

УДК 621.891

**РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ
СМАЗОЧНЫХ КОМПОЗИЦИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СУДОВОЙ ТЕХНИКЕ**

Матвеев Юрий Иванович¹, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации судовых энергетических установок

e-mail: matveeveseu@mail.ru

Чанчиков Василий Александрович², кандидат технических наук, доцент

e-mail: bazelius87@mail.ru

Гужвенко Иван Николаевич², кандидат технических наук, старший преподаватель

e-mail: ivan.3123@yandex.ru

Козлов Александр Алексеевич², аспирант

e-mail: a.a.kozlov1995@mail.ru

Шулимова Марина Александровна², доцент, кандидат экономических наук

e-mail: mshulimova@mail.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

² Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

Аннотация. Приводится описание машин, установок и технологии комплексной оценки триботехнических свойств смазочных композиций с присадками, а также технологические аспекты их изготовления. Описаны конструкции машин и установок, применяющихся для изготовления противоизносных присадок и проверки их противоизносных свойств. Приведены основные критерии качества разработанных присадок, такие как тонкость измельчения ее твердого наполнителя, время приготовления и хранения присадки до смешивания со смазочным маслом.

Ключевые слова: смазочный материал, судовой дизель, противоизносная присадка, диселенид молибдена, жирные кислоты, машина трения.

**DEVELOPMENT OF EQUIPMENT FOR TRIBOTECHNICAL TESTING OF
LUBRICANT COMPOSITIONS USED IN MARINE EQUIPMENT**

Matveev Yuri Ivanovich¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Operation of Marine Power Plants

e-mail: matveeveseu@mail.ru

Chanchikov Vasily Aleksandrovich², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

e-mail: bazelius87@mail.ru

Guzhvenko Ivan Nikolaevich², Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer

e-mail: ivan.3123@yandex.ru

Kozlov Alexander Alekseevich², Doctoral Student

e-mail: a.a.kozlov1995@mail.ru

Shulimova Marina Aleksandrovna², Associate Professor, Candidate of Economic Sciences

e-mail: mshulimova@mail.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Novgorod, Russia

² Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

Abstract. A description of machines, installations and technology for a comprehensive assessment of the tribological properties of lubricant compositions with additives, as well as technological aspects of their production, is provided. The designs of machines and installations used for the manufacture of anti-wear additives and testing their anti-wear properties are described. The main quality criteria for the developed additives are given, such as the fineness of grinding of its solid filler, the time of preparation and storage of the additive before mixing with lubricating oil.

Keywords: lubricant, marine diesel, anti-wear additive, molybdenum diselenide, fatty acids, friction machine.

Противоизносные испытания смазочных материалов (СМ) направлены на повышение надежности современных узлов трения в большом многообразии их конструктивных отличий, условий смазывания и динамических нагрузок. Не являются исключением и важнейшие узлы трения судовых дизелей (СД), такие как цилиндропоршневая группа (ЦПГ) и кривошипно-шатунный механизм (КШМ). Принципиальные отличия в условиях подачи и распределения СМ в данных узлах трения создают предпосылки к совершенно различному моделированию изнашивания поверхностей трения с использованием различных испытательских машин и установок.

Ряд широко известных машин трения (СМТ, СМЦ, МИ и др.) способны создавать условия истирания модельных узлов, имитирующих по размерам, нагрузкам и конструктивным материалам ЦПГ и КШМ СД при постоянных нагрузках, но лишены возможности задавать знакопеременный режим трения (например, возвратно-поступательное движение для ЦПГ). С другой стороны, триботехнические испытания часто затрагивают противозадирную и антифрикционную способность узлов трения и СМ в СД. Противозадирная стойкость узлов трения в испытываемых СМ отражает, как правило, работу узла трения в критических условиях (отсутствие или недостаток смазки, высокие температуры контакта, малая контактная площадь) и требуют от испытательских установок моделирования неконформного контакта.

При этом неконформный контакт зачастую применяется в условиях ускоренного истирания поверхностей трения, не отражающих по конструктивным материалам и размерам реальный узел трения [1]. При этом создается трибологический рейтинг СМ, который позволяет оценить противоизносные, противозадирные и антифрикционные качества СМ.

Объединить все цели и задачи триботехнических испытаний СМ в одной машине трения не представляется возможным. Это становится особенно актуальным в условиях использования противоизносных присадок (ПП) в составе СМ, которые призваны повысить устойчивость смазочной пленки в паре трения в условиях граничного трения и создавать в СМ необходимый запас жирных кислот, необходимых для создания защитных молекулярных цепочек упорядоченного расположения.



Общая характеристика присадок «НАНОТЕКС»

Наименование присадки	Область применения	Состав, масс. %	Объемная концентрация в смазочном масле
НАНОТЕКС-10	Топливная аппаратура (ТНВД) в условиях использования малосернистых топлив	Магнетит – 10; Стабилизирующая олеиновая кислота - 90	0,01...0,05%
НАНОТЕКС-11	ДВС (ЦПГ и КШМ)	Магнетит и кобальтированный магнетит – 10; Стабилизирующая олеиновая кислота – 90	0,5...1,5%
НАНОТЕКС-12	ДВС (ЦПГ и КШМ)	Диселенид молибдена – 10; Стабилизирующая смесь олеиновой и стеариновой кислот – 90	0,5...1,5%

Для ПП важно исследовать как основные функциональные свойства (противоизносные, противозадирные, антифрикционные), так и технологические аспекты их изготовления и хранения. Для исследования функциональных свойств и технологических особенностей создания ПП «НАНОТЕКС» (таблица 1) [2 – 4] была разработана трехстадийная система последовательных испытаний. Основные положения данной системы отражены в таблице 2.

Изначально присадка той или иной формулы или функционального назначения изготавливается с помощью роторно-пульсационной установки РПУ-0,8-55А-2,2 в течение фиксированного времени (рисунок 1, таблица 3) с последующей стабилизацией полученного раствора с использованием ультразвуковой ванны при частоте 43 кГц. Данный период времени для ПП «НАНОТЕКС» с твердым наполнителем (диселенид молибдена, магнетит) и пакетами жирных кислот (олеиновая, стеариновая) составляет 0,5...1,0 ч. Именно это время обеспечивает создание устойчивой суспензии ПП со сроком хранения до 72...96 ч без выпадения твердой составляющей в осадок.

Далее в рамках технологического этапа выработки ПП проверяется ее фракционный состав и степень измельчения твердого наполнителя. Это необходимо для дальнейшего применения смазочных композиций в системах смазки СД, снабженных устройствами грубой и тонкой фильтрации, центробежными очистителями и шламособорниками, где частицы магнетита или диселенида молибдена размером свыше 0,5 мкм могут быть отфильтрованы.



Технологическая схема апробации противоизносных присадок «НАНОТЕКС»

№ п/п	Наименование технологического этапа	Средства апробации противоизносной присадки	Критерий выполнения этапа
1	1. Приготовление раствора присадки 2. Проверка степени измельчения	1. Роторно-пульсационная установка РПУ-0,8-55А-2,2 2. Ультразвуковая ванна 3. Анализатор размеров частиц Horiba 550 LB 4. Микроскоп Quanta Dual Beam	Гомогенизация раствора до однородного уровня (уровень измельчения твердой фазы не более 300 нм)
2	Проверка первичного трибологического рейтинга присадок	Машина трения вращательного действия по схеме «сфера-цилиндр»	Линейный износ сферического неподвижного образца в исследуемой паре трения
3	Проверка триботехнической эффективности присадки	1. Машина трения вращательного действия СМТ-1 2070 по схеме «колодка-втулка» 2. Машина трения возвратно-поступательного движения	Весовой износ неподвижного образца в исследуемой паре трения

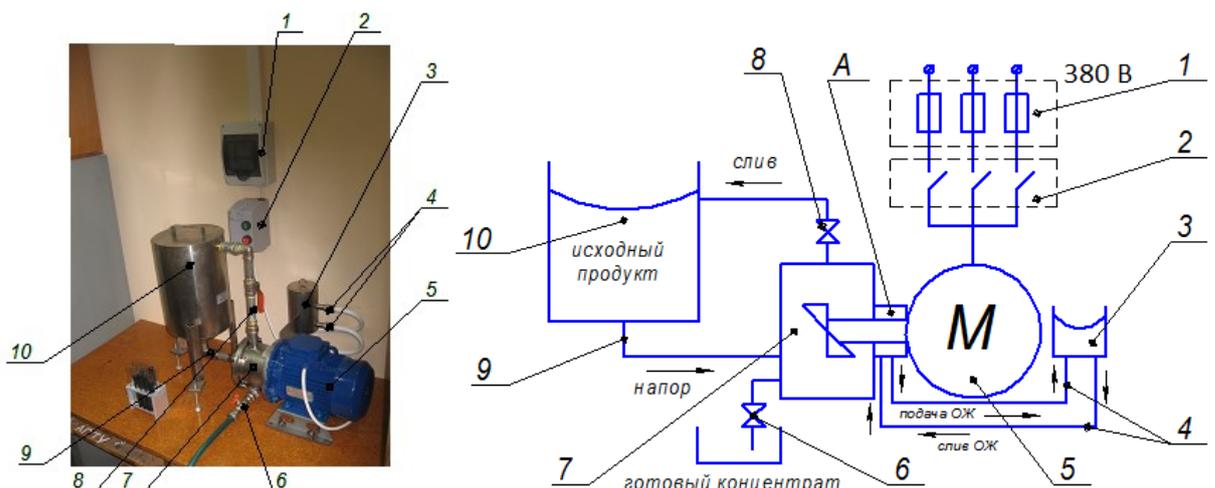


Рисунок 1 – Общий вид и схема роторно-пульсационной установки РПУ-0,8-55А-2,2:

- 1 – защитный предохранитель, 2 – контактор включения, 3 – охлаждающий бак,
4 – охлаждающий контур, 5 – приводной электродвигатель, 6 – расходный вентиль,
7 – смесительная камера, 8 – циркуляционный вентиль, 9 – линия подачи,
10 – бак загрузки, А – торцевое уплотнение смесительной камеры

Данные исследования носят характер микроскопического анализа и выполняются с помощью анализатора размеров частиц и 400-х кратного микроскопа (таблица 2). Оптимальный размер частиц твердого наполнителя ПП по результатам исследования, удовлетворяющий условиям нахождения в системе смазки СД, составляет не более 0,2...0,3 мкм и достигается предварительным измельчением на установке РПУ. Данным диапазоном размеров единичных частиц твердого наполнителя ПП «НАНОТЕКС» достигается отсутствие седиментации ее составляющих в течение 72...96 ч хранения до внесения в СМ. При этом до 75...95% от эффективной массы твердого наполнителя остаются во взвешенном состоянии, и может после добавления ПП в СМ транспортироваться к поверхности трения.

Характеристика установки РПУ-0,8-55А-2,2

Наименование параметра	Единица измерения	Значение
Производительность при номинальной мощности электродвигателя 2,2 кВт	м ³ /ч	0,8
Напор при номинальной производительности, не менее	м	4
Давление на входе в диспергатор: минимальное максимальное	кг/см ²	0,05 2,0
Мощность электродвигателя номинальная	кВт	2,2
Скорость ротора при номинальной мощности	об/мин	2900
Максимальная температура перекачиваемой жидкости	°С	95
Уровень шума при работе	дБ	95
Кинематическая вязкость перекачиваемой среды, не более	мм ² /с	200
Разовый объем заправки смесительного бака, не более	л	10
Габаритные размеры: длина/ширина/высота	мм	780/400/600

ПП, удовлетворяющая всем условиям приготовления, тонкости измельчения и хранения в условиях покоя, в дальнейшем проходит проверку ее первичного трибологического рейтинга в условиях неконформного контакта на машине трения оригинальной конструкции [5 – 6] с основным критерием оценки в виде диаметра пятна износа сферического образца (рисунок 2, таблица 4).

Таблица 4

Основные параметры испытаний (неконформный контакт)

Наименование параметра	Ед. изм.	Значение
Вид контакта	-	неконформный
Вид движения	-	вращательное
Скорость движения подвижного образца	рад/с	24,07
Материал образцов	-	сталь ШХ-15
Диаметры образцов (неподвижный/подвижный)	мм	8 _{-0,062} /52*
Нагрузка на неподвижный образец	Н	147,15±5,9
Путь трения суммарный за цикл испытания	м	61500

Меньший из наблюдаемых диаметров показывает лучший результат трибологического рейтинга ПП. Основными переменными параметрами испытаний являются: концентрация ПП в СМ, условия предварительного хранения ПП до внесения в СМ, базовый СМ.



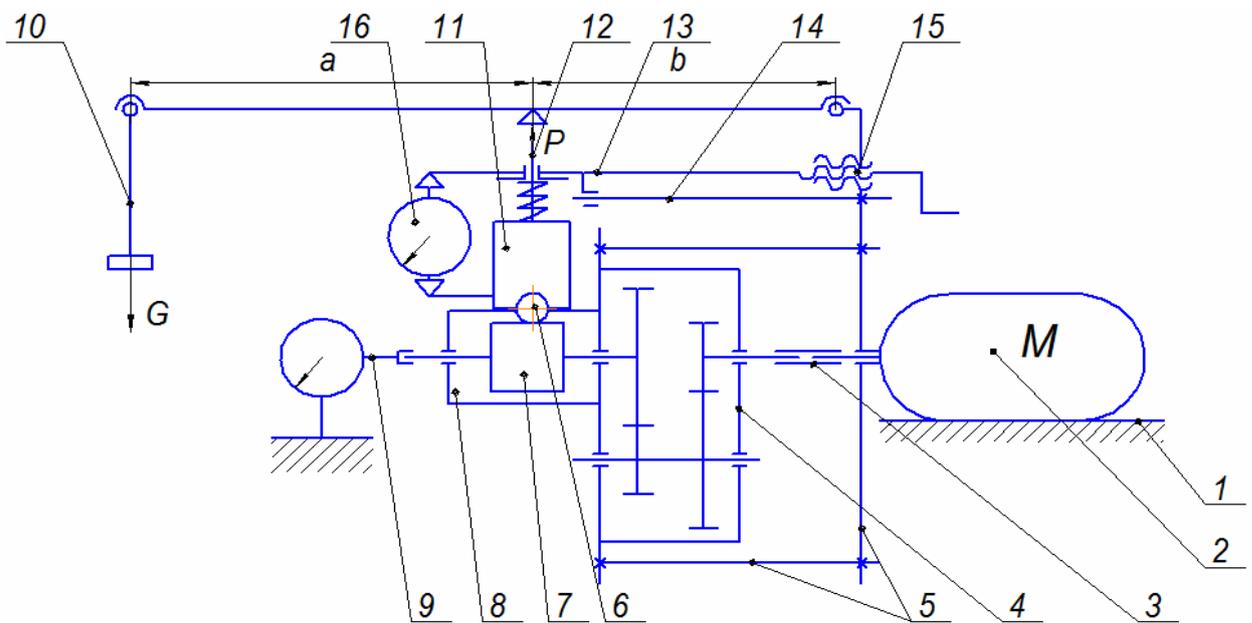


Рисунок 2 – Схема машины трения вращательного типа:

1 – рама, 2 – электродвигатель, 3 – муфта, 4 – редуктор, 5 – корпус, 6 – сферический образец, 7 – цилиндрический образец, 8 – испытательная камера, 9 – счетчик пути трения, 10 – балка нагружения, 11 – обойма образца, 12 – вертикальный шток, 13 – направляющая пластина, 14 – продольный шток, 15 – винтовая передача, 16 – датчик износа

Лучшие по противоизносным свойствам образцы ПП «НАНОТЕКС» направляются на заключительный этап противоизносных испытаний в условиях конформного контакта на машинах трения СМТ-1 (рисунок 3, таблица 5) и возвратно-поступательного движения (рисунок 4, таблица 6). Данные условия испытаний могут имитировать условия истирания пар трения для КШМ и ЦПГ СД. Для данных триботехнических испытаний характерны, в основном, переменные нагрузки и концентрации ПП в СМ.

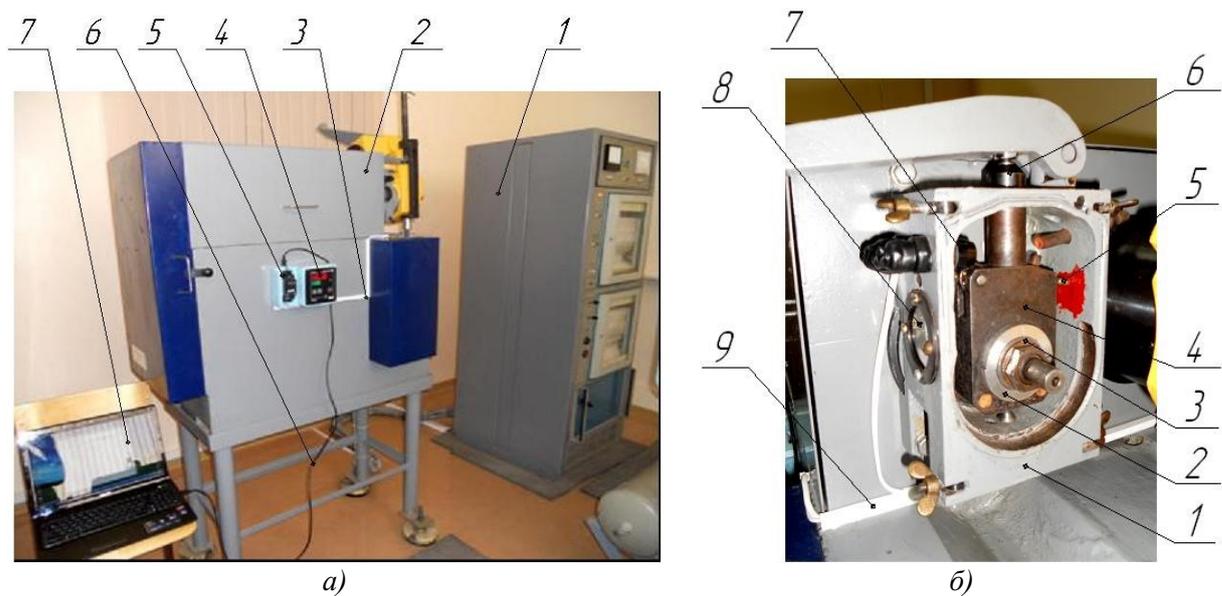


Рисунок 3 – Машина трения 2070 СМТ-1:
а) – общий вид: 1 – блок управления машиной трения; 2 – машина трения;
 3 – коммутационные провода, соединяющие температурный датчик с регистратором;
 4 – регистрирующее устройство; 5 – преобразователь; 6 – коммутационные провода;
 7 – персональный компьютер;
б) – испытательная камера: 1 – корпус; 2 – неподвижный образец; 3 – подвижный образец;
 4 – держатель образцов; 5 – датчик температуры; 6 – узел нагружения; 7 – лампы освещения;
 8 – окошко; 9 – коммутационные провода

Таблица 5

Параметры ресурсного эксперимента на машине трения СМТ-1

Наименование параметра	Ед. изм.	Значение
Тип контакта	-	Конформный (колодка/ролик)
Тип движения	-	Вращательный
Угловая скорость	рад/с	117,75
Диаметр образцов на контакте	мм	35 ^{+0,5}
Диапазон создаваемых контактных давлений	МПа	0,5...2,5
Шаг контактного давления	МПа	0,5
Путь трения	м	55636,88

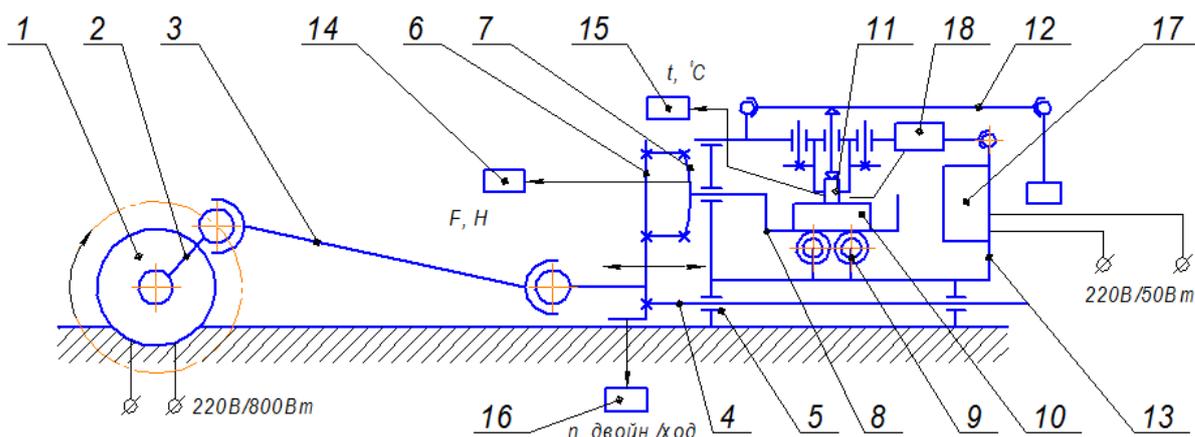


Рисунок 4 – Схема возвратно-поступательной машины трения:

- 1 – электродвигатель, 2 – вал кривошипный, 3 – шатун, 4 – шток направляющий, 5 – опоры скольжения, 6 – соединительная пластина, 7 – тензометрическая балка, 8 – держатель образца, 9 – роликовые опоры, 10 – подвижный образец, 11 – неподвижный образец, 12 – штанга нагружения, 13 – термостатическая камера, 14 – приемник сигнала тензобалки, 15 – приемник сигнала термопары, 16 – приемник сигналов датчика двойных ходов, 17 – нагревательный элемент, 18 – дозирующее устройство.

Таблица 6

Параметры ресурсных испытаний на машине трения возвратно-поступательного типа

Наименование параметра	Ед. изм.	Значение
Тип контакта образцов	-	Конформный
Тип движения образцов	-	Возвратно-поступательный
Скорость движения кривошипа	рад/с	37,8
Ход подвижного образца	мм	36,8
Диаметр контакта образцов*	мм	$360/360^{+0,05}$
Давление на контакте образцов	МПа	0,5...1,2
Путь трения	м	953856
Материал образцов (неподвижный/подвижный)	-	А-ХМ/СЧ-24 ГОСТ 1412-85

где * - в числителе – для неподвижного образца, имитирующего поршневое кольцо, в знаменателе – для подвижного образца, имитирующего цилиндрическую втулку

Таким образом, охарактеризованный комплекс испытаний, выполняемых с использованием серийных и оригинальных по конструкции машин трения, а также технологических установок и приборов, дает возможность всесторонне оценить триботехнические свойства ПП линейки «НАНОТЕКС».

Заключение

Приведены составы и основные условия использования противоизносных присадок в ТНВД, КШМ и ЦПГ дизельных ДВС. Разработаны конструкции машин трения для проведения триботехнических испытаний смазочных композиций с присадками «НАНОТЕКС», а также схема устройства роторно-пульсационной установки РПУ-0,8-55А-2,2. Ресурсная база, разработанная авторским коллективом, позволяет применять технологию оценки триботехнических свойств присадок для формирования их трибологического рейтинга. Реализация разработанной технологии апробации противоизносных присадок «НАНОТЕКС» необходима для оценки триботехнических



свойств присадок в требуемом диапазоне эксплуатационных характеристик судовых дизелей.

Список литературы:

1. ГОСТ Р 51860-2002. Обеспечение износостойкости изделий – оценка паровоизносных свойств смазочных материалов методом «шар-цилиндр». М.: ГОССТАНДАРТ РОССИИ, 2002. – 9 с.

2. Пат. №2276681 Российская Федерация, МПК С10L 1/18 / Противоизносная присадка / А.П. Перекрестов, А.А. Сычева. – №2004132806/04; заявл. 10.11.2004; опубл. 20.05.2006. – Бюл. №14. – 5 с.

3. Пат. №2525404 Российская Федерация, МПК С10М 125/10 / Противоизносная присадка / А.П. Перекрестов, Ю.Н. Дроздов, В.А. Чанчиков, В.Г. Боловин, И.Н. Гужвенко, С.А. Свекольников. – №2012149297/04; заявл. 19.11.2012; опубл. 27.05.2014. – Бюл. №22. – 5 с.

4. Пат. №2570643 Российская Федерация, МПК С10М 169/04, С10М 125/22 / Противоизносная присадка / А.П. Перекрестов, Ю.Н. Дроздов, В.А. Чанчиков, И.Н. Гужвенко, С.А. Свекольников. – №[2014130314/04](#); заявл. 22.07.2014; опубл. 10.12.2015. – Бюл. №34. – 5 с.

5. Пат. №162210 Российская Федерация, МПК G10N 3/56 / Машина трения / И.Н. Гужвенко, В.А. Чанчиков, А.П. Перекрестов, В.В. Репин. – №2015148116/28; заявл. 09.11.2015; опубл. 27.05.2016. – Бюл. №15. – 3 с.

6. Перекрестов, А.П. Разработка машины трения для ускоренных противоизносных сравнительных испытаний смазочных материалов / А.П. Перекрестов, В.А. Чанчиков, И.Н. Гужвенко, С.С. Свекольников, Е.У. Арстаналиев, М.Н. Абишев, Ш.М. Медетов // Вестник Атырауского ИНиГ. – 2016. – №1 (37). – С. 96 – 99.

