

Работа механизма изменения клиренса заднего моста универсально-пропашного трактора

Адилбек Агабекович Ахметов¹,
доктор технических наук, профессор,
начальник отдела, e-mail: tractor-v@mail.ru;
Шерзод Анвархон угли Ахмедов¹,
доктор технических наук, генеральный директор,
e-mail: myuzdoc@gmail.com;

Бекзод Жангибаевич Астанов¹,
доктор технических наук, инженер-конструктор;
Дилфуза Усманилиевна Камбарова²,
ассистент, e-mail: kdu.317@mail.ru;
Равшан Махкам угли Ботиров³,
докторант, e-mail: ravshanbek.botirov@mail.ru

¹ООО «Конструкторско-технологический центр сельскохозяйственного машиностроения», г. Ташкент, Республика Узбекистан;

²Ташкентский государственный технический университет им. И.Каримова, г. Ташкент, Республика Узбекистан;

³Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, г. Ташкент, Республика Узбекистан

Реферат. Отметили недостатки 3-колесного универсально-пропашного трактора. Для их устранения в ООО «Конструкторско-технологический центр сельскохозяйственного машиностроения» разработали 4-колесный универсально-пропашной трактор с изменяемым клиренсом. (*Цель исследования*) Определить изменение давления в гидросистеме и время перевода заднего моста из одного вида клиренса на другой. (*Материалы и методы*) Показали, что клиренс заднего моста можно изменить с помощью специального механизма – с минимальными затратами труда, без применения подъемных средств и монтажно-демонтажных работ. Пояснили, что механизм приводится в действие рабочим гидроцилиндром. Эксперименты проводили на опытном образце трактора с регулируемым клиренсом, снабженной раздельно-агрегатной навесной системой при частоте вращения двигателя 1200-2000 оборотов в минуту. В гидросистеме использовали масло М10Г2К, подогрев его до 65 градусов Цельсия (при температуре окружающей среды 33-35 градусов Цельсия). (*Результаты и обсуждение*) Гидросистема состоит из гидронасоса НШ-32, гидрораспределителя Р80, двух рабочих гидроцилиндров Ц50-200, гидрозамка двустороннего действия, гидробака, фильтров, шлангов и труб высокого давления. У входного и выходного канала рабочих гидроцилиндров, приводящих в действие механизма изменения клиренса заднего моста, установили гидрозамки, а по гидролинии, связывающей гидрозамки с гидрораспределителем, разместили диафрагменные датчики давления модели SS302 фирмы Sendor Sensor с диапазоном измерения от 0 до 40 мегапаскалей. (*Выводы*) Определили, что при частоте вращения коленчатого вала двигателя 1300-2000 оборотов в минуту время перевода заднего моста с низкого клиренса на высокий составляет 2,2-4,4 секунды, а давление в гидросистеме равно 3,8-16,4 мегапаскаля. Выявили, что при переводе с высокого на низкий клиренс эти показатели, соответственно, составили 1,0-1,4 секунды и 0,99-9,90 мегапаскаля.

Ключевые слова: хлопководство, трактор, задний мост, механизм изменения клиренса.

Для цитирования: Ахметов А.А., Ахмедов Ш.А., Астанов Б.Ж., Камбарова Д.У., Ботиров Р.М. Работа механизма изменения клиренса заднего моста универсально-пропашного трактора // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. №1. С. 41-47. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-1-41-47.

Mechanism Operation for Changing the Rear Axle Clearance of a Universal Row-crop Tractor

Adilbek A. Akhmetov¹,
Dr.Sc.(Eng.), professor, head of department,
e-mail: tractor-v@mail.ru;
Sherzod A. ugli Akhmedov¹,
Dr.Sc.(Eng.), general director,
e-mail: myuzdoc@gmail.com;

Bekzod Zh. Astanov¹,
Dr.Sc.(Eng.), design engineer;
Dilfuza U. Kambarova²,
assistant, e-mail: kdu.317@mail.ru;
Ravshan M. ugli Botirov³,
doctoral student, e-mail: ravshanbek.botirov@mail.ru

¹LLC «Design and Technology Center for Agricultural Engineering», Tashkent, Republic of Uzbekistan;

²Tashkent State Technical University named after Islam Karimova, Tashkent, Republic of Uzbekistan;

³Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Tashkent, Republic of Uzbekistan

Abstract. The authors noted the disadvantages of the 3-wheel universal row-crop tractor. To eliminate them, LLC Design and Technological Center for Agricultural Engineering developed a 4-wheel universal row-crop tractor with variable ground clearance. (*Research purpose*) To determine the pressure change in the hydraulic system and the transfer time of the rear axle from one type of clearance to another. (*Materials and methods*) The authors showed that the rear axle clearance could be changed using a special mechanism - with minimal labor costs, without the use of lifting equipment and assembly and dismantling works. They explained that the mechanism was driven by a working hydraulic cylinder. The experiments were carried out on a prototype tractor with adjustable ground clearance, equipped with a separate-aggregate hinged system at an engine speed of 1200-2000 rpm (revolutions per minute). M10G2K oil was used in the hydraulic system, heating it to 65 degrees Celsius (at an ambient temperature of 33-35 degrees Celsius). (*Results and discussion*) The hydraulic system consisted of an NSh-32 hydraulic pump, a P80 hydraulic valve, two Ts50-200 working hydraulic cylinders, a double-acting hydraulic lock, a hydraulic tank, filters, hoses and high pressure pipes. At the inlet and outlet channels of the working hydraulic cylinders, which activated the mechanism for changing the rear axle clearance, hydraulic locks were installed, and diaphragm pressure sensors model SS302 from Sensor Sensor with a measurement range from 0 to 40 megapascals were placed along the hydraulic line connecting the hydraulic locks with the hydraulic valve. (*Conclusions*) The authors determined that the time for transferring the rear axle from low clearance to high was 2.2-4.4 seconds, and the pressure in the hydraulic system was 3.8-16.4 megapascals at an engine speed of 1300-2000 rpm. It was found that when transferring from high to low ground clearance, these indicators amounted to 1.0-1.4 seconds and 0.99-9.90 megapascals.

Keywords: cotton growing, tractor, rear axle, clearance change mechanism.

For citation: Akhmetov A.A., Akhmedov Sh.A., Astanov B.Zh., Kambarova D.U., Botirov R.M. Rabota mekhanizma izmeneniya klirensa zadnego mosta universal'no-propashnogo traktora [Mechanism operation for changing the rear axle clearance of a universal row-crop tractor]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N1. 41-47 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-1-41-47.

В хлопкосеющих хозяйствах для работы в междурядьях с развитыми кустами хлопчатника применяют высококлиренсные 3-колесные тракторы [1-3]. Они имеют существенные специфические недостатки, главные из них [4]:

- негативное техногенное воздействие на почву;
- перегрузка шин передних колес;
- низкая поперечная устойчивость;
- низкая годовая загрузка, регламентируемая только сезоном работ на хлопчатнике.

Если не считать агротехнической проходимости [5, 6] эти недостатки в определенной степени отсутствуют у 4-колесных тракторов [7, 8]. Одним из первых 4-колесных тракторов, созданных в направлении повышения агротехнической проходимости, был универсально-пропашной трактор Т-40 и Т-40М с изменяющимся клиренсом [9]. Однако попытки использования для междурядной обработки посевов хлопчатника 4-колесных тракторов – как серийных, так и с изменяющимся клиренсом – из-за их недостаточной агротехнической проходимости не увенчались успехом. В настоящее время проводятся научно-исследовательские работы по устранению этого недостатка 4-колесных тракторов [10, 11].

Цель исследования – определить изменение давления в гидросистеме и время перевода заднего моста из одного вида клиренса на другой. Материалы и методы. В целях устранения недостатков 3-колесных

тракторов в ООО «Конструкторско-технологический центр сельскохозяйственного машиностроения» разработали 4-колесный универсально-пропашной трактор с регулируемым клиренсом [11]. В зависимости от вида агротехнологической операции можно изменять клиренс с низкого на высокий и наоборот.

Специальный механизм под задним мостом изменяет положение корпуса дополнительной конечной передачи (ДКП) относительно кожуха полуоси заднего моста. У этих тракторов максимальный клиренс обеспечивается при нижнем положении зубчатого колеса ДКП относительно шестерни, то есть когда зубчатое колесо находится под трактором. При повороте корпуса дополнительной конечной передачи относительно корпуса ведущего моста зубчатое колесо, закрепленное на полуоси ведущего колеса трактора, движется относительно шестерни. В результате клиренс под трактором уменьшается.

Однако такой способ регулировки клиренса заднего моста трактора трудоемок, требуются подъемные средства (кран, тельфер, домкрат или др.) и не менее двух рабочих. В связи с изложенными возникла необходимость в изыскании нового технического решения бесступенчатого изменения клиренса заднего моста трактора с минимальными затратами труда, без применения подъемных средств и проведения монтажно-демонтажных работ [12].

Результаты и обсуждение. В ООО «Конструктор-

ско-технологический центр сельскохозяйственного машиностроения» разработали механизм бесступенчатого изменения клиренса заднего моста трактора с рычажным приводом (рис. 1) [12].

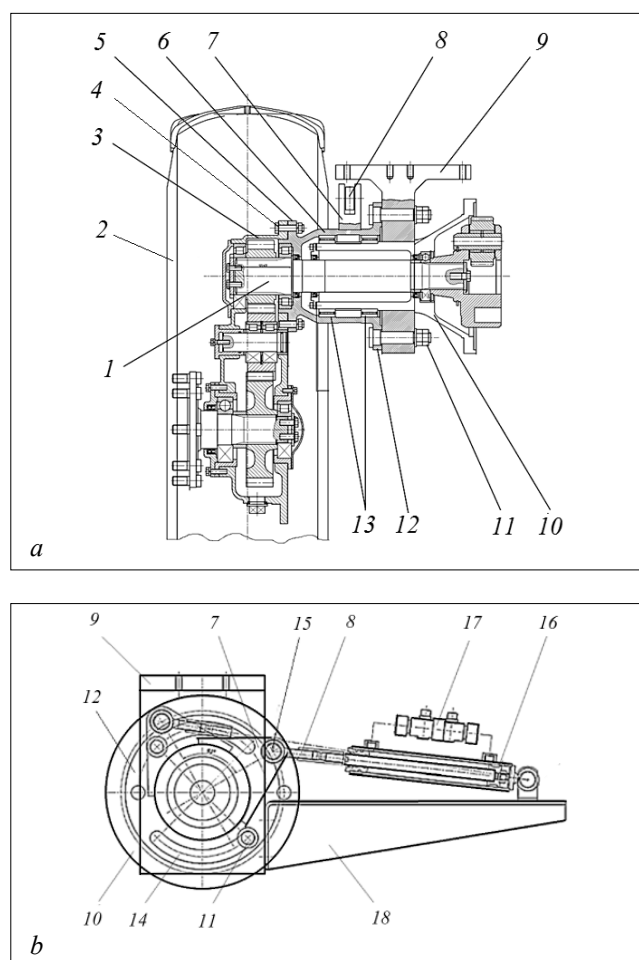


Рис. 1. Механизм изменения клиренса заднего моста трактора: а – вид спереди; б – вид сбоку: 1 – полуось; 2 – колесо, 3 – корпус ДКП; 4, 11 – крепежные элементы; 5 – торцевой фланец; 6 – обойма; 7 – рычаг; 8 – шток; 9 – кронштейн навески; 10 – рукава; 12 – фиксационный фланец; 13 – подшипник; 14 – паза; 15 – палец; 16 – гидроцилиндр; 17 – гидрозамок; 18 – кронштейн

Fig. 1. Mechanism for changing the tractor rear axle clearance: а – front view; б – side view: 1 – semi-axle; 2 – wheel; 3 – body; 4, 11 – fasteners; 5 – end flange; 6 – clip; 7 – lever; 8 – stock; 9 – hinge bracket; 10 – sleeves; 12 – fixing flange; 13 – bearing; 14 – groove; 15 – stud; 16 – hydraulic cylinder; 17 – hydraulic lock; 18 – bracket

При необходимости перевода трактора на высококлиренсный вариант оператор слегка откручивает крепежные элементы и убеждается в возможности вращения обоймы. После чего он дает команду на шток гидроцилиндра на выдвижение наружу, который в свою очередь посредством рычага поворачивает обойму. Вместе с ней вращается закрепленный к ней корпус дополнительной конечной передачи, пе-

реводя его в вертикальное положение и увеличивая тем самым клиренс заднего моста (рис. 2а).

Для перевода трактора с высококлиренсного в низкокклиренсное положение оператор дает команду на втягивание штока внутрь гидроцилиндра, и происходит обратное движение всех деталей. Дополнительная конечная передача отклоняется от вертикали в пределах 0-90°, бесступенчато уменьшая клиренс заднего моста (рис. 2б).

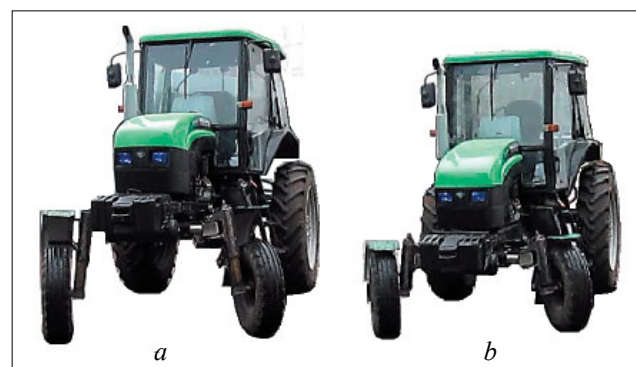


Рис. 2. Опытный образец трактора с регулируемым клиренсом в двух положениях: а – высококлиренсным; б – низкокклиренсным

Fig.2. A prototype tractor with adjustable ground clearance: high clearance (а) and low clearance (b) positions

Поскольку механизм изменения клиренса заднего моста опытного образца трактора с регулируемым клиренсом приводится в действие рабочим гидроцилиндром, важно определить изменение давления в гидросистеме и время перевода заднего моста из одного вида клиренса на другой. Для этого применяли специальную аппаратуру, состоящую из диафрагменных датчиков, соединенных кабелем с аналогово-цифровым преобразователем ЭВМ (рис. 3).



Рис. 3. Аппаратура для измерения давления в гидросистеме и времени перевода заднего моста с одного клиренса на другой

Fig.3. Equipment for measuring pressure in the hydraulic system and the time of moving the rear axle clearance from one another

Опытный образец трактора с регулируемым клиренсом снабдили раздельно-агрегатной навесной системой при частоте вращения двигателя 1200-2000 min⁻¹

и при температуре окружающей среды 33-35°C. При этом в гидросистеме использовалось масло М10Г2К, подогретое до 65°C.

Гидросистема опытного образца трактора с регулируемым клиренсом состоит как у общеизвестных тракторов [13, 14] из гидронасоса НШ-32, гидрораспределителя Р80, двух рабочих гидроцилиндров Ц50-200, гидрозамка двустороннего действия, гидробака, фильтров, шлангов и труб высокого давления (рис. 4).

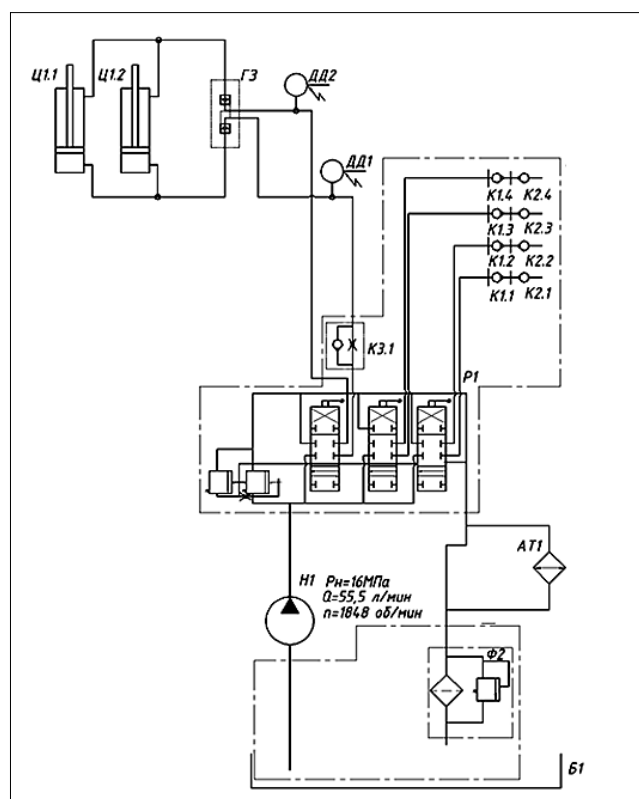


Рис. 4. Схема соединения диафрагменных датчиков давления к гидросистеме трактора: Ц1.1, Ц1.2 – гидроцилиндры; ГЗ – гидрозамок; ДД1, ДД2 – датчики давления; Р1 – гидрораспределитель; Н1 – гидронасос; Б1 – гидробак; Ф2 – фильтр; К1.1-К3.1 – гидровыводы; АТ1 – охладитель

Fig. 4. Connection diagram of diaphragm pressure sensors with tractor hydraulic system: Ц1.1, Ц1.2 – hydraulic cylinders, ГЗ – hydraulic lock, ДД1, ДД2 – pressure sensors, Р1 – hydraulic valve, Н1 – hydraulic pump, Б1 – hydraulic tank, Ф2 – filter; К1.1-К3.1 – hydraulic outlets, АТ1 – cooler

У входного и выходного канала рабочих гидроцилиндров приводящих в действие механизма изменения клиренса, установлены гидрозамки, а по гидролинии, связывающей гидрозамки с гидрораспределителем, разместили диафрагменные датчики давления [15] модели SS302 фирмы Sendor Sensor с диапазоном измерения от 0 до 40 МПа при точности 0,5% (рис. 5).

Сигналы, поступающие от диафрагменных датчиков через аналогово-цифровой преобразователь по

кабелю передавались непосредственно на ЭВМ [16-17] и обрабатывались по специальной программе Arduino [18-20].



Рис. 5. Диафрагменный датчик давления модели SS302 фирмы Sendor Sensor

Fig. 5. Diaphragm pressure sensors model SS302 which produced by «Sendor Sensor» company

При частоте вращения коленвала двигателя трактора 2000 мин⁻¹ во время перевода заднего моста с низкого клиренса на высокий с момента открытия гидрозамка в течение 0,2 с давление в системе достигает до 10,8 МПа (рис. 6). Одновременно с этим шток первого рабочего гидроцилиндра начинает перемещаться наружу и поднимает одну из сторон заднего моста. Полное перемещение штока занимает 0,6 с. При этом давление в системе снижается до 5,8 МПа. Затем шток останавливается, в течение 0,2 с давление в системе поднимается с 5,8 до 16,4 МПа. Одновременно шток второго рабочего гидроцилиндра начинает перемещение наружу и поднимает другую сторону заднего моста. Процесс полного перемещения штока продлится 0,9 с при давлении в системе 7,6 МПа. После остановки штока в течение 1 с давление в системе возрастает до 18,3 МПа, и процесс подъема второй стороны заднего моста завершается, а золотник гидрораспределителя закроется. С момента закрытия золотника в течение 0,2 с давление в системе снижается до 0, и гидрозамок закроется. После закрытия гидрозамка давление в системе в течение 5,1 с возрастает до 4-5 МПа и стабилизируется.

При переводе заднего моста с высокого на низкий клиренс в течение 0,2 с давление в системе снижается, а потом в течение 0,2 с оно возрастает до 9,9 МПа, и процесс перевода начинается. Здесь полное втягивание штока внутрь первого рабочего гидроцилиндра занимает 0,6 с при снижении давления в системе до 4,6 МПа, и процесс перевода клиренса одной стороны заднего моста завершается. После этого в течение 0,2 с давления в системе возрастает до 9,1 МПа, и начинается процесс перевода клиренса другой стороны заднего моста. Полное втягивание штока внутрь второго рабочего гидроцилиндра занимает 0,5 с, од-

новременно давление в системе снижается до 1,8 МПа. В конце перевода в течение 0,1 с оно возрастает до 2,9 МПа и стабилизируется.

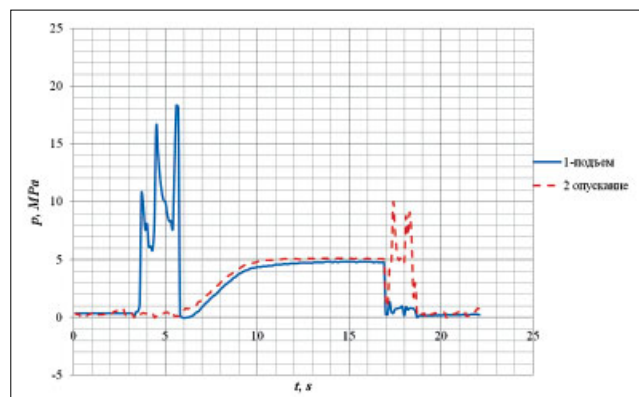


Рис. 6. Изменение давления p в гидросистеме в зависимости от времени t

Fig. 6. Change in pressure p in the hydraulic system depending on time t

Рассмотрим данные по двум остальным измерениям, то есть при частоте вращения коленвала двигателя трактора 1300 мин⁻¹ и 1500 мин⁻¹ (таблица).

При увеличении частоты вращения коленвала двигателя трактора от 1300 мин⁻¹ до 1500 мин⁻¹ – как при переводе с низкого на высокий клиренс, так и при переводе с высокого на низкий – давление в гидросистеме возрастает, а время перевода клиренса уменьшается.

При частоте вращения коленчатого вала двигателя 1300-2000 мин⁻¹ время перевода заднего моста с низкого клиренса на высокий составляет 2,2-4,4 с, а давление в гидросистеме находится в диапазоне 3,80-16,40 МПа, тогда как при переводе с высокого на низкий клиренс эти показатели, соответственно, составили 1,0-1,4 с и 0,99-9,90 МПа.

Как видим, процесс перевода клиренса быстротечен, оператор не успевает его отслеживать. Чтобы оператор успевал реагировать на происходящие процессы, необходимо увеличить время их протекания путем установки дросселя на гидролинии.

Выводы. Определили, что время перевода заднего моста с низкого клиренса на высокий или наоборот, а также давление в гидросистеме зависит от частоты вращения коленчатого вала двигателя. При ее возрастании с 1300 до 2000 мин⁻¹ эти показатели, соответственно, изменяются: при повышении клиренс-

Таблица	Table		
Давление в гидросистеме в зависимости от частоты вращения коленчатого вала двигателя и перевода клиренса с одного положения на другой Pressure in the hydraulic system depending on the engine speed and the clearance transfer from one position to another			
Показатели Indicators	Частота вращения коленчатого вала двигателя, мин ⁻¹ Engine crankshaft rotation speed, min ⁻¹		
	1300	1500	2000
Давление в гидросистеме при переводе с низкого на высокий клиренс, МПа: максимальное Pressure in the hydraulic system when transferring from low to high ground clearance, MPa: maximum	15,10	16,3	18,0
на старте на 1-ом гидроцилиндре at the start on the 1st hydraulic cylinder	10,20	11,60	10,6
в конце перевода клиренса на 1-ом гидроцилиндре at the end of the clearance transfer on the 1st hydraulic cylinder	3,80	4,77	5,80
на старте на 2-ом гидроцилиндре at the start on the 2nd hydraulic cylinder	14,90	15,80	16,4
в конце перевода клиренса на 2-ом гидроцилиндре at the end of the clearance transfer on the 2nd hydraulic cylinder	4,50	6,30	7,66
Время перевода клиренса, с Clearance transfer time, s	4,4	2,5	2,2
Давление в гидросистеме при переводе с высокого на низкий клиренс, МПа: максимальное Pressure in the hydraulic system when transferring from high to low ground clearance, MPa: maximum	5,80	8,70	9,90
на старте на 1-ом гидроцилиндре at the start on the 1st hydraulic cylinder	5,80	6,41	9,90
в конце перевода клиренса на 1-ом гидроцилиндре at the end of the clearance transfer on the 1st hydraulic cylinder	0,99	2,10	4,60
на старте на 2-ом гидроцилиндре at the start on the 2nd hydraulic cylinder	5,50	8,70	9,10
в конце перевода клиренса на 2-ом гидроцилиндре at the end of the clearance transfer on the 2nd hydraulic cylinder	1,80	1,70	2,90
Время перевода клиренса, с Clearance transfer time, s	1,30	1,00	1,40

са – с 2,2 до 4,4 с и с 3,80 до 16,40 МПа; при понижении клиренса – с 1,0 до 1,4 с и с 0,99 до 9,90 МПа. Для

обеспечения контроля со стороны оператора необходимо установить дроссель на гидролинии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Туланов И.О., Матмуродов Ф.М., Солиев Х.М. Энергетика и маневренность колесного трактора. Ташкент: Munis design group. 2014. 224 с.
2. Лебедев О.В. и др. Теория, расчет и особенности специализированных тракторов. Ташкент: Фан. 2006. 161 с.
3. Гуськов В.В. Тракторы: Теория. М.: Машиностроение. 1988. 376 с.
4. Ахметов А.А., Ахмедов Ш.А., Каримов А.К. Специфические требования к хлопководческим тракторам – основа совершенствования их конструкции // *Международная агроинженерия*. 2016. N4(20). С. 29-34.
5. Ахметов А.А. Универсально-пропашные тракторы для междурядной обработки посевов хлопчатника. Ташкент: Фан. 2017. 210 с.
6. Русинов А.В. Агротехническая проходимость энергонасыщенных сельскохозяйственных тракторов: Монография. Саратов: 2007. 116 с.
7. Тухтабаев М.А. Уч ва тўрт гилдиракли трактор изларининг тадқиқи // *Агро Илм*. 2012. N3. С. 75-76.
8. Шарипов В.М. Конструирование и расчет тракторов. М.: Машиностроение, 2009. 752 с.
9. Анилович В.Я., Водолажченко Ю.Т. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов. М.: Машиностроение. 1976. 456 с.
10. Камбаров Б.А. Зависимость агротехнического просвета под передним мостом хлопководческого трактора с колесной схемой 4К4а от размеров поворотной цапфы, типоразмера шин управляемых колес и углов их установки // *Тракторы и сельхозмашины*. 2017. N11. С. 36-40.
11. Ахметов А.А., Ахмедов Ш.А. Хлопководческий универсально-пропашной трактор с регулируемым клиренсом. Ташкент: Фан. 2016. 200 с.
12. Akhmetov A., Botirov R., Abdurakhmonov Sh. Mechanism for changing the rear axle clearance of a universal-tiller tractor. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 883. 012125.
13. Поддубко С.Н., Амельченко П.А., Стасилевич А.Г. и др. Тракторы XXI века. Состояние и перспективы. Минск: Беларуская навука, 2019. 208 с.
14. Франсис Дреер. 100 культовых тракторов. М.: Эксмо. 2016. 128 с.
15. Джексон Р.Г. Новейшие датчики. М.: Техносфера. 2007. 384 с.
16. Караваев А.С., Кульминский Д.Д., Пономаренко В.И., Прохоров М.Д. Система цифровой передачи информации, маскируемой хаотическим сигналом системы с запаздыванием // *Информационно-управляющие системы*. 2013. N4. С. 30-35.
17. Fisher D.K., Gould P.J. Open-source hardware is a low-cost alternative for scientific instrumentation and research. *Modern Instrumentation*. 2012. Vol. 1. 8-20.
18. Пономаренко В.И., Караваев А.С. Использование платформы Arduino в измерениях и физическом эксперименте // *Известия Вузов ПНД*. 2014. Т. 22. N4. С. 77-90.
19. Монк С. Программируем Arduino. Профессиональная работа со скетчами. СПб.: Питер. 2017. 98 с.
20. Buechley L., Eisenberg M. The Lily Pad Arduino: Toward Wearable Engineering for Everyone. *Pervasive Computing*. 2008. Vol. 7. N2. 12-15.

REFERENCES

1. Tulanov I.O., Matmurodov F.M., Soliev Kh.M. Energetika i manevrenost' kolesnogo traktora [Energy and maneuverability of a wheeled tractor]. Tashkent: Munis design group. 2014. 224 (In Russian).
2. Lebedev O.V. et al. Teoriya, raschet i osobennosti spetsializirovannykh traktorov [Theory, calculation and features of specialized tractors]. Tashkent: Fan. 2006. 161 (In Russian).
3. Gus'kov V.V. Traktory: Teoriya [Tractors: Theory]. Moscow: Mashinostroyeniye. 1988. 376 (In Russian).
4. Akhmetov A.A., Akhmedov Sh.A., Karimov A.K. Spetsificheskie trebovaniya k khlopkovodchskim traktoram – osnova sovershenstvovaniya ikh konstruktssii [Specific requirements for cotton-growing tractors – the basis for improving their design]. *Mezhdunarodnaya agroinzheneriya*. 2016. N4(20). 29-34 (In Russian).
5. Akhmetov A.A. Universal'no-propashnye traktory dlya mezhduryadnoy obrabotki posevov khlopchatnika [Universal row-crop tractors for inter-row cultivation of cotton crops]. Tashkent: Fan. 2017. 210 (In Russian).
6. Rusinov A.V. Agrotekhnicheskaya prokhodimost' energonasyshchennykh sel'skokhozyaystvennykh traktorov: Monografiya [Agrotechnical cross-country ability of power-saturated agricultural tractors: Monograph]. Saratov: 2007. 116 (In Russian).
7. Tukhtabaev M.A. Уч ва тўрт гилдиракли трактор изларининг тадқиқи [Study of three- and four-wheeled tractor tracks]. *Агро Илм*. 2012. N3. 75-76.
8. Sharipov V.M. Konstruirovaniye i raschet traktorov [Design and calculation of tractors]. Moscow: Mashinostroyeniye, 2009. 752 (In Russian).
9. Anilovich V.Ya., Vodolazhchenko Yu.T. Konstruirovaniye i raschet sel'skokhozyaystvennykh traktorov [Design and calculation of agricultural tractors]. Moscow: Mashinostroyeniye. 1976. 456 (In Russian).
10. Kambarov B.A. Zavisimost' agrotekhnicheskogo prosve-ta pod perednim mostom khlopkovodcheskogo traktora s kole-



snoy skhemoy 4K4a ot razmerov povorotnoy tsapfy, tiporazmera shin upravlyаемых koles i uglov ikh ustanovki [Dependence of the agrotechnical clearance under the front axle of a cotton-growing tractor with a 4K4a wheel arrangement on the size of the pivot pin, the size of the tires of the steered wheels and the angles of their installation]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2017. N11. 36-40 (In Russian).

11. Akhmetov A.A., Akhmedov Sh.A. Khlopkovodcheskiy universal'no-propashnoy traktor s reguliruemym klirensom [Cotton-growing universal row-crop tractor with adjustable ground clearance]. Tashkent: Fan. 2016. 200 (In Russian).

12. Akhmetov A., Botirov R., Abdurakhmonov Sh. Mechanism for changing the rear axle clearance of a universal-tiller tractor. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 883. 012125.

13. Poddubko S.N., Amel'chenko P.A., Stasilevich A.G. et al. Traktory XXI veka. Sostoyaniye i perspektivy [Tractors of the XXI century. State and prospects]. Minsk: Belaruskaya navuka, 2019. 208.

14. Fransis Dreer. 100 kul'tovykh traktorov [100 iconic tractors]. Moscow: Eksmo. 2016. 128 (In Russian).

15. Dzhekson R.G. Noveishie datchiki [Latest sensors]. Moscow: Tekhnosfera. 2007. 384 (In Russian).

16. Karavaev A.S., Kul'minskii D.D., Ponomarenko V.I., Prokhorov M.D. Sistema tsifrovoy peredachi informatsii, maskiruemyy khaoticheskim signalom sistemy s zapazdyvaniem [System for digital transmission of information masked by a chaotic signal of a system with a delay]. *Informatsionno-upravlyayushchie sistemy*. 2013. N4. 30-35 (In Russian).

17. Fisher D.K., Gould P.J. Open-source hardware is a low-cost alternative for scientific instrumentation and research. *Modern Instrumentation*. 2012. Vol. 1. 8-20.

18. Ponomarenko V.I., Karavaev A.S. Ispol'zovanie platformy Arduino v izmereniyakh i fizicheskom eksperimente [Using the Arduino platform in measurements and physical experiment]. *Izvestiya Vuzov PND*. 2014. Vol. 22. N4. 77-90 (In Russian).

19. Monk S. Programmiruem Arduino. Professional'naya rabota so sketchami [Programming the Arduino. Professional work with sketches]. Saint Petersburg: Piter. 2017. 98 (In Russian).

20. Buechley L., Eisenberg M. The Lily Pad Arduino: Toward Wearable Engineering for Everyone. *Pervasive Computing*. 2008. Vol. 7. N2. 12-15.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 21.12.2020
The paper was submitted
to the Editorial Office on 21.12.2020

Статья принята к публикации 01.02.2021
The paper was accepted
for publication on 01.02.2021