

УДК 631.354

UDC 631.354

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

4.3.1 Technologies machines and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences)

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА ПРИЦЕПНОГО ОЧЁСЫВАЮЩЕ-ОБМОЛАЧИВАЮЩЕГО АГРЕГАТА**

**DESIGN OF THE HYDRAULIC DRIVE OF A TRAILED COMBING-THRESHING UNIT**

Рыбак Александр Тимофеевич  
д-р техн. наук, профессор  
РИНЦ SPIN-код: 5860-0038  
[2130373@mail.ru](mailto:2130373@mail.ru)

*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону*

Rybak Alexander Timofeevich  
Dr.Sci.Tech., Professor  
RSCI SPIN-code: 5860-0038  
[2130373@mail.ru](mailto:2130373@mail.ru)

*Don State Technical University, Rostov-on-Don*

Пахомов Виктор Иванович  
д-р техн. наук, профессор  
РИНЦ SPIN-код: 5815-4913  
[v.i.pakhomov@mail.ru](mailto:v.i.pakhomov@mail.ru)

*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия  
Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Россия*

Pakhomov Victor Ivanovich  
Dr.Sci.Tech., Professor  
RSCI SPIN-code: 5815-4913  
[v.i.pakhomov@mail.ru](mailto:v.i.pakhomov@mail.ru)

*Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia  
Agrarian Research Center "Donskoy", Zernograd, Russia*

Рудой Дмитрий Владимирович  
д-р техн. наук, доцент  
РИНЦ SPIN-код: 3297-3460  
[rudoy.d@gs.donstu.ru](mailto:rudoy.d@gs.donstu.ru)

*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону*

Rudoy Dmitry Vladimirovich  
Dr.Sci.Tech., associate professor  
RSCI SPIN-code: 3297-3460  
[rudoy.d@gs.donstu.ru](mailto:rudoy.d@gs.donstu.ru)

*Don State Technical University, Rostov-on-Don*

Ольшевская Анастасия Владимировна  
канд. техн. наук  
РИНЦ SPIN-код: 8026-6860  
[oav.donstu@gmail.com](mailto:oav.donstu@gmail.com)

*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия*

Olshevskaya Anastasiya Vladimirovna  
Cand.Tech.Sci.  
RSCI SPIN-code: 8026-6860  
[oav.donstu@gmail.com](mailto:oav.donstu@gmail.com)

*Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia*

Теплякова Светлана Викторовна  
канд. техн. наук  
РИНЦ SPIN-код: 5088-2149  
[svet-tpl@mail.ru](mailto:svet-tpl@mail.ru)

*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону*

Tepliyakova Svetlana Viktorovna  
Cand.Tech.Sci.  
RSCI SPIN-code: 5088-2149  
[svet-tpl@mail.ru](mailto:svet-tpl@mail.ru)

*Don State Technical University, Rostov-on-Don*

Тенденции развития современного машиностроения, в том числе и для сельского хозяйства демонстрируют активное применение гидравлических систем. Такое положение дел поясняется неоспоримыми преимуществами гидравлического привода. Так же немаловажным является возможность применения проектируемых устройств, агрегируемых с тракторами. Поэтому целью работы является разработка схемы гидравлического привода очёсывающе-обмолачивающего агрегата, агрегируемого с трактором. В работе предлагается схемотехническое решение разработки внедрения

Trends in the development of modern mechanical engineering, including for agriculture, demonstrate the active use of hydraulic systems. This state of affairs is explained by the undeniable advantages of a hydraulic drive. Also important is the possibility of using the designed devices that are aggregated with tractors. Therefore, the purpose of the work is to develop a hydraulic drive scheme for a trailed shearing harvester, aggregated with a tractor. The paper proposes a schematic solution for the development of the introduction of a hydraulic drive into the design of a device for harvesting by the method of milling. When designing the hydraulic drive system, an analysis of

гидравлического привода в конструкцию устройства для уборки урожая методом очеса. При проектировании системы гидропривода проведен анализ технологических процессов, протекающих в устройстве для уборки урожая методом очеса. В работе приведены аспекты разработки объемного гидравлического привода устройства для уборки урожая методом очеса. Предложена расчетная схема гидравлического привода очесывающе-обмолачивающего агрегата и описан процесс функционирования гидравлической системы

Ключевые слова: ОЧЕС;  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ МАШИНЫ;  
ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ПРИВОД; РАСЧЕТНАЯ  
СХЕМА

the technological processes taking place in the device for harvesting by the combing method was carried out. The work presents aspects of the development of a volumetric hydraulic drive of a device for harvesting by the combing method. The design scheme of the hydraulic drive of the trailed shearing header is proposed and the process of functioning of the hydraulic system is described

Keywords: COMBING; AGRICULTURAL  
MACHINERY; HYDRAULIC DRIVE;  
CALCULATION SCHEME

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-203-032>

## Введение

Современные тенденции развития сельского хозяйства направлены на эффективное применение ресурсов, улучшение технологических характеристик сельскохозяйственной техники, повышение качества продукции и снижения её потерь. Важным этапом в развитии сельского хозяйства стало применение гидравлических приводов.

Значительная популяризация применения гидропривода подтверждается комплексом преимуществ в сравнении с другими типами приводов. К числу этих преимуществ относятся легкость, компактные размеры, возможность плавной регулировки скорости рабочих механизмов, независимое размещение компонентов гидропривода и высокая степень защиты от перегрузок.

Основным направлением развития, модернизации и совершенствования сельскохозяйственных машин выступает комплексная гидрофикация их приводов на основе применения перспективных схемотехнических решений. Внедрение гидропривода в конструкцию проектируемого агрегата возможно только на основе детального анализа технологических процессов, протекающих в нем, а также состава и характеристик энергопотребителей. Рассмотрим более детально на

<http://ej.kubagro.ru/2024/09/pdf/32.pdf>

примере прицепного очёсывающе-обмолачивающего агрегата (очесывающей жатки).

Концепция очеса заключается в том, чтобы отделить семена, не повреждая стебель. Очес применяют для уборки зерновых культур, подсолнечника, люпина, сои, риса и других культур.

Укрупненно выделяют два типа очесывающих жаток: навесные и прицепные. Они различаются по устройству очистки зерна, строению рабочих органов, наличию устройства для загрузки зерна и методу очистки. Основное различие между ними заключается в количестве роторов (барабанов), но принцип работы одинаков. Жатки с двумя роторами обеспечивают более эффективную уборку, чем жатки с одним ротором, хотя скорость работы у них ниже.

Однако помимо неоспоримых достоинств очесывающие жатки имеют значительный недостаток - являются прицепным оборудованием и крепятся к комбайнам, имеющим довольно крупные габариты, что может привести к уплотнению почвы. При этом комбайны представляют собой специализированное оборудование, которое в сравнении с тракторами имеет более дорогостоящее обслуживание. В свою очередь трактор более универсален и применяется на протяжении всего года. Поэтому целесообразно разработать устройство для уборки урожая методом очеса на корню, которое можно было бы использовать с трактором. Таким образом, **целью исследований** является разработка схемы гидравлического привода прицепной очёсывающей жатки, агрегируемой с трактором.

Исходя из поставленных задач, учеными из Аграрного научного центра «Донской» и Донского государственного технического университета разработано и запатентовано устройство для уборки урожая методом очеса [1]. В сравнении с комбайном устройство, агрегируемое с трактором, более доступно по стоимости применения и при этом оказывает

менее негативное влияние на состояние почвы.

Агрегат для уборки зерновых колосовых культур конструктивно состоит из очёсывающего и обмолачивающего блоков. В состав очёсывающего блока входит очёсывающий барабан с гребёнками, сменные деки с криволинейной поверхностью и лопастной битер с отсекающим щитком, а обмолачивающий блок из устройства перемещения обмолоченного зерна по транспортёру с крыльчаткой и ее приводом. Предлагаемая конструкция агрегата позволяет снизить потери зерна за счёт всасывающего вентиляционного эффекта от вращения лопастного битера и увеличить количество вымолоченного зерна в очёсанном ворохе за счёт профильной поверхности дек.

На рисунке 1 приведены схемы прицепного очёсывающего и обмолачивающего блоков зерновых колосовых культур.

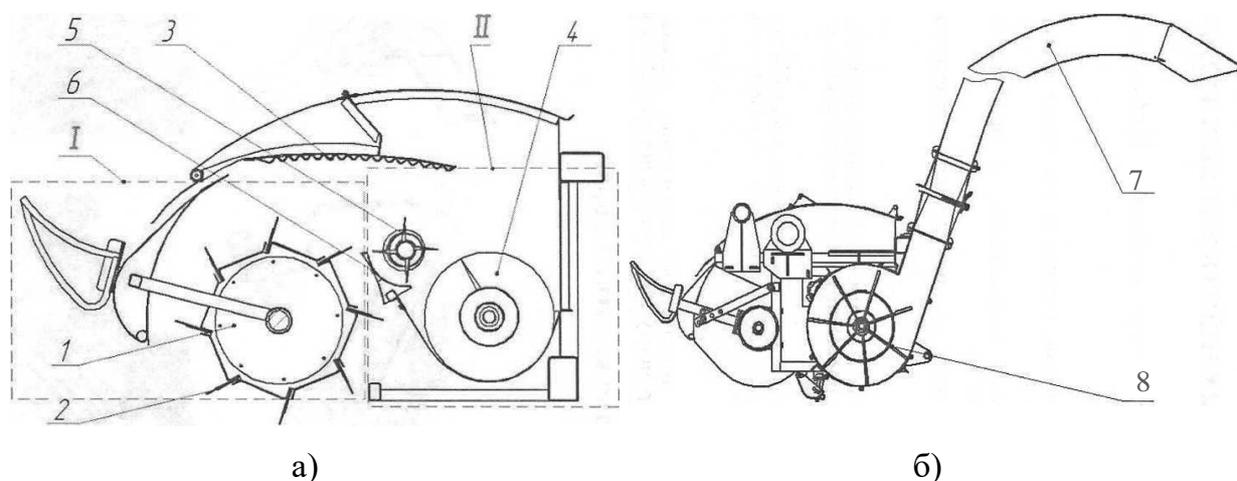


Рисунок 1 - Схема очёсывающего и обмолачивающего блоков агрегата для уборки зерновых колосовых культур (а); средство для перемещения обмолоченного зерна по трубчатому транспортёру (б):

1 - очёсывающий барабан; 2 - очёсывающие гребенки; 3 - сменные деки; 4 - шнек; 5 - лопастной битер; 6 - отсекающий щиток; 7 - трубчатый транспортёр; 8 - крыльчатка

Одним из важных результатов экспериментального исследования стал вывод о целесообразности применения в её конструкции

гидравлического привода, который обладает рядом преимуществ перед другими приводами: меньше вес, компактность, возможность плавного регулирования скорости рабочих органов, автономное размещение элементов, стабильная защита от перегрузок, простота управления и обслуживания, возможность автоматизации рабочих процессов.

**Материалы и методы исследований.** При разработке объемного гидравлического привода учитывались следующие аспекты:

а) важно минимизировать давление, теряемое в трубопроводах, гидроаппаратах и арматуре, что достигается за счет сокращения длины трубопроводов и количества ответвлений. Это позволяет уменьшить массу и металлоемкость устройства, а также снизить потери давления, вызванные трением в гидравлических машинах;

б) необходимо обеспечить стабильную работу, исключить вибрации, гидравлические удары и шум при выборе насосов и предохранительных клапанов;

в) использование защитных гидравлических устройств, таких как предохранительные клапаны и гидрозамки, для предотвращения аварийных перегрузок и защиты компонентов гидросистемы;

г) необходимость поддержания стабильного режима функционирования гидропривода посредством правильного выбора размеров гидробака и теплообменника с целью обеспечения постоянной вязкости рабочей жидкости;

д) обеспечение надежности и долговечности гидропривода путем фильтрации рабочей жидкости в фильтрах и ее осаждения в гидробаке;

е) соответствие параметров всех гидравлических устройств оптимальным условиям по расходу и давлению в местах их установки.

Алгоритм работы схемы предлагаемой гидравлической системы агрегата следующий. Насос Н2 всегда работает на гидромотор молотилки М2. Этот контур защищает предохранительный клапан КП2. Контур насоса

Н1 защищает предохранительный клапан К1. Насос Н1 может работать в трёх режимах в зависимости от установки гидрораспределителя Р. При установке распределителя в позицию 1 насос Н1 работает на гидромотор М1. При установке распределителя в позицию 2 насос Н1 совместно с насосом Н2 работает на гидромотор М2. При нейтральном положении распределителя насос Н1 работает в холостую.

Б

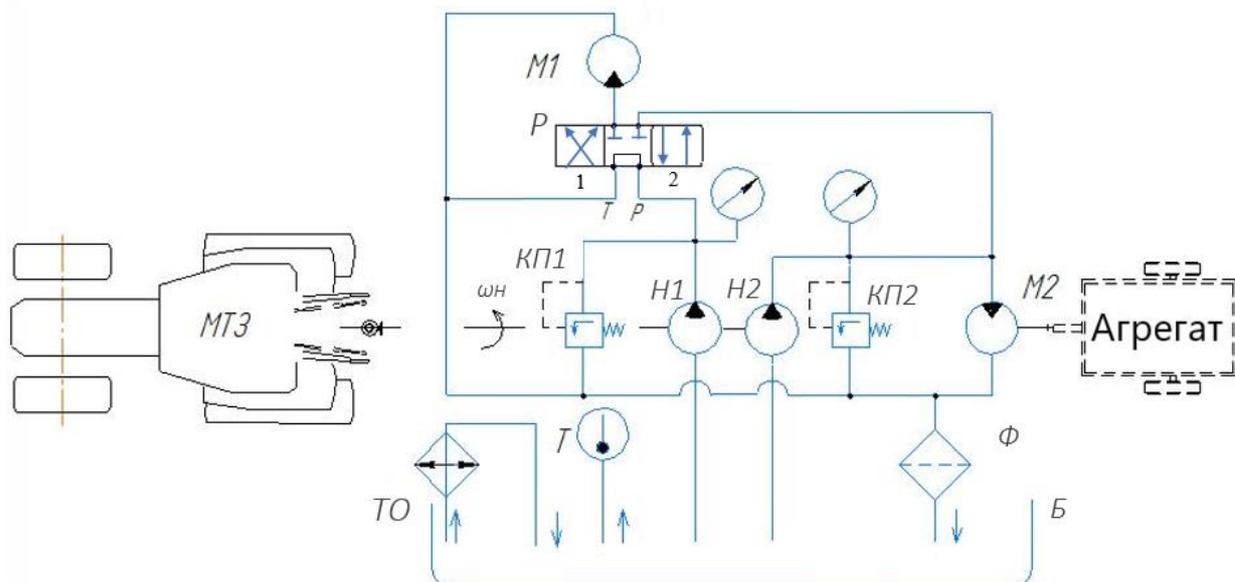


Рисунок 2 - Расчётная схема гидравлического привода очесывающе-обмолачивающего агрегата

Проанализировав особенности компоновки гидрооборудования и вышеизложенные требования, предложена расчётная схема гидравлического привода прицепной очёсывающей жатки (рисунок 2).

Алгоритм работы схемы предлагаемой гидравлической системы агрегата следующий. Насос Н2 всегда работает на гидромотор молотилки М2. Этот контур защищает предохранительный клапан КП2. Контур насоса Н1 защищает предохранительный клапан К1. Насос Н1 может работать в трёх режимах в зависимости от установки гидрораспределителя Р. При установке распределителя в позицию 1 насос Н1 работает на гидромотор М1. При установке распределителя в позицию 2 насос Н1 совместно с насосом Н2 работает на гидромотор М2. При нейтральном положении

распределителя насос Н1 работает в холостую.

Схема гидравлического привода прицепной очёсывающей жатки включает два насоса Н1 и Н2 и два параллельно соединенных мотора режущего аппарата М1 и М2. Для управления работой насоса Н1 в конструкцию гидропривода введен трехлинейный трехпозиционный гидрораспределитель Р, управляющий гидравлическим сигналом, позволяющий изменять направление рабочей жидкости по следующему принципу: при установке золотника гидрораспределителя Р в позицию 1 насос Н1 работает на гидромотор М1; при установке золотника гидрораспределителя Р в позицию 2 осуществляется последовательное включение насоса Н1 с насосом Н2, обеспечивая совместную подачу рабочей жидкости от них на мотор М2; нейтральное положение гидрораспределителя Р позволяет производить сброс гидравлической жидкости от насоса Н1 в гидравлический бак Б, при этом насос Н1 работает в холостую. Кроме того, гидравлическая система привода очёсывающей жатки включает теплообменный аппарат ТО, предназначенный для стабилизации температуры рабочей жидкости, контролируемой термометром Т и фильтр Ф для её очистки от твердых примесей.

Универсальность представленной схемы состоит в том, что насосы Н1 и Н2 могут устанавливаться на общем валу, получающем крутящий момент с вала отбора мощности (ВОМ) трактора (как показано на рисунке 2). В этом случае частота вращения валов насосов будет одинакова и, как следствие, их объёмная подача будет полностью определяться свойствами гидронасосов – их рабочими объёмами и объёмными коэффициентами полезного действия.

Возможно независимое подключение каждого из насосов к ВОМ. В этом случае подача каждого насоса будет зависеть не только от параметров насоса, но и от частоты вращения их валов, сообщаемых от ВОМ каждому насосу.

С целью проведения предварительного анализа технических эксплуатационных возможностей предлагаемого гидравлического привода произведено его математическое моделирование. Моделирование производилось с использованием теории объёмной жёсткости [2], позволяющей учитывать влияние на характеристики системы привода, как свойств гидравлических машин, так и гидравлической системы в целом.

Решение математической модели производилось по специально разработанной программе с использованием блока решения дифференциальных уравнений программного комплекса SimInTech [3]. При расчётах принималось, что на систему работает только гидромотор М2 от гидронасоса Н2 (гидравлический распределитель Р установлен в нейтральную позицию), при этом рабочие объёмы насоса Н2 и мотора М2 принимались одинаковыми, равными  $107 \text{ см}^3$  номинальные значения коэффициентов полезного действия также принимались одинаковыми и равными 0,95 (объёмного КПД) и 0,98 (механический КПД).

На рисунке 3 приведены графики изменения во времени различных функциональных параметров гидравлического привода очёсывающей жатки в момент её пуска. Алгоритм пуска привода очёсывающей жатки следующий:

1. На момент начала расчётов (время  $\tau = 0$ ) частота вращения ВОМ равняется нулю, давление рабочей жидкости во всех точках гидравлической системы привода равно атмосферному.

2. В момент времени  $\tau = 0.2 \text{ с}$ , ВОМ начинает вращение с постоянной частотой равной 540 оборотов в минуту.

3. В момент времени  $\tau = 0.5 \text{ с}$ , к вращающемуся ВОМ подключается вал гидронасоса Н2, при этом нагрузка на моторе М2 равна моменту сопротивления очёсывающей жатки на холостом ходу, который принимался равным 190 Нм (определялся экспериментально).

4. В момент времени  $\tau = 15$  с, на молотилку подаётся полезная нагрузка в виде крутящего момента 100 Нм, изменяющаяся гармонически с амплитудой 20 Нм.

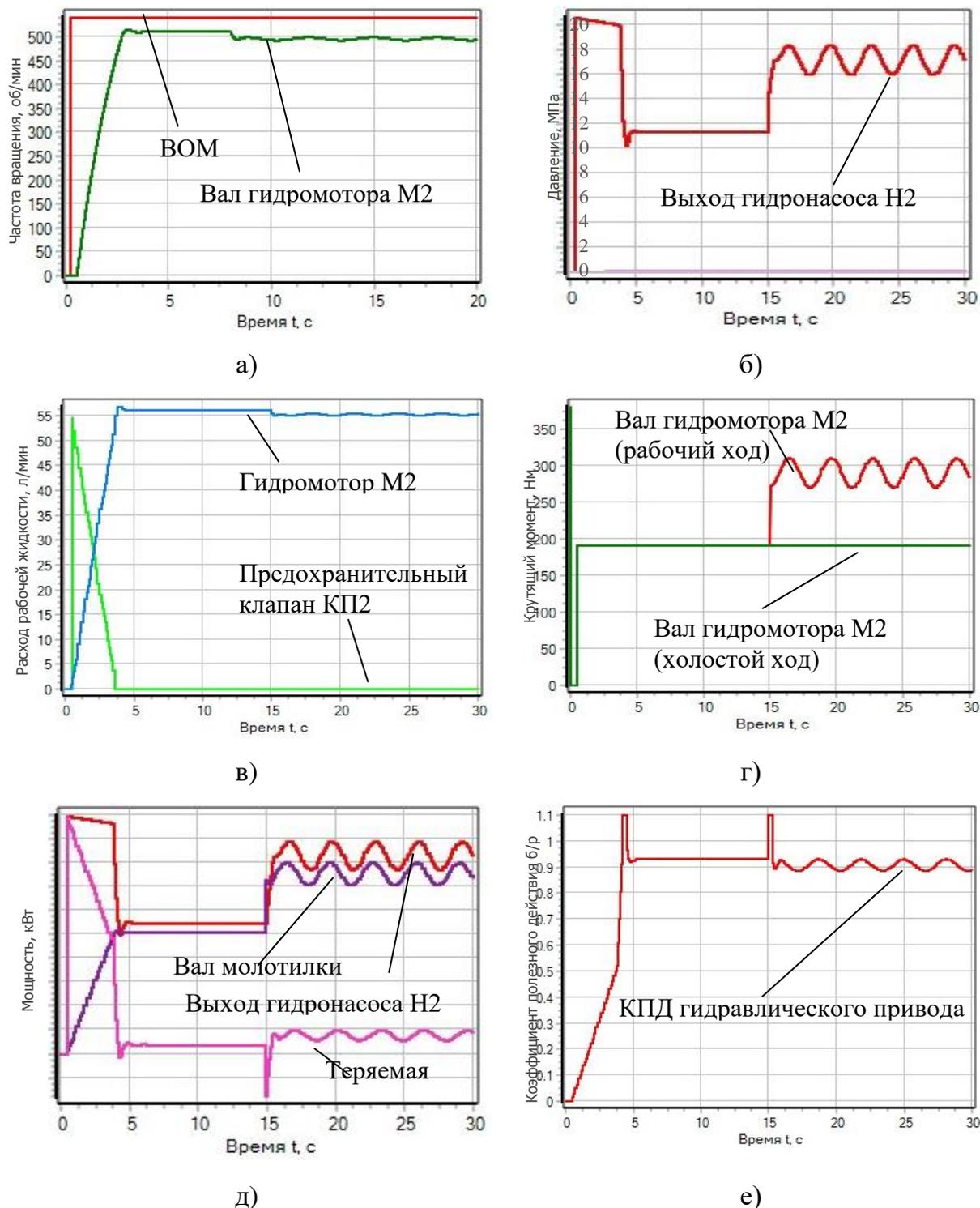


Рисунок 3 - Изменения во времени функциональных параметров гидравлического привода очёсывающей жатки в момент пуска: а – частота

вращения вала гидромотора; б – давление, обеспечиваемое на выходе гидронасоса; в- расход рабочей жидкости; г – крутящий момент на валу; д – мощность; е – КПД привода

Из рисунка 3а видно, что после присоединения вала гидронасоса Н2 к ВОМ трактора вал гидромотора М2 не разгоняется мгновенно, как это происходит с ВОМ, не смотря на то, что давление на выходе гидронасоса практически мгновенно (в течение 0,15 с) достигает уровня настройки предохранительного клапана КП2, как это показано на рисунке 3б. это смазано с тем, что механизмы очёсывающей жатки обладают значительной инерционностью, а потому не смотря на значительный уровень давления на входе гидромотора М частота вращения его вала происходит медленно, а часть рабочей подачи гидронасоса Н2 при этом сбрасывается через предохранительный клапан КП2 в гидробак Б, что можно увидеть на рисунке 3в. В момент полного разгона механической системы очёсывающей жатки, что можно увидеть на рисунке 3а, расход рабочей жидкости через предохранительный клапан КП2 прекращается и вся подача гидронасоса Н2 идёт на обеспечение заданной скорости вращения вала гидромотора М2 (см. рисунок). При этом давление в системе падает до уровня необходимого для обеспечения преодоления сопротивления крутящего момента холостого хода очёсывающей жатки.

После сообщения вала гидромотора рабочей нагрузки, как это показано на рисунке 3г, давление в системе вновь возрастает и в дальнейшем изменяется в соответствии с изменением нагрузки (см. рисунок 3б), частота вращения вала гидромотора М2 при этом несколько уменьшается, как показано на рисунке 3а, и с этого момента она не остаётся постоянной, в соответствии изменению нагрузки.

На рисунке 3д показано изменение во время пуска мощностей рабочей жидкости на выходе гидронасоса Н2 (затраченная мощность гидравлического привода), передаваемой с вала гидромотора на вал

молотилки (полезная мощность гидравлического привода) и их разность, которая идёт на разогрев рабочей жидкости (мощность, теряемая в гидравлическом приводе).

На рисунке 3е показано изменение во времени коэффициента полезного действия гидравлического привода очёсывающей жатки при включении её в работу. Из рисунка 3е видно, что среднее значение коэффициента полезного действия гидравлического привода очёсывающей жатки примерно равно 0,91, а из рисунка 3д видно, что мощность, теряемая на разогрев рабочей жидкости, достигает 2 кВт. С одной стороны, это достаточно значительная величина потерь мощности, и здесь следует иметь в виду, что уровни КПД гидравлических насоса и мотора приняты весьма малыми, это коэффициенты полезного действия соответствуют гидравлическим машина со значительным износом, а потому при использовании в системе привода очёсывающей жатки качественных гидравлических машин можно повысить значительно повысить её КПД и снизить мощность, теряемую на разогрев рабочей жидкости.

**Выводы.** Таким образом, в результате проведенных работ получена эффективная схема гидравлического привода прицепной очёсывающей жатки, агрегируемой с трактором. В статье описан алгоритм работы предлагаемой гидравлической системы привода очёсывающей жатки, произведено её моделирование и предварительный расчёт эксплуатационных характеристик. Расчёт показал, что для повышения эффективности функционирования гидравлического привода очёсывающей жатки нужно, прежде всего, уменьшить собственное сопротивление движению механизмом жатки, которые составляют в пересчёте на крутящий момент на её приводном валу 190 Нм, в то время как полезная нагрузка на молотилке жатки составляет лишь 120-130 Нм. И ещё один важный вывод – создавая и эксплуатируя гидравлический привод очёсывающей жатки, следует иметь в виду, что в её схеме

необходимо применять только качественные гидравлические машины и за их состоянием необходимо тщательно наблюдать на протяжении всего срока их службы.

**Благодарности.** Работа проведена в рамках выполнения проекта "Разработка новой технологии дифференцированной уборки зерновых колосовых культур" (FZNE-2024-0014).

### **Литература**

1. Пахомов В.И., Червяков И.В., Колин'ко А.А., Камбулов С.И., Александров Е.А., Рудой Д.В. Агрегат для уборки урожая. Патент на изобретение RU 2817266 C1, 12.04.2024. Заявка от 29.08.2023.

2. Богуславский, И.В. Научно-методологические основы проектирования приводов технологических машин. / И.В. Богуславский, А.Т. Рыбак, В.А. Чернавский. – Ростов-на-Дону: Институт управления и инноваций авиационной промышленности, 2010. – 276 с.

### **References**

1. Pahomov V.I., Chervjakov I.V., Kolin'ko A.A., Kambulov S.I., Aleksandrov E.A., Rudoj D.V. Agregat dlja uborki urozhaja. Patent na izobrenenie RU 2817266 C1, 12.04.2024. Zajavka ot 29.08.2023.

2. Boguslavskij, I.V. Nauchno-metodologicheskie osnovy proektirovanija privodov tehnologicheskikh mashin. / I.V. Boguslavskij, A.T. Rybak, V.A. Chernavskij. – Rostov-na-Donu: Institut upravlenija i innovacij aviacionnoj promyshlennosti, 2010. – 276 s.