

---

УДК 621.833

*И. В. Трусов*

---

**РАЗРАБОТКА ПРЕЦЕССИОННОГО РЕДУЦИРУЮЩЕГО МЕХАНИЗМА С РАДИАЛЬНЫМИ СФЕРИЧЕСКИМИ ПАЛЬЦАМИ ДЛЯ ПРИВОДА КОВШОВОГО ЭЛЕВАТОРА ЗЕРНОСУШИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА**

---

UDC 621.833

*I. V. Trusov*

---

**DEVELOPMENT OF THE PRECESSION REDUCING MECHANISM WITH RADIAL SPHERICAL PINS FOR THE DRIVE OF A BUCKET ELEVATOR OF THE GRAIN DRYING COMPLEX**

---

**Аннотация**

В работе предложена структурная схема планетарной прецессионной передачи для привода ковшового элеватора, позволяющая минимизировать влияние погрешностей, возникающих в процессе его монтажа и эксплуатации. Приводятся результаты исследования прецессионного редуцирующего механизма с радиальными сферическими пальцами на основе использования методов компьютерного моделирования.

**Ключевые слова:**

ковшовый элеватор, планетарная передача, сферические пальцы, компенсация погрешностей, сателлит, зубчатый венец, косая втулка, угловая муфта.

**Abstract**

The paper gives a block diagram of planetary precession transmission for the drive of a bucket elevator, minimizing the impact of errors that arise in the process of its installation and operation. It also presents results of the study of the precession reducing mechanism with radial spherical pins, which is based on using methods of computer modeling.

**Key words:**

bucket elevator, planetary gearing, spherical pins, error compensation, satellite, gear ring, skew bushing, angle joint.

---

Зерносушильные комплексы сельскохозяйственных предприятий предназначены для очистки зерна от легких загрязнений, сушки его до необходимых параметров и отгрузки на транспорт. Они, как правило, состоят из приемного бункера, отделения для очистки и сортировки, зерносушилки и системы внутреннего транспортирования, включающей в себя скребковый конвейер и ряд ковшовых элеваторов, применяемых для вертикального перемещения зерна. В качестве приводных механиз-

мов элеваторов используются различные типы мотор-редукторов, например, мотор-редукторы, разработанные на базе червячной передачи (производство Италия (SITI MU, TRAMEC XC) [1] и Россия (МЧ, РС, КРС) [2]). Приводы с такими мотор-редукторами обладают достаточной компактностью и имеют небольшой вес, т. к. в их конструкции применяются алюминиевые сплавы для изготовления корпусных деталей. Однако их использование в приводах ковшового элеватора сдерживается относи-

тельно низким значением коэффициента полезного действия – 80...85 %.

Кроме червячных мотор-редукторов, в приводе ковшового элеватора используются цилиндрические двухступенчатые соосные мотор-редукторы производства как России (4МЦ2С), так и западноевропейских стран (Bonfiglioli, DanfossBauer, SewEuroDrive) [3]. Они имеют высокий КПД, но отличаются значительными габаритами и требуют применения компенсирующих муфт, а иногда и дополнительной цепной или ременной передачи, что приводит к повышенным массогабаритным показателям привода в целом.

Сделать привод ковшового элеватора компактным, низким по себестоимости изготовления и сборки, а также с достаточно высокими служебными свойствами стало возможным при его разработке на основе прецессионного мотор-редуктора, структурная схема которого показана на рис. 1.

Предлагаемый вариант структурной схемы прецессионного мотор-редуктора работает следующим образом. При вращении входного вала 2 с жестко посаженной на нем косой втулкой 3 сателлит 4 благодаря наличию сферического подшипника 5 совершает колебательное движение (см. рис. 1, а). При этом одновременно происходит взаимодействие зубчатого венца сателлита 4 со сферической частью неподвижно закрепленного в центральном колесе 6 сферических радиальных пальцев 7 (см. рис. 1, б). Благодаря указанному взаимодействию сателлит 4 получает вокруг своей оси вращение. Вращение с сателлита 4 передается на жестко связанное с ним кольцо 8, а далее с помощью угловой муфты, выполненной в виде радиальных пальцев 9, – на выходной вал 10 (см. рис. 1, в). Угловая муфта представляет собой расположенные в отверстиях кольца 8 пальцы 9, входящие своей сферической частью во впадины наружного

зубчатого венца выходного вала 10.

Преимуществом данного варианта привода, разработанного на основе прецессионного мотор-редуктора, является возможность компенсации несоосности осей входного вала редуктора и вала барабана, которая возникает при сборке привода в конструкции ковшового элеватора по следующим причинам. На размерную цепь, определяющую соосность указанных выше осей, влияют погрешности изготовления и сборки деталей не только мотор-редуктора, но и узла барабана ковшового элеватора. Кроме этого, при эксплуатации могут возникать температурные деформации, вызываемые разогревом или охлаждением деталей привода ковшового элеватора. Следовательно, по всем правилам проектирования приводов в конструкцию между выходной втулкой мотор-редуктора и валом барабана необходима установка муфты, компенсирующей указанные выше погрешности.

В предлагаемой конструкции привода, разработанного на базе прецессионного мотор-редуктора, нет необходимости в применении компенсирующей муфты при ее монтаже в приводе. Это объясняется тем, что конструкция прецессионного мотор-редуктора, кроме свойственной ей редуцирующих функций, может выполнять функции компенсирующей муфты. Помимо указанного преимущества, в разработке привода с предлагаемым мотор-редуктором представляется возможность использовать вал барабана в качестве выходного вала мотор-редуктора. Поэтому выходной вал конструкции может вращаться в подшипниковых опорах, не принадлежащих корпусу передачи, а также в подшипниках, смонтированных в корпус рабочего органа привода. Это позволит снизить массогабаритные и стоимостные показатели привода и упростить его конструкцию.

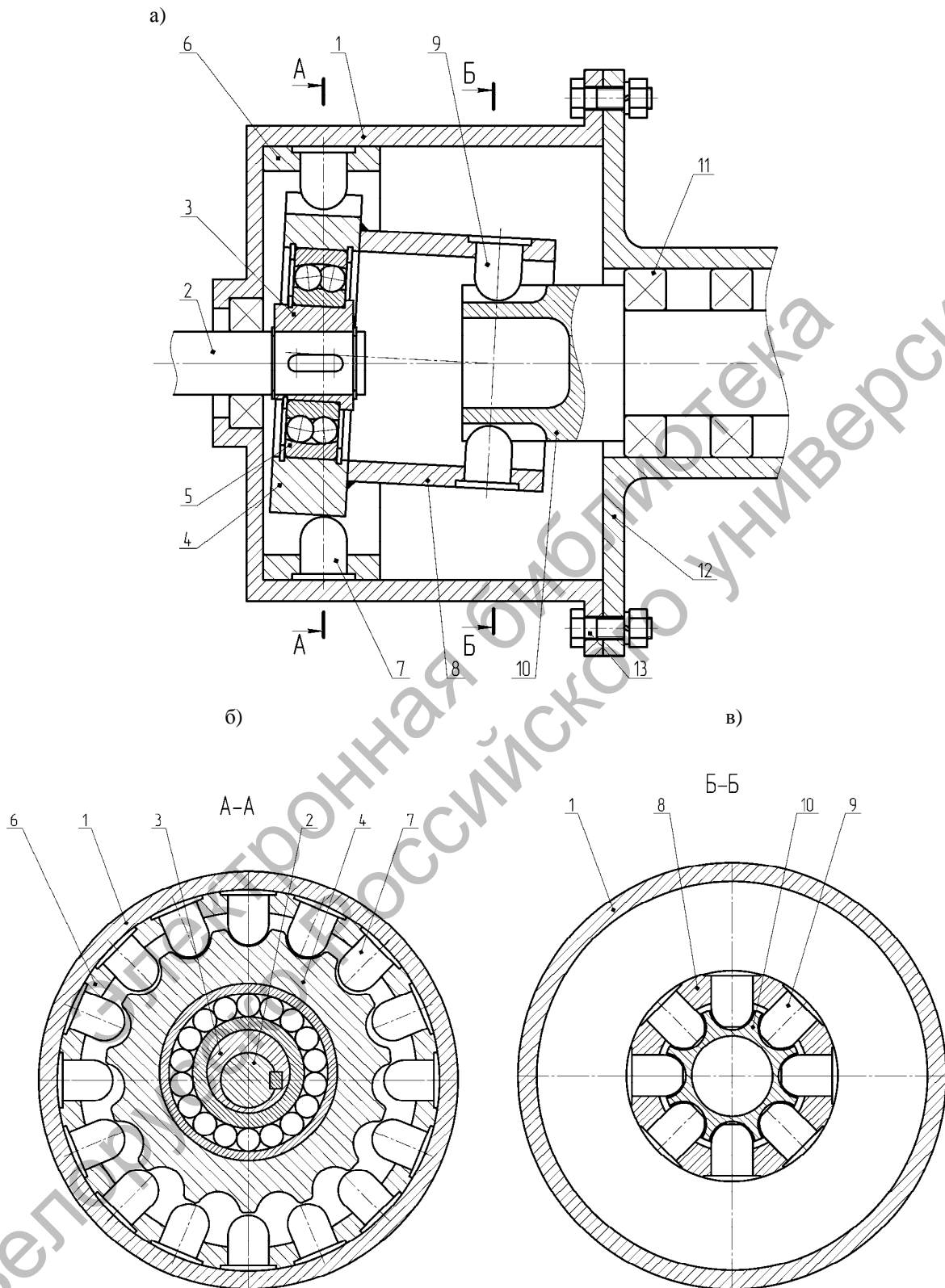


Рис. 1. Структурная схема планетарной прецессионной передачи с радиальными сферическими пальцами: а – с соосным расположением входного и выходного валов; б – сечение А-А; в – сечение Б-Б; 1 – корпус; 2 – входной вал; 3 – косая втулка; 4 – спутник; 5 – сферический подшипник; 6 – неподвижное центральное колесо; 7, 9 – сферические пальцы; 8 – кольцо; 10 – выходной вал; 11 – подшипниковая опора; 12 – корпус привода; 13 – болтовое соединение

Как было отмечено выше, планетарный прецессионный мотор-редуктор, состоящий из электродвигателя и редуцирующего механизма, может выполнять одновременно функции редуцирования и компенсирующей муфты. То есть расположение выходного вала может быть несоосно относительно оси вращения входного вала прецессионного редуцирующего механизма. Однако указанная несоосность  $s$  влияет на основные выходные показатели прецессионного редуцирующего механизма (рис. 2).

Для определения границ погрешностей, которые вызваны несоосностью входного вала прецессионного редуцирующего механизма и вала барабана и

при которых обеспечиваются необходимые эксплуатационные требования привода к выходным показателям прецессионного редуцирующего механизма, были проведены компьютерные исследования. Последние включали в себя создание трехмерной твердотельной компьютерной модели прецессионного редуцирующего механизма (рис. 3), проведение компьютерного моделирования его работы с учетом возникающих погрешностей, а также определение основных выходных показателей и обработку результатов измерений. Методика проведения компьютерных исследований различных вариантов прецессионных редуцирующих механизмов описана в [4].

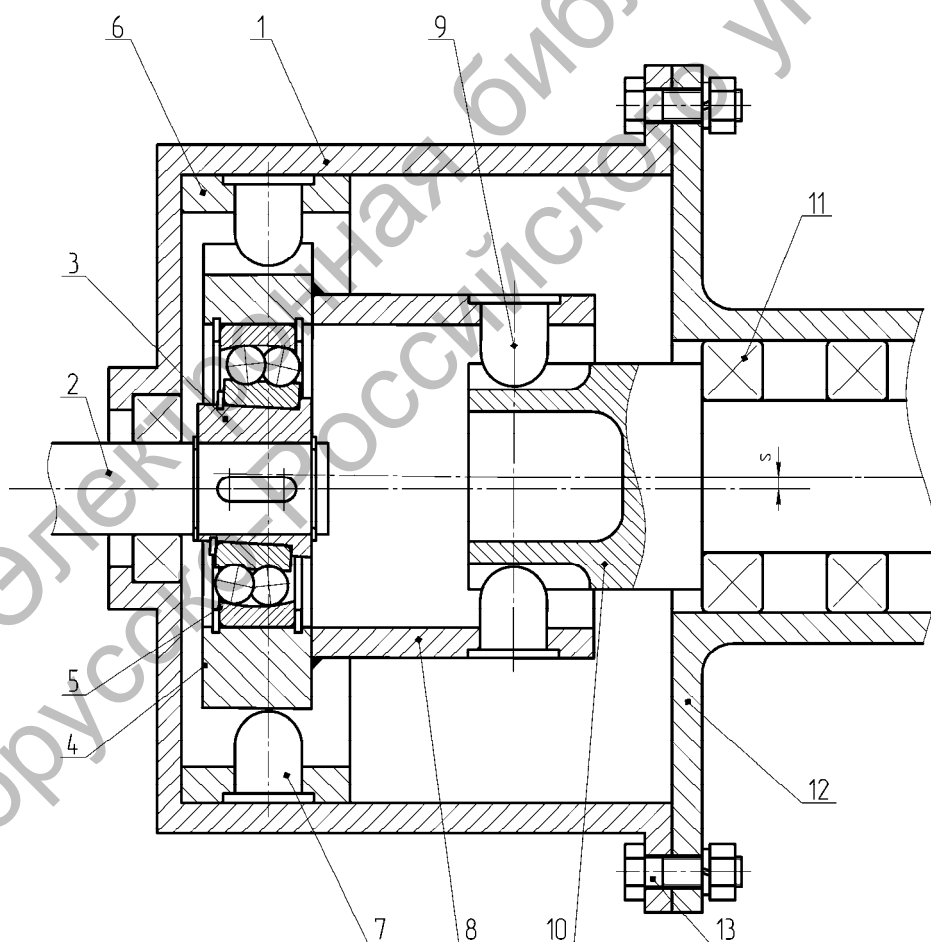


Рис. 2. Структурная схема планетарной прецессионной передачи с радиальными сферическими пальцами со смещением осей входного и выходного валов: 1 – корпус; 2 – входной вал; 3 – косая втулка; 4 – сателлит; 5 – сферический подшипник; 6 – неподвижное центральное колесо; 7, 9 – сферические пальцы; 8 – кольцо; 10 – выходной вал; 11 – подшипниковая опора; 12 – корпус привода; 13 – болтовое соединение

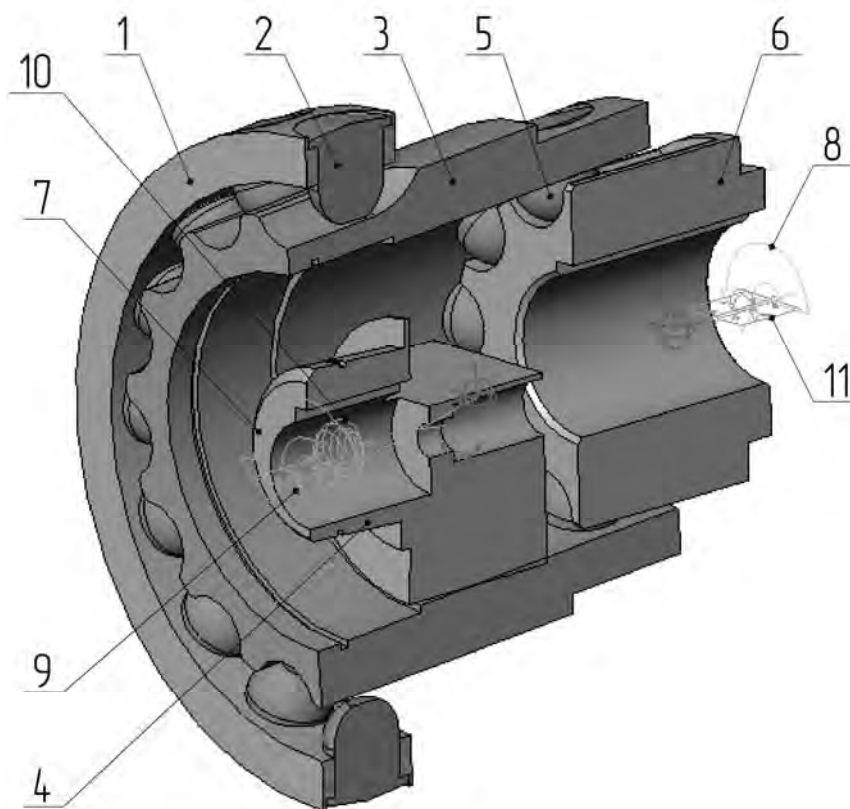


Рис. 3. Компьютерная модель прецессионного редуцирующего механизма: 1 – корпус; 2, 5 – сферический палец; 3 – спутник; 4 – кривошип; 6 – угловая муфта; 7 – крутящий момент; 8 – нагружающий момент; 9 – подшипник входного вала; 10 – сферический подшипник; 11 – подшипник выходного вала

В качестве исследуемых выходных показателей были приняты: КПД редуктора, кинематическая погрешность вращения выходного вала, силы в зацеплении спутника и сферических пальцев, силы в зацеплении зубчатой муфты, реакции в подшипниках. На рис. 4...8 показаны зависимости указанных параметров от угла поворота входного вала прецессионного редуцирующего механизма и радиального смещения осей входного и выходного валов  $s$ .

Одним из основных требований, предъявляемых к редуцирующему механизму привода ковшового элеватора, является обеспечение значения КПД не ниже 80 %. Анализ графиков зависимости КПД от угла поворота входного вала (рис. 4) и графиков зависимости среднего значения КПД от величины

радиального смещения осей входного и выходного валов (рис. 5) показал, что при радиальном смещении до 5 мм происходит незначительное уменьшение значения КПД до 10 % при амплитуде его колебания  $\pm 4$  %. Дальнейшее увеличение радиального смещения осей вызывает значительный рост амплитуды колебания значения КПД в зависимости от углового положения кривошипа при снижении среднего значения КПД до 45 % при  $s = 10$  мм.

На рис. 6 приведена зависимость кинематической погрешности вращения выходного вала от угла поворота входного вала. Ее анализ показывает, что при радиальном смещении осей до 4 мм кинематическая погрешность увеличивается на 12 угловых минут.

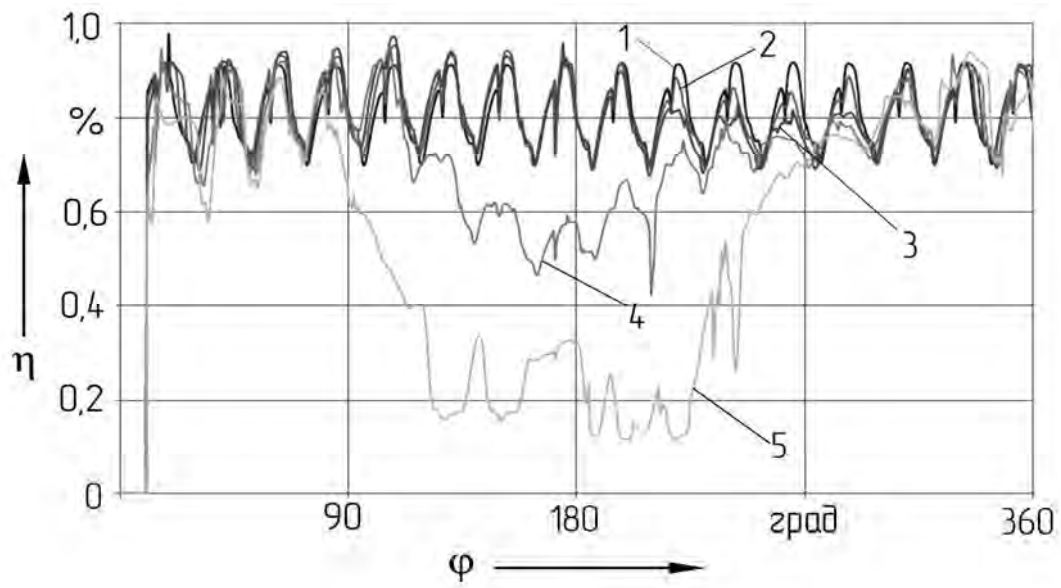


Рис. 4. Графики КПД планетарной прецессионной передачи при различных значениях радиального смещения осей входного и выходного валов: 1 – без смещения  $s = 0$ ; 2 –  $s = 2$  мм; 3 –  $s = 4$  мм; 4 –  $s = 6$  мм; 5 –  $s = 8$  мм

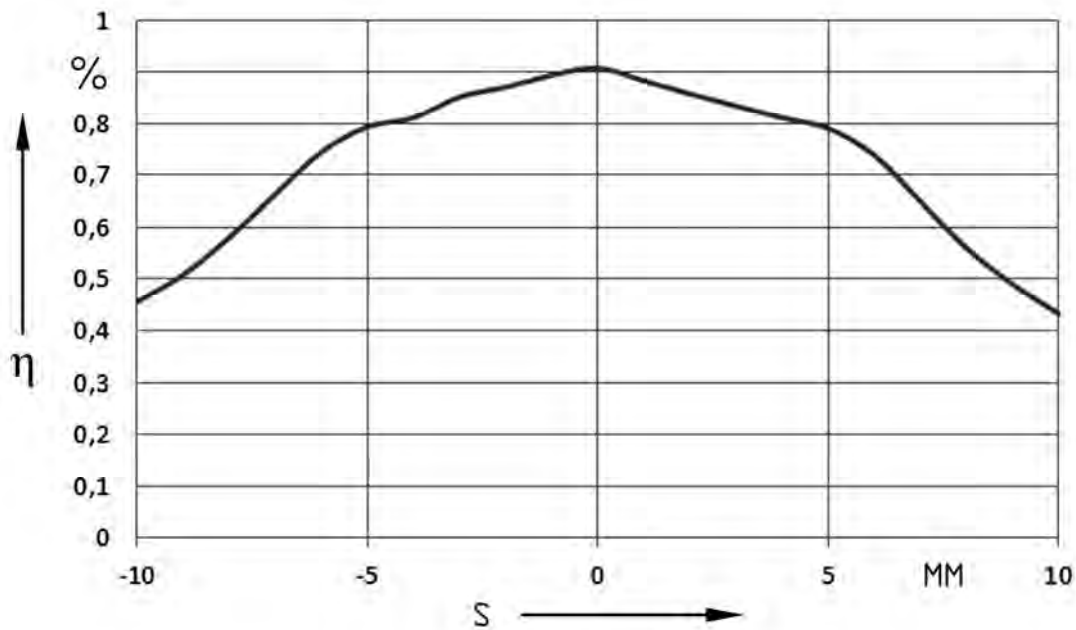


Рис. 5. График зависимости среднего значения КПД от радиального смещения осей входного и выходного валов

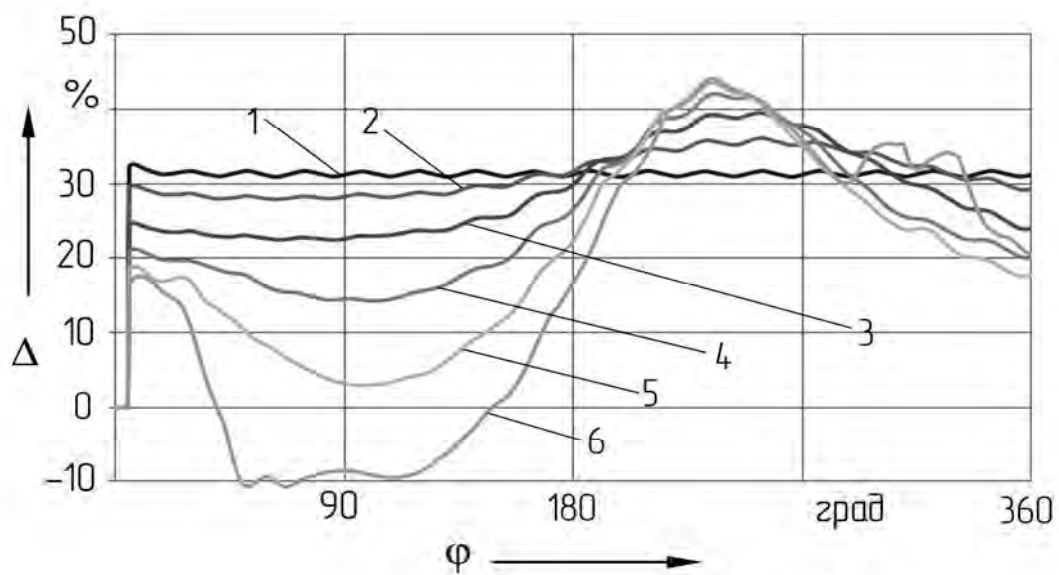


Рис. 6. Графики кинематической погрешности планетарной прецессионной передачи при различных значениях радиального смещения осей входного и выходного валов: 1 – без смещения  $s = 0$ ; 2 –  $s = 2$  мм; 3 –  $s = 4$  мм; 4 –  $s = 6$  мм; 5 –  $s = 8$  мм; 6 –  $s = 10$  мм

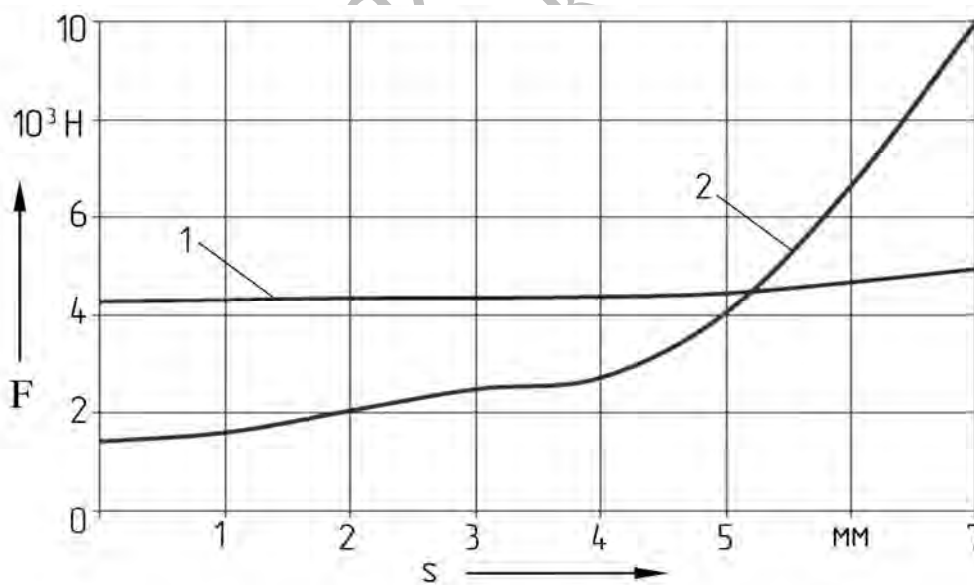


Рис. 7. Графики зависимости максимального значения силы в зацеплении прецессионной передачи от радиального смещения осей входного и выходного валов: 1 – пара сателлитсферический палец; 2 – угловая муфта

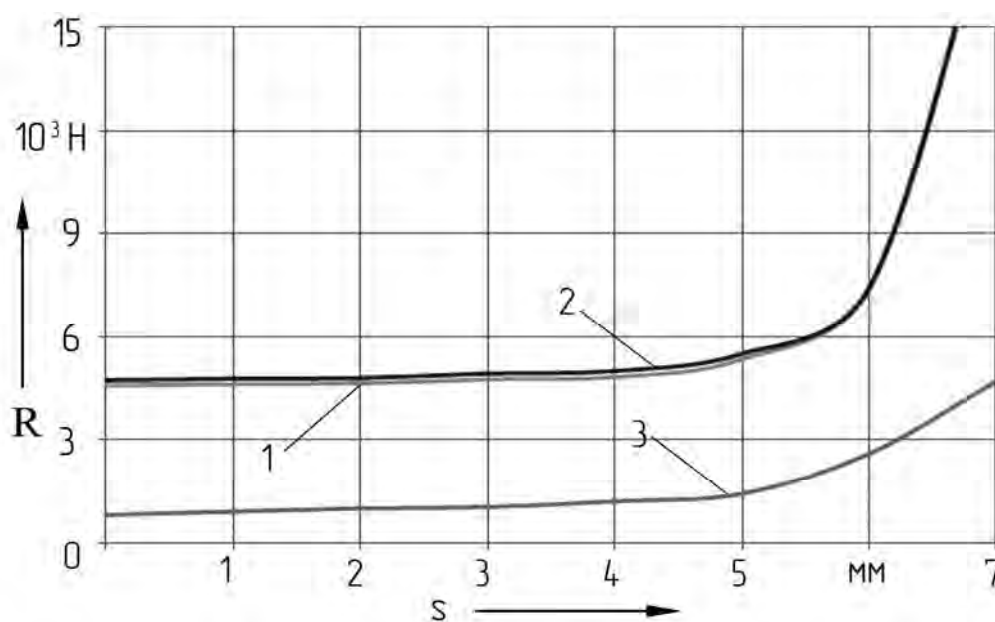


Рис. 8. Графики зависимости максимального значения реакции в подшипниковой опоре от радиального смещения осей входного и выходного валов: 1 – радиальный подшипник на входном валу; 2 – сферический подшипник между кривошипом и сателлитом; 3 – радиальный подшипник на выходном валу

При этом амплитуда колебаний значения кинематической погрешности зависит от углового положения входного вала. Дальнейшее увеличение радиального смещения вызывает рост кинематической погрешности до 50 угловых минут при  $s = 10$  мм.

На рис. 7 представлены графические зависимости сил в планетарном зацеплении и угловой муфте. Анализ зависимостей показывает, что радиальное смещение валов почти не оказывает влияния на величину сил в планетарном зацеплении (увеличение на 800 Н), в то время как максимальное значение силы в зацеплении угловой муфты при  $s = 7$  мм увеличивается в 10 раз до 10 кН.

На рис. 8 показана зависимость максимального значения реакции в подшипниковой опоре от радиального смещения осей входного и выходного валов прецессионного редуцирующего механизма. При  $s \geq 4$  мм реакции в подшипниках увеличиваются незначи-

тельно (рост составил около 5 %). Дальнейший рост  $s$  вызывает увеличение реакций в подшипниках на входном валу и сателлите до 15 кН, а в подшипнике на выходном валу – до 4,8 кН.

Таким образом, при значении радиального смещения осей входного и выходного валов  $s$  до 4 мм выходные показатели прецессионного редуцирующего механизма находятся в границах, гарантирующих его нормальную работу в приводе ковшового элеватора.

Результаты компьютерных исследований были подтверждены стендовыми и эксплуатационными испытаниями экспериментальных образцов прецессионного редуцирующего механизма.

В результате стендовых испытаний, проведенных в лаборатории по прецессионным передачам кафедры «Теоретическая механика» Белорусско-Российского университета (рис. 9), были получены следующие результаты:

– доказана работоспособность экспериментальной конструкции прецесси-



онного мотор-редуктора и возможность обеспечивать величину вращающего момента на выходном валу при запуске мотор-редуктора до 500 Н·м;

– установленное значение кинематической погрешности (18 угловых минут), среднее значение КПД (87 %) и максимальное значение температуры (65 °С) при номинальной нагрузке на выходном валу прецессионного мотор-редуктора соответствуют требуемым техническим характеристикам привода ковшového элеватора, что позволяет сделать вывод о возможности использования прецессионного мотор-редуктора

в указанном приводе.

Эксплуатационные испытания экспериментального образца прецессионного мотор-редуктора в приводе ковшového элеватора проводились в составе зерноочистительно-сушильного комплекса КЗСК-30 на КСУП «Экспериментальная база «Дашковка» (рис. 10). Экспериментальный образец проработал без поломок три зерноуборочных сезона, переместив более 3,4 тыс. т зерновых, что позволило сделать заключение о перспективности применения прецессионного редуцирующего механизма в приводах ковшového элеватора.

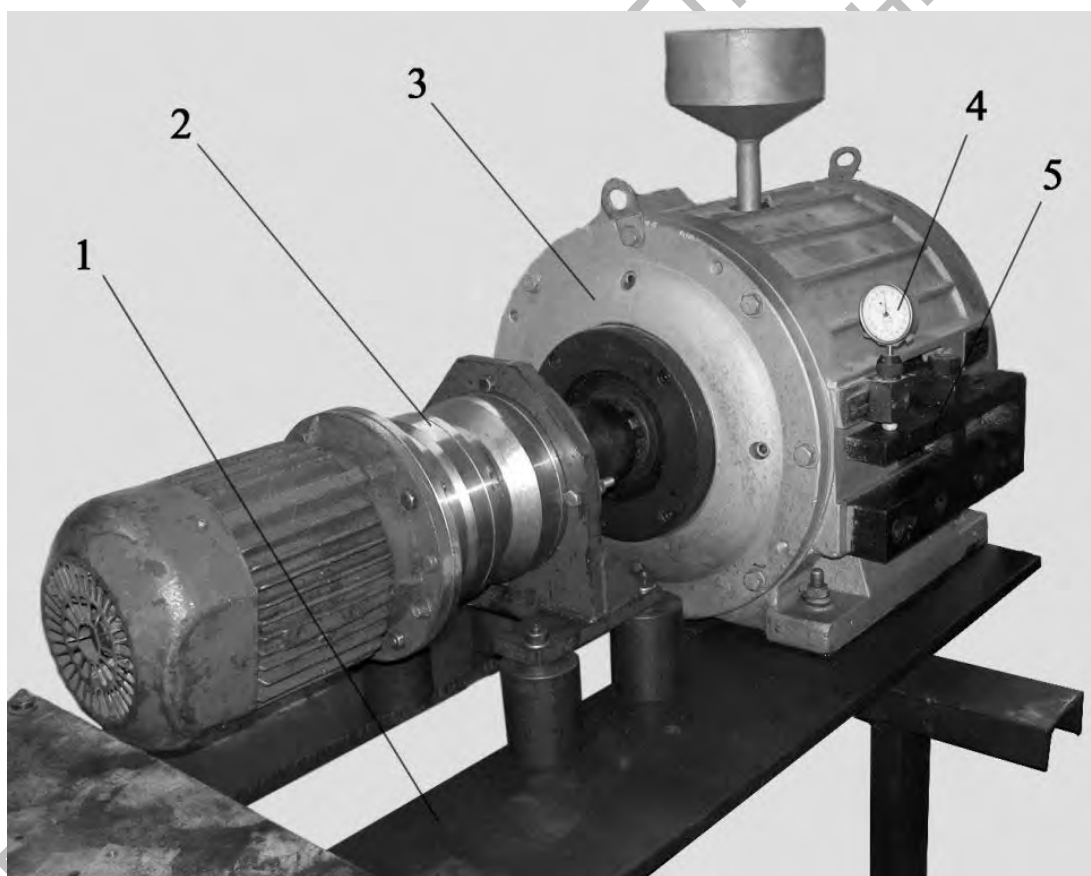


Рис. 9. Общий вид стенда для испытания мотор-редукторов: 1 – основание стенда; 2 – испытуемый прецессионный мотор-редуктор; 3 – порошок тормоз; 4 – индикатор; 5 – скоба



Рис. 10. Общий вид привода ковшового элеватора: 1 – норийная голова; 2 – мотор-редуктор; 3 – рама привода; 4 – разгрузочный патрубок

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каталоги редукторов, электродвигателей, вариаторов торговой компании «ЭДС» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http : //eds-privod.ru/Catalogue/](http://eds-privod.ru/Catalogue/). – Дата доступа : 10.01.2015.
2. Каталог мотор-редукторов промышленно-технического предприятия «Завод приводной техники» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http : //www.reduktor-ptp.ru/motor-reductor.html](http://www.reduktor-ptp.ru/motor-reductor.html). – Дата доступа : 10.01.2015.
3. Каталог соосных мотор-редукторов ООО «Редсервис Техно» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http : //redservice.by/inline\\_gearboxes.html](http://redservice.by/inline_gearboxes.html). – Дата доступа : 10.01.2015.
4. Компьютерное моделирование планетарных прецессионных передач : монография / П. Н. Громыко [и др.] ; под общ. ред. П. Н. Громыко. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2007. – 271 с. : ил.

*Статья сдана в редакцию 12 января 2015 года*

**Трусов Игорь Валерьевич**, старший преподаватель, Белорусско-Российский университет.  
E-mail: [verstand@yandex.ru](mailto:verstand@yandex.ru).

**Igor Valeryevich Trusov**, assistant lecturer, Belarusian-Russian University. E-mail: [verstand@yandex.ru](mailto:verstand@yandex.ru).