

*Е.В. Беспалова, к.т.н., А.С. Кадыгроб
Институт мясо-молочной промышленности, Минск, Республика Беларусь*

ВЛИЯНИЕ СЫВОРОТОЧНЫХ БЕЛКОВ НА ОБРАЗОВАНИЕ БЕЛКОВОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ АНАФОРЕЗА МОДЕЛЬНЫХ КИСЛОТНО-БЕЛКОВЫХ СИСТЕМ

*E. Bepalova, A. Kadyhrob
Institute for Meat and Dairy Industry, Minsk, Republic of Belarus*

INFLUENCE OF WHEY PROTEINS ON EDUCATION OF PROTEIN SURFACE LAYER AS A RESULT OF ANAPHORESIS OF MODEL ACID-PROTEIN SYSTEMS

bespalova-kat@mail.ru, ridetskaja@gmail.com

В статье представлены результаты научных исследований по установлению влияния сывороточных белков на параметры анафорезной обработки модельных кислотно-белковых систем в сравнении с кислотными модельными растворами и его влияние на образование белковых пленок на поверхности мембраны при электрокинетическом воздействии.

The article presents the results of scientific research to establish the influence of whey protein on the parameters of anaphoresis processing of model acid-protein systems in comparison with acidic model solutions and its influence on the formation of protein films on the surface of the membrane under electrokinetic influence.

Ключевые слова: сывороточные белки; мембранная обработка; электрокинетика; анафорез; белковые пленки; кислотные модельные растворы; кислотно-белковые системы.

Key words: whey protein; membrane processing; electrokinetics; anaphoresis; protein films; acid model solutions; acid-protein systems.

Введение. Электрокинетические методы (электрофорез) и его разновидности катафорез и анафорез представляют собой процесс, в результате которого, под действием электрического тока, осуществляется перенос катионов или анионов соответственно через ионно-проницаемую мембрану в сторону того электрода, заряд которого ему противоположен [1].

Анафорез – это механическое перемещение частиц растворов (целых или молекул) и взвесей по направлению к аноду под влиянием действия гальванического тока.

Анафорез относится к группе мембранных сепаратных процессов, в результате которого протекание химических реакций достигается на основании различной пропускной способности мембран для отдельных компонентов раствора под действием электрического тока. К главным преимуществам таких процессов относится возможность сепарации веществ без фазовых изменений [2,3].

В процессе анафореза под действием электрического тока осуществляется переход анионов из продукта через анионообменную мембрану в концентрат. В молочной отрасли анафорез позволяет увеличить активную кислотность и снизить титруемую без изменения катионного статуса продукта в результате перехода отрицательно заряженных компонентов молочного сырья в ионной форме в концентратный раствор [4].

Цель работы – установление влияния сывороточных белков, находящихся в растворе, на эффективность анафорезной обработки кислотно-белковых систем и изменения ее технологических параметров.

Материалы и методы исследований. Определение характеристик объектов исследований осуществлялось в лаборатории оборудования и технологий молочноконсервного производства и аккредитованной производственно-испытательной лаборатории РУП «Институт мясо-молочной промышленности». При этом использовались стандартные и специальные методы анализа.

Объектами исследований являлись анафорезная обработка кислотных модельных растворов молочной и фосфорной кислот, кислотно-белковых модельных систем.

Результаты и их обсуждение. Для прогнозирования параметров технологической переработки кислого молочного сырья с использованием анафорезной мембраны предварительно осуществлено моделирование кислотных и кислотно-белковых систем с использованием молочной кислоты, фосфорной кислоты и концентрата сывороточных белков (КСБ).

Основными электрокинетическими характеристиками процесса анафореза являются сила электрического тока (амперы, А) и напряжение (вольт, В), где напряжение постоянно и задается в начале обработки испытателем. Значение силы электрического тока изменяется в течение опыта, что обусловлено следующими факторами: массовыми долями органических, не органических кислот, белка, изменение содержания которых фиксируется проводимостью, активной и титруемой кислотностями обрабатываемого раствора, а также типом используемой мембраны (анафорезной).

Предварительные исследования направлены на установление рациональной величины напряжения подаваемого на электрокинетическую установку с целью переноса катионных групп через толщу мембраны в концентратный раствор при обработке 1 %-ных растворов молочной (МК1) и фосфорной (ФК1) кислот с помощью анафорезной мембраны показали максимальную эффективность при напряжении 6 В.

Изменение силы тока при обработке 1 %-ных кислотных растворов МК1 И ФК1 при напряжении 6 В с постоянной циркуляцией рабочей жидкости и электролита выражено на рисунке 1.

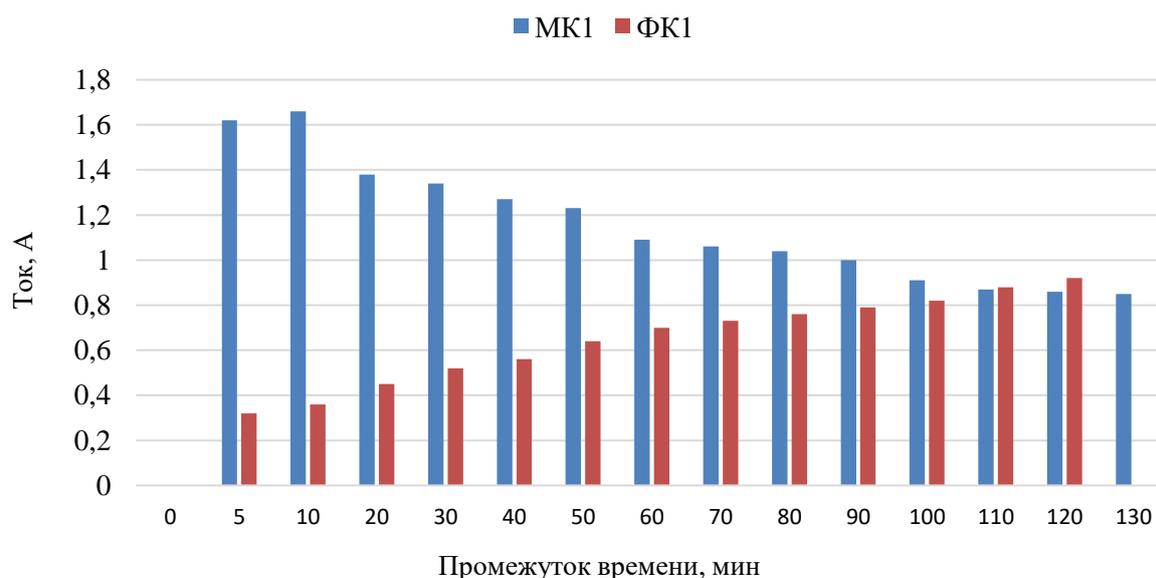


Рисунок 1 – Динамика изменения силы тока при анафорезе 1 %-ных кислотных растворов во времени при напряжении 6 В
 Источник данных: собственная разработка.

Снижение силы тока в процессе анафореза МК1 говорит о возрастании омического сопротивления (при неизменном напряжении), что является свидетельством относительно быстрого разрыва межмолекулярных связей и раскисления исследуемого раствора. Возрастание силы тока в процессе анафореза ФК1 может свидетельствовать о большой силе межмолекулярных связей фосфорной кислоты, по сравнению с молочной кислотой, для этого требуется больше времени на раскисление данного раствора.

Графические зависимости активной и титруемой кислотностей образцов МК1, ФК1 представлены на рисунке 2.

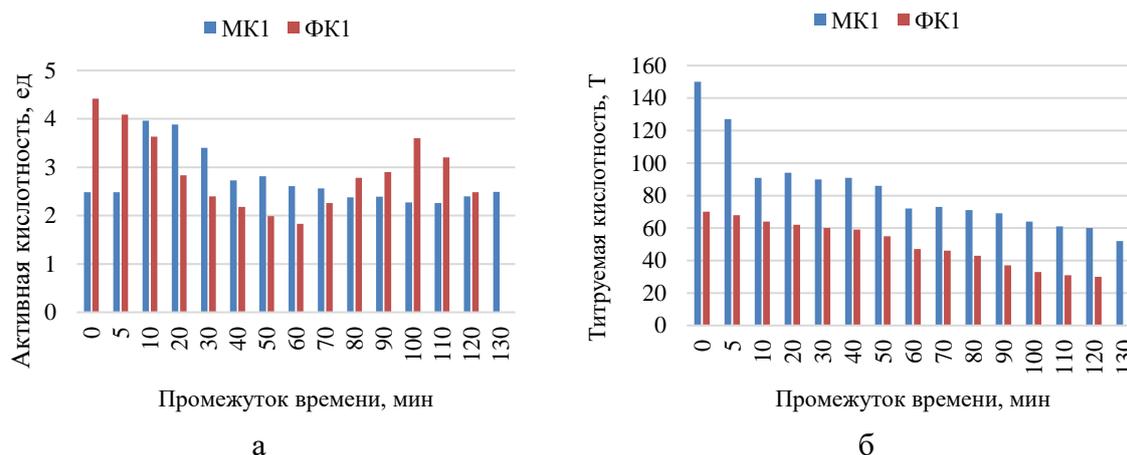


Рисунок 2 – Зависимость изменения активной (а) и титруемой (б) кислотностей 1% кислотных растворов от длительности обработки при напряжении 6 В

Источник данных: собственная разработка.

Обработка кислот с помощью анафореза показала, что активная кислотность модельных растворов МК1 и ФК1 стремится к 2,5 ед. динамика изменения показателя активных кислотностей не имеют линейной зависимости, и уменьшается в процессе анафорезной обработки, что может быть связана с большей молекулярной массой соли фосфорной кислоты и сложным молекулярным строением молочной кислоты, разложение которой на ионы идет медленнее, чем ионное разложение воды. Это и искажает точность измерений активной кислотности. Раскисление раствора ФК1 до активной кислотности 2,50 ед. рН происходит за 120 мин, а МК1 за 130 мин. Показатели количественного перехода фосфат- и лактат-ионов через анафорезную мембрану представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели количественного перехода фосфат- и лактат-ионов через анафорезную мембрану

Наименование образцов	Массовая доля кислоты, %
Раствор фосфорной кислоты (до начала анафорезного процесса) *	1,00
Раствор фосфорной кислоты (после окончания анафорезного процесса) *	0,94
Раствор молочной кислоты (до начала анафорезного процесса) **	1,00
Раствор молочной кислоты (после окончания анафорезного процесса) **	0,47

* - пересчет по P_2O_5 ;
 ** - пересчет по величине титруемой кислотности.

Источник данных: собственная разработка.

Для исследования рисков образования белкового поверхностного слоя в результате анафореза молочных систем изучена обработка модельных кислотно-белковых систем.

С целью моделирования параметров процесса выделения анионов из молочного сырья и изготовления модельных растворов с коррелируемыми показателями (активной и титруемой кислотностей), произведены расчеты количества молочной кислоты в творожной сыворотке с массовой долей сухих веществ 20%.

Образец 1 – модельный кислотный раствор с массовой долей молочной кислоты 1,24% и фосфорной кислоты 0,51%;

Образец 2 – модельный кислотно-белковый раствор с массовой долей молочной кислоты 1,24%, фосфорной кислоты 0,51% и КСБ 2,16%. В качестве белкового компонента использован сухой концентрат сывороточных белков (КСБ) с массовой долей белка 80%.

Изменение силы тока в процессе анафореза образцов 1 и 2 в циркуляционном режиме, то есть при постоянной подаче модельного раствора, при установленном напряжении 6 В, с постоянным объемом дилуата (обрабатываемого раствора) и электролита (раствора нитрата натрия).

Изменение силы тока при обработке кислотных (образец 1) и кислотно-белковых систем (образец 2) показаны на рисунке 3.

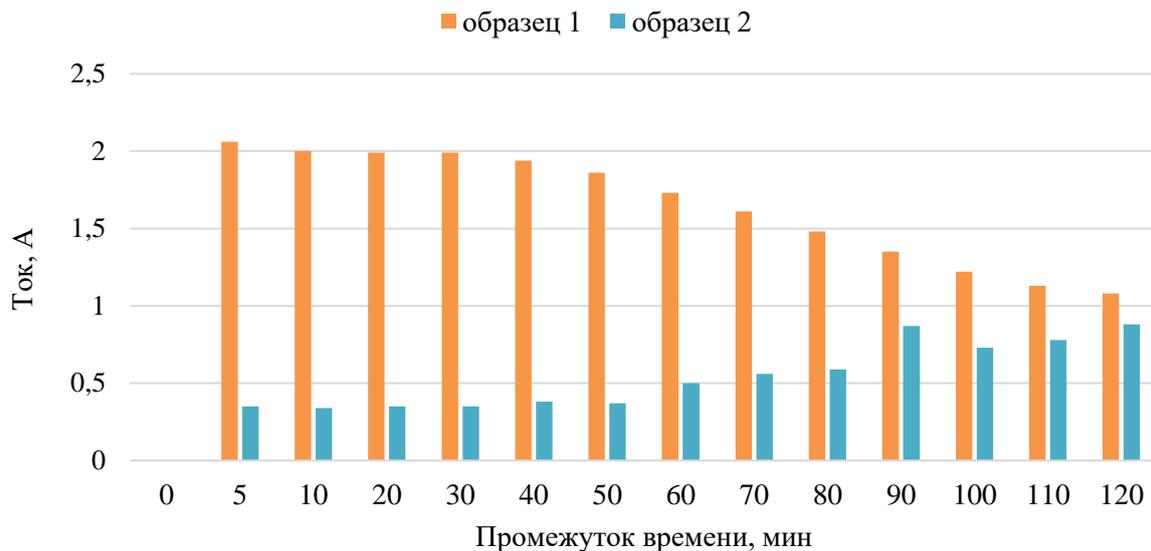


Рисунок 3 – Динамика изменения силы тока при анафорезе кислотных и кислотно-белковых систем во времени при напряжении 6 В

Источник данных: собственная разработка.

Увеличение силы тока при анафорезе образца 2 свидетельствует о снижении омического сопротивления, то есть о возможном накоплении белка на мембранной установке.

Графические зависимости изменения активной и титруемой кислотностей образцов 1, 2 во времени представлены на рисунке 4.

В процессе анафореза изменение активных кислотностей модельных растворов колеблется с периодическим ее увеличением. Однако усредненно стремится к значению 3,2 ед. со скоростью 0,06–0,46 ед. рН (образец 1) и 0,8–4,31 ед. рН (образец 2) в течение 10 мин.

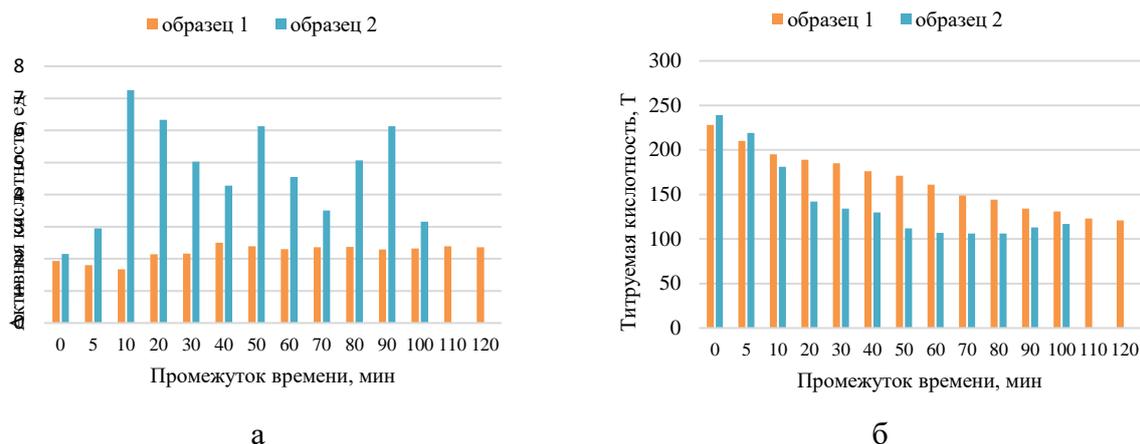


Рисунок 4 – Динамика изменения активной (а) и титруемой (б) кислотностей кислотно-белковых систем во времени при напряжении 6 В

Источник данных: собственная разработка.

Анализ изменения количественного содержания белка в образце 2 в результате процесса анафореза, представленного в таблице 2, показывая снижение массовой доли белка в обработанном растворе на 0,12%, что свидетельствует об образовании белкового слоя на поверхности мембраны.

Таблица 2 – Количественное содержание белка в образце 2 до и после проведения процесса анафореза

Наименование образцов	Массовая доля белка, %
Образец 2 (до начала анафорезного процесса)	2,11 %
Образец 2 (после окончания анафорезного процесса)	1,99 %

Источник данных: собственная разработка.

При сравнении анализируемых показателей установлено, что белок, осевший на поверхности мембраны снижает производительность установки, а это несколько препятствует переходу свободных анионов через толщу мембраны.

Определено, что условная скорость протекания процесса анафореза образца 1 составила 2,24 л/мин, образца 2 – 1,64 л/мин. Следовательно, за счет образования белкового поверхностного слоя происходит снижение условной скорости процесса на 26,8%. Однако после проведения кислотно-щелочной мойки производительность установки восстанавливает свои исходные показатели.

Заключение. В результате проведения процесса анафореза кислотно-белковых модельных растворов установлено снижение условной скорости протекания процесса раскисления. Данная закономерность свидетельствует об участии сывороточных белков в образовании белкового поверхностного слоя на поверхности мембраны электрокинетической установки.

Список использованных источников

1. Главчук С. А. Использование новых технологий для разработки регламента управления водоочистными сооружениями / С. А. Главчук, В. В. Одинцов // Научно-практический электронный журнал Аллея Науки. – 2018. – №10(26) – С. 14.

1. Glavchuk S. A. Ispol'zovanie novyh tehnologij dlja razrabotki reglamenta upravlenija vodoochistnymi sooruzhenijami [Using new technologies to develop regulations for managing water treatment facilities] / S. A. Glavchuk, V. V. Odincov // Nauchno-prakticheskij jelektronnyj zhurnal Alleja Nauki. – 2018. – №10(26) – S. 14.

2. Анафорез [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kartaslov.ru/meaning-words/anaphoresis>. – Дата доступа: 06.06.2023.

3. Дымар, О. В. Научно-технические аспекты повышения эффективности переработки молочных ресурсов / О. В. Дымар. – Минск : Колорград, 2015. – С. 245.

4. Tsermoula, P., Khakimov, B., Nielsen, J. H. and Engelsen, S. B.. Whey – The waste-stream that became more valuable than the food product, Trends Food Sci. Technol., 2021, Vol. 118. – P. 230.

2. Anafarez [Jelektronnyj resurs] [Anaphoresis]. – Rezhim dostupa: <https://kartaslov.ru/meaning-words/anaphoresis>. – Data dostupa: 06.06.2023.

3. Dymar, O. V. Nauchno-tehnicheskie aspekty povyshenija jeffektivnosti pererabotki molochnyh resursov [Scientific and technical aspects of increasing the efficiency of processing dairy resources] / O. V. Dymar. – Minsk : Kolorgrad, 2015. – S. 245.