

- максимальное сохранение и накопление азота (недостаточное количество азота в почве приводит к снижению урожайности многих сельскохозяйственных культур);
- экологическое влияние на почву (в отличие от органических удобрений являются абсолютно чистым экологическим удобрением).

В заключение, следует отметить, что производство биогаза в АПК Республики Беларусь представляет собой выгодную отрасль сельского хозяйства, при условии, что техническое обеспечение установки и способ ее эксплуатации оптимальным образом согласованы со структурными свойствами субстратов, а место ее расположения выбрано с учетом эффективного обеспечения биомассой и позволяет рационально утилизировать вырабатываемый газ.

Список использованной литературы

1. Биоэнергетика: пособие/ Коротинский В.А., Гаркуша К.Э. – Минск: БГАТУ, 2011. – 148 с.
2. Базилинская М.В. Биоудобрения. – М.: Агропроиздат, 1989. – 126 с.

УДК 662.668

**Третьякова А.А., Ермакова В.А.,
Ермаков А.И., кандидат технических наук, доцент**
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

КУКУРУЗА КАК ОСНОВНОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА PLA-ПЛАСТИКА

Сельскохозяйственные культуры могут быть использованы не только по их основному назначению – потребление в пищу человека или на корм скоту, но и для изготовления различных пластиков и предметов бытового использования.

В рассматриваемой статье речь идет о применении кукурузы в качестве сырья для изготовления PLA-пластика.

Полилактид (ПЛА, PLA) – биоразлагаемый, биосовместимый, термопластичный, алифатический полиэфир, мономером которого является молочная кислота.

Используется для производства изделий с коротким сроком службы (пищевая упаковка, одноразовая посуда, пакеты, различная тара), а также в медицине, для производства хирургических нитей и штифтов. Важной отличительной особенностью такого пластика является то, что он создан на основе растительного сырья и имеет свойство разлагаться, что дает ему преимущество по сравнению с другими пластиками. Длительность разрушения PLA-пластика в зависимости от температуры и влажности воздуха представлены в таблице 1 [1].

Таблица 1 – Время разрушения PLA-пластика в зависимости от условий окружающей среды

Температура, °С	Влажность воздуха, %	Начальная фрагментация	Полное разрушение
4	100	5,3 года	10,2 года
25	20	2,5 года	4,8 года
25	80	2 года	3,1 года
40	80	5,1 мес.	10 мес.
60	20	1 мес.	2,5 мес.
60	80	15 дней	2 мес.

При утилизации чистый полилактид в промышленном компосте (при этом влажность составляет 80 % , температура воздуха 55–70 °С) разлагается за один месяц. Но при средних температурах и нормальной влажности воздуха, которые характерны для бытового и рабочего окружения, хранение такого пластика может быть ограничено до 2–3 лет.

Еще одной сферой применения данного пластика является 3D-печать [2]. Стадии изготовления филамента из PLA-пластика для 3D-печати представлены на рисунке 1.

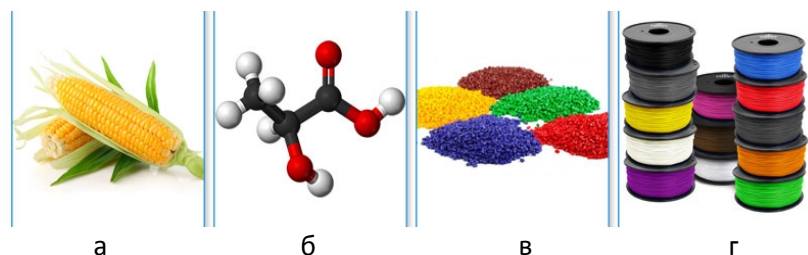


Рисунок 1 – Стадии превращения из кукурузы в нити для 3D-принтера
а – кукуруза; б – молочная кислота; в – PLA-гранулы; г – нити (филамент) 3D-печать

Применение технологии 3D-печати PLA-пластиком в промышленном масштабе ограничено, не только применением дорогостоящего оборудования, которое требует грамотного обслуживания и эксплуатации, но недостатком информации о механических свойствах получаемых изделий [3].

На механические характеристики влияет множество параметров: форма и коэффициент заполнения, толщина сопла экструдера, скорость печати, температуры экструдера и стола. Поэтому важным этапом при печати PLA-пластиком является правильное варьирование режимов печати.

По данным исследования оптимальный процент заполнения опытных образцов составляет 20 %, этого достаточно для обеспечения требуемой прочности. Процент заполнения и толщина стенок влияют на прочность, массу и, как следствие, на стоимость 3D-печатной модели. [4].

Основными показателями при оценке механических характеристик изделия являются: максимальная нагрузка, максимальное напряжение, зона пластичности и предел упругости. Для выявления комплексного показателя желательности, определяемого как оптимальное соотношение механических характеристик, времени печати и количества затрачиваемого пластика, были проведены испытания на разрыв и изгиб.

При проведении испытаний на разрыв, можно сделать вывод, что образцы, напечатанные на ребре, показали самый высокий результат при проведении испытания на разрыв, но при печати на ребре было затрачено самое большое количество пластика [4]. Время печати одного образца на разрыв составило 39 минут, что на 10 минут больше треугольной формы и сот. Поэтому применение данной формы является слишком затратным для внедрения в производство.

Треугольная форма показала высокие значения при проведении испытаний разрыв. Однако, при одинаковом времени печати с «Сотами», на треугольную форму было затрачено больше пластика, а значение напряжения на порядок меньше.

«Соты» – являются лучшим вариантом для увеличения прочности модели.

При проведении испытаний на изгиб так же, как при испытаниях на разрыв, образцы, напечатанные на ребре, показали самый высокий результат при проведении испытаний на изгиб. Тем не менее следует отметить, что результаты исследования справедливы только для нагрузки, приложенной перпендикулярно направлению волокон, в случае же приложения нагрузки вдоль волокна прочностные характеристики значительно снижаются, то есть существует высокая зависимость характеристик между направлением нагрузки и волокна.

Опытным путём доказано, что шестигранное заполнение или «Соты», позволит сэкономить энергию, время, материал и деньги, а также обеспечит высокую прочность изделия.

Шестигранное заполнение (Соты) является лучшим вариантом для увеличения прочности модели, кроме того он существенно ускоряет процесс 3D-печати за счет эффективности своей формы. Опытным путём доказано, что шестигранное заполнение или «Соты», позволит сэкономить энергию, время, материал и деньги, а также обеспечит высокую прочность и жесткость конечного изделия.

Следовательно, по комплексному показателю желательности, наилучшим вариантом заполнения будут являться «Соты», так как в них соблюдено наиболее уместное соотношение времени печати, прочностных характеристик и количества затрачиваемого материала.

Так же научный интерес представили механические характеристики образцов изготовленных при критических температурах печати, а именно температуре сопла (максимальная и минимальная температуры).

Для проведения испытаний была выбрана определённая форма заполнения ячеек, показавшая себя наилучшим образом в предыдущих испытаниях, а именно «Соты».

Проанализировав данные, можно сделать заключение о том, что варьирование температурных режимов печати не дает положительной динамики прочностным характеристикам, а наоборот, ухудшает их. Из чего следует, что нет необходимости в печати при критических температурах, а лучше всего применять усреднённые рекомендуемые температурные режимы [4].

На сегодняшний день, пластики используются практически в любом производстве Республики Беларусь. Также они стали неотъемлемой частью и в жизни каждого гражданина. Поэтому создание PLA-пластика на основе кукурузы – это прогрессивный метод замены обычного, не разлагаемого пластика, на экологически чистый, который станет основным источником сырья для всех отраслей промышленности.

Список используемых литературных источников

1. Ермаков, А.И. Утилизация тары и упаковки: учеб.-метод. пособие / А.И. Ермаков. – Минск : БНТУ, 2017. – 194 с.

2. Ермаков, А.И. Применение 3D-печати в кондитерском производстве / А.И. Ермаков, С.В. Чайко / НАУКА – ОБРАЗОВАНИЮ, ПРОИЗВОДСТВУ, ЭКОНОМИКЕ: Материалы 15-й Международной научно-технической конференции (70-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ) в 4 томах, Минск, май 2017г. / БНТУ. – Минск, 2017. – Том 4 – С. 503.

3. Ермаков, А.И. Разработка 3d-принтера для образовательных учреждений / А.И. Ермаков, В.В. Книга, Е.П. Мелещеня, А.А. Третьякова // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: сборник статей III международной научно-практической конференции, Минск, 23–24 марта 2017 г. / БГАТУ; редкол.: В.Я. Груданов [и др.]. – Минск, 2017. – С. 426–428.

4. Савченя, А.А. Исследование влияния технологических параметров 3D-печати PLA пластиком на механические характеристики изделий / А.А. Савченя, А.И. Ермаков // Мировая экономика и бизнес-администрирование малых и средних предприятий : материалы 16-го Международного научного семинара, проводимого в рамках 18-ой Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике» 26 марта 2020 года, Минск, Республика Беларусь. – Минск : Право и экономика, 2020. – С. 231–232.

УДК 537:664

**Челомбитько М.А., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,
Корко В.С., кандидат технических наук, доцент, Гайдук Д.С.**
Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск

ПРИМЕНЕНИЕ ИРРАДИАЦИИ В ПИЩЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Облучение пищевых продуктов (применение ионизирующего излучения к пищевым продуктам) – это технология, которая повышает безопасность и продлевает срок хранения