

ния технологического режима функционирования объекта, не допускающая возникновения изложенных выше причин создания нештатных ситуаций в работе БРУ непрямого действия.

**Заключение.** Анализ функциональных характеристик и технологических особенностей брагоректификационной установки косвенного действия в составе технологического комплекса спиртового завода показал необходимость прогнозирования возникновения нештатных ситуаций работы БРУ, связанных с провалом колонны. Предложена структура интеллектуальной системы предотвращения возникновения нештатных ситуаций на производстве, задачами которой является прогнозирование нежелательных производственных ситуаций и мгновенное предупреждение за счет соответствующего изменения заданных технологических параметров регламента.

Внедрение заявленной интеллектуальной системы позволит предвидеть возникновение нештатных предаварийных ситуаций в брагоректификации, избежать нежелательных последствий простоя оборудования и установки в целом, изменения качественного состава основного и вспомогательных продуктов, перерасхода тепло- и энергоносителей установки данного типа.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Жолнер, І. Основні напрямки енерго- та ресурсозбереження в спиртовому виробництві / І. Жолнер, В. Сосницький, І. Гулий, А. Українець, П. Шиян // Харчова і переробна промисловість. – 2003. – № 7. – С. 4–6.

2. Гриценко, Н.Г. Сучасні методи керування брагоректифікаційними установками / Н.Г. Гриценко, А.П. Ладанюк, Н.М. Луцька, Я.В. Смітюх, Р.Г. Кириленко. – К.: НУБіП, 2016 р. – № 3(29). – С. 68–78.
3. Мандельштейн, М.Л. Автоматические системы управления технологическим процессом брагоректификации / М.Л. Мандельштейн. – Москва : Пищевая промышленность, 1975. – 240 с.
4. Стабников, В.Н. Ректификация в пищевой промышленности. Теория процесса, машины, интенсификация / В.Н. Стабников, А.П. Николаев, М.Л. Мандельштейн. – Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 232 с.
5. Ладанюк, А.П. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів: монографія / А.П. Ладанюк, Н.А. Заєць, Л.О. Власенко – Киев : Видавництво Ліра-К, 2016. – 312 с.
6. Лисенко, В.П. Системи штучного інтелекту: нечітка логіка, нейронні мережі, нечіткі нейронні мережі, генетичний алгоритм / В.П. Лисенко, В.М. Решетюк, В.М. Штепа, Н.А. Заєць [та ін.] – Киев : НУБіП України, 2014. – 336 с.
7. Системи інтелектуального управління опаленням об'єктів з обробкою даних від модулів датчиків реєстрації температури / П.Г. Охріменко, Н.А. Заєць, С.А. Шворов, В.М. Штепа // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. – Харків : Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2014. – Вип. 6 (122). – С. 63–67.

Матеріал поступил в редакцію 28.11.2017

#### GRICENKO N.G., ZAIETS N.A., SMITYUKH I.V. Intellectual system for predicting the nonpermanent situations on the alcoholic factory

Analyzed the functional characteristics and technological features of the indirect correction bregorektification station in the composition of the technological complex of the distillery. The reasons for the occurrence of abnormal situations of the operation of the bregorektification unit connected with the failure of the columns were consider. A block diagram of the intellectual system for preventing the occurrence of contingencies in the expert system of decision support is suggest. The system's tasks are to forecast undesirable production situations and instant warning due to a corresponding change in the specified technological parameters of the regulation.

The introduction of the declared intellectual system will allow anticipating occurrence of non-standard pre-emergency situations in the bragorektification, to avoid undesirable consequences of equipment downtime and installation as a whole, changes in the qualitative composition of the main and auxiliary products, over-expenditure of heat and energy carriers.

УДК 621.185.532

**Блохин А.В., Сурус А.И., Лось А.М., Ярмолик С.В.**

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТАЛОСТИ ВТОРИЧНОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЦИКЛИЧЕСКИ НАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

**Введение.** Сегодня широкий спектр деталей машин, работающих в условиях циклического нагружения (детали шатунно-поршневой группы двигателей внутреннего сгорания и компрессоров, радиаторы, теплообменники, корпуса навесного оборудования двигателей и редукторов, рычаги подвесок, кронштейны и т. п.), изготавливается из алюминиевых сплавов. Их использование в транспортном машиностроении имеет устойчивую тенденцию к росту. Так, по данным [1], если в 1990 году на один автомобиль уходило в среднем 50 кг этого материала, то к 2005 году эта цифра выросла до 132 кг, а в 2010 г. эта цифра достигла 145 кг [2]. Сегодня средняя масса деталей из алюминиевых сплавов выросла до 152 кг [3], а к 2025 г прогнозируется рост до 250 кг. Исследования, проведенные в этой

области компанией Lucintel, прогнозируют рост потребления алюминия в мировой автомобилестроительной промышленности со средней скоростью 7,4% в год в ближайшие пять лет [4]. Такая тенденция объясняется стремлением производителей автотранспорта снизить массу изделия и повысить топливную экономию, т. к. алюминиевые сплавы характеризуются высокими показателями удельной прочности, повышенной коррозионной стойкостью, а также способностью к поглощению энергии колебаний.

В настоящее время, несмотря на наблюдающийся рост производства и потребления первичного алюминия (в 2000 г. общемировое производство составило около 25 млн т, в 2010 г. – около 42 млн т, в 2016 – более 58 млн т [5]), значительная часть деталей, производится

**Блохин Алексей Владимирович**, доцент кафедры материаловедения и проектирования технических систем Белорусского государственного технологического университета.

**Сурус Анатолий Иванович**, доцент кафедры материаловедения и проектирования технических систем Белорусского государственного технологического университета.

**Лось Александр Михайлович**, ассистент кафедры материаловедения и проектирования технических систем Белорусского государственного технологического университета.

**Ярмолик Сергей Васильевич**, ассистент кафедры механики и конструирования Белорусского государственного технологического университета.

Беларусь, 220050, г. Минск, ул. Свердлова, 13а.

Машиностроение

из сплавов, содержащих вторичное сырье. Это объясняется высокой стоимостью первичного алюминия. В связи с этим решение проблемы обеспечения возрастающей потребности в алюминии и его сплавах невозможно без рециркуляции алюминийсодержащих материалов. Это процесс создания замкнутого цикла использования материалов, который способен неоднократно повторяться.

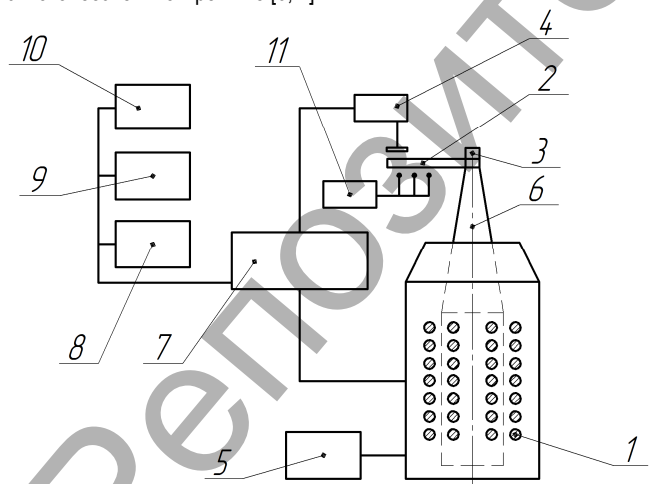
Для Республики Беларусь сбор алюминиевого скрапа и эффективная его переработка является актуальной и стратегически важной задачей, т. к. ресурсами, позволяющими получать первичный алюминий, она не обладает. Повышение конкурентоспособности изделий в первую очередь автомобильной промышленности невозможно представить без наращивания объемов использования сплавов из цветных металлов, в том числе и алюминиевых сплавов. Переработка алюминиевого лома и отходов позволяет частично заменить импорт дорогостоящих первичных алюминиевых сплавов.

Известно, что основной проблемой рециклинга является более низкое качество сплавов по сравнению с полученными из первичного алюминия. Объясняется это тем, что поступающий на переработку металл в значительной степени загрязнен посторонними материалами – пластиком, маслами, деталями из других конструктивных материалов. В связи с этим вторичные сплавы алюминия содержат большое количество интерметаллидных фаз, неметаллических включений, растворенных газов, отличаются гетерогенностью структуры. По этой причине механические и особенно их усталостные характеристики значительно уступают свойствам первичных алюминиевых сплавов, что существенно ограничивает возможности использования вторичных сплавов для изготовления деталей машин, работающих в условиях циклического нагружения, снижает надежность и конкурентоспособность выпускаемых изделий.

Расширение сферы использования вторичных литейных алюминиевых сплавов требует существенного повышения их усталостных характеристик.

В данной работе проведены исследования влияния различных факторов на характеристики усталости образцов, изготовленных из вторичных алюминиевых сплавов, по химическому составу близких к сплаву типа АК10М2Н с использованием высоких частот нагружения.

Для проведения испытаний на высокой (18,0 кГц) частоте использовалась магнитоэлектрический стенд (рис. 1), работающий в автоколебательном режиме [6, 7].



1 – магнитоэлектрический преобразователь с катушками возбуждения и подмагничивания; 2 – образец; 3 – устройство крепления; 4 – виброметр МРТИ; 5 – модуль подмагничивания; 6 – концентратор-волновод; 7 – прибор стабилизации амплитуды ПСА; 8 – частотомер; 9 – осциллограф; 10 – устройство вывода на печать; 11 – контроллер температуры

Рисунок 1 – Схема испытательного стенда для возбуждения изгибных колебаний

Для испытания на усталость при знакопеременном изгибе изготавливались балочные, консольно-закрепленные образцы (рис. 2)

прямоугольного поперечного сечения  $h \times b$  мм. Длина образца  $l$  принималась с учетом физико-механических характеристик полученных сплавов для обеспечения резонансного режима нагружения на испытательном стенде. Высота образца  $h$  принималась как одна треть ширины  $b$ .

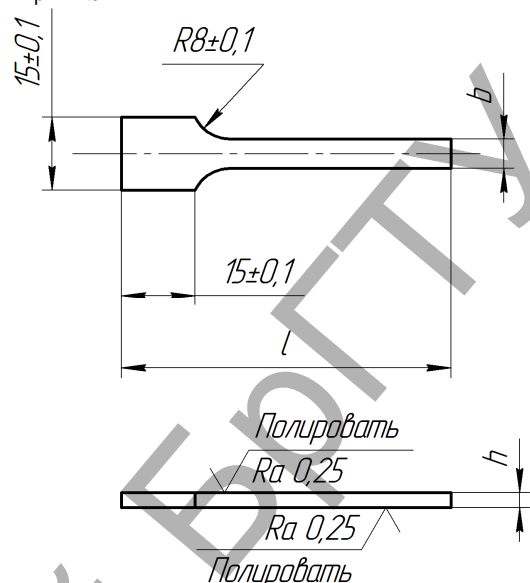


Рисунок 2 – Геометрические параметры образцов для нагружения знакопеременным изгибом

Химический состав исследованного материала приведен в табл. 1. Образцы 11–15 были изготовлены из слитков полученных с введением при плавке различных рафинирующих составов и последующей термической обработкой: образцы партии № 11 были изготовлены из слитков полученных плавкой под покрывным флюсом (33 % KCl, 67 % NaCl) с продвух расплава рафинирующим флюсом (45 % NaCl, 15 % KCl, 40 % AlF<sub>3</sub>) с последующей термообработкой Т2; образцы партии № 12 отличались от образцов партии № 12 последующей термообработкой Т5; образцы партии № 13 были изготовлены из слитков, полученных плавкой с введением модифицирующе-рафинирующих комплексов (0,5 % от массы шихты), разработанных в Запорожском национальном техническом университете (Украина), и последующей термообработкой Т5; образцы партии № 14 отличались от образцов партии № 13 последующей термоциклической обработкой [8]. После термообработки, с целью снятия верхнего дефектного слоя и получения необходимой величины шероховатости ( $Ra \sim 0,25$  мкм) рабочих поверхностей образцов, их подвергали электролитическому полированию.

Образцы партий № 21–25 изготавливались из слитков, полученных плавкой с различным содержанием в скрапе алюминиевой стружки: для образцов партии № 21 – 5%, для образцов партии № 22 – 10%; для образцов партии № 23 – 20%; для образцов партии № 24 – 30%, для образцов № 25 – 40%. Во всех случаях плавка осуществлялась с введением модифицирующе-рафинирующих комплексов (0,5% от массы шихты), разработанных в Запорожском национальном техническом университете, и последующей термоциклической обработкой [8]. После чего образцы подвергались электролитическому полированию аналогично образцам № 11–14.

Перед проведением усталостных испытаний для всех партий образцов были определены основные механические характеристики (табл. 1).

Результаты усталостных испытаний образцов партий № 11–14, нагружаемых знакопеременным изгибом на частоте 18 кГц, приведены на рисунке 3, а партий № 21–25 – на рисунке 4.

Результаты экспериментальных исследований (рис. 3) показывают, что выбор режимов термической обработки и вид рафинирующей обработки, проводимой при плавке, не оказывают влияния на форму кривых усталости (рис. 3). Проведенные испытания не позволили выявить горизонтальный участок для всех партий образцов (№ 11–14). Кривые усталости для разных частот располагаются

Таблица 1 – Химический состав и механические характеристики образцов

№ партии образцов	Содержание элементов, масс. %						Механические характеристики			
	Si	Fe	Cu	Mn	Ni	Mg	σв, МПа	δ, %	HRB	E, МПа
11	10,4	1,18	2,28	0,19	0,61	0,61	201,5	1,1	98,5	0,73·10 <sup>11</sup>
12	10,5	1,22	2,48	0,23	0,55	0,63	180,2	1,0	93,5	0,73·10 <sup>11</sup>
13	10,3	1,28	2,48	0,27	0,59	0,54	162,5	0,9	88,0	0,73·10 <sup>11</sup>
14	10,8	1,22	2,31	0,23	0,70	0,33	140,3	0,9	86,6	0,73·10 <sup>11</sup>
21	10,6	1,28	2,33	0,26	-	0,52	199,7	0,8	95,3	0,73·10 <sup>11</sup>
22	10,6	1,18	2,37	0,22	-	0,54	197,2	0,8	94,9	0,73·10 <sup>11</sup>
23	10,6	1,24	2,27	0,24	-	0,57	188,4	0,7	86,2	0,73·10 <sup>11</sup>
24	10,8	1,28	2,31	0,23	-	0,51	120,6	0,8	78,1	0,73·10 <sup>11</sup>
25	10,9	1,34	2,35	0,24	-	0,54	122,8	0,7	78,3	0,73·10 <sup>11</sup>

практически эквидистантно, а пределы ограниченной выносливости монотонно снижаются в диапазоне от  $N = 1 \cdot 10^6$  до  $N = 1 \cdot 10^8$  циклов. Это позволяет предположить, что изменение режимов термической обработке не оказывает существенного влияния на механизм усталостного разрушения. Сравнение абсолютных значений пределов ограниченной выносливости на базе  $N = 1 \cdot 10^8$  циклов образцов № 11–14 (рис. 3) можно отметить, что введение в расплав при плавке модифицирующе-рафинирующих комплексов разработанных в Запорожском национальном техническом университете приводит к росту предела ограниченной выносливости в 1,4 раза, а дополнительное применение термоциклической обработки – в 1,7 раза.

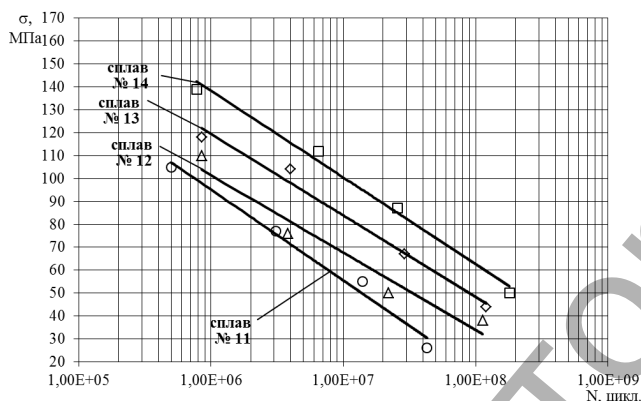


Рисунок 3 – Кривые усталости 50% вероятности разрушений образцов, изготовленных из сплавов № 11–14

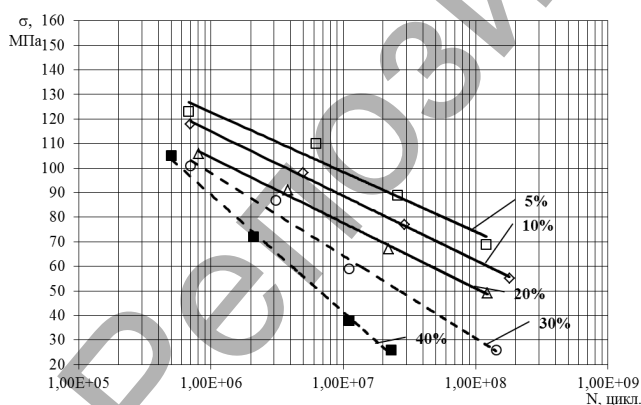


Рисунок 4 – Кривые усталости 50% вероятности разрушений образцов, изготовленных с различным содержанием алюминиевой стружки в шихте

Эффективность термоциклической обработки [8] была проверена и на других алюминиевых сплавах, полученных с использованием вторичного сырья [9].

Введение в расплав при плавке модифицирующе-рафинирующего состава, разработанного в Запорожском национальном техническом университете, с последующей термоциклической

обработкой положительно сказывается и на других механических характеристиках исследованного материала (табл. 1).

Для определения возможности рециклинга алюминиевой стружки при получении сплавов для изготовления деталей машин, работающих в условиях циклического нагружения, были проведены усталостные испытания образцов № 21–25, отличавшихся содержанием алюминиевой стружки в скрапе.

Анализ кривых усталости, соответствующих 50 % вероятности разрушения, позволяет отметить, что увеличение содержания алюминиевой стружки в скрапе с 5 до 20 % приводит к снижению ограниченных пределов выносливости на базе  $N = 1 \cdot 10^8$  циклов в 1,5 раза, а увеличение содержания алюминиевой стружки до 30 % – в 2,5 раза. Таким образом, установлено, что для эффективного использования алюминиевой стружки при переплавке и получении сплавов, предназначенных для изготовления деталей машин, работающих в условиях циклического нагружения, требуются дополнительные исследования направленные на совершенствование технологии переработки таких материалов.

**Заключение.** Использование термоциклической обработки [8] в совокупности с эффективными модифицирующе-рафинирующими составами, вводимыми при плавке, позволило получить алюминиевый сплав из вторичного сырья, по химическому составу близкий к сплаву АК10М2Н, с повышенными характеристиками усталости.

Исследование возможности использования алюминиевой стружки при получении подобных материалов показало, что увеличение ее содержания в скрапе с 5 % до 30 % приводит к существенному снижению характеристик усталости (в 2,5 раза).

Разработанные режимы термоциклической обработки были опробованы на предприятии ОАО «Мотор Сич» (Украина) для изготовления опытной партии деталей к двигателям моторных лодок и бензомотоинструмента, работающих в условиях статического и динамического нагружения, изготовленных из алюминиевых сплавов, с содержанием в шихте до 50 % вторичного сырья.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Металлы и цены. Ценовой каталог металлопродукции и оборудования [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://metal4u.ru/articles/by\\_id/203](http://metal4u.ru/articles/by_id/203). – Дата доступа: 14.05.2011.
2. Stal.by [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://stal.by/mirovoi-tsvetmet-v-aprele-prognozy-raspugali-investorov>. – Дата доступа: 22.10.2017.
3. Все об алюминии [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.aluminiumleader.ru/application/transport>. – Дата доступа: 22.10.2017.
4. Металлоснабжение и сбыт. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.metalinfo.ru/ru/news/94402>. – Дата доступа: 22.10.2017.
5. World aluminium. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.world-aluminium.org/statistics/primary-aluminium-production/#data>. – Дата доступа: 22.10.2017.
6. Усталостные испытания на высоких частотах нагружения / Под ред. В.А. Кузьменко – Киев : Наукова думка, 1979. – 335 с.

7. Блохин, А.В. Развитие комплекса оборудования для усталостных испытаний конструкционных материалов / А.В. Блохин // Труды БГТУ. Сер. II: Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2004. – Вып. XII. – С. 263–266.
8. Способ термической обработки литейных алюминиевых сплавов из вторичного сырья: пат. 12582 Респ. Беларусь, МПК 2006 С 22 F 1/04 / А.В. Блохин, С.Е. Бельский; заявитель УО БГТУ – № а 20081099; заявл. 21.08.08; опубл. 30.10.09.
9. Блохин, А.В. Повышение усталостных характеристик литейных алюминиевых сплавов, полученных с использованием вторичного сырья методом термоциклической обработки / А.В. Блохин // Литье и металлургия. – 2009. – № 4. – С. 72–75.

Материал поступил в редакцию 29.11.2017

**BLAKHIN A.V., SURUS A.I., LOS A.M., YARMOLIK S.V. Study of the effect of technological factors on fatigue characteristics of secondary aluminum alloy for production of cyclically stressed machine parts**

The article considers the need in improved technologies for secondary aluminum materials processing. This will allow extending the scope of aluminum alloys application that are produced from recycled materials.

The paper presents the methodology and results of fatigue tests for aluminum alloy made from recycled raw materials. There have been given the evaluation of thermocyclic treatment effectiveness, which allowed improving fatigue characteristics in 1, 7 times in comparison with common types of heat treatment.

Potential for application of aluminum chips for the manufacture of such materials has been investigated. It is shown that the content of aluminum chips of more than 5-10% in charging material leads to a significant reduction of mechanical characteristics.

УДК 633.15

**Жданко Д.А., Жданко Д.А.**

**РАСШИРЕНИЕ ЗОНЫ ПОСЕВА КУКУРУЗЫ НА ЗЕРНО НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ЗА СЧЁТ ПРИМЕНЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО СОШНИКА ДЛЯ СЕЯЛОК ГРЕБНЕВОГО ПОСЕВА**

**Введение.** Основной целью аграрной политики правительства Республики Беларусь является обеспечение продовольственной безопасности и повышение эффективности сельскохозяйственного производства.

Достижение указанной цели возможно лишь на основе инновационных энерго- и ресурсосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур.

Рост и развитие растений кукурузы более тесно связаны с температурой, чем с любым другим отдельно взятым климатическим фактором. Наблюдаемое в последние годы потепление климата положительно сказалось на урожайности кукурузы, в связи с чем произошёл рост посевных площадей этой культуры на территории Республики Беларусь, особенно на зерно, с существенным продвижением ее на север. В южной зоне уже практически ежегодно можно получать зрелое зерно кукурузы, в центральной зоне – 8–9 лет из 10, и лишь в 13 наиболее холодных районах Витебской, Минской и Гродненской областей вероятность получения зрелого зерна кукурузы составляет 4–6 лет из 10.

При создании идеальных условий технологии выращивания кукурузы (размещение на легких плодородных почвах, южных склонах, защищенных от северных ветров участках и т. д.) можно на 10–20% повысить вероятность получения зрелого зерна в любом из районов. Тем не менее, следует помнить: чем выше теплообеспеченность региона, тем большую урожайность с меньшей влажностью зерна кукурузы можно получить и тем существеннее преимущество кукурузы по отношению к другим зерновым культурам.

Для прорастания семян кукурузы требуется относительно высокая температура. С повышением ее от 12 до 21°C продолжительность до всходов периода сокращается с 22 до 8 дней.

Сейчас в Республике Беларусь уборка кукурузы проводится в предельно поздние сроки, в связи с этим необходимо изыскивать возможность посева в более ранние сроки.

Как отмечает А.И. Симакин [1], из всех элементов кукуруза больше всего потребляет азота (160–180 кг). При этом автор считает, что большую часть азота кукуруза потребляет в период за 10–15 дней до выметывания. Потребление кукурузой питательных веществ происходит в течение всего вегетационного периода, при этом со-

держание их в растениях повышается, за исключением калия и натрия. В связи с этим, по мнению А.И. Симакина, Н.И. Володарского и Т.Р. Толорая [1], она отзывается на удобрения при внесении их как до посева, так и во время вегетации.

Отмечено, что кукуруза наиболее чувствительна к погодным условиям выращивания и улучшению условий питания в начальный период роста и развития. Согласно исследованиям [1], особенно эффективно припосевное внесение суперфосфата 20 кг/га. Кроме того, исследования Л.М. Державина (1991), Д.В. Ломовского (2007) и Д.А. Таран (2013) с использованием современных высокопродуктивных гибридов кукурузы показали, что хороший эффект дают парные элементы питания  $N_{30}P_{20}$  и сочетание трех элементов  $N_{30}P_{20}K_{20}$ , внесенные при посеве.

Припосевное удобрение кукурузы, по мнению ученых, является одним из наиболее эффективных средств повышения урожайности.

Это обстоятельство требует изыскания такого способа локального внесения удобрений, который бы до минимума сводил их расход и обеспечивал бы их максимальную эффективность.

Известно [1–6], что наибольший эффект от применения минеральных удобрений, особенно в начале роста растений, обеспечивается при ближайшем возможном расположении их от семян. При этом недопустим непосредственный контакт семян и минеральных удобрений, так как концентрация минеральных веществ в зоне прорастания семян вызывает гибель их проростков.

Следовательно, чтобы исключить такой контакт, необходима изолирующая почвенная прослойка между семенами и минеральными удобрениями.

Шапар Д. и др. [2, 5] указывают на целесообразность внесения 50% азотных удобрений совместно с фосфорными до посева и на необходимость их внесения на глубину 5 см и на таком же расстоянии сбоку от растений. Если эти условия не выдерживаются, то ростки кукурузы повреждаются, а при большем расстоянии фосфор остается для них недоступен.

Ленточное допосевное и припосевное внесение минеральных удобрений при возделывании кукурузы рекомендуется в связи с тем, что в настоящее время отсутствуют машины, позволяющие одновременно с посевом вносить минеральные удобрения ниже расположения семян.

**Жданко Дмитрий Александрович**, заместитель директора ООО «Мастерская металла».

Беларусь, г. Кобрин, ул. Строителей, 1.

**Жданко Дмитрий Анатольевич**, к.т.н., доцент Белорусского государственного аграрного технического университета.

Беларусь, 220023, г. Минск, пр-т Независимости, 99.