

Б.Р.Нусупбеков<sup>1</sup>, М.Стоев<sup>2</sup>, А.К.Хасенов<sup>1</sup>, А.К.Абишева<sup>1</sup>, Е.О.Такиров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова;

<sup>2</sup>Юго-Западный университет «Неофит Рильский», Благоевград, Болгария  
(E-mail: bek\_nr1963@mail.ru)

## Разработка электротехнологий для извлечения органических веществ из сырья

В статье предложен способ извлечения белка из костной массы с использованием электрогидравлического эффекта, который позволяет повысить эффективность выделения биологически ценного продукта и уменьшить энергозатраты на измельчение костного сырья. Изучены биологическая роль белков и их свойства. Представлен общий вид лабораторного участка установки. Описана методика проведения лабораторных испытаний. Осуществлено сравнение результатов по разным параметрам: частота следования импульсов, температура и давление в среде, размеры частиц кости.

*Ключевые слова:* органические вещества, извлечение белка, электрогидравлический эффект, частота следования импульсов, ударные волны, сырье.

Органические вещества жизненно важны. Белки, углеводы, жиры имеют большое значение для современных отраслей промышленности, техники, повседневной жизни людей. Эти вещества и в индивидуальном состоянии, и в виде природных смесей служат сырьем для производства более сложных органических соединений. Возрастающий в мире недостаток белка для обеспечения питания человека ставит проблему поиска новых и нетрадиционных источников белков. На сегодняшний день их производство должно быть экономичным и эффективным. При этом необходимо повышать безотходность технологий, учитывать требования снижения энергозатрат и защиты окружающей среды. В этой связи создание эффективных и экономичных технологий производства белка и развитие научно-технического прогресса — актуальная проблема, имеющая важное хозяйственно-бытовое значение [1].

Основной задачей являются устойчивый рост сельскохозяйственного производства и полное удовлетворение потребностей Республики Казахстан в продуктах питания и сырье. Это возможно лишь благодаря переходу на интенсивные нетрадиционные технологии и техники. Поиск новых эффективных решений извлечения ценных компонентов из доступного сырья с применением различных способов, в том числе подводного искрового разряда, является актуальной технологической задачей. Расширение области применения электротехнологий в промышленности диктуется потребностями производства и определяется возможностями совершенствования способа преобразования энергии и его применением.

Обезжиривание кости и извлечение белка осуществляется несколькими известными методами: с помощью кипящей воды, импульсным, гидромеханическим, экстракционным и т.д. Белки — высокомолекулярные органические вещества, состоящие из альфа-аминокислот, соединённых в цепочку пептидной связью. Белки — важная часть питания животных и человека. Биологическая роль белков исключительно велика. Они составляют основную массу протоплазмы и ядер живых клеток. Органические вещества находятся во всех растительных и животных организмах. О запасе белков в природе можно судить по общему количеству живого вещества на нашей планете: масса белков составляет примерно 0,01 % от массы земной коры. Белки по своему элементному составу отличаются от других органических веществ: кроме углерода, водорода и кислорода они ещё содержат азот. Постоянной составной частью важнейших белковых соединений также является сера, а некоторые белки содержат фосфор, железо и йод.

Свойства белков:

- разная растворимость в воде. Растворимые белки образуют коллоидные растворы;
- гидролиз — под действием растворов минеральных кислот или ферментов происходит разрушение первичной структуры белка и образование смеси аминокислот;
- денатурация — частичное или полное разрушение пространственной структуры, присущей данной белковой молекуле. Денатурация происходит под действием высокой температуры, растворов

кислот, щелочей, концентрированных растворов солей, растворов солей тяжелых металлов, некоторых органических веществ (формальдегида, фенола), радиоактивного излучения [2].

Обязательным условием обезжиривания кости является присутствие воды. Жир из костей выталкивается в условиях контакта с водой, так как иначе весь вытопленный, выжатый, расплавленный жир останется в кости. И поэтому вода, проникая внутрь кости, способствует разрушению морфологических образований [3].

Электрогидравлический эффект (ЭГЭ) — промышленный способ преобразования электрической энергии в механическую, с высоким КПД. Он представляет собой высоковольтный электрический разряд в жидкой среде. При формировании электрического разряда в жидкости выделение энергии происходит в течение достаточно короткого промежутка времени. Сущность эффекта заключается в следующем: вокруг зоны специально сформированного импульсного электрического разряда внутри объема жидкости возникают высокие гидравлические давления, которые способны совершать механическую работу.

Этот процесс сопровождается резким повышением давления, возникновением электромагнитных полей и появлением различного рода излучений: ультразвукового, светового, теплового, ультрафиолетового, рентгеновского.

ЭГЭ сегодня уже имеет широкое применение при обработке металлов (штамповка, развальцовка, резка, очистка), дроблении горных пород, в получении различных коллоидов, в вибрационной технике, в горном деле (бурение скважин, взрывание монолитов, прокладка шурфов, штолен, шахт, в гео- и гидролокации, сейсморазведке, в бесшахтной добыче полезных ископаемых) и даже в медицине (при экстракорпоральном дроблении камней в почках, мочевом и желчном пузыре человека).

Повышение качества изделий в ряде случаев связано с обеспечением химического состава материала. Использование механических дробилок считается неэффективным, в связи с изнашиванием инструмента и попаданием его частиц в приготавливаемый порошок. Функцию инструмента при электрогидравлическом дроблении выполняет жидкость, в основном вода [4].

Для исследования влияния подводного искрового разряда на извлечение жира из кости и белка из костного матрикса в лаборатории гидродинамики и теплообмена кафедры инженерной теплофизики им. проф. Ж.С.Акылбаева разработаны и собраны экспериментальная электроимпульсная установка и рабочая часть дробильного узла.

Лабораторные исследования по извлечению жира из кости и белка из костного матрикса проводятся при отсутствии в окружающей среде токопроводящей пыли, паров, химически активных веществ, разрушающих изоляцию электродов, при температуре окружающего воздуха от +18 °С до +40 °С и относительной влажности не более 75 процентов (при температуре +20 °С).

Общий вид лабораторного участка установки показан на рисунке 1. Она состоит из рабочей емкости (1) (высота  $H = 0,45$  м, диаметр  $D = 0,2$  м), нагревательного элемента (2), дифференциальной термопары (3), управляемого рабочего участка электрода (4), сетки (5), которые предназначены для разделения мелких фракций на определенные размеры, и автотрансформатора (6). Через верхнюю крышку обрабатываемую кость укладывают в камеру, и емкость до определенного среза заполняется водой.

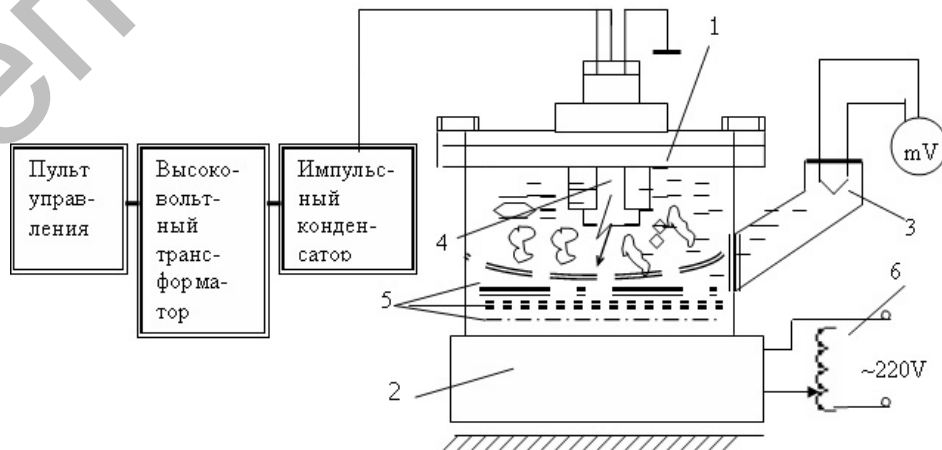


Рисунок 1. Блок-схема электроимпульсной установки

Перед проведением эксперимента на специальной установке кости измельчались и после отсеивания штангенциркулем и микрометром определялись размеры фракции.

В технологии определения размеров твердых фракций по остатку на специальном сите использована стандартная методика СГ СЭВ 3920-82 и контрольные сетки, изготовленные по ГОСТу 6613-86. Контрольное просеивание выполнено вручную, массы фракции определены на электронных весах.

Лабораторные испытания экспериментальной электроимпульсной установки по извлечению жира из костной массы и белка из костного матрикса крупного рогатого скота проводились для различных костей.

Для определения температуры смеси в рабочую часть вмонтированы стандартные дифференциальные термодатчики, градуированные по температуре.

При воздействии частотой следования импульсов  $7\div 15$  Гц в водной среде возникают ударные волны, и вода, проникая внутрь кости, способствует разрушению структуры жирового сырья, в котором заключен жир, вытесняя его. В связи с этим происходит эффект разрушения структуры кости и переход жира в раствор. Частотный диапазон установлен на основании экспериментальных исследований.

Температура в интервале  $32\text{--}50$  °С позволила разрушать жировое сырье и извлекать из него ценный компонент — жир. При температуре ниже  $32$  °С часть жира удерживается разрушенной тканью (шкварой) в результате адсорбции и капиллярности, увеличиваются вязкость и поверхностное натяжение жира, и процесс извлечения замедляется.

Исследования электроимпульсного метода показывают, что импульсы, возникающие вследствие электрогидравлического эффекта, оказываются достаточными для разрушения связей, удерживающих жировые клетки в составе ткани.

Электроимпульсный способ разрушения минеральной части костной фракции для получения белка из матрикса реализуется следующим образом.

Один кг костного сырья, полученного после прессования трубчатой кости и содержащего  $18,0$  % белка, измельчают до размеров  $10$  мм и переносят на виброэкстрактор для извлечения из нее жира, который затем отделяют, а полученную кость промывают. Обезжиренную кость измельчают на дезинтеграторе до размера  $500$  мкм и загружают в экстрактор с добавлением  $1$  л воды для извлечения белка. Смесь нагревают в диапазоне температур  $95\text{--}110$  °С и подвергают с помощью электродов, установленных в экстракторе, к воздействиям ударной волны, возникающей при электроимпульсном способе. При этом к рабочему электроду подводится удельная энергия, равная  $1,5 \cdot 10^4$  Дж/м, с частотой следования импульсов разряда от  $4$  до  $12$  Гц, до возникновения электрического разряда между электродами  $3$  и  $5$  и давлением от  $0,09\text{--}0,15$  МПа в течение  $5\text{--}30$  мин. Полученную белково-водную смесь охлаждают до  $80$  °С, для разделения на жидкую и твердую фракции направляют в центрифугу. Водный раствор упаривают до концентрации  $40$  %, а затем высушивают до влажности  $9\text{--}11$  %.

Электроимпульсное воздействие в жидкой среде частотой следования импульсов от  $4$  до  $12$  Гц позволяет интенсифицировать процесс извлечения ценного компонента из минерального костного каркаса и увеличить полноту их извлечения. Это обусловлено тем, что при воздействии частотой следования импульсов  $4\text{--}12$  Гц в водной среде возникают ударные волны, а вода, проникая внутрь кости, способствует разрушению структуры костной ткани, в которой заключен белок, и вытесняет его. В связи с этим происходит эффект разрушения структуры минерального каркаса и переход белковой фракции в раствор.

Частота следования импульсов от  $4$  до  $12$  Гц при электрогидроимпульсном воздействии обусловлена необходимостью создания ударной волны, необходимой для осуществления процесса экстракции белка из кости. Частотный диапазон установлен на основании экспериментальных исследований.

Если частота следования импульсов ниже  $4$  Гц, наблюдается некоторое уменьшение извлечения белка, ввиду того, что действует один фактор — температурный режим обработки в структуре минерального каркаса частиц кости.

Если частота следования импульсов превышает  $12$  Гц, возникает местный нагрев в области рабочих электродов, который приводит к денатурации белка, снижается его растворимость, ухудшаются функциональные свойства извлекаемого продукта.

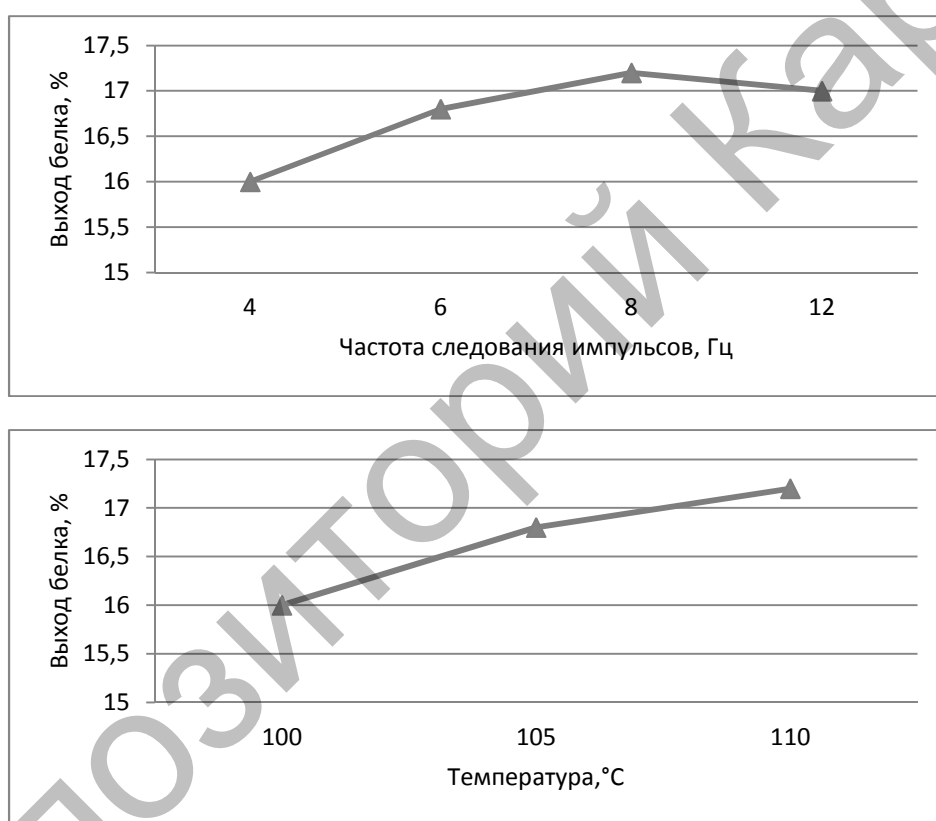
Температура в диапазоне  $95\text{--}110$  °С позволяет разрушать минеральную часть частиц кости соединительно-тканых белков и извлекать их из минерального костного каркаса. Если температура ниже  $95$  °С, то растворимость коллагена резко снижается и процесс извлечения замедляется в  $2$  раза.

В случае превышения температуры выше указанного диапазона происходит интенсивная денатурация белка и, следовательно, ухудшаются его технические характеристики.

Давление, создаваемое в среде, непосредственно связано с температурой. Установлено, что давление 0,09–0,15 МПа обеспечивает температуру водной среды 95...110 °С.

Размеры частиц кости 500 мкм обусловлены тем, что при указанных параметрах предлагаемого электрогидроимпульсного способа высокая степень дисперсности измельченной кости также способствует разрушению минеральной части, резко увеличивая поверхности частиц, что приводит к увеличению выхода белка. Однако опыты показали, что при размерах частиц более 500 мкм интенсивность выхода белка снижается, при размерах менее 500 мкм выход белка повышается, к тому же возникают сложности разделения минеральной и белковой частей, находящихся в водной среде, что экономически невыгодно.

Выбор величины удельной энергии  $1,5 \cdot 10^4$  Дж/м электрического разряда зависит от геометрических размеров экстрактора и температуры белково-водной смеси. При продолжительности процесса более 30 мин удлиняется процесс извлечения белка при том же выходе, что экономически нецелесообразно. Выход белка при разных частотах следования импульсов и температурах показан на рисунке 2.



давление 0,1 МПа; продолжительность процесса 30 мин

Рисунок 2. Выход белка при разных частотах следования импульсов и температурах

Исследования по электрогидродинамическому способу показали, что биологическая ценность готового пищевого растворимого белка из кости превышает аналогичный показатель по сравнению с известным способом в среднем на 18 %. При этом выход пищевого белка, полученного по предлагаемой технологии, повышается в среднем до 52–53 % по сравнению с известными способами.

#### Список литературы

- 1 [ЭР]. Режим доступа: <http://collegu.ucoz.ru/publ/40-1-0-5833>
- 2 Ленинджер А. Основы биохимии: В 3 т. — М.: Мир, 1985. — 1051 с.

3 Соколов А.А. Методы извлечения жира // Технология мяса и мясопродуктов. — М.: Пищевая пром-сть, 1970. — 740 с.

4 Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. — Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1986. — 253 с.

Б.Р.Нүсіпбеков, М.Стоев, А.К.Хасенов, А.К.Әбішева, Е.О.Тақыров

### Шикізаттан органикалық заттарды алу электротехнологияларын жобалау

Мақалада электрогидравликалық әсердің көмегімен сүйек массасынан ақуыз алу әдісі ұсынылған. Бұл әдіс биологиялық құнды зат алудың әсерін жоғарлатуға және сүйек шикізатын ұсақтауға кететін энергошығындарды азайтуға мүмкіндік берді. Ақуыздың биологиялық мәні мен оның қасиеттері зерделенді. Қондырғының зертханалық бөлігінің жалпы сызбасы көрсетілді. Зертханалық тәжірибелер жүргізудің әдістемесі баяндалды. Сүйек бөліктерінің өлшемі, ортаның температурасы мен қысымы және импульс жүрісінің жиілігінің әр түрлі параметрлері бойынша нәтижелер салыстырылды.

B.R.Nussupbekov, M.Stoyev, A.K.Khasenov, A.K.Abisheva, E.O.Takirov

### Development of electrotechnology for extraction of organic substances from raw materials

The article provides a method of extraction of protein from bone mass using the electrohydraulic effect, which allows to raise efficiency of extraction of biologically valuable product and reduce energy consumption for grinding the bone raw materials. Studied the biological role of proteins and their properties. Presents the general view of the laboratory setup. Describes the instructional methods laboratory tests. Made comparison of the results on different parameters of pulse repetition rate, temperature and pressure in the environment, particle sizes of bones.

#### References

- 1 <http://collegy.ucoz.ru/publ/40-1-0-5833>
- 2 Leninger A. *The basics of biochemistry*, in 3 vol., Moscow: Mir, 1985, 1051 p.
- 3 Sokolov A.A. *Technology of meat and meat products*, Moscow: Pishchevayia promyshlennost', 1970, 740 p.
- 4 Yutkin L.A. *The electrohydraulic effect and its application in industry*, Leningrad: Mashinostroenie, Leningrad branch, 1986, 253 p.