

## **Мырзахмет Балғали**

### **АННОТАЦИЯ**

к диссертации на тему «Повышение качественных показателей шестеренчатых насосов с двухосным соединением гидравлических систем сельскохозяйственных машин», представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07105 – «Механическая инженерия», направлению 8D071 – «Инженерия и инженерное дело», группе образовательных программ D103 – «Механика и обработка металлов»

**Актуальность темы исследования.** В основных направлениях и программах развития агропромышленного комплекса Республики Казахстан, в частности в Новом Нацпроекте по развитию АПК (2024-2028 гг.) и в Концепции развития агропромышленного комплекса на 2021-2030 гг. отмечается особый роль сельскохозяйственного машиностроения в увеличении объема валовой продукции сельского хозяйства и достижении высоких социально-экономических результатов.

Сельскохозяйственные машины работают в самых тяжелых, жестких и неблагоприятных условиях эксплуатации, которые характеризуются: широким диапазоном климатических факторов, большой запыленностью воздуха и большим количеством абразива в почве, большой динамической нагрузкой на агрегаты вследствие большего и нестабильного сопротивления почвы и случайного характера нагружения. Следствием воздействия этих факторов является резкое увеличение износов деталей гидравлических устройств, агрегатов и узлов сельскохозяйственных машин, возрастание потока поломок и отказов, повышение расхода топлива. В этих сложных условиях повышение работоспособности сельскохозяйственных машин и эффективное их использование возможно только с помощью совершенствования конструкции и технологии изготовления гидравлических устройств, агрегатов и узлов. В этой связи была разработана новая конструкция насоса шестеренного с двухосным соединением (НШ с ДС).

Для повышения качественных показателей НШ с ДС было предложено частичное ограничение относительных перемещений отдельно взятых деталей, в частности опорных втулок. С этой целью между опорными втулками были установлены раздвижные элементы, которые раздвигали бы опорные втулки до непосредственного контакта цилиндрической поверхности опорной втулки и поверхностью цилиндрического отверстия в корпусе насоса. Однако в процессе работы НШ с ДС были выявлены недостатки такие как снижение производительности и КПД, связанные с нестабильной работой раздвижных элементов. В качестве раздвижных элементов были использованы пружины. Для установки пружин между опорными втулками требуется выполнения в них отверстий с высокой точностью. Технологическое изготовление опорных втулок с такими отверстиями представляет определенные сложности, которые заключаются в обеспечении соосности и

точности межосевых расстояний отверстий, расположенных в различных опорных втулках.

В связи с этим научные исследования, направленные для повышения качественных показателей НШ с ДС за счет совершенствование конструкции раздвижных элементов и опорных втулок, являются актуальной задачей.

**Целью диссертационной работы** является повышение качественных показателей шестеренчатого насоса с двухосным соединением путем совершенствования конструкции раздвижных элементов и опорных втулок.

**Объектом исследования** является процесс работы шестеренчатого насоса с двухосным соединением, применяемый в гидравлических системах сельскохозяйственных машин.

**Предметом исследования** являются закономерности влияния конструкции, материала и напряженно-деформированного состояния раздвижных элементов и опорных втулок на качественные показатели шестеренчатого насоса, включая рабочее давление, внутренние утечки, объемный КПД, температурный режим и ресурс работы.

**Методы исследования:** для проведения исследования использованы методы: анализа конструкции насосов шестеренных (НШ) и НШ с ДС, экспериментального исследования, математического и компьютерного моделирования процесса НШ с ДС с использованием раздвижных элементов из упругого резинового и стального материалов, а также опорных втулок из пластикового материала.

**Задачи исследования:**

1. Анализ конструкции и исследование процесса работы насосов шестеренных, в частности НШ с ДС.
2. Выбор резинового и стального материалов с упругими свойствами для изготовления раздвижных элементов НШ с ДС. Исследование возможности распечатки опорных втулок НШ методом аддитивных технологий и их применения.
3. Разработка конструкции раздвижных элементов и опорных втулок.
4. Экспериментальные исследования процесса работы НШ с ДС с различными раздвижными элементами, изготовленных из упругого резинового и стального материалов, а также с опорными втулками из пластикового материала.
5. Компьютерное моделирование процесса работы НШ с ДС с различными раздвижными элементами, изготовленных из упругого резинового и стального материалов, а также с опорными втулками из пластикового материала.

6. Расчет технико-эксплуатационной и экономической эффективности предлагаемой конструкции НШ с ДС и разработка рекомендации для производства.

**Научная новизна работы заключается в следующем:**

1. Впервые экспериментально исследованы показатели качества НШ с ДС с использованием раздвижных элементов из упругого резинового и стального материалов, а также опорных втулок из пластикового материала и установлено, что:

- при использовании раздвижных элементов, изготовленных из упругих резиновых и стальных материалов, величина создаваемого рабочего давления соответствует величине рабочего давления стандартного шестеренчатого насоса и предотвращает раскрытие рабочих зазоров, что, в отличие от стандартных насосов, позволяет сохранять высокий коэффициент полезного действия при повышенных нагрузках;

- раздвижные элементы из стали 65Г выдерживает нагрузку до 24 МПа и при этом радиальный зазор составляет в пределах 0,05-0,15 мм;

- для втулки, изготовленной из пластика PLA, безопасным диапазоном нагрузок является до 12 МПа и рабочее давление в 1,5-2,0 раза меньше, чем у стандартного насоса НШ-50УЗ.

2. Предложены математические модели описывающие как раздвижные элементы изготовленные из упругого резинового и стального материалов прижимает опорных втулок к торцам шестерен под действием давления нагнетания, минимизируя утечки.

3. Впервые выполнено моделирование процесса работы НШ с ДС с различными раздвижными элементами, изготовленных из упругого резинового и стального материалов, а также с опорными втулками из пластикового материала с использованием программных комплексов ANSYS WB и SolidWorks и установлено, что:

- упругий раздвижной элемент из стали 65Г выдерживает свой профиль и механические свойства при деформации;

- с ростом нагрузки возрастает риск повреждения материала, причём при 12 МПа значения напряжений уже находятся на границе допустимых для PLA пластиков.

**Положения выносимые на защиту:**

1. Результаты экспериментальных исследований показателей качества НШ с ДС с использованием раздвижных элементов из упругого резинового и стального материалов, а также опорных втулок из пластикового материала.

2. Математические модели, описывающие процесс работы раздвижных элементов из упругого резинового и стального материалов, а также опорных втулок из пластикового материала.

3. Результаты моделирование процесса работы НШ с ДС с различными раздвижными элементами, изготовленных из упругого резинового и стального

материалов, а также с опорными втулками из пластикового материала с использованием программных комплексов ANSYS WB и SolidWorks.

**Обоснованность и достоверность** научных положений, выводов и результатов подтверждается корректностью постановки задачи исследования, адекватностью теоретических и экспериментальных исследований. Получены патенты Республики Казахстан (РК) на конструкцию НШ с ДС (№6789, №11069) и на устройство для испытания шестеренчатых насосов (№6642) на базе токарного станка. На методику расчёта напряжённо-деформированного состояния FDM-напечатанной втулки шестеренчатого насоса из PLA методом конечных элементов в программной среде ANSYS Workbench получено свидетельство РК о государственной регистрации прав на объект авторского права на интеллектуальную собственность.

**Практическая значимость** заключается в разработке:

- конструкции НШ с ДС с различными раздвижными элементами, изготовленных из упругого резинового и стального материалов, а также с опорными втулками из пластикового материала;
- методики расчёта напряжённо-деформированного состояния FDM-напечатанной втулки шестеренчатого насоса из PLA методом конечных элементов в программной среде ANSYS Workbench;
- практические рекомендации для внедрения и применения разработанной конструкции в производство.

**Личный вклад автора** заключается в постановке задач и разработке методики исследования; разработке и изготовлении специальных конструкций НШ с ДС с различными раздвижными элементами, изготовленных из упругого резинового и стального материалов, а также с опорными втулками из пластикового материала; организации и проведении экспериментальных исследований процесса работы НШ с ДС с различными раздвижными элементами, изготовленных из упругого резинового и стального материалов, а также с опорными втулками из пластикового материала; компьютерном моделировании процесса работы НШ с ДС с различными раздвижными элементами, изготовленных из упругого резинового и стального материалов, а также с опорными втулками из пластикового материала.

**Диссертационная работа направлена** на выполнение основных задач программы развития агропромышленного комплекса Республики Казахстан, в частности Нового Нацпроекта по развитию АПК (2024-2028 гг.), а также Концепции развития агропромышленного комплекса на 2021-2030 гг.

Диссертационная работа выполнено в рамках грантовых проектов АР23489364 «Использование аддитивных технологий при ремонте сельскохозяйственных машин с оптимизацией процесса путем моделирования и экспериментального исследования» (2024-2026 гг.) и АР09562459 «Создание опытного образца насоса шестеренного для сельскохозяйственных машин на

основе двухосного соединения» (2021), которые финансируется и финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Основные результаты диссертационной работы рекомендованы к внедрению в производство ТОО «Керуен Тек Трейд» (г. Астана, 2025 г.).

**Апробация работы.** Основные положения докторской диссертации докладывались и обсуждались на заседаниях кафедры «Технологические машины и оборудования» КазАТИУ им. С. Сейфуллина (2021-2026 гг.), а также на конференциях международного уровня:

- международная научно-теоретическая конференция «Сейфуллин оқулары-18: «Жастар және ғылым – болашаққа бағдар» (Астана, 2022);
- международная научно-практическая конференция «Сейфуллинские чтения-18(2): «Наука XXI века – Эпоха трансформации» (Астана, 2022).

**Публикации.** По результатам докторской диссертации опубликовано 14 научных работ на русском, казахском и английском языках, в том числе 4 статьи в международных научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science или Scopus, 1 монография и 3 статьи в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Республики Казахстан. Основные результаты исследования были представлены и обсуждены на 2 международных конференциях. Получены 3 патента Республики Казахстан на полезную модель и 1 свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права.

**Объем и структура работы.** Докторская диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения, изложенных на 119 страницах машинописного текста, которые поясняются 78 рисунками, 17 таблицами, списком литературы из 87 наименований, 4 приложениями.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

При выполнении диссертационной работы проведено комплексное исследование, направленное на повышение качественных показателей НШ с ДС за счет разработки конструкции раздвижных элементов и опорных втулок.

В результате были достигнуты следующие:

1. Разработаны конструкции и изготовлены опытные образцы раздвижных элементов из упругого резинового и стального материалов, а также опорные втулки из пластикового материала.

2. Экспериментально установлено, что:

- при использовании раздвижных элементов, изготовленных из упругих резиновых и стальных материалов, величина создаваемого рабочего давления соответствует величине рабочего давления стандартного шестеренчатого

насоса и предотвращает раскрытие рабочих зазоров, что, в отличие от стандартных насосов, позволяет сохранять высокий коэффициент полезного действия при повышенных нагрузках;

- раздвижные элементы из стали 65Г выдерживает нагрузку до 24 МПа и при этом радиальный зазор составляет в пределах 0,05-0,15 мм;
- для втулки, изготовленной из пластика PLA, безопасным диапазоном нагрузок является до 12 МПа и рабочее давление в 1,5-2,0 раза меньше, чем у стандартного насоса НШ-50УЗ.

3. Предложены математические модели описывающие как раздвижные элементы изготовленные из упругого резинового и стального материалов прижимает опорных втулок к торцам шестерен под действием давления нагнетания, минимизируя утечки.

4. В результате моделирование с использованием программных комплексов ANSYS WB и SolidWorks установлено, что:

- упругий раздвижной элемент из стали 65Г выдерживает свой профиль и механические свойства при деформации;
- с ростом нагрузки возрастает риск повреждения материала, причём при 12 МПа значения напряжений уже находятся на границе допустимых для PLA пластиков.

5. Разработаны рекомендации для производства. Техно-экономические результаты при использовании раздвижных элементов из стали 65Г показали, что рабочее давление повышается на 42,9%, объемный КПД повышается на 8-12%, межремонтный ресурс повышается на 1,5-1,8 раз.

Результаты исследования рекомендованы к внедрению в производство ТОО «Керуен Тек Трейд» (г. Астана).