

УДК 663.5

Доцент Т.И. Романюк, профессор Г.В. Агафонов,
Магистрант Н.Н. Фролова

(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра технологии броидильных и сахаристых про-
изводств. тел. (473) 255-37-32
E-mail: tafursova@yandex.ru

Associate Professor T.I. Romanyuk, professor G.V. Agafonov,
master student N.N. Frolova

(Voronezh state university of engineering technologies) Department of technology of fermen-
tation and sugar industries. phone (473) 255-37-32
E-mail: tafursova@yandex.ru

Разработка технологии переработки пшеницы на спирт и белковый продукт

Development of technology for wheat processing into alcohol and protein product

Реферат. В спиртовой отрасли актуально создание безотходной технологии переработки зерна на спирт. Целью исследований явилась разработка технологии переработки пшеницы на этанол и белковый продукт. Изучили процесс ферментативного гидролиза крахмала глюкоамилазой препарата Глюкогам. Подобрана оптимальная дозировка фермента – 8 ед. ГлС/г крахмала, температура 55 °С. При исследовании гидролиза белка сопутствующей глюкоамилазе протеазой ферментного препарата Глюкогам установлено накопление аминного азота 4,5 мг/см³ за 7 ч биоконверсии. Проводили разделение полученной осажаренной массы с помощью центрифугирования на фильтрат и белковую массу. Центрифугирование проводили при частоте вращения 2500 об/мин в течение 8 мин. Белок высушивали до влажности 5 % при температуре не выше 35 °С, измельчали и исследовали свойства в сравнении с нативной клейковиной пшеницы. Полученный продукт обладал следующими характеристиками: растворимость 10 %, влагоудерживающая способность 1,53 г/г, жиросвязывающая способность 1,9 г/г. Исследовали процесс сбраживания осветленного суслу с концентрацией сухих веществ 14 %. Использовали дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* расы XII и *Saccharomyces cerevisiae* расы IMB Y-5007 из расчета 120 млн клеток на 1 см³ суслу. Подобрали оптимальный состав минеральных солей. Для дрожжей расы XII и IMB Y-5007 необходима подкормка в виде диаммоний фосфата в дозировке 1,5 г/дм³. Выход спирта при использовании дрожжей расы IMB Y-5007 составил 60,7 дал/т условного крахмала, при внесении дрожжей расы XII – 60,6 дал/т условного крахмала.

Summary. In the alcohol industry it is important to create non-waste technology for grain processing into alcohol. The aim of research was the development of technology for wheat processing into ethanol and protein product. We studied the process of enzymatic hydrolysis of starch with glucoamylase of Glucogam preparation. We determined the optimal dosage of the enzyme - 8 units. GlA/g of starch, and the temperature of 55°C. In the study of protein hydrolysis by the concomitant to glucoamylase protease of enzyme Glucogam preparation accumulation of amino nitrogen of 4.5 mg / cm³ in 7 hours of bioconversion takes place. Separation of the resulting saccharified mass was carried out by centrifugation into the filtrate and protein mass. Centrifugation was carried out at a rotational speed of 2500 rev / min for 8 minutes. Protein was dried to 5% moisture content at temperatures not exceeding 35°C, milled, and examined its properties in comparison with native wheat gluten. The resulting product had the following characteristics: the solubility of 10%, water-holding capacity of 1.53 g / g, and fat binding capacity of 1.9 g / g. We investigated the process of fermentation of clarified wort with the dry solids concentration of 14%. We used the yeast *Saccharomyces cerevisiae* of race XII and *Saccharomyces cerevisiae* of race IMB Y-5007 in the dose of 120 million cells per 1 cm³ of wort. Optimum composition of mineral salts was determined. For the yeasts of race XII and IMB Y-5007 fertilizing with diammonium phosphate in a dosage of 1.5 g / dm³ is necessary. The alcohol yield when using the yeasts of race IMB Y-5007 was 60.7 dal / ton of conditional starch, when using yeasts of race XII it accounts 60.6 dal / ton of conditional starch.

Ключевые слова: пшеница, этанол, биоконверсия, безотходная переработка.

Keywords: wheat, ethanol, bioconversion, waste-free processing.

В пищевой промышленности актуально создание высокоэффективных технологий, которые обеспечивают новый уровень производства, характеризующийся глубокой переработкой сырья, что позволяет значительно повысить рентабельность существующих производств, в частности, спиртового. Это обуславливает необходимость развития принципиально новых подходов подготовки сырья, созда-

ния безотходных экологически безопасных технологий [1]. Реализация технологий комплексного использования исходного сырья и отходов производства, создание многопродуктовых схем с получением полезных целевых продуктов позволит обеспечить высокую прибыль производства, в том числе за счет снижения стоимости спирта.

© Романюк Т.И., Агафонов Г.В., Фролова Н.Н., 2015

Одно из перспективных направлений в данной области – создание технологии получения этилового спирта и белкового продукта при переработке злаков на спирт [2].

Учитывая количество перерабатываемого зернового сырья на этанол в спиртовом производстве России при утилизации белковой составляющей, можно дополнительно получить 370-600 тыс. т белка в год в виде белкового концентрата [3].

Целью проведенных исследований явилась разработка технологии переработки зерна пшеницы на этиловый спирт и белковый продукт.

На первом этапе изучали процесс ферментативного гидролиза крахмала пшеницы глюкоамилазой препарата Глюкогам (производитель Novozymes, Дания, активность 2000 ед/см³). Активность препарата определяли глюкооксидазным методом. Одним из основных факторов, оказывающих значительное влияние на процесс гидролиза крахмала, является дозировка ферментного препарата. При изучении влияния дозировки препарата Глюкогам на степень осахаривания крахмалистого сырья гидролиз осуществляли при оптимальных условиях действия [1] фермента (температура 58-60 °С, рН=5,0). Препарат вносили в количестве 6, 8 и 10 ед. ГлС/г крахмала. Количество образующихся редуцирующих сахаров определяли по методу Сомоджи-Нельсона. Результаты экспериментов представлены на рисунке 1.

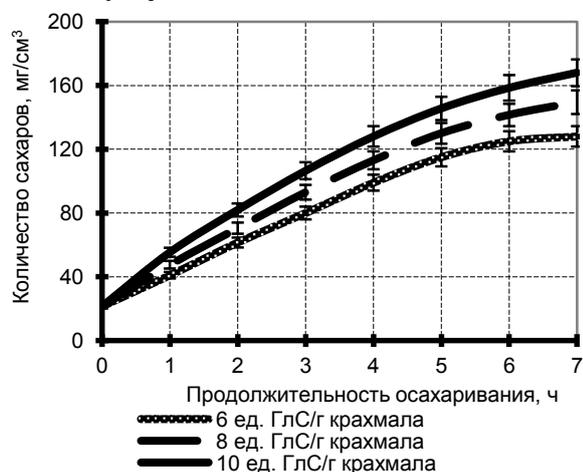


Рисунок 1. Накопление сахаров в процессе гидролиза крахмала при различной дозировке глюкоамилазы препарата Глюкогам

Анализ экспериментальных данных (рисунок 1) показал, что с увеличением концентрации глюкоамилазы возрастало накопление редуцирующих углеводов, что согласуется с традиционными представлениями о кинетике ферментативных реакций. Наиболее эффективно осахаривание проходило при внесении 10 ед. глюко-

амилазы, однако большой расход ферментного препарата может привести к удорожанию конечного продукта. В связи с этим оптимальной дозировкой считали 8 ед. ГлС/г крахмала. На графике видно, что за 7 ч биоконверсии крахмала количество накопленных сахаров составляло 150 мг/см³. Внесение же ферментного препарата в количестве 6 ед. ГлС/г крахмала позволяет получить гидролизат с меньшим содержанием редуцирующих веществ (130 мг/см³).

Поскольку для нормального протекания процесса брожения необходимо наличие аминного азота в сусле [4], а в состав ферментного препарата Глюкогам в качестве сопутствующего фермента входит протеаза, то в процессе осахаривания исследовали интенсивность протеолиза по уменьшению количества белка, определяемому биуретовым методом. (рисунок 2).

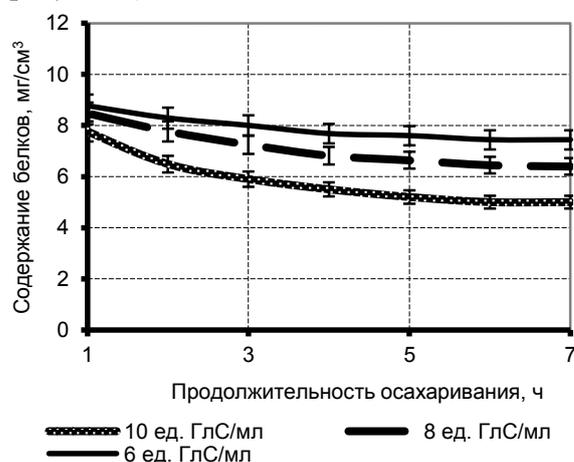


Рисунок 2. Изменение количества белков в зависимости от дозировки ферментного препарата глюкоамилазы

Как видно из данных, представленных на рисунке 2, с увеличением дозировки глюкоамилазы увеличивалось накопление продуктов протеолиза, содержание аминного азота к 7 ч биоконверсии крахмала при внесении глюкоамилазы 8 ед. ГлС/г составило 4,5 мг/см³.

Затем изучали влияние температуры на процесс ферментативного гидролиза пшеничного крахмала. Осахаривание проводили при температурах 45, 50 и 55 °С при дозировке глюкоамилазы 8 ед/г крахмала. Результаты исследований представлены на рисунке 3.

На рисунке 3 видно, что кривые гидролиза имеют схожий вид. При проведении процесса осахаривания крахмала при температуре 45 °С количество накопленных редуцирующих сахаров составляло 130 мг/см³, при 50 °С – 150 мг/см³ и при 55 °С – 160 мг/см³ соответственно. Следовательно, рациональной является температура 55 °С.

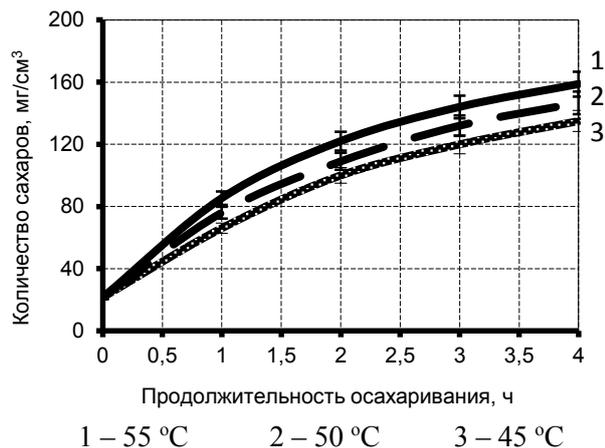


Рисунок 3. Влияние температуры на процесс ферментативного гидролиза крахмала

Далее исследовали процесс расщепления белка в процессе осахаривания сусле при различной температуре. Количество белка определяли биуретовым методом. Результаты представлены на рисунке 4.

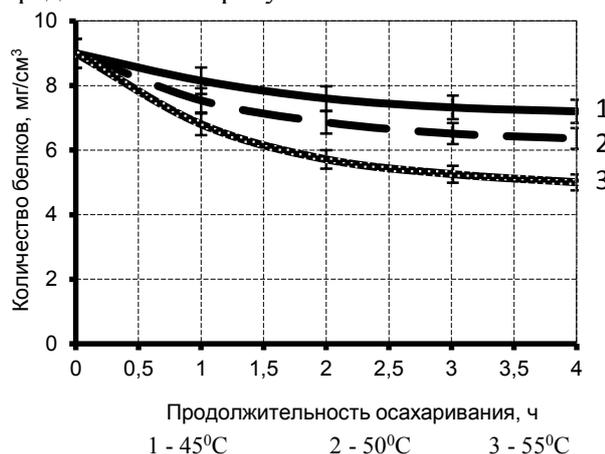


Рисунок 4. Влияние температуры на протеолиз белка пшеницы

Из полученных данных видно, что наиболее интенсивно процесс протекал первые 3 ч, что согласовывается с традиционными представлениями о кинетике ферментативных реакций – в первые часы биоконверсии расщепление субстрата идет интенсивнее, чем в последующие [5]. Количество белка за 4 ч гидролиза при 55 °C составляло 5 мг/см³ и являлось минимальным, что подтверждает данные об оптимальной температуре действия ферментного препарата.

Так как известно, что полный гидролиз крахмала завершается за 48-72 ч, то представляло интерес изучить динамику биоконверсии крахмала при подобранных условиях на протяжении 48 ч (рисунке 5).

На графике видно, что первые 24 ч биодеструкция пшеничного крахмала проходила

наиболее интенсивно, степень его гидролиза составила 78 %. В дальнейшем процесс проходил менее интенсивно, и к концу вторых суток степень осахаривания крахмала составляла 95 % от максимального.

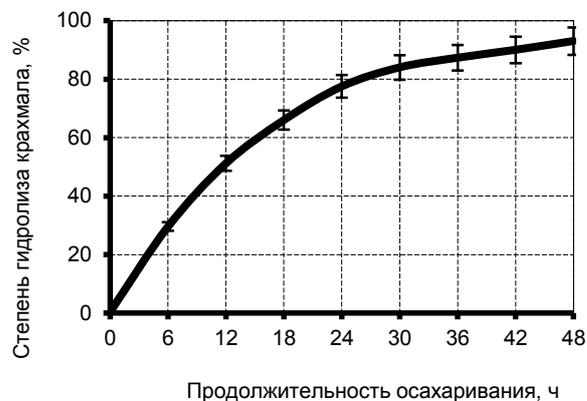


Рисунок 5. Динамика гидролиза крахмала в процессе осахаривания при 55 °C

В производстве спирта наличие аминного азота при сбраживании имеет большое значение [4]. С одной стороны, аминокислоты служат важнейшим источником азота для осуществления жизнедеятельности дрожжевых клеток, а с другой – являются исходным материалом для образования побочных продуктов при спиртовом брожении высших спиртов. Поэтому исследовали динамику распада белков в процессе осахаривания зернового сырья (рисунке 6).

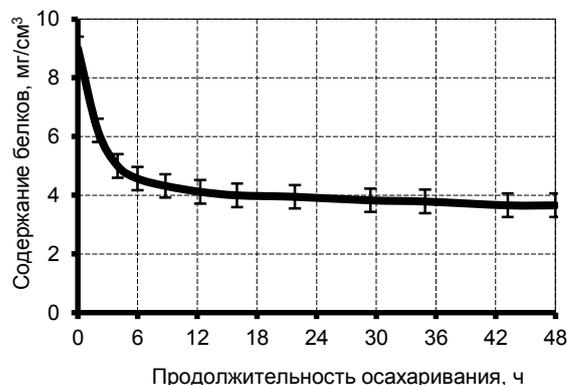


Рисунок 6. Динамика гидролиза белков при 55 °C

Как видно из данных, представленных на рисунке 6, процесс накопления аминного азота наиболее интенсивно протекал в течение первых 4 ч, количество белков составляло 5 мг/см³. В дальнейшем скорость распада белков сократилась, и за последующие 36 ч содержание белков в гидролизате снизилось до 3,5 мг/см³.

На следующем этапе работы проводили разделение полученной осахаренной массы с помощью центрифугирования на фильтрат и белковую массу. Центрифугирование проводили при частоте вращения 2500 об/мин в течение 8 мин.

Белковую массу высушивали в сушильном шкафу до влажности 5 % при температуре не выше 35 °С во избежание денатурации белков, измельчали на лабораторной мельнице и исследовали ее свойства в сравнении с нативной клейковиной пшеницы.

По результатам анализа построили график зависимости водоудерживающей способности от продолжительности набухания полученного белкового продукта и товарной сухой клейковины пшеницы (рисунок 7).

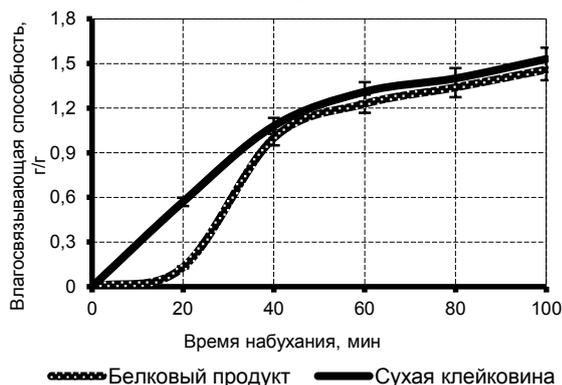


Рисунок 7. Изменение влагоудерживающей способности клейковины

Как видно на рисунке 7, обе кривые имеют схожий вид, но полученный белковый продукт связывает влагу лучше, чем нативная пшеничная клейковина.

Были изучены физико-химические показатели полученного белкового продукта общепринятыми методами. Результаты представлены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Физико-химические показатели клейковины

| Наименование показателя | Пшеничная клейковина | Полученный продукт |
|------------------------------------|----------------------|--------------------|
| Растворимость, % | 7,0 | 10,0 |
| Влагоудерживающая способность, г/г | 1,40 | 1,53 |
| Жирсвязывающая способность, г/г | 1,45 | 1,90 |

Как выяснилось, полученный белковый продукт не только не уступает по показателям товарной пшеничной клейковине, но и превосходит ее. По внешнему виду полученный продукт представлял собой порошок без комков и посторонних примесей светло-кремового цвета со слабым мучным запахом.

Далее проводили исследование процесса сбраживания полученного после центрифугирования осветленного суслу на этанол. В осветленном сусле доводили концентрацию сухих веществ до 14% и вносили спиртовые дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* расы XII и *Saccharomyces cerevisiae* расы IMB Y-5007 из

расчета 120 млн клеток на 1 см³ суслу. Брожение вели в течение 48 ч при температуре 28 °С.

Поскольку гидролизат пшеничной муки несбалансирован по минеральному составу, необходимому для нормальной жизнедеятельности дрожжевой клетки, в опытные пробы вносили минеральные соли в различных дозировках, принятых в спиртовой отрасли.

В таблицах 2 и 3 представлены основные показатели процесса брожения суслу (методы исследований бражки стандартные, принятые в спиртовой отрасли), полученного из осветленного суслу с добавлением солей диаммоний фосфата в дозировках от 0,5 до 1,5 г/дм³ и сульфата аммония в количестве 0,5 г/дм³ при сбраживании различными расами дрожжей.

Т а б л и ц а 2

Показатели процесса брожения дрожжами *Saccharomyces cerevisiae* расы XII

| Наименование показателя | Без подкормки | (NH ₄) ₂ HPO ₄ 0,5 г/дм ³ | (NH ₄) ₂ HPO ₄ 1,0 г/дм ³ | (NH ₄) ₂ HPO ₄ 1,5 г/дм ³ | (NH ₄) ₂ HPO ₄ 1,0 г/дм ³ и 0,5 г/дм ³ (NH ₄) ₂ SO ₄ |
|--|---------------|--|--|--|--|
| pH | 4,6 | 4,8 | 5,2 | 5,15 | 5,05 |
| Титруемая кислотность, град. | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,3 |
| Действительная массовая доля сухих веществ, % | 5,0 | 1,5 | 2,5 | 1,0 | 2,0 |
| Видимый отброд, град. | 0,0 | +0,1 | +0,2 | +0,3 | +0,2 |
| Выход спирта, дал из 1т сухих веществ крахмала | 39,3 | 53,6 | 57,1 | 60,6 | 53,6 |

Из полученных данных видно, что наиболее эффективно процесс брожения проходил при добавлении в качестве питания для дрожжей диаммоний фосфата в дозировке 1,5 г/дм³. В других случаях брожение проходило менее интенсивно, что было обусловлено недостаточным количеством минеральных солей.

Исследования показали, что при применении дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* IMB Y-5007 процесс брожения проходил не менее интенсивно. Однако полученные результаты свидетельствуют о неудовлетворительном протекании процесса брожения при небольших дозировках солей, что, вероятно, связано с несбалансированностью минерального состава гидролизата. С другой стороны, при дозировке диаммоний фосфата в количестве 1,5 г/дм³ накопилось максимальное количество спирта.

Показатели процесса брожения дрожжами *Saccharomyces cerevisiae* расы IMB Y-5007

| Наименование показателя | Без подкормки | (NH ₄) ₂ HPO ₄ 0,5 г/дм ³ | (NH ₄) ₂ HPO ₄ 1,0 г/дм ³ | (NH ₄) ₂ HPO ₄ 1,5 г/дм ³ | (NH ₄) ₂ HPO ₄ 1,0 г/дм ³ и 0,5 г/дм ³ (NH ₄) ₂ SO ₄ |
|---|---------------|--|--|--|---|
| pH | 4,5 | 4,7 | 5,1 | 5,0 | 4,8 |
| Титруемая кислотность, град. | 0,35 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,4 |
| Действительная массовая доля сухих веществ, % | 4,0 | 1,5 | 2,0 | 1,0 | 2,5 |
| Видимый отброд, град. | 0,0 | +0,1 | +0,2 | +0,4 | +0,2 |
| Выход спирта, дал из 1 т сухих веществ крахмала | 42,9 | 53,6 | 57,1 | 60,7 | 53,6 |

Таким образом, для сбраживания полученного сусла пригодны обе культуры дрожжей.

Из представленных данных видно, что минеральное питание благоприятно влияет на выход спирта. Однако теоретический выход спирта из 1 т сухих веществ в пересчете на

условный крахмал составляет 65 дал. Из подобранных вариантов питательных солей наиболее целесообразно использовать в качестве подкормки диаммонийфосфат в дозировке 1,5 г/дм³ сусла, в этом случае потери минимальны и составляют 6,5 %.

ЛИТЕРАТУРА

1 Фурсова Т. И. Получение сиропов путем биоконверсии зерна кукурузы и их сбраживание: дис. канд. тех. наук: 05. 18. 07. Воронеж: ВГТА, 2010. 169 с.

2 Романюк Т.И., Чусова А.Е., Агафонов Г.В. Получение осветленного сусла из зерна ржи и его сбраживание на этанол // Производство спирта и ликероводочных изделий. 2013. №4. С. 13-16.

3 Фурсова Т.И., Борисова И.В. Перспективы получения белка из зерна пшеницы // Успехи современного естествознания. 2011. №7. С. 228а.

4 Фурсова Т.И., Корнеева О.С., Востриков С.В. Исследование процесса брожения гидролизатов крахмала различного углеводного состава. Часть 2. // Производство спирта и ликероводочных изделий. 2008. №4. С. 13-16.

5 Фурсова Т.И., Корнеева О.С., Востриков С.В. Использование ферментных препаратов для получения гидролизатов крахмала различного углеводного состава. Часть 1 // Производство спирта и ликероводочных изделий. 2008. №3. С. 18-21.

6 Пат. 2006/119386 А2 US, IPC7 C12P 7/06 Способы производства этанола из крахмалосодержащего сырья и фракционирование / Скуг М., № 2006017041; Заявл. 02.05.2006; Опубл. 09.11.2006.

REFERENCES

1 Fursova T.I. Poluchnie siropov putem biokonversii zerna kukuruzy i ikh sbrzhivanie. Diss. kand. tekhn. nauk [Getting syrups by bioconversion of corn and their digestion. Diss. cand. tech. sci.]. Voronezh, 2009. 169 p. (In Russ.).

2 Romanyuk T.I., Chusova A.I., Agafonov G.V. Obtaining a clarified wort from grain rye and its fermentation to ethanol. *Proizvodstvo spirta i likerovodochnykh izdelii*. [Production of alcohol and alcoholic beverages], 2013, no. 4, pp. 13-16. (In Russ.).

3 Fursova T. I., Borisova, I. V. Prospects of obtaining protein from wheat. *Uspekhi sovremenogo estestvoznaniya* [Successes of modern natural science], 2011, no. 7, pp. 228a. (In Russ.).

4 Fursova T.I., Korneeva, O.S., Vostrikov S.V. Study of the process of fermentation of hydrolysates of starch of different carbohydrate composition. Part 2. *Proizvodstvo spirta i likerovodochnykh izdelii*. [Production of alcohol and alcoholic beverages], 2008, no. 4, pp. 13-16. (In Russ.).

5 Fursova T.I., Korneeva O.S., Vostrikov S.V. Use of enzyme preparations to obtain hydrolysates of starch of different carbohydrate composition. Part 1. *Proizvodstvo spirta i likerovodochnykh izdelii*. [Production of alcohol and alcoholic beverages], 2008, no. 3, pp. 18-21. (In Russ.).

6 Skug M. Sposoby proizvodstva etanola iz krakmalosoderzhashchego syr'ya i fraktsionirovanie [Methods and systems for producing ethanol using raw starch and fractionation], Patent RF, 2006. (In Russ.).