

УДК 663.031.1

## **ЭФФЕКТИВНЫЕ 3D-СТРУКТУРЫ ДЛЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ**

**Румянцева В.И.** (Национальный исследовательский университет ИТМО)

**Научный руководитель – д.х.н., Виноградов В.В.**

(Национальный исследовательский университет ИТМО)

### **Аннотация**

В данной работе предложена живая ферментосодержащая система, перерабатывающая отходы производства с функцией регенерации. Данные демонстрируют, что новые формы энтрапированных и термостойких ферментов, а также кибербелковые системы с управляемыми свойствами представляются исключительно востребованными для интенсификации биотехнологических процессов. Технические преимущества разработки заключаются в улучшении функциональных, реологических, и физико-химических свойств получаемых продуктов ферментативной реакции.

### **Введение.**

В современной нутрициологии проблема пищевой недостаточности при критических состояниях занимает особое место. Способом ее решения является разработка специализированных продуктов питания с исключёнными факторами, вызывающими пищевую аллергию. Поскольку экономический фактор играет существенную роль в вопросах производства продовольственных товаров, для массового сегмента потребления они являются недоступными. Происходит усугубление продовольственного кризиса и увеличение стоимости пищевых продуктов с опережением инфляции.

В связи с этим, получение недорогих регенерируемых ферментативных гидролизатов и специализированных продуктов на их основе становится актуальным. Они позволят решить важные социальные проблемы.

На сегодняшний день существует несколько таких разработок. Так, например, используется реактивация агрегированных белков или необратимо денатурированных ферментов, десорбция фермента со стенок реакционного сосуда. Однако они не способны удовлетворить всем требованиям доступности, эффективности и безопасности.

Создание протеиновых киберсистем для реализации данного направления позволит преодолеть такие факторы, ограничивающие коммерческое использование ферментов, как нестабильность и высокая стоимость, гарантированно обеспечит многократное использование фермента, повысит его стабильность. Возможность управления процессом ферментации позволит получать целевой продукт с заданной совокупностью свойств.

### **Основная часть.**

Проблему отсутствия многократного использования ферментативных систем можно решить путем внедрения живых прокариотических клеток в устойчивые биосовместимые пористые структуры.

Для хорошей выживаемости клеток бактерий и дрожжей предлагается обогащение одних полимерных компонентов (наноцеллюлозы) другими (альгинатом), а также возможность смещения области излучения в более коротковолновую.

Экструзионная объемная печать позволяет решить ряд проблем, связанных с дозированием отдельных структур общей системы и направлением их сборки.

Сравнение двух форм наноцеллюлозы, в том числе с сульфогруппами (N-CNC 2,5 мас.% и S-CNC 2,5 мас.%), определило идентичные свойства по всем показателям. Различие выявлено в способности целевых организмов перерабатывать вторичные отходы сбраживанием. Кислотные группы образуют более пористые структуры, за счет чего выход ферментативных соединений оказывается выше.

За счет действия внешних сил растворителя возможно получить функциональный препарат, активированный и оказывающий воздействие непосредственно в целевой среде.

Модуль вязкости биочернил определялся уровнем пролиферации клеток дрожжей и степенью выделения ими экзополисахаридов.

Графики изменения системы при наложении и снятии нагрузки показывают структурно-механические свойства комплексной системы и устойчивость соотношения компонентов системы 90:10 в пользу содержания nanoцеллюлозы.

Анализ данных по прочности сжатия напечатанных структур показывает, что часть полимеров приобретает прочную структуру только благодаря встраиванию дополнительных молекул в их цепь, замещению радикальных групп. Дополненность полимерной композиции осуществляется энергетической бомбардировкой связанных молекул в процессе отверждения после печати.

Ультрафиолетовая обработка имеет свои преимущества в области скорости затвердевания конструкции, низком потреблении энергии и низкой степени контаминации. Выживаемость культуры при этом напрямую зависит от способности клеток к спорообразованию и ее скорости.

Для снижения механической нагрузки на дрожжевые клетки произвели сужение диаметра поршня с прежним объемом в 5 мл, диаметр сопла подобрали размером 200 мкм для свободного прохождения клеток дрожжей размером до 10 мкм без повреждений, произвели повышение скорости печати до 5-10 мм/с.

Для напечатанных кубовидных пористых структур объем культуральной среды увеличился на 17 %, шарообразной структуры (бланк сравнения) – на 47 %. Полученные данные свидетельствуют об эффективности загрузки ферментных систем в полимерные структуры. Сравнение по количеству выделяющегося спирта (отличие на 15 %) подтверждает данное положение.

## **Выводы.**

Перспективами работы по улучшению разработанной ферментативной киберсистемы являются модернизация методов отверждения, полностью исключая возможность гибели клеток бактерий и дрожжей, и создание более универсального пищевого экструдера.

Результаты исследования могут быть использованы для ресурсосберегающей технологии в хлебной промышленности при включении напечатанной конструкции в термический гидролиз на этапе переработки измельченных твердых отходов. Также ферментные киберсистемы могут найти свое применение в переработке ценного трудноразлагаемого лигнинсодержащего сырья.