

УДК 621.892

В. Н. Леонтьев, канд. хим. наук, зав. кафедрой биотехнологии;  
Р. М. Маркевич, канд. хим. наук, доц.;  
Е. В. Феськова, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.  
Т. С. Хильченко, инж. (БГТУ, г. Минск);  
В. И. Жорник, д-р техн. наук, зав. лаб.;  
А. В. Ивахник, канд. техн. наук, вед. научн. сотр.;  
А. В. Запольский, соискатель  
(Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск)

## **ИСПЫТАНИЕ ОБРАЗЦОВ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА БИОРАЗЛАГАЕМОСТЬ**

Разнообразные смазочные материалы на основе углеводородных масел минерального происхождения нашли повсеместное применение в работе машин и механизмов, обеспечивая функционирование промышленных предприятий и транспорта. Однако широта распространения этих смазочных материалов оборачивается проблемами их не-санкционированного попадания в почву и водоемы, рационального сбора и утилизации отработавшего смазочного материала, неполное решение этих проблем наносит серьезный ущерб окружающей среде. Данная ситуация требует постоянного расширения работ по созданию быстро биоразлагаемых смазочных материалов, синтезированных, как правило, на базе возобновляемых источников сырья, в том числе, на растительных маслах. Подобные материалы применяются в экологически чувствительных сферах и отличаются высокими техническими свойствами в сочетании с быстрым биологическим разложением. В таких областях применения, как лесное и сельское хозяйство, рельсовые транспортные системы, гидротехнические установки постоянно повышаются требования к биологически разлагаемым смазочным материалам.

В Объединенном институте машиностроения НАН Беларуси проводятся работы по созданию биоразлагаемых смазочных материалов для замены широко распространенных пластичных смазок и масел на минеральной основе, которые оказывают большое негативное воздействие на окружающую среду. К таким материалам относятся, в частности, общетехнические смазки (например, Солидол, Литол-24) и масло для пильный цепей лесозаготовительной техники.

Общетехническая биоразлагаемая пластичная смазка OIMOL CL BIO (ТУ ВУ 190410065.021-2020) получена загущением окистеаратами кальция и лития смеси технического рапсового масла и высокоочищенного гидрогенизацией синтетического минерального

масла VHVI-4 и содержит биоразлагаемые адгезионные присадки. Биоразлагаемое масло для цепей бензопил FAVORIT ЭКО CS BIO (ТУ ВУ 190410065.018-2019) получено на основе смеси технического рапсового масла и высокоочищенного гидрогенизацией синтетического минерального масла VHVI-4, а также содержит биоразлагаемые адгезионные и депрессорные присадки.

Целью настоящей работы являлось испытание на биоразлагаемость образцов масла для пильных цепей и антифрикционной пластичной смазки. Использованный метод оценки биоразлагаемости данных смазочных материалов основан на изучении динамики превращений жирных кислот и определении степени их деструкции в течение 28 суток. В качестве положительного контроля использовано рапсовое масло, испытательная система представляла собой иловую смесь очистных сооружений молочного производства.

Иловую смесь концентрировали отстаиванием в течение 40 мин, трижды промыли водопроводной водой, добавляя к иловой смеси воду в соотношении 1:1, каждый раз отделяя промывную воду после отстаивания в течение 40 мин декантацией. В конические колбы объемом 250 дм<sup>3</sup> вносили по 30 дм<sup>3</sup> промытой иловой смеси, по 120 дм<sup>3</sup> минеральной смеси и испытуемый образец. Выделено 4 экспериментальные группы по 3 конические колбы в каждой (таблица 1). Инкубирование образцов проводилось в шейкер-инкубаторах при следующих параметрах: температура 25°C; рабочая частота шейкер-инкубатора 160 об<sup>-1</sup>; исходное значение рН – 7,0; продолжительность 28 сут.

**Таблица – Количество тестируемого вещества и положительного контроля в образцах для инкубирования**

| Группа                       | Количество источника углерода            |
|------------------------------|--|
| I (рапсовое масло)           | 100 мкл рапсового масла                  |
| II (масло для пильных цепей) | 100 мкл масла для пильных цепей          |
| III (смазка)                 | 110 мг антифрикционной пластичной смазки |
| IV (контроль)                | –  |

Из каждой группы образцов через 7, 21 и 28 сут инкубирования отбирали по одной колбе с образцами для анализа. В отобранных образцах устанавливали значение рН иловой смеси, дозу ила, отбирали пробы для подготовки и проведения ГЖХ анализа. Иловую суспензию из каждой колбы центрифугировали при 5000 об/мин в течение 30 мин, декантацией разделяли надыловую жидкость и осадок. Осадок использовали для определения дозы ила, из надыловой жидкости гексаном трижды экстрагировали жировую фракцию. Полученный экс-

тракт упаривали, жирные кислоты переводили в их метиловые эфиры для ГЖХ-анализа.

Пробы анализируемых образцов помещали в стеклянные ампулы, приливали 1,0 см<sup>3</sup> раствора 2%-ной серной кислоты в метаноле с внутренним стандартом – маргариновой кислотой (C17:0; 1,35 мг/см<sup>3</sup>), запаивали на газовой горелке. Гидролиз триацилглицеридов с одновременным метилированием образующихся жирных кислот проводили при температуре (80 ± 1)°С в течение 4 ч. Затем ампулы охлаждали до комнатной температуры, вскрывали и экстрагировали метиловые эфиры жирных кислот (МЭЖК) гексаном (0,5 см<sup>3</sup>).

МЭЖК разделяли методом газожидкостной хроматографии с использованием газового хроматографа Agilent 7820A GC (Agilent Technologies, США), оснащенного пламенно-ионизационным детектором и капиллярной колонкой HP-Innowax 0,25 мм×30 м×0,25 мкм (полиэтиленгликоль). Анализ проводили при скорости потока гелия через колонку 1,36 мл/мин; температуре инжектора – 250°С, детектора – 275°С, температуре колонки – 150°С (1 мин), затем температура колонки повышалась со скоростью 2,9 С/мин до 250°С и выдерживалась 3 мин. Объем анализируемой пробы – 1 мкл.

Идентификацию метиловых эфиров жирных кислот проводили по времени удерживания при разделении стандартных смесей этих веществ (AccuStandart, США) и оценивали содержание жирных кислот.

Степень биоразлагаемости рапсового масла и испытуемых образцов (масла для пильных цепей и антифрикционной пластичной смазки) оценивали по средней степени деструкции кислот с длиной углеродной цепи 16 (пальмитиновая, пальмитолеиновая) и 18 (стеариновая, олеиновая, линоленовая), преобладающих в образцах.

Начиная с 7 сут инкубирования для всех опытных образцов отмечено изменение соотношения жирных кислот: уменьшение доли кислот с числом углеродных атомов 16, 18 и возрастание количества кислот с меньшей длиной углеродной цепи. К 21 сут инкубирования наблюдалось снижение рН с 7,0 до 6,0–6,5 вследствие накопления продуктов окисления и уменьшение дозы активного ила вследствие недостатка субстрата, наиболее существенное в контрольном образце. В пробах, анализ которых проводился на 28 сут, степень деструкции кислот с длиной цепи 16 и 18 атомов углерода составляла от 84 до 100%.

На основании средней степени деструкции в опытных образцах кислот с длиной цепи 16 и 18 атомов углерода сделано заключение: при степени деструкции рапсового масла 100% биоразлагаемость масла для пильных цепей составляет 93%, антифрикционной пластичной смазки – 89%.