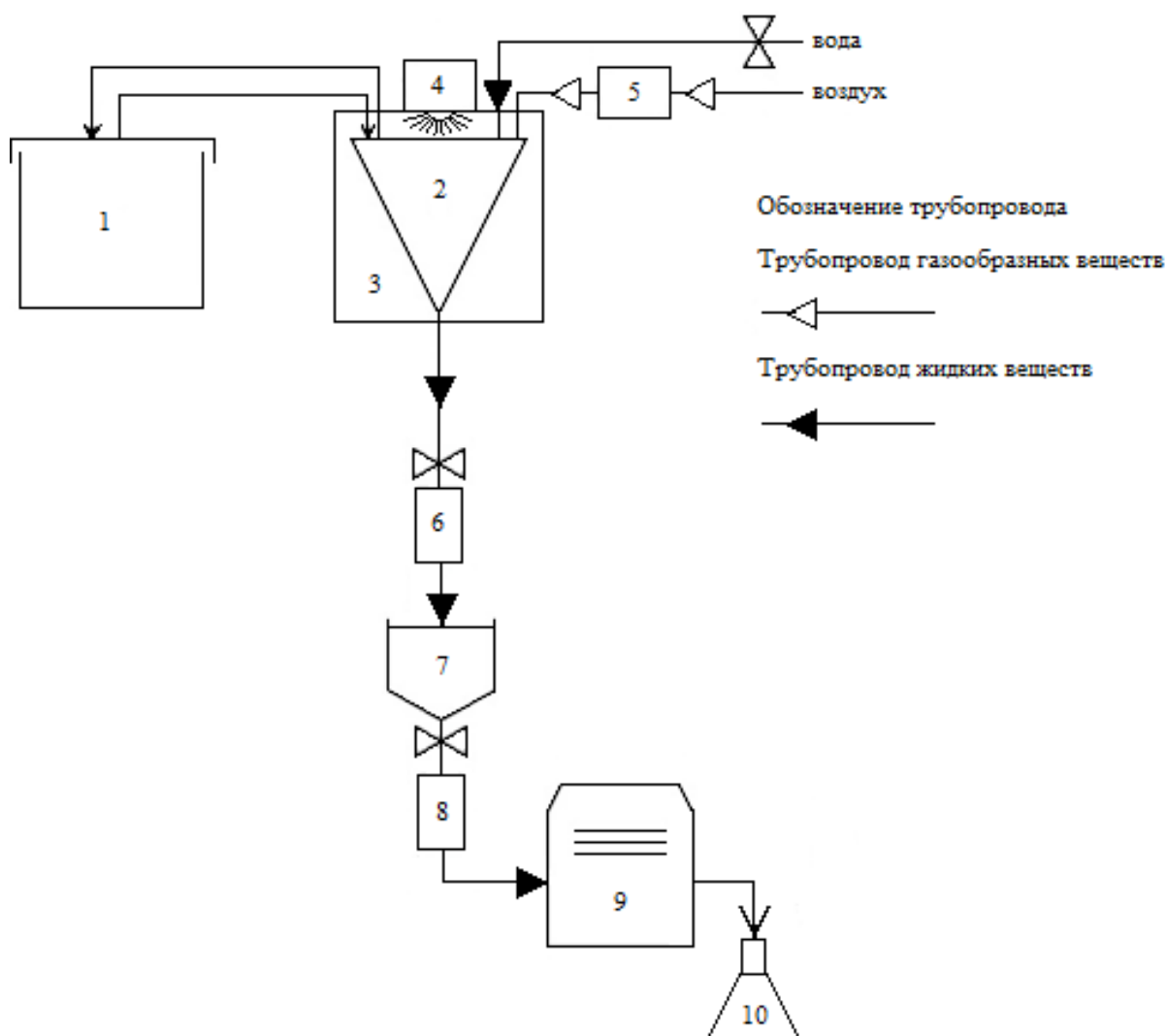
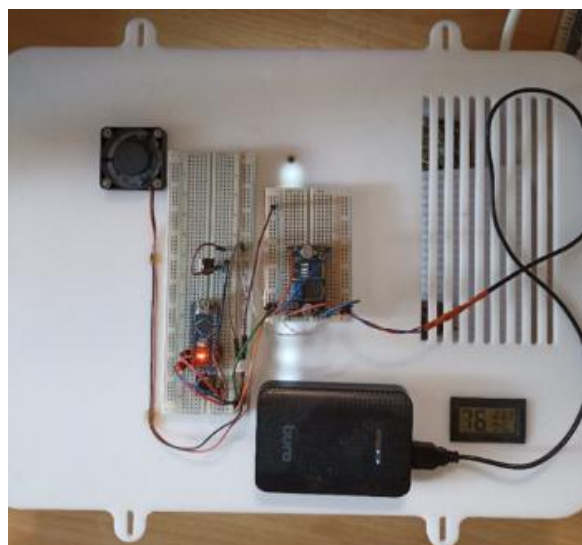


Рис. 1. Технологическая схема получения товарного продукта:
 1 – культивационное отделение; 2 – экстракционная камера; 3 – термостат;
 4 – светильник светодиодный; 5 – устройство вентиляции; 6 – микрофильтр;
 7 – емкость отстоя; 8 – субмикрофильтр; 9 – сушильная камера; 10 – тара



а



б

Рис. 2. Крышка-шасси:
а – вид сверху (снаружи); б – вид снизу (изнутри)

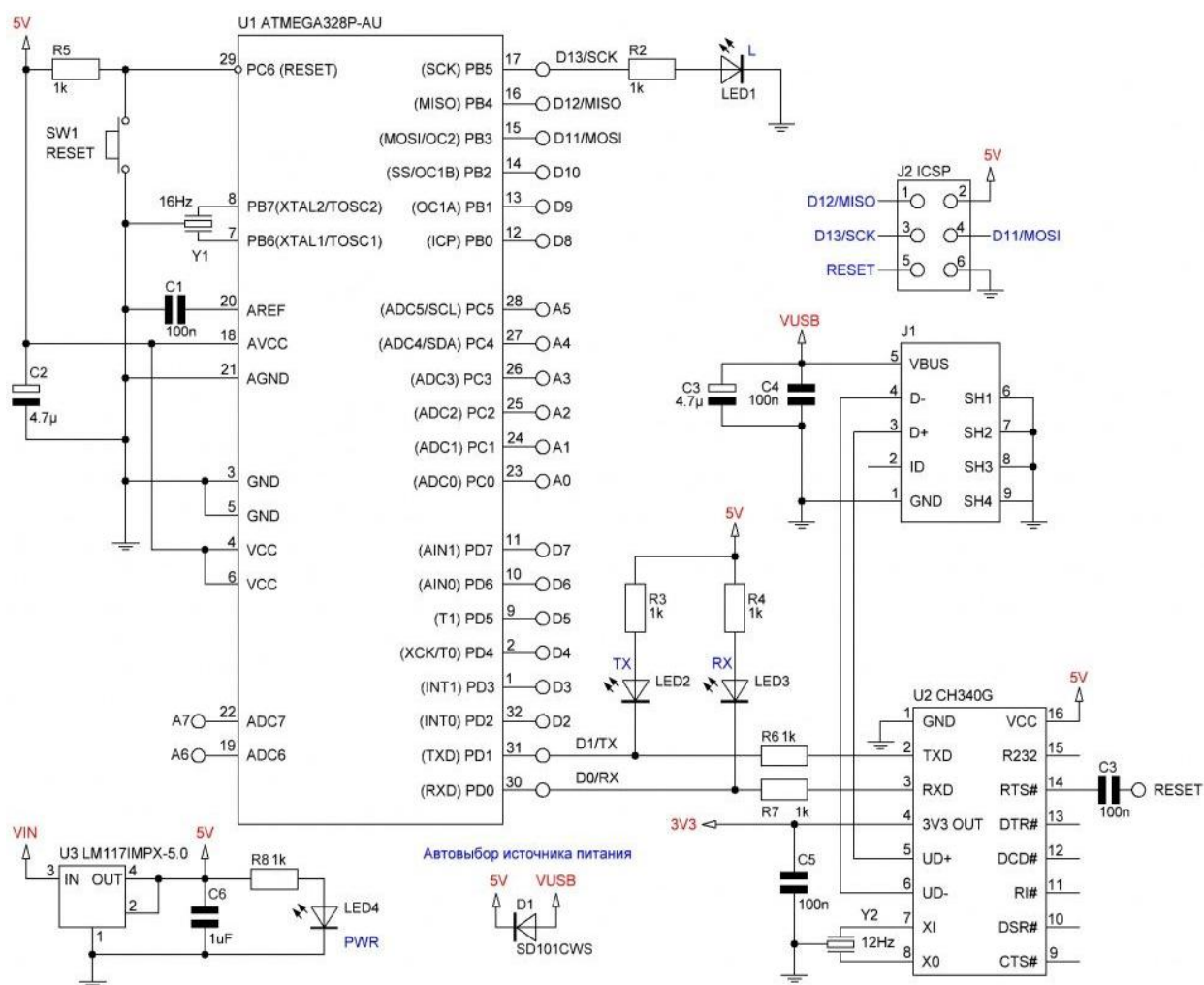


Рис. 3. Электрическая схема управляющей платы

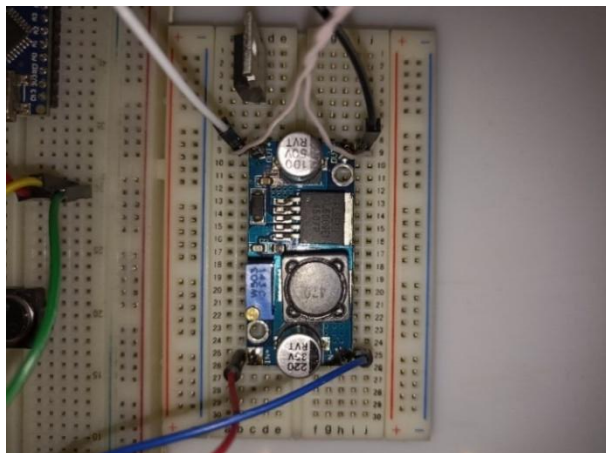


Рис. 4. Повышающий DC-DC-преобразователь



Рис. 5. Экстрактор в сборе (экспериментальный прототип)



а



б

Рис. 6. Экстракционная пластина:
а – общий вид; *б* – вид с удерживающейся улиткой

Серия опытов в течение поочередно 10, 20, 30 и 40 минут в каждом из трех режимов светового воздействия (12 серий экспонирования в каждом режиме с каждым из 12 подопытных моллюсков) показала, что наиболее эффективным режимом светового воздействия на улиток является режим пульсации светового потока с периодичностью 0,5 с. В таблице приведены средние арифметические результатов измере-

ний количества секрета в каждом режиме светового воздействия для каждой длительности экспонирования. Значения средних приведены с доверительными интервалами. Для наглядности построен график экстракции муцина (рис. 8). Все подопытные улитки быстро возвращались к нормальной активности и питанию по окончании экстракции и возвращении в культивационное отделение.

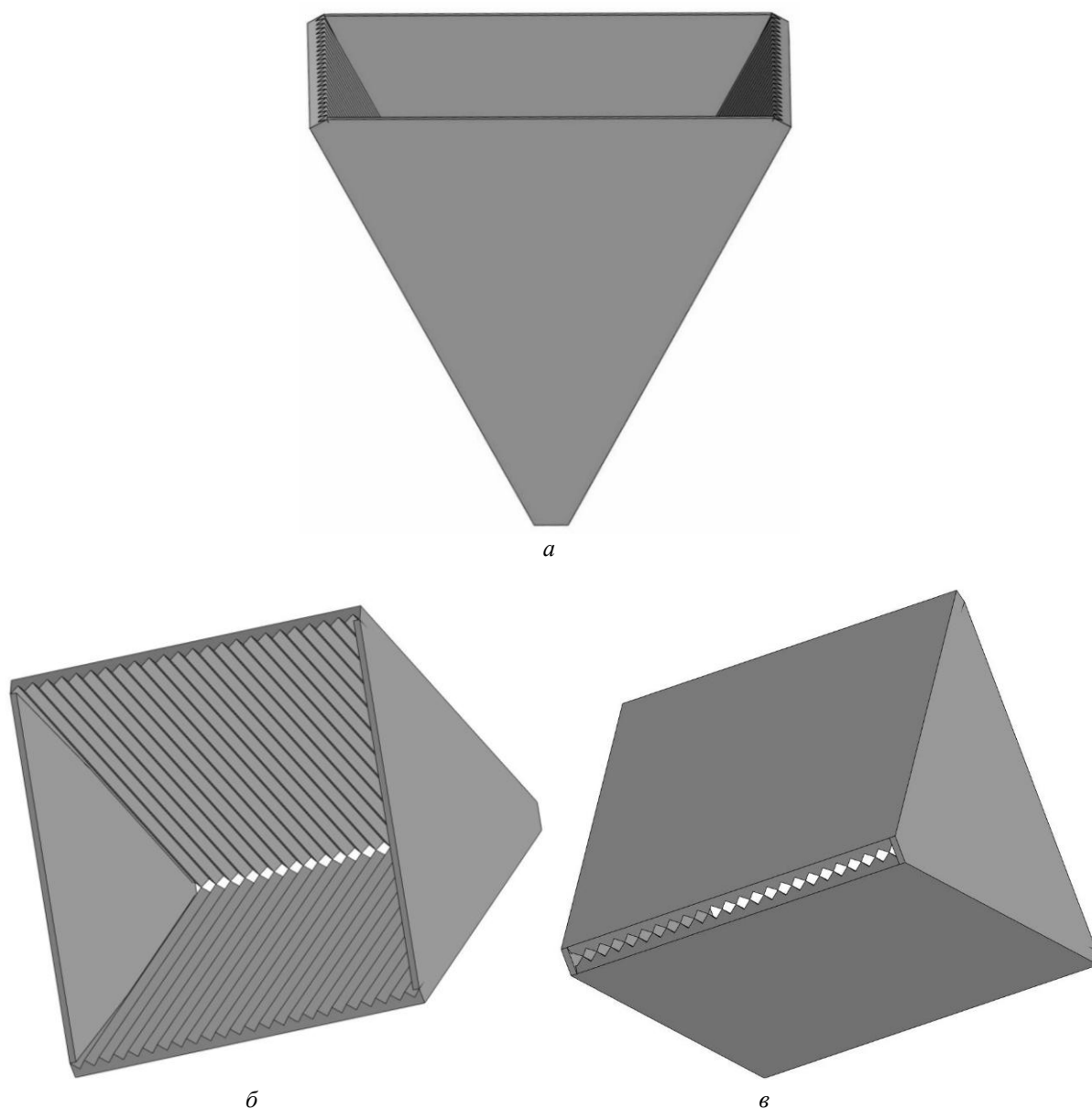


Рис. 7. Экстракционная камера, виды:
a – спереди; *б* – сверху; *в* – снизу

Количество выделившегося муцина

Время воздействия, мин	Масса выделившегося муцина, мг, при пульсации светового потока с периодичностью, с		
	0,5	0,05	0
10	1,76±0,26	1,60±0,20	1,08±0,22
20	6,42±0,41	2,68±0,19	2,58±0,17
30	9,42±0,46	3,09±0,30	2,09±0,15
40	15,33±0,57	6,51±0,42	4,85±0,30

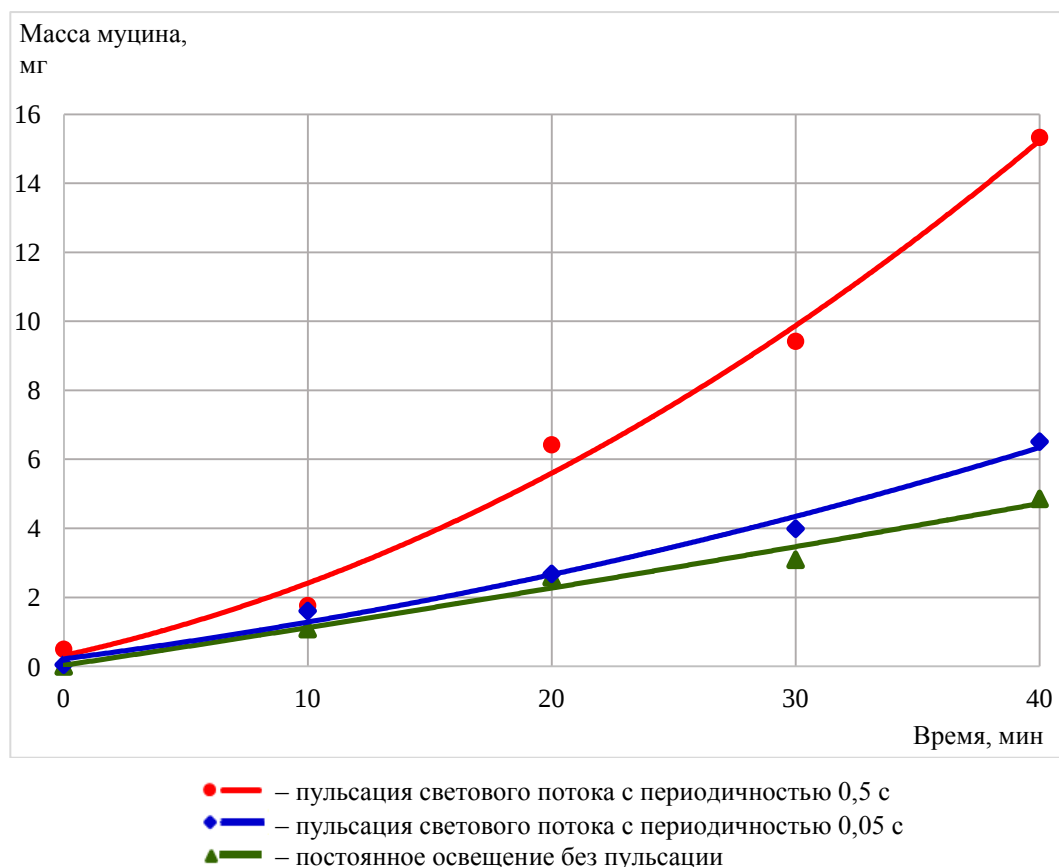


Рис. 8. График зависимости количества выделившегося муцина от режима и времени экспонирования

Таким образом, принятые конструкторские и технологические решения и изготовленный на их основе экспериментальный (лабораторный) прототип светодиодного экстрактора позволили подтвердить возможность и перспективность применения пульсирующего светодиодного излучения для безтравматичной экстракции муцина улиток вида *Helix pomatia Linnaeus*. В сочетании с другими не травмирующими способами экстракции (размещение моллюсков на ребристой поверхности, воздействие мягким паром) предложенные способ и устройство могут быть рекомендованы для повышения эффективности извлечения муцина улиток.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Компанцев, Д. В. Разработка инновационной технологии получения нового материала «Клеточный экстракт *Helix aspera* Muller» для использования в косметологии и медицине / Д. В. Компанцев, А. А. Чахирова, Т. Т. Мур-

салова // Медико-фармацевтический журнал «Пульс». – 2020. – Т. 22. – № 7. – С. 44–49.

2. Das, P.P.G. Methods of extraction of mucin from giant african snail *Achatina fulica* Bowdich/ P.P.G. Das, B. Bhat-tacharyya, S. Bhagawati, D.J. Nath, K. Sarmah// Indian Journal of Entomology.- 2022.- Vol. 84.- №2.- P. 296-300.

3. Wu, J.-Y. Taiwan Shiao Pin Snail Biotechnology Ltd Company: Method for increasing snail mucus production and extracting the same/ J.-Y. Wu, G.-H. Li// Patent Tw, №102104421A.- 2014.

4. Snail mucus extractor «Mucus pro 3.20»// MUCUS PRO.- URL: <https://mucus.pro/extractor/> (дата обращения: 22.07.2024). – Режим доступа: открытый доступ.

5. Lee, J. S. Ageatlabs Co Ltd: Method for manufacturing mucin compex extract for skin recovery based on ultra high pressure process/ J.S. Lee// Patent Kr, №101720680B1. – 2015.

6. Копытько, Я. Ф. Летучие вещества спиртового извлечения из Ахатины гигантской (*Achatina fulica*) / Я. Ф. Копытько// Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2021. – № 12. – С. 76–81.

7. Голембовский, В. В. *Helix pomatia* (виноградная улитка) – как новый источник биологически активных веществ / В. В. Голембовский, Л. А. Пашкова // Ученые записки УО ВГАВМ. – 2022. – Т. 58. – Вып. 2. – С. 84–89.