

*В. И. Карлов, Ю. И. Крыхтин*

**К РАЗРАБОТКЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ  
ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ СИЛОВЫМ АГРЕГАТОМ  
НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ГРП**

**Волгоградский государственный технический университет**

kvi\_au@mail.ru; fotino-sk@mail.ru

Рассмотрены актуальные вопросы проектирования гидравлической системы дистанционного управления режимами работы силового агрегата с дизельным двигателем внутреннего сгорания (ДВС) эффективной мощностью до 6000 л. с. и с механической высокооборотной, десятискоростной двухпоточной с двумя одинаковыми промежуточными валами коробкой перемены передач (КПП) высокопроизводительной насосной установки для глубокопроникающего гидроразрыва перемычек пластов (ГРП) нефтяных и газовых изолированных полостей.

*Ключевые слова:* силовой агрегат, высокооборотная двухпоточная механическая КПП, дисковое фрикционное устройство, гидравлическая система, золотниковый распределитель, дистанционное управление.

*V. I. Karlov, Yu. I. Krykhtin*

**TO THE DEVELOPMENT OF A HYDRAULIC SYSTEM REMOTE CONTROL  
OF THE POWER UNIT OF A HIGH-POWER PUMPING UNIT FOR GRP**

**Volgograd State Technical University**

The article considers current issues of designing a hydraulic system for remote control of the operating modes of a power unit with a diesel internal combustion engine (ICE) with an effective capacity of up to 6000 hp and with a mechanical high-speed, ten-speed, two-flow gearbox (GCB) with two identical intermediate shafts of a high-performance pumping unit for deep-penetrating hydraulic fracturing of formation bridges (HFB) of oil and gas isolated cavities.

*Keywords:* power unit, high-speed dual-flow mechanical transmission, disc friction device, hydraulic system, spool valve, remote control.

Для обеспечения передовых позиций отечественной нефте-газодобывающей отрасли необходимо создание собственных высокопроизводительных насосных установок для глубокого проникновения ГРП нефтяных и газовых изо-

лированных полостей, составляющих основу комплекса оборудования (флота) для такого способа добычи полезных ископаемых.

Структурная схема этой установки показана на рис. 1.

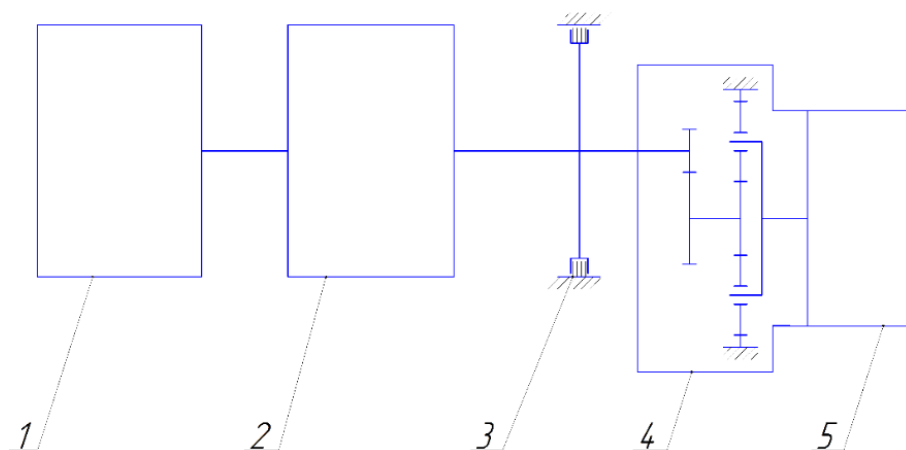


Рис. 1. Структурная схема насосной установки для ГРП нефтяных и газовых изолированных полостей:  
1 – ДВС; 2 – КПП; 3 – остановочный тормоз (ОТ); 4 – цилиндрично-планетарный редуктор узла гидронасоса с передаточным числом  $i_n = 1,16$  цилиндрической ступени (межцентровое расстояние 500 мм по компоновке узла гидронасоса), и передаточным числом  $i_n = 5,5$  планетарной ступени; 5 – гидронасос

Мощный силовой привод такой насосной установки обеспечивает высокопроизводительную закачку в скважину специальной рабочей среды – пропанта для расклинивания трещин в перемычках пластов и удержания их от схлопывания при сбросе давления. Учитывая, что в соответствии с технологией процесса ГРП, требуется обеспечить стабильный режим подачи сложного в перекачке пропанта, для насосной установки большой мощности, актуальным является создание системы дистанционного управления силовым приводом во взаимосвязи с его нагруженностью и параметрами рабочего процесса закачки пропанта в скважину.

Цель работы – создание необходимых предпосылок проектирования системы дистанционного управления параметрами рабочих процессов ГРП нефтяных и газовых изолированных полостей с учетом нагруженности силового агрегата насосной установки.

Новизна – определение концепции и предложения по разработке схемы и элементов конструкции исполнительных устройств гидравлической системы дистанционного управления переключением передач без разрыва потока мощности высокооборотной механической десятискоростной двухпоточной КПП с двумя одинаковыми промежуточными валами через встроенные в КПП дисковые фрикционные

устройства с металлокерамическим покрытием дисков трения.

В силовом агрегате по патенту на изобретение [1], кинематическая схема которого показана на рис. 2, промежуточный вал 10-скоростной 2-поточной КПП связан с крайней шестерней раздаточного цилиндрического редуктора с передаточным числом  $i = 1$ , центральная шестерня которого связана с солнечной шестерней входного повышающего обороты планетарного редуктора, а вторая крайняя шестерня раздаточного цилиндрического редуктора связана с аналогичным вторым промежуточным валом КПП. ДВС такого силового агрегата может иметь эффективную мощность от 3000 до 6000 л. с., а промежуточные валы высокооборотной механической КПП вращаются с угловыми скоростями, близкими к максимально допустимым по условию работоспособности подшипников, на которых они установлены. В конструкции КПП предусмотрено пять основных передач (при включенной в дополнительный поток мощности фрикционной муфте Ф6 включение тормоза Т1 создает первую основную передачу; включение муфты Ф2 создает вторую основную передачу; – Ф3 – третью, Ф4 – четвертую и Ф5 – пятую основные передачи) и пять передач замедленных (при включенной в дополнительный поток мощности фрикционной муфте Ф7).

Для обеспечения работоспособности силового агрегата насосной установки на всех передачах, своевременного и оперативного переключения на нужную передачу при всех изме-

нениях параметров рабочего процесса необходима простая и эффективная система управления кинематическими звеньями КПП и обеспечения их смазкой.

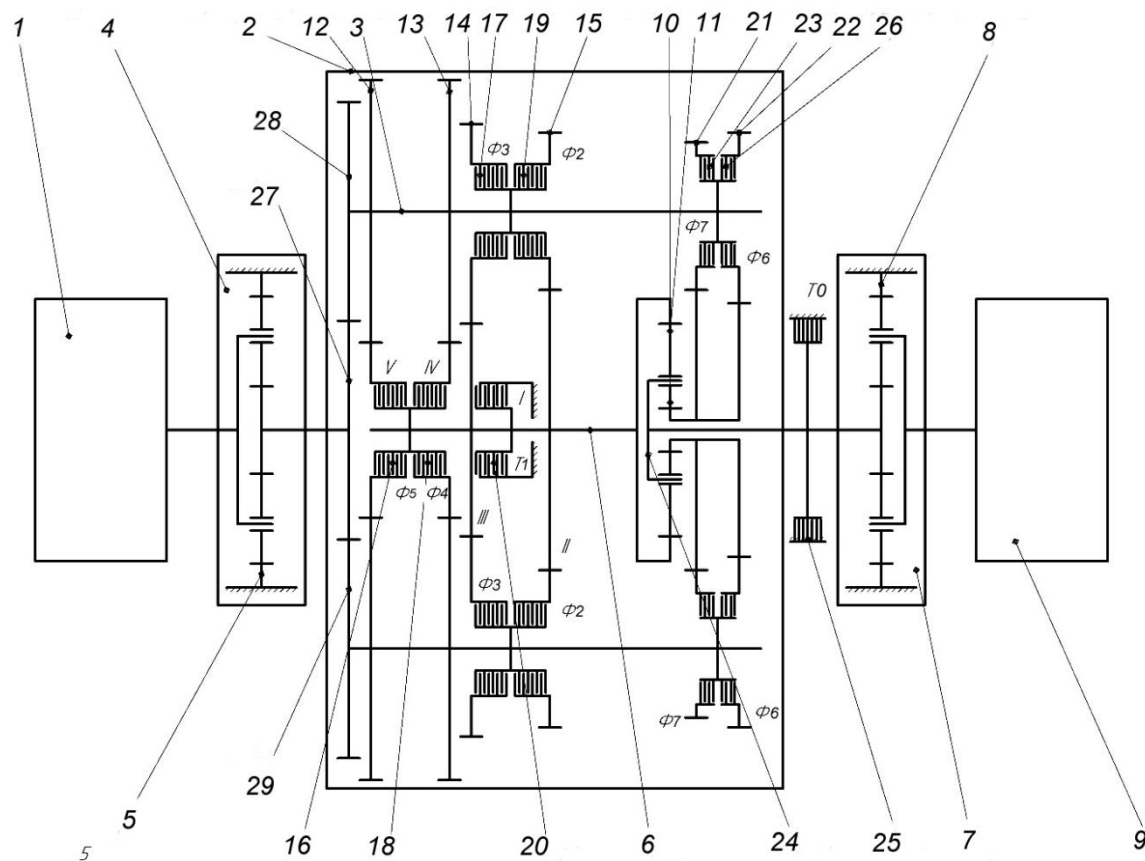


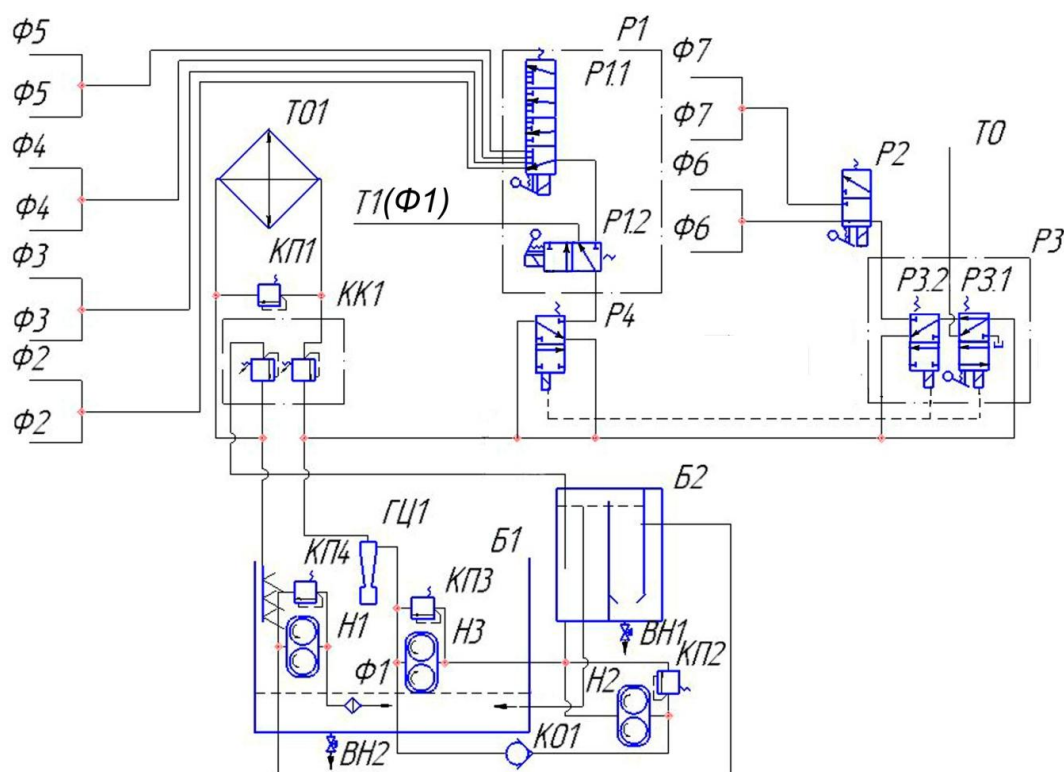
Рис. 2. Кинематическая схема силового агрегата насосной установки для ГРП нефтяных и газовых изолированных полостей с высокооборотной механической КПП с двумя промежуточными валами: 1 – ДВС; 2 – КПП; 3 – промежуточный (входящий) вал; 4 – повышающий обороты планетарный редуктор; 5 – шестерня эпициклическая; 6 – грузовой вал; 7 – понижающий обороты планетарный редуктор; 8 – шестерня эпициклическая; 9 – гидронасос; 10 – солнечная шестерня суммирующего планетарного ряда; 11 – шестерня эпициклическая суммирующего планетарного ряда; 12–15 – ведущие шестерни основного потока мощности; 16 (Ф5), 17 (Ф3), 18 (Ф4), 19 (Ф2) – фрикционные муфты основного потока мощности; 20 – дисковый тормоз нижней передачи; 21, 22 – ведущие шестерни дополнительного потока мощности; 23 (Ф7), 26 (Ф6) – фрикционные муфты дополнительного потока мощности; 24 – водило суммирующего планетарного ряда; 25 – тормоз остановочный (Т0); 27, 28, 29 – шестерни раздаточного цилиндрического редуктора

Известны гидравлические системы ручного управления механической трансмиссий транспортных средств [2–4], элементную базу которых составляют шестеренчатые насосы, клапаны, средства очистки рабочей жидкости, радиатор, золотниковые распределители с ручным управлением. На их основе предлагается создать исполнительную подсистему по управлению кинематическими звеньями КПП и их смазке в процессе работы, упрощенная гидравлическая схема которой показана на рис. 3.

Предлагаемая исполнительная подсистема смазки и управления состоит из двух одноименных магистралей. Первая, по важности – это магистраль управляющего давления поряд-

ка 0,8 МПа. Здесь насосами Н2 и Н3, масло забирается из основного бака Б2, проходит очистку в гидроциклоне ГЦ1 и подается к распределителям Р4 и Р3, а далее по сигналу командного устройства с помощью распределителей Р1.1; Р1.2; Р2; Р3.1 направляется в рабочую полость (бустер) управляемого фрикционного устройства по одному из следующего списка групп фрикционных устройств, соответствующих ранее перечисленным распределителям: Ф2÷Ф5; Т1(Ф1); Ф6÷Ф7; Т0. Тем самым включают нужную передачу КПП или Т0. Чтобы не допустить включение Т0 с какой-либо передачей КПП и обеспечить холостой режим работы силового привода, зафиксировав положение

теля Р1.1 с сервоприводом и ручным дублиром, предназначенного для управления давлением в бустерах фрикционных муфт основного потока мощности КПП, и двухпозиционного распределителя Р1.2 с электромагнитом, предназначенного для подвода управляющего давления либо к тормозу Т1 (фрикционный механизм Ф1), либо к распределителю Р1.1 (а значит, к группе фрикционных муфт Ф2÷Ф5, управляющих кинематическими звеньями КПП в основном потоке мощности).



Т01 – теплообменник (радиатор); Б1 – картер КПП; Б2 – бак масляный; Н1, Н2, Н3 – шестеренчатые гидравлические насосы, причем Н1 – насос для откачки стекающего в картер КПП масла в основной масляный бак Б2, подачи масла в теплообменник и разбрызгивания масла в КПП для создания масляного тумана и смазки зубчатых зацеплений; Н2 и Н3 – два параллельно работающих нагнетательных насоса, предназначенные для переключения передач в КПП, один из которых (Н3) имеет механический, а другой (Н2) – электрический приводы: ВН1, ВН2 – вентили (краны) для слива масла из баков; КП1, КП2, КП3, КП4 – гидроклапаны перепускные (предохранительные); КК1 – коробка с перепускными (предохранительными) клапанами; Ф1 – фильтр заборный; КО1 – клапан обратный; ГЦ – гидроциклон для очистки масла (рабочей среды); Р1, Р2, Р3, Р4 – гидравлические распределители рабочего давления для управления кинематическими звеньями КПП и Т0, причем золотниковый распределитель Р1 управляет кинематическими звеньями в основном потоке мощности (через фрикционные муфты Ф2, Ф3, Ф4, Ф5 и тормоз Т1 – фрикционное устройство Ф1); распределитель Р2 выполняет ту же функцию, что и Р1, но в дополнительном потоке мощности (через фрикционные муфты Ф6 и Ф7); Р3.1 управляет остановочным тормозом Т0

давления. При этом улучшаются условия смазки конструктивных элементов КПП. Исключение составляет остановочный тормоз Т0, для которого на схеме показана сливная линия, хотя и в этом случае слив может производиться в бак, конструктивно объединенный с картером КПП.

Вторая магистраль – служит для смазки конструктивных элементов КПП и кондиционирования (очистка и охлаждение) рабочей жидкости. Здесь с помощью шестеренчатого насоса Н1 масло откачивается из картера Б1 КПП, под давлением порядка 0,2 МПа доводится до соответствующей кондиции (проходит через устройства очистки и теплообменный аппарат – радиатор) и разбрызгивается в корпусе КПП с образованием «масляного тумана», капли которого оседают на поверхности зубчатых пар и других конструктивных элементов КПП, обеспечивая их смазку.

После запуска силового агрегата и создания необходимого давления в смазочной и управляющей магистрали, в соответствии с программой выхода на рабочий режим закачки пропанта в скважину, включаются соответствующие фрикционные муфты по одной в дополнительном и основном потоках мощности КПП путем одновременного включения и выключения одинаковых фрикционных муфт обоих промежуточных валов КПП.

Предлагается следующая последовательность действий при работе с системой управления высокооборотной десятискоростной двухпоточной с двумя одинаковыми промежуточными валами с металлокерамическими дисками трения во фрикционных устройствах КПП силового агрегата большой мощности для глубокопроникающего ГРП нефтяных и газовых изолированных полостей:

1. Установить все звенья системы управления в исходное (начальное) положение перед началом работы (электромагниты всех распределителей и сервопривод распределителя Р1.1 выключены). При работающем силовом приводе по магистрали управляющего давления посредством Р3.1 включается остановочный тормоз Т0.

2. Включить Р3 и связанный с ним одной электрической цепью Р4 с тем, чтобы через включенный Р3.1 отключить Т0, а через выключенный Р1.2 включить тормоз Т1 (фрикционное устройство Ф1) в основном потоке мощности КПП и через выключенный Р2 включить ускоренную передачу на двух промежуточных валах в дополнительном потоке мощности. Таким образом будет включена первая ускоренная передача. При необходимости включением Р2 можно перейти на первую замедленную передачу;

3. Включить Р1.2 и с помощью сервопривода распределителя Р1.1 последовательно включать передачи со второй по пятую ускоренные, если Р2 выключен или замедленные, если Р2 включен;

4. По окончании работ силового агрегата выключить Р3 и связанный с ним одной электрической цепью Р4, тем самым переведя все звенья системы управления в исходное состояние.

В настоящее время исследуются особенности разработанной системы гидроуправления, пути повышения надежности ее работы по быстрдействию, синхронности и одновременной работе фрикционных муфт, расположенных на разных промежуточных валах КПП.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2811820 Российская Федерация, МПК F04B 47/00. Силовой агрегат насосной установки для глубокопроникающего гидравлического разрыва перемычек изолированных полостей нефтяных и газовых пластов / Ю. И. Крыхтин, В. И. Карлов; ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет». – 2024.
2. Балдин, В. А. Теория и конструкция танков. – М.: Министерство Обороны Союза ССР, 1975. – 442 с.
3. Боевая машина пехоты БМП-2: Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – М.: Военное издательство, 1988. – 325 с.
4. Труханов, В. М. Трансмиссии гусеничных и колесных машин / В. М. Труханов, В. Ф. Зубков, Ю. И. Крыхтин, В. Ф. Желтобрюхов. – М.: Машиностроение, 2001. – 736 с.