



Ключевые слова:
фреттинг-коррозия,
полимерный уплот-
няющий материал,
анаэробное отвер-
ждение, фиксация
резьбовых и вал-
тулочных соеди-
нений

ПРИМЕНЕНИЕ АНАЭРОБНЫХ ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВИБРАЦИОННОГО ИЗНОСА В УЗЛАХ И МЕХАНИЗМАХ ОБОРУДОВАНИЯ

**Александр Н. МОСКВИЧЁВ, Александр А. МОСКВИЧЁВ,
Евгений РАЗОВ**

Рассмотрены различные аспекты фиксации неподвижных сопряжений полимерными уплотняющими материалами. Описаны основные свойства жидких полимеризационноспособных композиций, отверждаемых по анаэробной реакции.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Одной из ключевых задач обеспечения надежности машин является их защита от воздействия вибрации, которая вызывает преждевременный износ и поломку агрегатов. Под действием циклических вибрационных нагрузок и сил трения кристаллическая решетка прижатых поверхностных слоев разрушается. Процесс разрушения представляет собой истирание поверхности без удаления продуктов изнашивания [1].

Оторвавшиеся частицы металла быстро окисляются. Окислы скапливаются в местах контакта, ускоряя износ. Такой вид вибрационного износа называется фреттинг-коррозия (fretting corrosion). Снижение силы трения от вибрации и фреттинг-коррозии вызывает самоотвинчивание и ослабление резьбы, смещение деталей в соединениях с натягом и другие дефекты. По мере их развития, конструкции теряют статическую и динамическую жесткость, нарушается устойчивость гидродинамических режимов работы пар трения – скольжения и качения, усиливается внутренняя и внешняя вибрация машин.

Эффективным методом борьбы с фреттинг-коррозией является фиксация неподвижных сопряже-

ний полимерными уплотняющими материалами, основное назначение которых – исключить возможность ослабления резьбовых соединений при воздействии вибрации. Полимерный материал вводится в сопряжение в жидком виде, а затем полимеризуется в твердый пластик. Молекулы находящегося между поверхностями деталей полимера (рис. 1) характеризуются двумя видами связей: прочностью соединения с поверхностью деталей, называемой адгезией, и внутренней прочностью молекул самого полимера, называемой когезией. Адгезия – поверхностное явление, заключающееся в возникновении физического и химического взаимодействия между деталью и полимером в их конденсированном состоянии при молекулярном контакте, приводящее к образованию нового адгезионного соединения. Когезия характеризует механическую прочность полимера, обусловленную сцеплением частиц, находящихся в одном агрегатном состоянии.

Молекулярная составляющая силы трения пропорциональна площади фактического контакта и интенсивности адгезии полимера к конструкционному материалу. Ее величина зависит от физико-химической природы полимера и микрошеро-

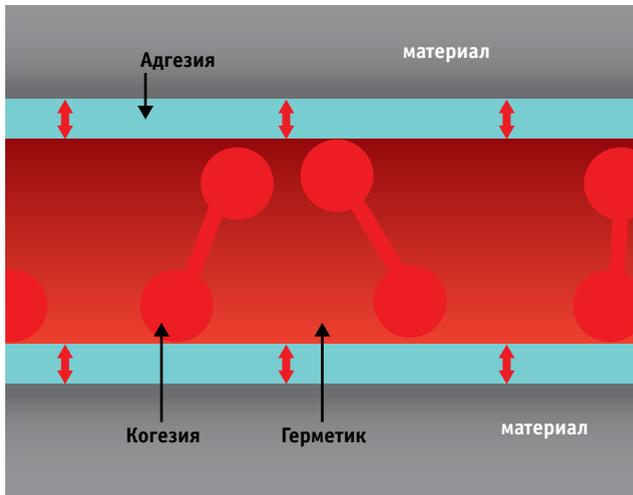


Рис. 1. Схема молекулярных связей в полимере

ховатости поверхности деталей, которая определяет фактическую площадь их соприкосновения (рис. 2). Молекулярная составляющая направлена перпендикулярно поверхности. Воздействие вибраций вызывает деформацию сдвига полимера вдоль зоны контакта деталей, на что требуется дополнительная затрата энергии вибрации. Это явление широко используется в современном машиностроении для виброзащиты машин [2–3]. При создании маломощных агрегатов вместо сварки, пайки и шпоночных посадок применяют полимерные клеи, герметики и жидкие прокладки.

Механическая составляющая силы зависит не только от усилия прижатия, а определяется макронеровностями поверхности, то есть ее отклонением от идеальных форм.

Макронеровности поверхностей возникают из-за недостаточной точности станков, на которых происходит обработка деталей, погрешностей установки заготовок, силовых и температурных деформаций системы станок – заготовка – инструмент, износа

инструмента. На создание микро- и макронеровностей не требуется дополнительных затрат, так как они присутствуют на любой реальной поверхности.

На текущий момент разработаны антифрикционные материалы для борьбы с негативными проявлениями вибрации в машинах. Это жидкие полимеризационноспособные композиции, которые вводятся в неподвижные сопряжения деталей машин и механизмов с целью их фрикционного стопорения и герметизации.

Особый интерес представляют продукты, отверждаемые по анаэробной реакции. При постоянном воздействии кислорода такие продукты остаются в жидком состоянии и благодаря капиллярному эффекту проникают в очень маленькие зазоры, поры, трещины, «вклиниваются» в шероховатые поверхности деталей, заполняя полностью пространство между сопрягаемыми деталями. При попадании клея в зазор прекращается поступление кислорода и начинает работать иницирующая система – формируется полимер. Отвержденная сшитая полимерная структура уплотняет сопрягаемые поверхности неподвижных деталей, исключая их взаимное перемещение, и одновременно поглощает энергию вибрации, препятствуя ее распространению и негативному воздействию.

КЛАССИФИКАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ ПО СФЕРЕ ПРИМЕНЕНИЯ [4]

Анаэробные антифрикционные и герметизирующие композиции имеют несколько основных областей применения:

- фиксация резьбовых соединений;
- клеевая фиксация и герметизация вал-втулочных соединений;
- герметизация резьбовых соединений.

Далее мы подробнее рассмотрим каждую из них.

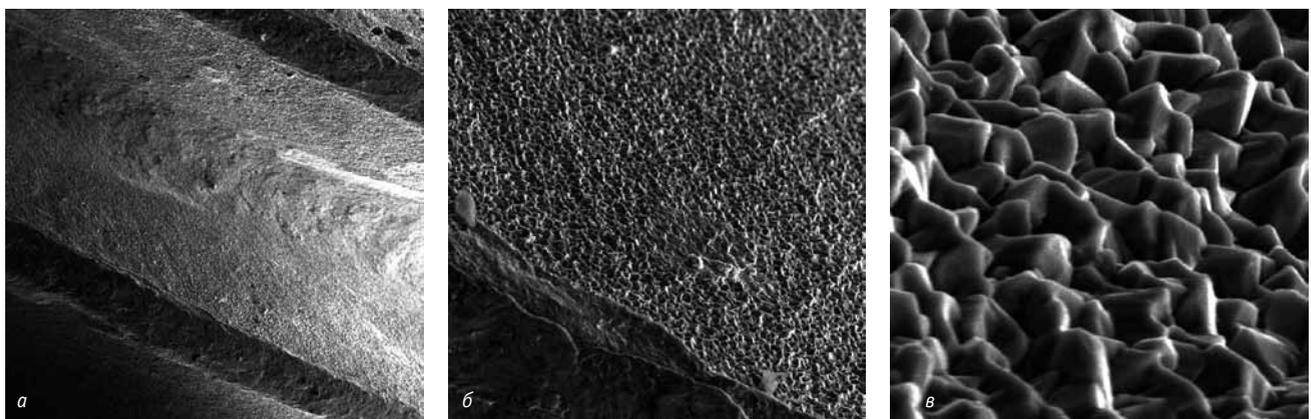


Рис. 2. Снимки поверхности резьбы на болте M10 из Ст4 при увеличении: а – ×200; б – ×1000; в – ×8000

Таблица 1. Стойкость анаэробных клеевых композиций к химическим веществам / растворителям*

Агрессивные жидкости	Темп.	% от первоначальной прочности		
	°С	100 ч	500 ч	1 000 ч
Моторное масло	125	100	100	100
Неэтилированный бензин	22	100	100	100
Тормозная жидкость	22	100	100	95
Вода / гликоль, 50 : 50	87	100	90	90
Этанол	22	100	100	95
Ацетон	22	90	80	65

* Выдержка при указанных температурах и испытание при 22 °С.

Фиксация резьбовых соединений

Фиксаторы резьбы – это анаэробные клеевые и герметизирующие материалы, которые полностью заполняют пространство между поверхностями резьбы.

Фиксаторы резьбы являются успешной заменой традиционным способам фиксации резьбовых соединений (пружинных шайб (гроверов), контргаяк, шплинтов и т. д.).

Анаэробные клеевые композиции надежно фиксируют резьбу при сборке, снижают воздействие вибрации на соединение, защищают от коррозии, позволяют при необходимости произвести демонтаж.

В условиях отсутствия воздуха и при контакте с металлом инициируется процесс полимеризации жидкой композиции и формируется твердый полимер. Это не только предотвращает любое движение между резьбой, а также герметизирует соединение. Превосходная химическая стойкость таких материалов дает возможность их использования в большинстве агрессивных сред, газов и жидкостей, используемых в промышленности. Типовые данные по устойчивости полимеров в различных средах представлены в табл. 1.

Некоторые анаэробные фиксаторы в жидком состоянии могут снижать коэффициент трения в резьбе, то есть играют роль смазки, облегчая процесс сборки изделия и повышая его качество.

Для выбора конкретной марки резьбового фиксатора необходимо знать следующие параметры:

- температуру эксплуатации;
- диаметр резьбы;
- необходимую степень фиксации;
- материал резьбовых элементов;
- требования к химической стойкости.

На рис. 3 приведены данные испытаний резьбовых соединений с различными видами фиксации.

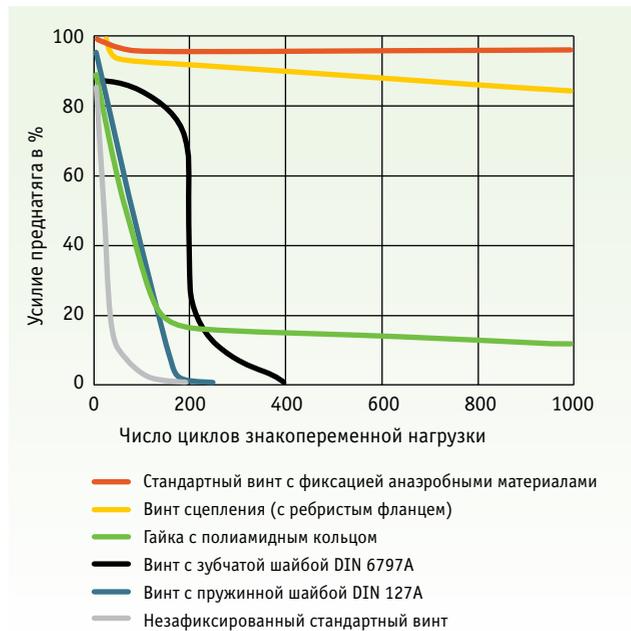


Рис. 3. Усилие затяжки резьбового соединения в зависимости от числа циклов знакопеременной нагрузки при различных видах стопорения [5]

Клеевая фиксация и герметизация вал-втулочных соединений

Установка подшипников в корпуса или на валы, фиксация роторов, шестерен, звездочек и шкивов на валах, установка цилиндрических втулок и гильз в корпусах, фиксация маслозаливных трубок в литых корпусах – все это и многое другое является примерами использования вал-втулочных фиксаторов (рис. 4).

Вал-втулочные фиксаторы можно применять как отдельно, так и совместно с механическими соединениями. Наиболее эффективным является комбинирование посадок с натягом, а также горячей посадки и клеевых соединений.

Известно, что в самом лучшем случае в цилиндрических посадках с натягом в непосредственном контакте находится до 30% сопрягаемых поверхностей, применение анаэробных фиксаторов позволяет использовать 100% сопрягаемых поверхностей. Также применение анаэробных фиксаторов позволяет использовать меньшие натяги, тем самым уменьшает требуемое усилие прессования. Некоторое снижение требований к качеству поверхности может значительно снизить себестоимость изготавливаемых деталей (валов, колес, втулок и т. д.).

Герметизация резьбовых соединений

Анаэробные герметизирующие композиции можно применять в трубных соединениях (труба-муфта, фитинги) со всеми видами стандартной или нестандартной резьбы – метрической, трубной, конической.

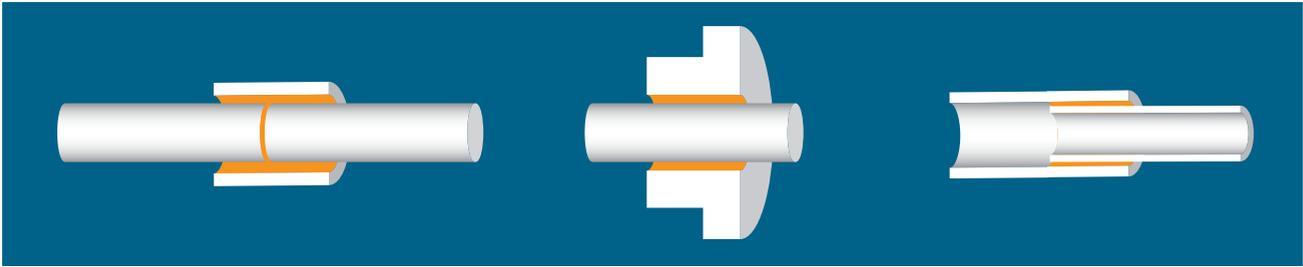


Рис. 4. Схемы использования анаэробных материалов при фиксации и герметизации вал-втулочных соединений

Течь в соединениях может иметь место даже при точной механической обработке и монтаже резьбовых соединений для труб. Она может также возникать из-за шероховатости рабочей поверхности резьбы. Для предотвращения негерметичности необходимо, чтобы герметик имел достаточную смачивающую способность для лучшего покрытия резьбовой поверхности. Многие уплотняющие материалы не полностью заполняют резьбовой зазор. При этом герметизация осуществляется только за счет большого усилия прижима сопрягаемых рабочих сторон и вдавливания продукта в микронеровности резьбовой поверхности. Сухоуплотняемые соединения работают в условиях постоянного контактного напряжения. Однако, в динамических соединениях этого зачастую достичь невозможно по следующим основным причинам:

- трубные соединения часто нагревают, чтобы создать специальные изгибы, колена, или для подгонки труб, снижая при этом контактное напряжение;
- вибрация может стать причиной перемещения и износа рабочих сторон резьбы в точке ослабления; особенно этому подвержены такие гибкие соединения, как гидравлические шланги;
- относительное взаимоперемещение соединенных деталей может вытеснять ленточные герметики из соединения;
- анаэробные герметики полностью заполняют резьбовые зазоры, создавая при этом полную герметизацию соединения;
- эллипсность штампованных заглушек для технологических отверстий.

При сборке цилиндрических или конических резьбовых соединений герметик должен наноситься как на наружную, так и на внутреннюю резьбу. Анаэробные продукты заполняют резьбовые зазоры, делая усилие затяжки соединений менее критичным. Герметики также обеспечивают простой демонтаж при последующем ремонте по причине отсутствия коррозии и задиоров в резьбе. В такое соединение не проникает влага или корродирующие химические вещества. Хотя герметики обладают также стопорящими свойствами, все они позволяют осуществлять демонтаж резьбового соединения с помощью обычных инструментов.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ [6]

Ранее были описаны параметры, которые необходимо учитывать при выборе анаэробной композиции. Теперь рассмотрим их более подробно.

Основное разделение анаэробных герметизирующих материалов идет по степени фиксации соединений после полной полимеризации. Можно выделить три группы материалов:

1. анаэробные герметики высокой прочности, рекомендуемые для фиксации неразборных или высокоответственных редко разбираемых резьбовых соединений. Они обеспечивают момент отвинчивания на резьбовых парах болт – гайка М10 из конструкционной стали (ст. 10) без покрытия при 20–25 °С не менее 15 Н·м. Без специального инструмента разобрать такое соединение без повреждения резьбы невозможно;
2. анаэробные герметики средней прочности соединения, рекомендуемые для фиксации малоразборных соединений. Они обеспечивают момент отвинчивания на резьбовых парах болт – гайка М10 из конструкционной стали (ст. 10) без покрытия при 20–25 °С в диапазоне 10–15 Н·м. Такие соединения могут разбираться с помощью специального инструмента или при использовании подогрева с помощью стандартного инструмента;
3. анаэробные герметики низкой прочности соединения, рекомендуемые для фиксации всех соединений, подверженных вибрации, с целью исключения самоотвинчивания. Они обеспечивают момент отвинчивания на резьбовых парах болт – гайка М10 из конструкционной стали (ст. 10) без покрытия при 20–25 °С менее 10 Н·м. Такие соединения могут разбираться с помощью типового инструмента.

Рассмотрим влияние внешних факторов на основные параметры всех анаэробных материалов в исходном (жидком) состоянии и конечном (твердом, полностью полимеризованном) состоянии на примере анаэробной герметизирующей композиции средней степени фиксации:

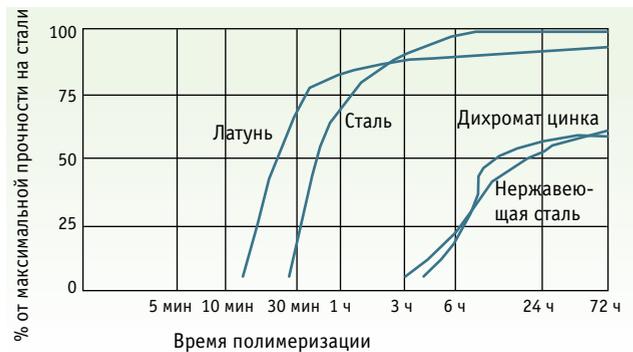


Рис. 5. Зависимость скорости полимеризации от материала поверхности

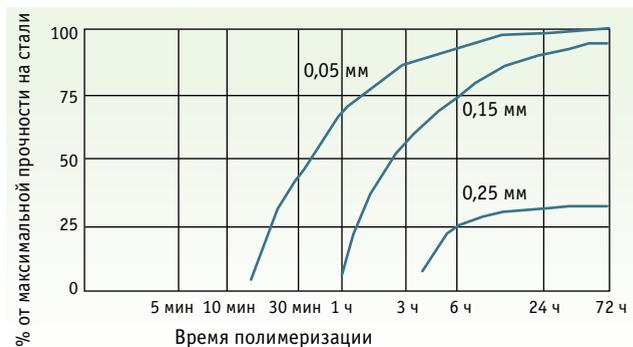


Рис. 6. Влияние величины клевого зазора на скорость полимеризации

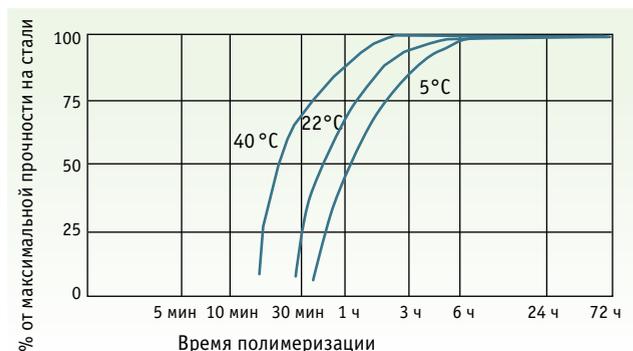


Рис. 7. Влияние температуры на скорость полимеризации

Зависимость скорости полимеризации от материала поверхности

Скорость полимеризации будет зависеть от материала используемой поверхности. На рис. 5 показана зависимость момента срыва соединения гайки и болта М10, изготовленных из различных материалов, от времени полимеризации. Испытания проводились по стандарту ISO 10964.

Влияние величины клевого зазора на скорость полимеризации

Скорость полимеризации продукта зависит от величины зазора в сопрягаемых поверхностях. В резьбовых

Таблица 2. Типичные характеристики полимеризованного продукта*

Адгезионные свойства	Среднее значение
Момент срыва, Н·м	11
Момент отворачивания после срыва, Н·м	6
Момент срыва (для соединений с преднапряжением до 5 Н·м), Н·м	17
Момент отворачивания после срыва (для соединений с преднапряжением до 5 Н·м), Н·м	17

* По ISO 10964. После 24 ч при 22 °C на стальных гайках и болтах М10.

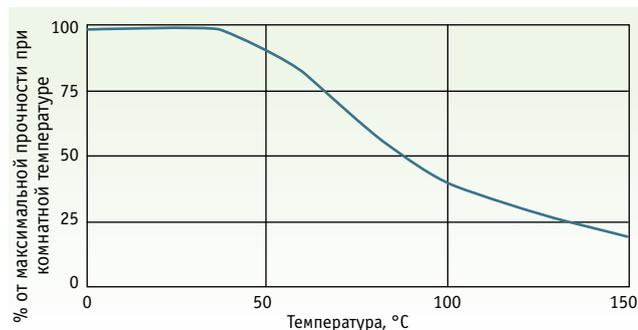


Рис. 8. Температурная устойчивость сформированного полимера

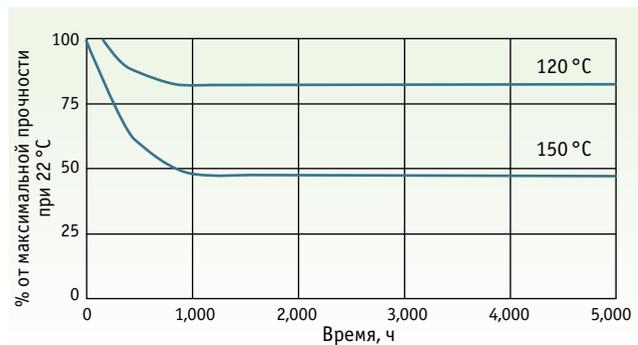


Рис. 9. Зависимость параметров прочности полимера при различных температурах эксплуатации. Выдержка при указанных температурах и испытание при 22 °C

соединениях величины зазоров зависят от типов резьбы, ее размеров и качества. На рис. 6 приведена зависимость времени набора прочности продукта при склеивании вала и втулки с различными зазорами. Испытания проводились по стандарту ISO 10123.

Влияние температуры на скорость полимеризации

Время полимеризации будет зависеть от температуры окружающей среды. На рис. 7 показано время набора прочности полимера при фиксации гай-

ки и болта М10 при различных температурах. Испытания проводились согласно стандарту ISO 10964.

Типичные характеристики полимеризованного продукта приведены в табл. 2.

На рис. 8 и 9 приведены параметры сопротивляемости полимера воздействию внешней среды. Полимеризация проводилась в течение 71 ч при 22 °С. Момент срыва определяли по ISO 10964 для соединения с преднатягом до 5 Н·м. Использовались стальные гайка и болт М10, покрытые фосфатом цинка.

Набору указанных характеристик присутствует у всех существующих на рынке анаэробных герметиков, что позволяет не только решить существующие технологические задачи, но и заложить использование современных виброзащитных материалов в конструкцию вновь разрабатываемых станков, машин и механизмов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИПФ РАН на проведение фундаментальных научных исследований на 2013–2020 годы по теме № 0035-2014-0401 (№ госрегистрации 01201458049), КПНИ «Разработка научных основ инновационных технологий в станкостроении» 2017–2021 годы.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 24346-80. Вибрация. Термины и определения. — М.: Изд-во стандартов, 1984. 31 с.
- Левитский Н. И.** Теория механизмов и машин. — М.: Наука, 1979. 576 с.
- Теория механизмов и машин: Учебник / **К. В. Фролов, С. А. Попов, А. К. Мусатов** и др.; под ред. К.В. Фролова. — М.: Высшая школа, 1987. 496 с.
- Москвичёв А. Н.** Герметизация пор в литых заготовках и изделиях порошковой металлургии. ч. 1. Клеи. Герметики. Технологии. 2005. № 1, с. 11–15, ч. 2. Клеи. Герметики. Технологии. 2005. № 2, с. 24–33.
- www.loctite.ru
- Лист технической информации Полилок — 518, <http://polyloc.ru>.

МОСКВИЧЁВ Александр Николаевич —

кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе Института проблем машиностроения РАН (филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН»)

МОСКВИЧЁВ Александр Александрович —

кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института проблем машиностроения РАН

РАЗОВ Евгений Николаевич —

старший научный сотрудник Института проблем машиностроения РАН