

УДК 621.43.068.4

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

**КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВОМ ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ**

Кутейникова Анастасия Петровна  
соискатель  
РИНЦ SPIN-код: 8857-9256  
nascut@yandex.ru  
*ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева»*  
390044, Россия, г. Рязань, ул. Костычева, дом 1

Олейник Дмитрий Олегович  
к.т.н., доцент  
РИНЦ SPIN-код: 9929-7513  
oleynik\_d\_o@mail.ru  
*ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева»*  
390044, Россия, г. Рязань, ул. Костычева, дом 1

В период эксплуатации двигателя внутреннего сгорания мобильных энергетических средств функционируют в различных нагрузочных режимах, в связи с чем изменяется количественный и качественный состав отработавшего газа. В статье приведены конструктивно-режимные параметры электронного блока управления работой устройства для удаления и химического связывания вредных и токсичных веществ из состава отработавшего газа, установленного на сельскохозяйственной технике, принципиальная и монтажная схемы, макет печатной платы, номиналы элементов, отвечающих за корректную работу устройства и их предпочтительные марки

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОННЫЙ БЛОК УПРАВЛЕНИЯ, ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОЧИСТКА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ, АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ УСТРОЙСТВА

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-198-034>

UDC 621.43.068.4

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

**DESIGN AND MODE PARAMETERS OF THE ELECTRONIC CONTROL UNIT OF AN EXHAUST GAS CLEANING DEVICE**

Kuteinikova Anastasia Petrovna  
Applicant for degree  
RSCI SPIN-code: 8857-9256  
nascut@yandex.ru  
*FSBEI of HE "Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev".*  
390044, Russia, Ryazan, Kostycheva, 1

Oleinik Dmitry Olegovich  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
RSCI SPIN-code: 9929-7513  
oleynik\_d\_o@mail.ru  
*FSBEI of HE "Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev".*  
390044, Russia, Ryazan, Kostycheva, 1

During operation piston internal combustion engines of mobile energy vehicles function in different load modes, in connection with which the quantitative and qualitative composition of the exhaust gas changes. Design and mode parameters of the electronic control unit of the device for removal and chemical binding of harmful and toxic substances from the exhaust gas composition, installed on agricultural machinery, circuit and wiring diagrams, PCB layout, nominal values of the elements responsible for the correct operation of the device and their preferred brands are given in the article

Keywords: ELECTRONIC CONTROL UNIT, ECOLOGICALLY SAFE TECHNOLOGIES, CLEANING OF EXPOSED GAS, AUTOMATISED DEVICES

**Введение.** Современный агропромышленный комплекс можно представить, как совокупность сельскохозяйственного производства, перерабатывающей и машиностроительной промышленности, а также

<http://ej.kubagro.ru/2024/04/pdf/34.pdf>

связывающей их инфраструктуры. Для механизации основных и вспомогательных операций при возделывании зерновых культур, выращивании корнеклубнеплодов, овощей открытого и защищенного грунта, уходе за сельскохозяйственными животными и птицей, за садами и питомниками, организации материально-технического снабжения отрасли, заготовке кормов, внесении минеральных удобрений и средств защиты растений основными энергетическими средствами, по-прежнему, остаются трактора, самоходные сельскохозяйственные машины и самоходные шасси оснащенные дизельными двигателями внутреннего сгорания - тепловыми машинами, естественным процессом для которых является образование и выпуск в атмосферу отработавшего газа, являющегося, в свою очередь, продуктом полного и неполного сгорания углеводородного топлива. Токсичные и нетоксичные, но опасные для человека продукты неполного сгорания топлива попадают в атмосферу, где, в свою очередь, часть из них разбавляется воздухом до безопасных концентраций, а часть попадает в легкие и на кожу человеку и сельскохозяйственным животным, оседает на зерне, овощах, плодах и в дальнейшем так же может попасть в организм человека с продуктами питания. В связи с этим разработка способов и средств для нейтрализации и удаления из отработавших газов продуктов неполного сгорания топлива в условиях эксплуатации машин по сей день является актуальной задачей. Экологические нормы, стандарты постепенно повышают «планку» и присутствие каждого вредного и токсичного компонента поэтапно снижается, это требует постоянного совершенствования систем нейтрализации, что невозможно без использования электронных устройств, автоматики, микропроцессорной техники и специальных алгоритмов.

При разработке электронных устройств, предназначенных для эксплуатации на сельскохозяйственной технике, необходимо учитывать специфику работы машин: значительный диапазон рабочих температур от

крайне высоких в теплое время года, например, при полевых работах, до крайне низких при эксплуатации в зимнее время, например, на транспортных работах, операциях снегозадержания, значительная вибрация, запыленность. Ситуация усугубляется, когда речь заходит о так называемой отечественной «не гарантийной» технике «вторичного рынка», доля которой в парке хозяйств нашей страны пока ещё значительна [2].

В настоящее время широкий спектр задач, связанных с созданием различных автоматизированных устройств решается с помощью аппаратно-программных средств на базе программируемых контроллеров, выпускающихся под брендами «Arduino», «Raspberry» и др., однако если для использования в лабораторных условиях для создания моделей и проведения лабораторных экспериментов и испытаний эти устройства весьма удобны, для эксплуатации на сельскохозяйственной технике в реальных производственных условиях требуются более надежные и проверенные промышленные решения [2].

**Цель исследований.** Определить, с учетом опыта реальной производственной эксплуатации, конструктивно-режимные параметры электронного блока управления устройством для очистки отработавших газов дизельных ДВС установленных на сельскохозяйственной технике от вредных и токсичных компонентов.

**Методика исследований.** Разработана система для улучшения экологических характеристик ДВС, путем снижения концентрации токсичных компонентов и дисперсных частиц в отработавших газах (пат. № 2020143035). Техническое решение заключается в предварительной обработке поступающего из выпускного коллектора потока отработавших газов электростатическим полем, и, в последующем специальным жидкостным раствором, химическом взаимодействии заряженных частиц раствора с противоположно заряженными частицами из потока и

абсорбированными на их поверхности веществами, и последующей сепарации (рис. 1).

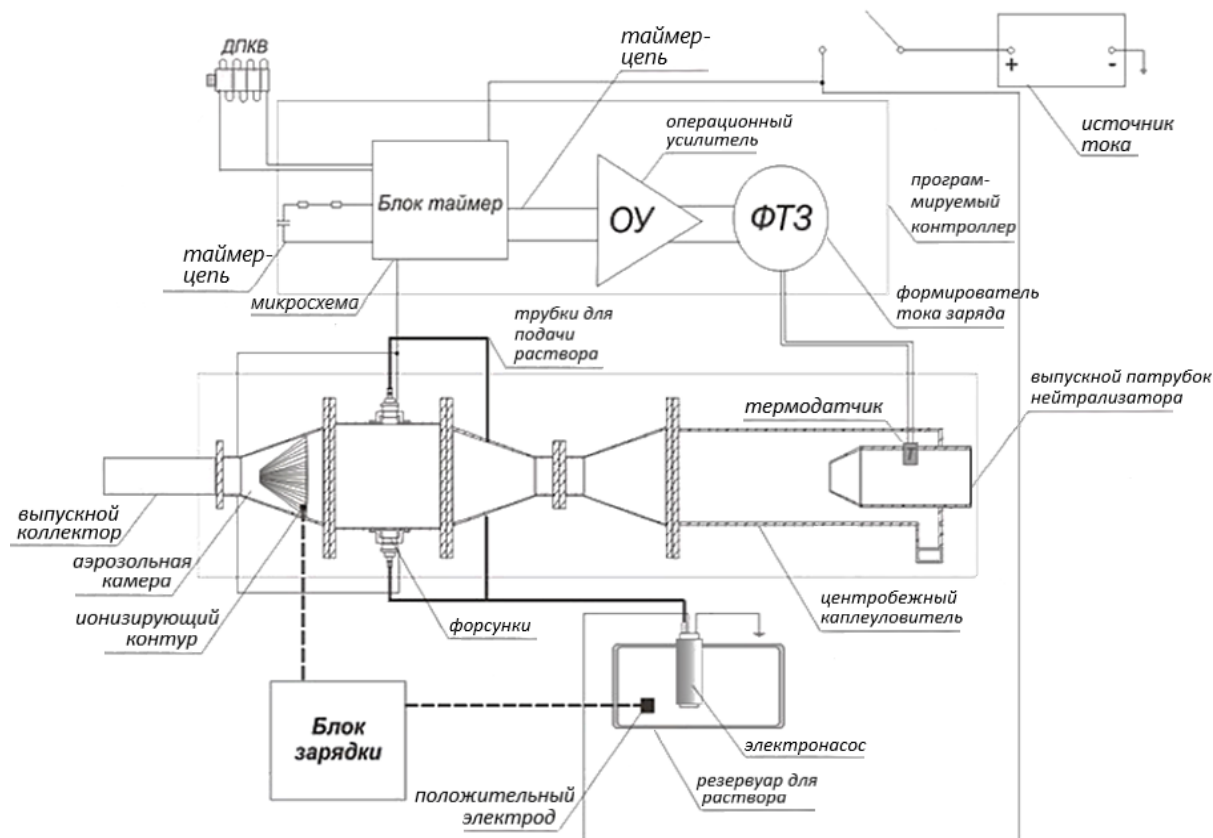


Рисунок 1. – Схема устройства очистки отработавших газов (УООГ)

Образовавшийся в результате работы тепловой машины-ДВС поток отработавших газов (рис.1), после прохождения через коллектор выпускной системы ДВС, направляется в аэрозольную камеру для обработки нейтрализующим раствором посредством форсунок. С помощью индукционного датчика положения коленчатого вала осуществляется подача опорного сигнала, который является основой для функционирования интегральной микросхемы-таймера. Заданный импульс в интегральном блок-таймере электрического блока управления (ЭБУ) имеет длительность, зависящую от режима работы ЭБУ и времязадающих цепей. Ионизирующий контур, расположенный на входе в

аэрозольную камеру обработки отработавших газов, заряжает частицы потока отрицательным зарядом генерируемым высоковольтным блоком питания (блоком зарядки) ионизатора, который, в свою очередь, заряжает электрод в баке нейтральной жидкости с помощью заряда положительного тока. Разработанная конструкция позволяет обеспечить более интенсивный процесс сорбции сажи и токсичных компонентов, за счет притягивания положительных и отрицательных зарядов, утяжеляя и укрупняя частицы ОГ, а также улучшить их задержание в центробежном каплеуловителе [1].

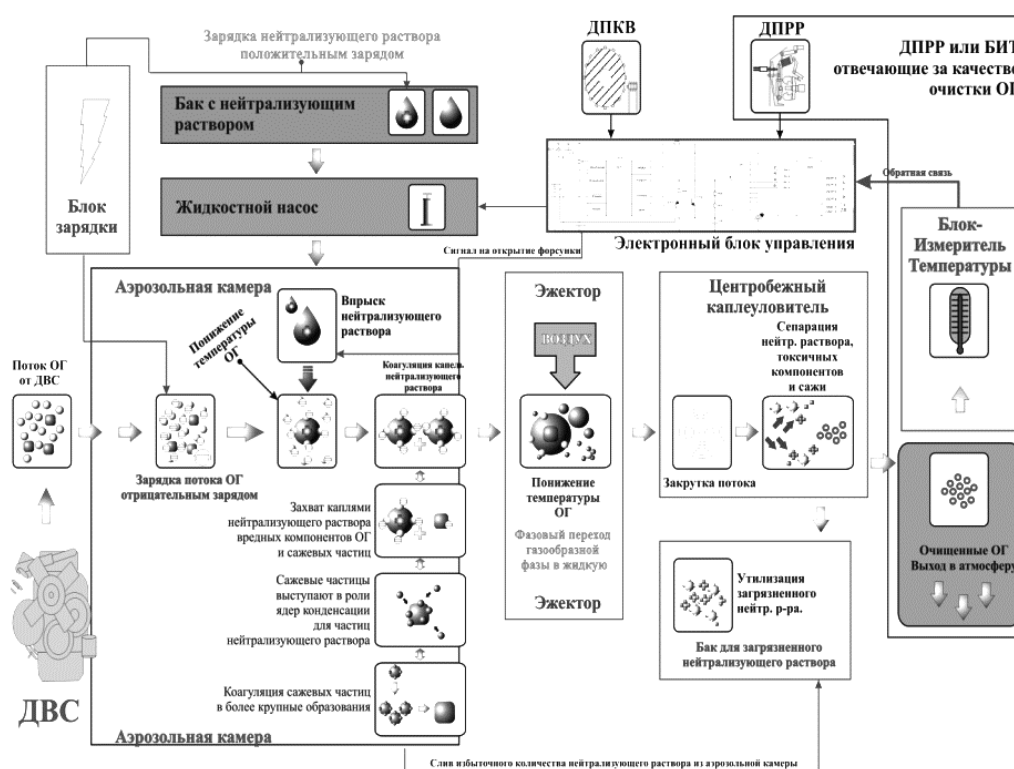


Рисунок 2. – Принцип работы УООГ.

### Результаты исследований.

Опыт производственной эксплуатации семейства устройств жидкостной нейтрализации токсичных компонентов в отработавших газах [2], включающих электронный блок управления (ЭБУ, блок) продемонстрировал, что для надёжной работы ЭБУ должен

изготавливаться с применением традиционных технологий производства устройств, содержащих электронные компоненты.

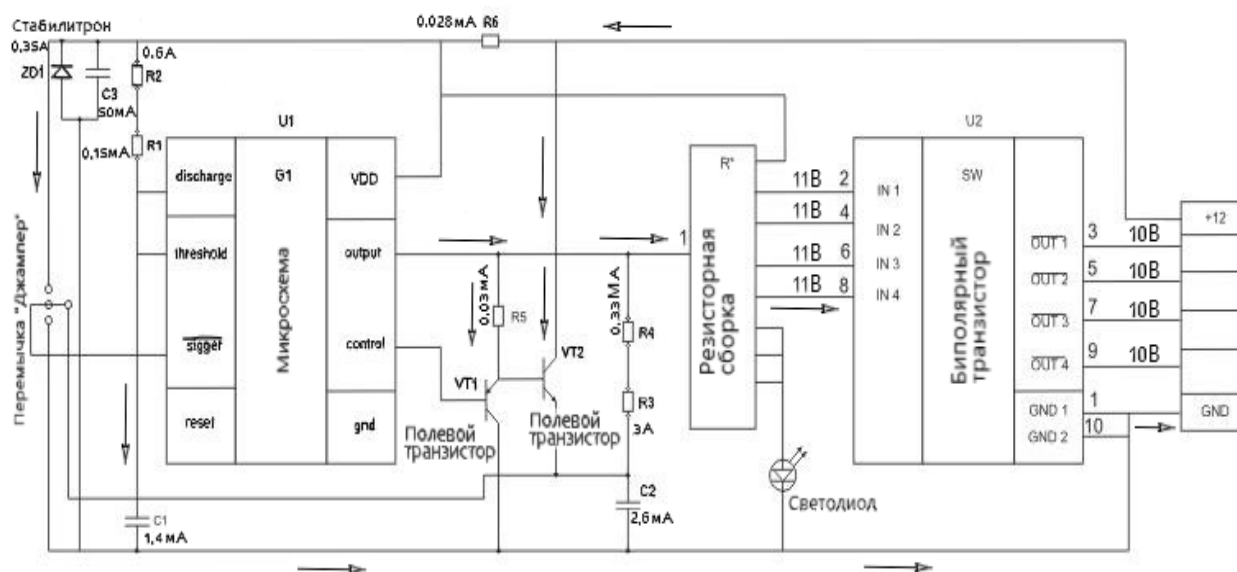


Рисунок 3. – Принципиальная схема электронного блока управления.

ЭБУ УООГ представляет собой техническое средство, оказывающее воздействие на технологический процесс работы УООГ и управляющий им в соответствии с режимом работы силовой установки мобильного энергетического средства (МЭС). ЭБУ генерирует электрический сигнал (импульс), посылаемый на устройства для пульверизации раствора, установленные в камере селективного катализа УООГ. Электропитание осуществляется от штатной бортовой электрической сети МЭС напряжением 12 В.

Ток заряда конденсатора рассчитывался [3]:

$$I_n = \frac{U_n}{Z_n} = \frac{U_n}{\sqrt{R_n^2 + X^2 C_n}}, \quad (1)$$

где  $n$  - рассчитываемый участок цепи;

$U_n$  – напряжение участка;

$I_n$  – сила тока;

$R_n$  – сопротивление на участке цепи;

$C_n$  – ёмкость;

$Z_n$  – полное сопротивление цепи заряда, рассчитываемое по формуле [3]:

$$Z_n = \sqrt{R_n^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (2)$$

Амплитудное значение тока заряда конденсатора в цепи колебательного контура зависит от максимально достигаемого напряжения в цепи и емкости конденсатора и определяется как [3]:

$$I_{mn} = \sqrt{2}I_n \quad (3)$$

Частота генерации импульсов тока  $f$  зависит от величины номинала емкости конденсатора  $C$  и двух сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ , и рассчитывалась [3]:

$$f = \frac{1}{0.693 \cdot C \cdot (R_1 + R_2)}, \quad (4)$$

где  $R_1$  и  $R_2$  – сопротивления, кОм;

$C$  – ёмкость конденсатора;

Энергия импульса рассчитывалась по формуле [3]:

$$W = \frac{CU_c^2}{2}, \quad (5)$$

где  $U_c$  – напряжение на конденсаторе в начале заряда;

Временной интервал – период  $T$  между возникновением каждого следующего электрического сигнала (импульса) представляет собой сумму его длительности  $T_1$  и длительности паузы –  $T_2$ , и определяется согласно выражениям [2]:

$$T_1 = 0.693 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C, \quad (6)$$

$$T_2 = 0.693 R_2 \cdot C \quad (7)$$

Среднее напряжение широтно-импульсного регулятора [3]:

$$U = U_{\Pi} * \frac{T_1}{T_1 + T_2} = \gamma U_{\Pi} \quad (8)$$

где  $U_{\Pi}$  – напряжение питания;

$\gamma$  – скважность импульсов.

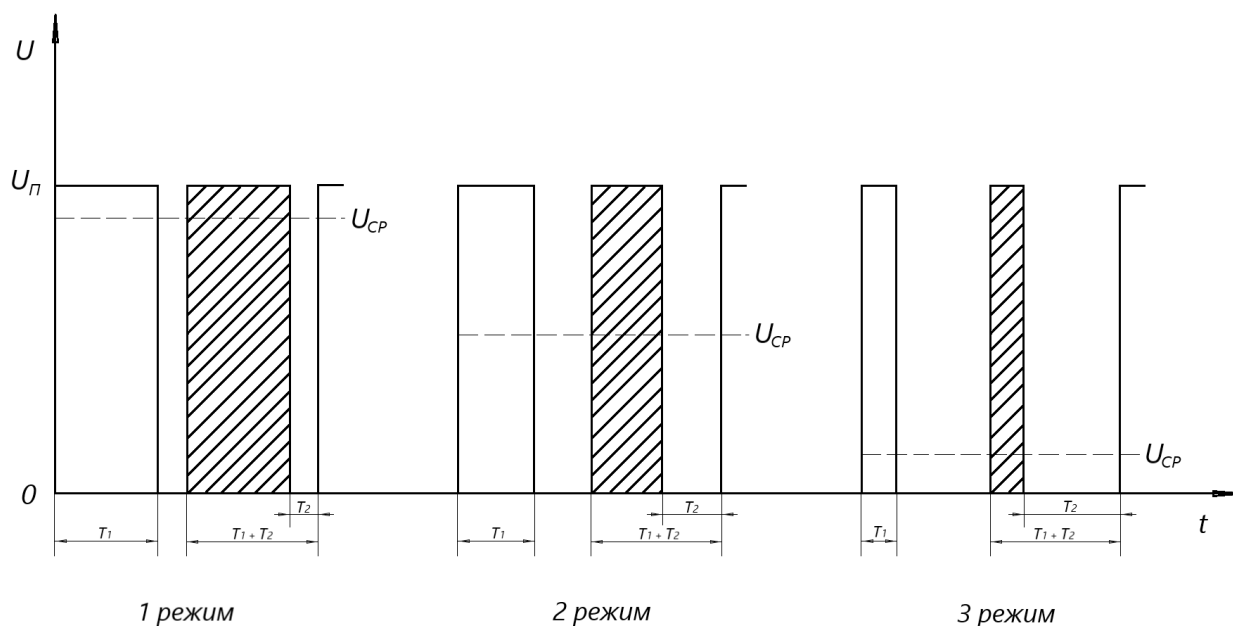


Рисунок 4. – Схема импульсного регулирования режимов ЭБУ УООГ

Эквивалентное количество обрабатываемых токсичных компонентов, с помощью ЭБУ, определяется двойным интегралом [2]:

$$G_{\Sigma_{цикл}}^{CO} = \int_{n_{мин}}^{n_{макс}} \int_{P_{ε_{мин}}}^{P_{ε_{макс}}} q_{\Sigma P_e}^{CO} T dn dP_e, \quad (9)$$

где  $q_{\Sigma}^{CO}$  – удельная токсичность на конкретном режиме;

$T$  – время работы двигателя на конкретном режиме;

$dn$  – частота вращения коленчатого вала двигателя;

$dP_e$  – мощность двигателя;

$\int_{n_{мин}}^{n_{макс}} \int_{P_{ε_{мин}}}^{P_{ε_{макс}}} P_e T dn dP_e$  – соответствующий режиму производственный цикл ДВС.

ЭБУ УООГ монтируемое в кабине МЭС, имеет: индикатор режима работы на основе светоизлучающего диода, поворотный трехполюсный резистор для задания длительности импульса вручную, клеммную колодку для подключения устройств пульверизации раствора и электропитания, а также датчика, с помощью которого осуществляется синхронизация положения коленчатого вала. Работа ЭБУ УООГ осуществляется в одном

из трех режимов. Во время первого режима длительность нахождения устройства пульверизации раствора в открытом и закрытом состоянии неизменно, т.е. подача нейтрализующего раствора осуществляется с постоянной частотой. Во время второго режима работы ЭБУ позволяет осуществлять регулировку длительности нахождения устройства пульверизации раствора в открытом состоянии, тем самым обеспечивая синхронизацию работы ЭБУ с режимом работы двигателя. Параметры третьего режима обработки потока раствором регулируются автоматически, ориентируясь на режим работы двигателя. Конфигурирование режимов осуществляется установкой перемычки –  $W_1$  (см. рис 3., рис. 5) в одно из трех положений.

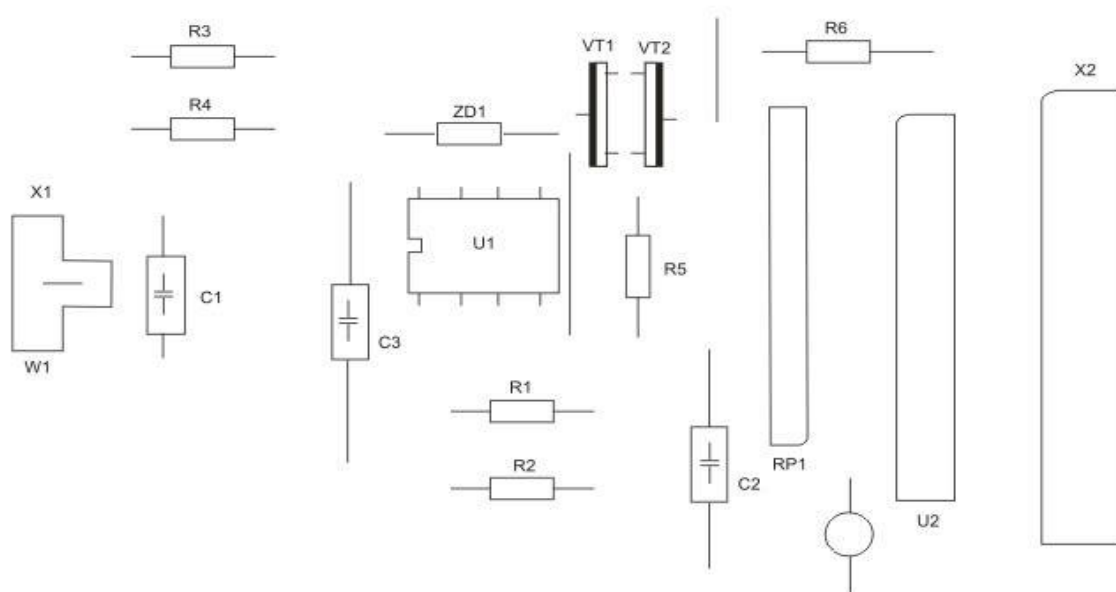


Рисунок 5. – Монтажная схема ЭБУ.

Одной из основных задач проектирования устройств управления, работающих на базе микросхемы типа «555», является подбор элементов времязадающих цепей – сопротивлений и емкостей, формирующих длительность нахождения устройств для пульверизации раствора в открытом и закрытом состояниях.

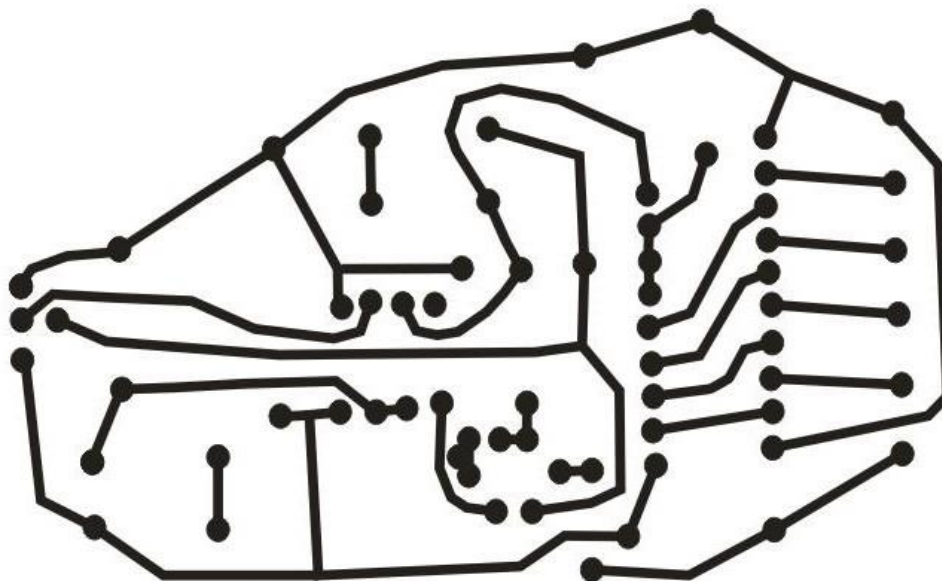


Рисунок 6. – Макет печатной платы ЭБУ.

В рамках лабораторных исследований и последующих полевых исследований были определены и уточнены номиналы элементов: сопротивление  $R_1 = 1 \text{ мОм}$ ,  $R_4 = 100 \text{ кОм}$ ,  $R_5 = 10 \text{ кОм}$ ,  $R_6 = 150 \text{ кОм}$ , резисторная сборка  $RP_1$  с номиналом  $1 \text{ кОм}$ , резисторы  $R_2$  и  $R_3$  в базовом варианте заменяются перемычками, конденсатор  $C_1 = C_2 = 0,047 \text{ мкФ}$ ,  $C_3 = 220 \text{ мкФ}$ , кроме того рекомендуется использовать: двуханодовый стабилитрон  $ZD_1$  марки  $KC170A$  со статическим сопротивлением  $20 \text{ Ом}$  и мощностью  $0,15 \text{ Вт}$ , полевые транзисторы  $VT_1$  и  $VT_2$  марки  $SP8608$ , биполярный NPN транзистор  $STA471AU_2$  и интегральную микросхему таймер  $NE 555$  (см. рис.3, рис.5).

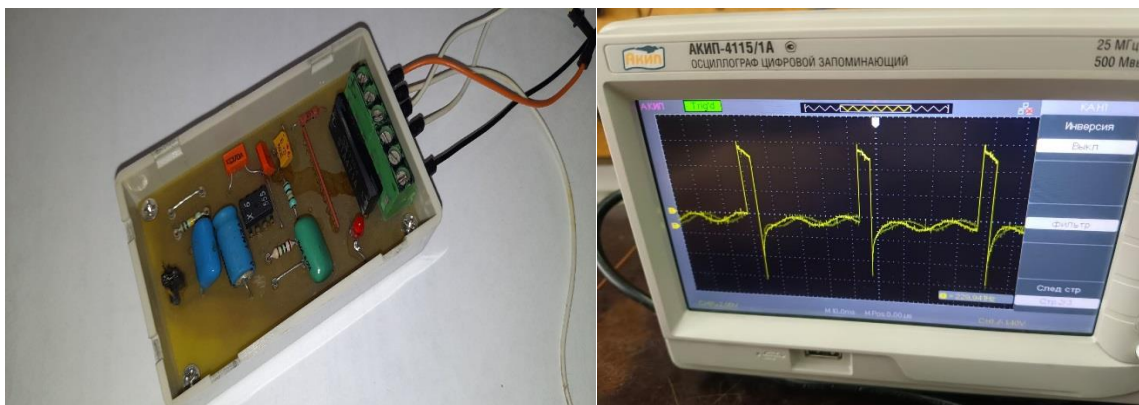


Рисунок 7. – Внешний облик электронного блока управления (слева), и форма электрического сигнала, генерируемая блоком (справа).

В результате статистической обработки результатов проведенных экспериментов была рассчитана математическая модель, определяющая зависимость обработки ОГ от продолжительности времени распыления нейтрализующего раствора в аэрозольную камеру нейтрализатора.

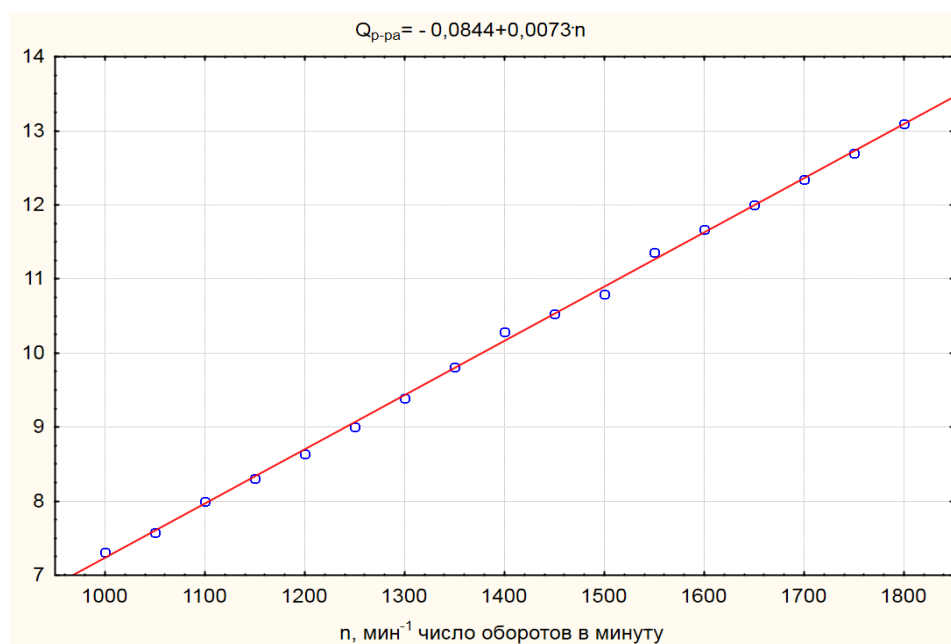


Рисунок 8. – Зависимость обработки ОГ форсунками (см<sup>3</sup>/мин) от частоты вращения коленвала ДВС, продолжительность подачи раствора – 15 мс.

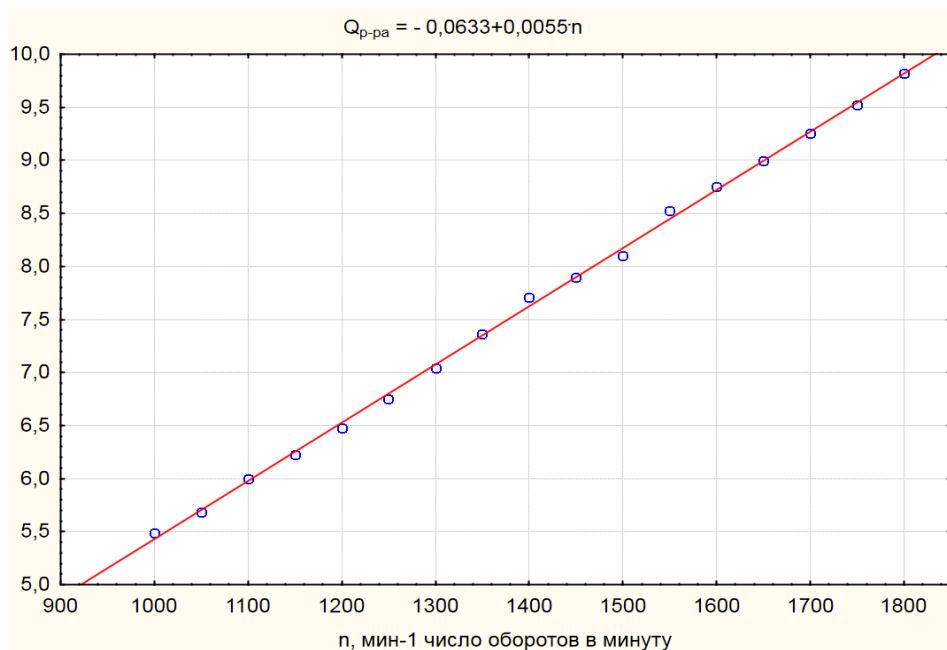


Рисунок 9. – Зависимость обработки ОГ форсунками (см<sup>3</sup>/мин) от частоты вращения коленвала ДВС, продолжительность подачи раствора – 20 мс.

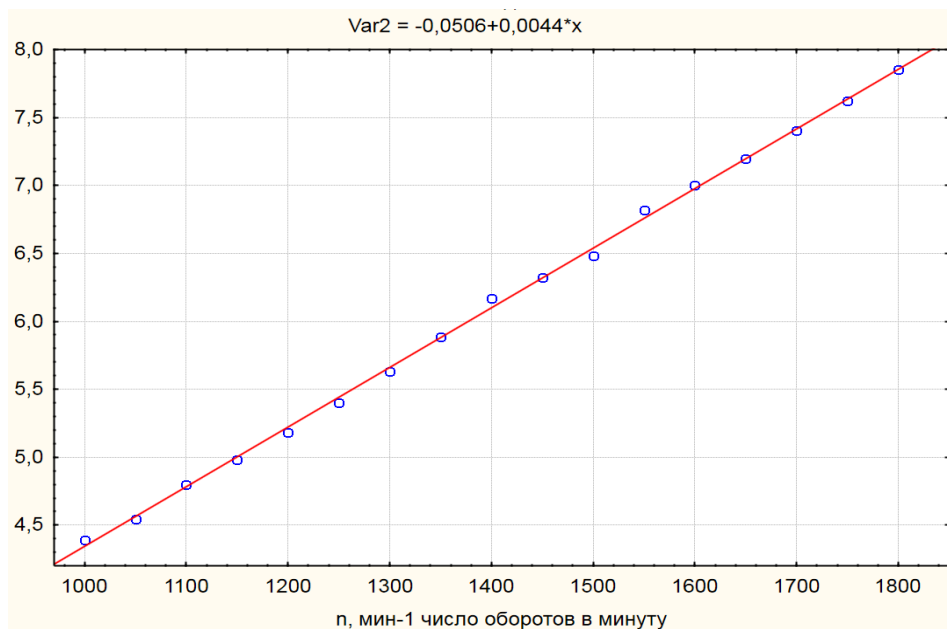


Рисунок 10. – Зависимость обработки ОГ форсунками (см<sup>3</sup>/мин) от частоты вращения коленвала ДВС, продолжительность подачи раствора – 25 мс.

### **Выводы.**

В процессе проведения лабораторных исследований и последующих полевых исследований были определены конструктивно-режимные параметры электронного блока управления устройством для очистки токсичных компонентов в отработавших газах дизельного ДВС, установленного на сельскохозяйственной технике. Номиналы элементов электронного блока рекомендуются следующие: сопротивление  $R_1 = 1$  МОм,  $R_4 = 100$  кОм,  $R_5 = 10$  кОм,  $R_6 = 150$  кОм, резисторная сборка  $RP_1$  с номиналом 1 кОм, резисторы  $R_2$  и  $R_3$  в базовом варианте заменяются перемычками, конденсатор  $C_1 = C_2 = 0,047$  мкФ,  $C_3 = 220$  мкФ. По результатам исследований выяснилось, что эффективнее использовать двуханодовый стабилитрон  $ZD_1$  марки КС170А со статическим сопротивлением 20 Ом и мощностью 0,15 Вт, полевые транзисторы  $VT_1$  и  $VT_2$  марки SP8608, биполярный NPN транзистор  $STA471AU_2$  и интегральную микросхему таймер NE 555.

Специфичные условия работы сельскохозяйственной техники не позволяют в повседневной эксплуатации использовать электронные устройства, созданные на базе семейства аппаратно-программных средств на базе микроконтроллеров Arduino, Raspberry и др., которые, однако, весьма удобны для создания моделей и проведения экспериментов в лабораторных условиях. Для этих задач необходимо использовать проверенные промышленные решения. Электронный блок управления УООГ, выполненный согласно описываемым конструктивно-режимным параметрам и схемам, позволяет обеспечить надежную и слаженную работу системы очистки выхлопных газов от токсичных компонентов дизельных ДВС, установленного на тракторе или самоходной сельскохозяйственной машине.

### Библиографический список

1. Патент на полезную модель № 204359 U1 Российская Федерация, МПК F01N 3/02, F01N 3/08, F01N 3/20. Устройство для очистки отработавших газов двигателей внутреннего сгорания : № 2020143035 : заявл. 24.12.2020 : опубл. 21.05.2021 / Н.В. Бышов, Д.О. Олейник, А.В. Нелидкин ; заявитель ФГБОУ ВО «РГАТУ имени П.А. Костычева».

2. Олейник, Д.О. Способ и устройство снижения токсичности отработавших газов дизельных двигателей [Текст] : дис. канд. техн. наук / Олейник Дмитрий Олегович – 05.20.01 Рязань, РГАТУ, 2009.

3. Миленина, С.А. Электроника и схемотехника : учебник и практикум для вузов / С.А. Миленина ; под редакцией Н.К. Миленина. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — ISBN 978-5-534-05078-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/514159> (дата обращения: 25.12.2023).

### References

1. Patent na poleznuju model' № 204359 U1 Rossijskaja Federacija, MPK F01N 3/02, F01N 3/08, F01N 3/20. Ustrojstvo dlja ochistki otrabotavshih gazov dvigatelej vnutrennego sgoranija : № 2020143035 : zajavl. 24.12.2020 : opubl. 21.05.2021 / N.V. Byshov, D.O. Olejnik, A.V. Nelidkin ; zajavitel' FGBOU VO RGATU im. P.A. Kostycheva.

2. Olejnik, D.O. Sposob i ustrojstvo snizheniya toksichnosti otrabotavshih gazov dizel'nyh dvigatelej [Tekst] : dis. kand. tekhn. nauk / Olejnik Dmitrij Olegovich – 05.20.01 Ryazan', RGATU, 2009.

3. Milenina, S. A. Jelektronika I shemotehnika : uchebnik I praktikum dlja vuzov / S.A. Milenina ; pod redakciej N.K. Milenina. — 2-e izd., pererab. i dop. — Moskva : Izdatel'stvo Jurajt, 2023. — ISBN 978-5-534-05078-3. — Tekst : jelektronnyj // Obrazovatel'naja platform Jurajt [sajt]. — URL: <https://urait.ru/bcode/514159> (data obracshenija: 25.12.2023).