

OPTIMIZATION OF TECHNICAL CONDITIONS FOR OBTAINING ACID-HYDROLYLATED STARCH

M. Alekseenko, V. Litvyak

RUE «Scientific-Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus»

N. Novikova

Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute

Key words:

*Starch
Acid hydrolysis
Chemical modification
Starch granule
Viscosity
Paste*

Article history:

Received 09.07.2019
Received in revised form
22.07.2019
Accepted 14.08.2019

Corresponding author:

M. Alekseenko
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

One of the simplest available for the Belarusian technological capabilities of the starch industry and the technologies currently in demand is the technology of cold acid hydrolysis, carried out with the preservation of starch granules.

The object of study is acid hydrolyzed potato and corn starch. Acid hydrolysis of potato and corn starch was carried out at 30, 40 or 50 ± 3°C for 2, 4 or 6 hours using 0.1 n. and 0.5 n. aqueous solution of hydrochloric and sulfuric acids. Relative viscosity of 6% aqueous paste of corn starch was measured on a VZ-246 viscometer in accordance with the standard procedure. The average diameter of potato starch granules was measured using a LEO 1420 scanning (scanning electron microscope) (Germany). Metallization of the preparations was carried out with gold in the EMITECH K 550X vacuum unit. A multifactorial experiment was planned and conducted using the STATISTICA 8.0 program.

As a result of the study, we obtained a regression equation describing the effect of acid hydrolysis regimes (temperature, hydrolysis duration, type and acid concentration) on the conditional viscosity of 6% aqueous paste of potato and corn starch, as well as the size of starch granules of potato and corn starch.

We have found for the first time the use of the acid hydrolyzed starches with high flowability of starch paste in the food industry for the preparation of acidic drinks, as well as for technical purposes in the production of plasterboard products and in the production of fiberglass.

As a result, the implementation of cold acid hydrolysis by mineral acids of potato and corn starch with the preservation of starch granules is observed a decrease in viscosity, while reducing the average size of starch granules. The greatest effect was observed in hydrochloric acid at a concentration of 0,5 n., A temperature of 50±3°C and a hydrolysis time of 6 hours. Corn starch had a high affinity for acid hydrolysis. Potato starch granules were hydrolyzed with great difficulty than corn starch granules.

ОТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ КИСЛОТНОГИДРОЛИЗОВАННОГО КРАХМАЛА

М. С. Алексеенко, В. В. Литвяк

РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»

Н. М. Новикова

Белорусский государственный университет, Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова

Одной из наиболее простых, доступных для белорусских технологических возможностей крахмальной отрасли и востребованных в настоящее время технологий является технология холодного кислотного гидролиза, осуществляемая с сохранением крахмальных гранул.

Объект исследования — гидролизованный кислотой картофельный и кукурузный крахмал. Кислотный гидролиз картофельного и кукурузного крахмала проводили при 30, 40 или $50 \pm 3^\circ\text{C}$ в течение 2, 4 или 6 часов при использовании 0,1 н. и 0,5 н. водного раствора соляной и серной кислот. Условную вязкость 6-процентного водного клейстера кукурузного крахмала измеряли на вискозиметре ВЗ-246 в соответствии со стандартной методикой. Средний диаметр гранул картофельного крахмала измеряли при помощи сканирующего (растрового) электронного микроскопа LEO 1420 (Germany). Металлизацию препаратов осуществляли золотом в вакуумной установке EMITECH K 550X. Спланирован и проведен многофакторный эксперимент с помощью программы STATISTICA 8.0.

В результате проведенного исследования получены уравнения регрессии, описывающие влияние режимов кислотного гидролиза (температуры, продолжительности гидролиза, вида и концентрации кислоты) на условную вязкость 6-процентного водного клейстера, а также на размер крахмальных гранул картофельного и кукурузного крахмал.

Исследована возможность применения полученных гидролизованных кислотой крахмалов с высокой текучестью крахмального клейстера в пищевой промышленности для приготовления кисельных напитков, а также для технических целей при производстве гипсокартонных изделий и стекловолокна.

В результате осуществления кислотного гидролиза минеральными кислотами картофельного и кукурузного крахмала с сохранением крахмальных гранул наблюдается снижение условной вязкости при одновременном уменьшении среднего размера крахмальных гранул. Наибольший эффект отмечен при использовании соляной кислоты в концентрации 0,5 н., температуре $50 \pm 3^\circ\text{C}$ и времени гидролиза 6 часов. Большое сродство к кислотному гидролизу имел кукурузный крахмал. Гранулы картофельного крахмала подвергались гидролизу с большим трудом, чем гранулы кукурузного крахмала.

Ключевые слова: крахмал, кислотный гидролиз, химическая модификация, крахмальная гранула, условная вязкость, клейстер.

Постановка проблеми. В настоящее время одной из самых быстро развивающихся отраслей промышленности в мире и в Республике Беларусь является крахмало-паточная отрасль [1]. В постоянно появляющихся новых продуктах используют, как правило, не нативный крахмал, а крахмал с целенаправленно измененными свойствами в результате воздействия химическим, физическим или сочетанным модифицирующим фактором, что существенно повышает потребительские характеристики конечных продуктов [1; 2].

Важным способом модификации крахмала является его гидролитическое расщепление. Еще в 1811 г. русским химиком немецкого происхождения К.С. Кирхгофом впервые была разработана технология получения виноградного сахара (глюкозы) из картофельного крахмала при его нагревании с катализатором (разбавленным раствором серной кислоты) [3]. Изыскания в области гидролитического расщепления крахмала не потеряли своей актуальности и сейчас. Многие исследователи продолжают активно заниматься изучением реакции гидролиза крахмала [2; 4—7].

Однако, несмотря на многочисленные исследования [2; 4—7], нами не было найдено научных работ, посвященных изучению оптимальных технологических режимов холодного (при температуре не выше температуры клейстеризации крахмала) кислотного гидролиза крахмала с сохранением крахмальных гранул. В то же время именно холодный кислотный гидролиз крахмала, осуществляемый с сохранением крахмальных гранул, является одним из наиболее простых, доступных и востребованных процессов модификации для технологических возможностей крахмало-паточной отрасли Республики Беларусь.

Цель исследования: оптимизация технологических условий проведения кислотного гидролиза картофельного и кукурузного крахмала минеральными кислотами и поиск возможных путей их применения в хозяйственном комплексе.

Объект и методы исследования. Объект исследования кислотного гидролизованного картофельного и кукурузного крахмала [8].

Для проведения гидролиза крахмала в лабораторных условиях использовали магнитную мешалку с подогревом и термопарой YellowMAGHS 7, лабораторный вакуумный насос, шланги, стеклянную колбу Бунзена, фарфоровую воронку Бюхнера.

Условия кислотного гидролиза подробно показаны в табл. 1. Кислотный гидролиз картофельного и кукурузного крахмала проводили при 30, 40 или $50 \pm 3^\circ\text{C}$ в течение 2, 4 или 6 часов при использовании 0,1 н. и 0,5 н. водного раствора соляной (HCl) и серной кислот (H_2SO_4). Навеску крахмала при перемешивании диспергировали в определенном объеме водного раствора кислоты (концентрация суспензии крахмала — 20, 30 или 40%). Затем полученную суспензию термостатировали при фиксированной температуре (30, 40 или $50 \pm 3^\circ\text{C}$) в течение 2 или 4 или 6 часов. После этого суспензию кислотного гидролизованного крахмала нейтрализовали 0,1 н. или 0,5 н. раствором гидроксида натрия (NaOH) до pH 5—7,5. Затем полученный кислотного гидролизованный крахмал отделяли от раствора на стеклянном пористом фильтре под вакуумом, промывали его водой и сушили в сушильном шкафу при температуре 35°C .

Условную вязкость 6-процентного водного клейстера картофельного и кукурузного крахмала измеряли на вискозиметре ВЗ-246 в соответствии со стандартной методикой [8].

Средний диаметр гранул картофельного и кукурузного крахмала измеряли при помощи сканирующего (растрового) электронного микроскопа LEO 1420 (Германия) [9]. Металлизацию препаратов осуществляли золотом в вакуумной установке EMITECH K 550X.

Спланирован и проведен многофакторный эксперимент с помощью программы STATISTICA 8.0.

Результаты и их обсуждение. Результаты исследований (условная вязкость 6-процентных крахмальных клейстеров и размеры крахмальных гранул) представлены в табл. 2.

Диапазоны значений концентрации суспензии, температуры и времени гидролиза, вида и концентрации кислоты определены на основании изучения литературных источников, технической документации по производству крахмала и крахмалопродуктов, а также проведения предварительных испытаний по определению условной вязкости 6-процентного водного клейстера картофельного и кукурузного крахмалов и среднего диаметра крахмальных гранул (табл. 1).

Таблица 1. Условия получения экспериментальных образцов кислотно-гидролизованного крахмала в лабораторных условиях

№ образца	Условия гидролиза		№ образца	Условия гидролиза	
1	2		3	4	
картофельный крахмал, 0,5 н. р-р H ₂ SO ₄ , 6 ч.			картофельный крахмал, 0,5 н. р-р HCl, 6 ч.		
1.1	суспензия 20%	<i>t</i> = 30°C	4.1	суспензия 20%	<i>t</i> = 30°C
1.2		<i>t</i> = 40°C	4.2		<i>t</i> = 40°C
1.3		<i>t</i> = 50°C	4.3		<i>t</i> = 50°C
2.1	суспензия 30%	<i>t</i> = 30°C	5.1	суспензия 30%	<i>t</i> = 30°C
2.2		<i>t</i> = 40°C	5.2		<i>t</i> = 40°C
2.3		<i>t</i> = 50°C	5.3		<i>t</i> = 50°C
3.1	суспензия 40%	<i>t</i> = 30°C	6.1	суспензия 40%	<i>t</i> = 30°C
3.2		<i>t</i> = 40°C	6.2		<i>t</i> = 40°C
3.3		<i>t</i> = 50°C	6.3		<i>t</i> = 50°C
картофельный крахмал					
суспензия 40%, <i>t</i> = 50°C			суспензия 40%, <i>t</i> = 50°C		
7.1	0,1 н. р-р H ₂ SO ₄	2 ч.	9.1	0,5 н. р-р H ₂ SO ₄	2 ч.
7.2		4 ч.	9.2		4 ч.
7.3		6 ч.	9.3		6 ч.
8.1	0,1 н. р-р HCl	2 ч.	10.1	0,5 н. р-р HCl	2 ч.
8.2		4 ч.	10.2		4 ч.
8.3		6 ч.	10.3		6 ч.
кукурузный крахмал, 0,5 н. р-р H ₂ SO ₄ , 6 ч.			кукурузный крахмал, 0,5 н. р-р HCl, 6 ч.		
11.1	суспензия 20%	<i>t</i> = 30°C	14.1	суспензия 20%	<i>t</i> = 30°C
11.2		<i>t</i> = 40°C	14.2		<i>t</i> = 40°C
11.3		<i>t</i> = 50°C	14.3		<i>t</i> = 50°C
12.1	суспензия 30%	<i>t</i> = 30°C	15.1	суспензия 30%	<i>t</i> = 30°C

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

12.2		$t = 40^{\circ}\text{C}$	15.2		$t = 40^{\circ}\text{C}$
<i>Продолжение табл. 1</i>					
1	2	3	4	5	6
12.3		$t = 50^{\circ}\text{C}$	15.3		$t = 50^{\circ}\text{C}$
13.1	суспензия 40%	$t = 30^{\circ}\text{C}$	16.1	суспензия 40%	$t = 30^{\circ}\text{C}$
13.2		$t = 40^{\circ}\text{C}$	16.2		$t = 40^{\circ}\text{C}$
13.3		$t = 50^{\circ}\text{C}$	16.3		$t = 50^{\circ}\text{C}$
кукурузный крахмал					
суспензия 40%, $t = 50^{\circ}\text{C}$			суспензия 40%, $t = 50^{\circ}\text{C}$		
17.1	0,1 н. р-р H_2SO_4	2 ч.	19.1	0,5 н. р-р H_2SO_4	2 ч.
17.2		4 ч.	19.2		4 ч.
17.3		6 ч.	19.3		6 ч.
18.1	0,1 н. р-р HCl	2 ч.	20.1	0,5 н. р-р HCl	2 ч.
18.2		4 ч.	20.2		4 ч.
18.3		6 ч.	20.3		6 ч.

На основании известных данных [1] о том, что начало клейстеризации крахмальных гранул картофельного крахмала осуществляется при температуре 60—65°C, а гранул кукурузного крахмала — при 68—80°C, была выбрана температура кислотного гидролиза 30, 40 или 50±3°C, которая полностью исключает процесс клейстеризации в результате разрушения крахмальных гранул.

Таблица 2. Условная вязкость и средний диаметр гранул кислотного гидролизованных крахмалов

№ п/п	Условная вязкость, с	Средний диаметр крахмальных гранул, мкм	№ п/п	Условная вязкость, с	Средний диаметр крахмальных гранул, мкм
1	2	3	4	5	6
1.1	>1380	46,4	11.1	470	35,2
1.2	540	42,1	11.2	40,0	22,3
1.3	72,6	36,3	11.3	15,2	21,4
2.1	1300	46,0	12.1	55,0	24,0
2.2	420	40,7	12.2	29,6	21,8
2.3	41,0	34,5	12.3	14,3	19,8
3.1	865	43,3	13.1	47,0	22,6
3.2	144,5	38,2	13.2	28,1	21,8
3.3	20,5	33,3	13.3	14,2	18,2
4.1	660	46,3	14.1	197,0	24,8
4.2	58,8	41,8	14.2	19,5	22,1
4.3	13,8	35,1	14.3	11,8	21,4
5.1	600	44,8	15.1	162,1	23,0
5.2	53,5	38,8	15.2	15,0	21,8
5.3	12,0	33,7	15.3	11,8	18,8
6.1	540	42,8	16.1	45,8	22,6
6.2	48,7	37,7	16.2	14,9	21,7
6.3	11,8	32,3	16.3	11,6	17,0
7.1	не вытекает, капает	55,4	17.1	48,5	24,6
7.2	185,5	48,6	17.2	34,8	22,8
7.3	161,0	43,7	17.3	32,5	21,6
8.1	не вытекает,	49,5	18.1	41,0	23,8

	капает				
<i>Продолжение табл. 2</i>					
1	2	3	4	5	6
8.2	185,5	48,5	18.2	23,0	22,7
8.3	180,1	40,7	18.3	19,6	18,8
9.1	47,5	54,7	19.1	19,4	23,7
9.2	37,5	39,7	19.2	14,4	22,6
9.3(3.3)	20,5	33,3	19.3 (13.3)	14,2	18,2
10.1	34,0	47,7	20.1	15,3	22,9
10.2	18,0	36,5	20.2	12,4	22,0
10.3(6.3)	11,8	32,3	20.3(16.3)	11,6	17,0

Для определения оптимальных параметров кислотного гидролиза картофельного и кукурузного крахмала нами были выбраны факторы, оказывающие наибольшее влияние на условную вязкость картофельного и кукурузного крахмала, а также на средний диаметр гранул картофельного и кукурузного крахмала, которые обозначены следующим образом:

Y_1 — условная вязкость 6-процентного водного клейстера картофельного крахмала, соответственно, с;

Y_2 — условная вязкость 6-процентного водного клейстера кукурузного крахмала, соответственно, с;

Y_3 — средний диаметр гранул картофельного крахмала, соответственно, мкм;

Y_4 — средний диаметр гранул кукурузного крахмала, соответственно, мкм;

X_1 — температура, °C;

X_2 — продолжительность (время) гидролиза, ч;

X_3 — концентрация кислоты H_2SO_4 или HCl .

В результате проведенного исследования нами получены уравнения регрессии, описывающие влияние режимов кислотного гидролиза (температуры, продолжительности гидролиза, вида и концентрации кислоты) на:

1. Условную вязкость 6-процентного водного клейстера картофельного (Y_1) крахмала:

$$Y_1 = \exp(9,3049 - 0,13569 \cdot X_1 - 0,06298 \cdot X_2 + 1,47389 \cdot X_3), \text{ при } X_3 : H_2SO_4.$$

$$Y_1 = \exp(10,1289 - 0,1469 \cdot X_1 - 0,686 \cdot X_2 + 0,0324 \cdot X_2^2 + 1,6383 \cdot X_3 + 0,1736 \cdot X_2 \cdot X_3), \text{ при } X_3 : HCl.$$

2. Условную вязкость 6-процентного водного клейстера кукурузного (Y_2) крахмала:

$$Y_2 = \exp(3,04783 + 0,0923 \cdot X_1 - 0,00196 \cdot X_1^2 - 0,376 \cdot X_2 + 0,0354 \cdot X_2^2 + 0,8597 \cdot X_3), \text{ при } X_3 : H_2SO_4.$$

$$Y_2 = \exp(10,81495 - 0,34462 \cdot X_1 + 0,00346 \cdot X_1^2 - 0,31093 \cdot X_2 + 0,04468 \cdot X_2^2 + 1,19134 \cdot X_3 - 0,11697 \cdot X_2 \cdot X_3), \text{ при } X_3 : HCl.$$

3. Размер крахмальных гранул картофельного (Y_3) крахмала:

$$Y_3 = \exp(4,910152 - 0,010693 \cdot X_1 - 0,310622 \cdot X_2 + 0,02175 \cdot X_2^2 + 0,120493 \cdot X_3 + 0,020153 \cdot X_2 \cdot X_3), \text{ при } X_3 : \text{H}_2\text{SO}_4.$$

$$Y_3 = \exp(4,691624 - 0,016757 \cdot X_1 - 0,22414 \cdot X_2 + 0,022216 \cdot X_2^2 + 0,456934 \cdot X_3 - 0,043067 \cdot X_2 \cdot X_3), \text{ при } X_3 : \text{HCl}.$$

4. Размер крахмальных гранул кукурузного (Y_4) крахмала:

$$Y_4 = \exp(3,625517 - 0,008611 \cdot X_1 - 0,044045 \cdot X_2 + 0,056719 \cdot X_3), \text{ при } X_3 : \text{H}_2\text{SO}_4.$$

$$Y_4 = \exp(2,521251 + 0,043611 \cdot X_1 - 0,000671 \cdot X_1^2 + 0,075912 \cdot X_2 - 0,016375 \cdot X_2^2 + 0,027148 \cdot X_3), \text{ при } X_3 : \text{HCl}.$$

Графическое выражение математических зависимостей условной вязкости 6-процентного водного крахмального клейстера и среднего диаметра крахмальных гранул от условий холодного кислотного гидролиза представлены на рис. 1—4.

На основании полученных результатов установлено, что при усилении режимов холодного гидролиза минеральными кислотами как картофельного, так и кукурузного крахмала (увеличении концентрации кислоты и времени гидролиза) отмечено уменьшение среднего размера крахмальных гранул при одновременном понижении условной вязкости крахмальных клейстеров.

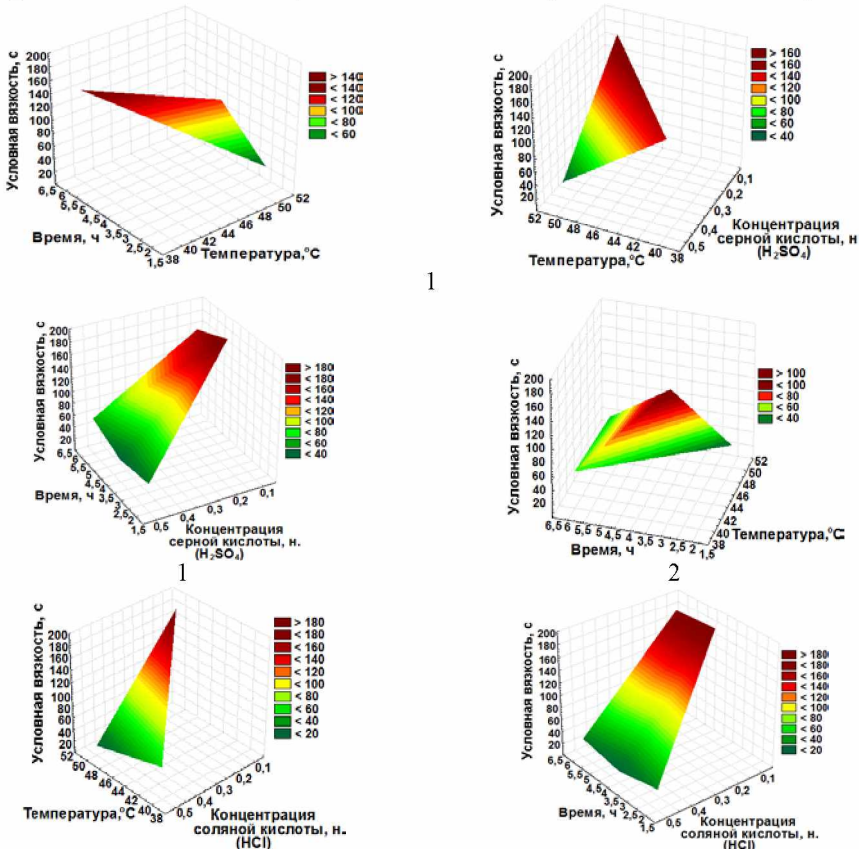


Рис. 1. Зависимость условной вязкости 6-процентного водного клейстера картофельного крахмала от условий холодного кислотного гидролиза:
1 — серная кислота (H_2SO_4); 2 — соляная кислота (HCl)

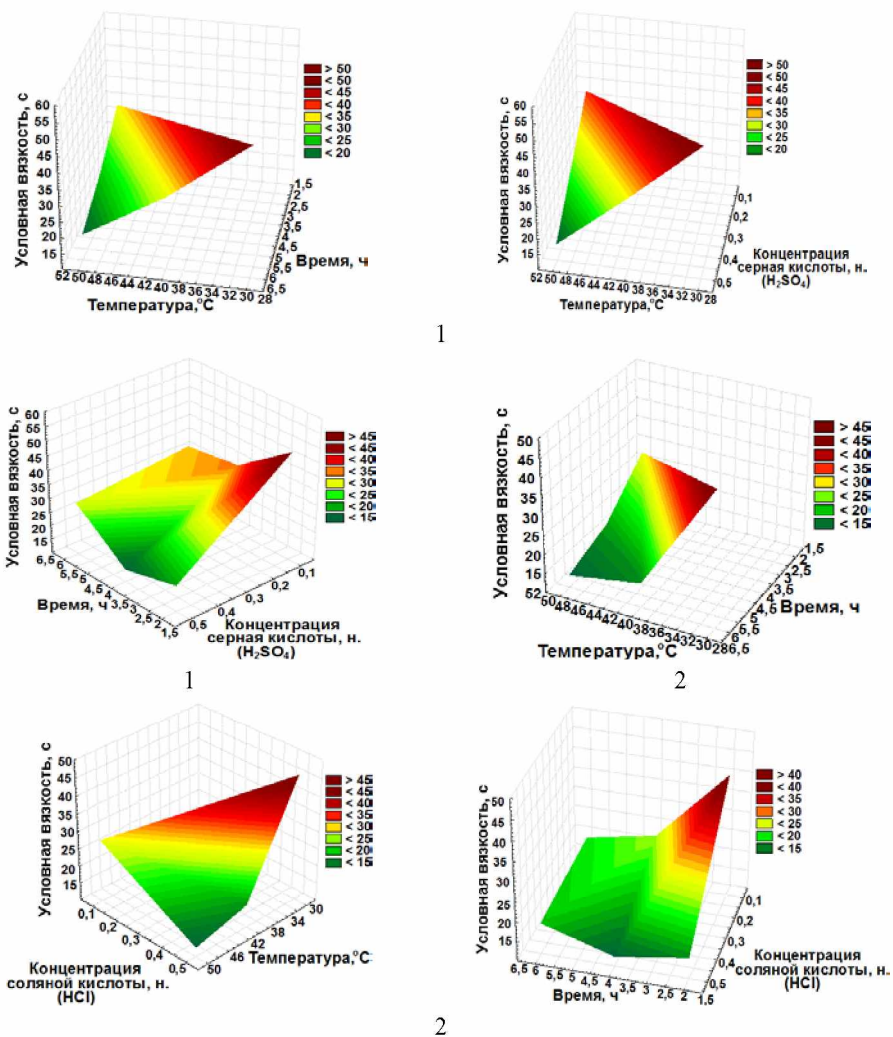
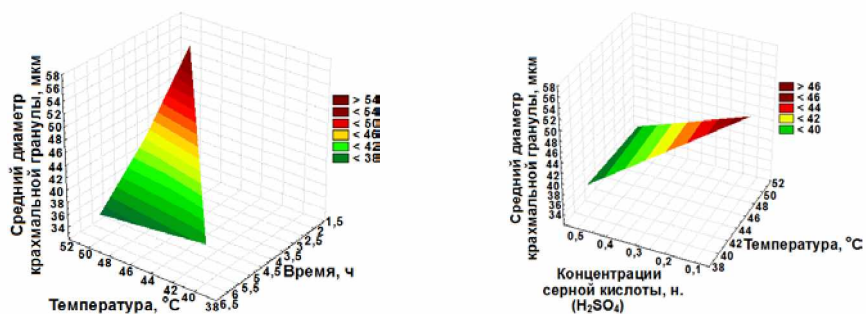
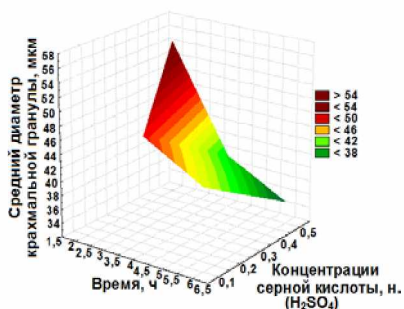


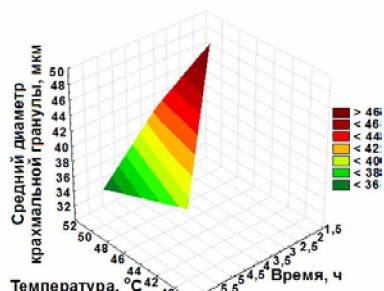
Рис. 2. Зависимость условной вязкости 6-процентного водного клейстера кукурузного крахмала от условий холодного кислотного гидролиза:
1 — серная кислота (H_2SO_4); 2 — соляная кислота (HCl)



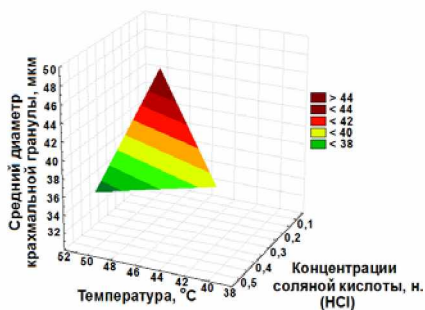
1



1



2



2

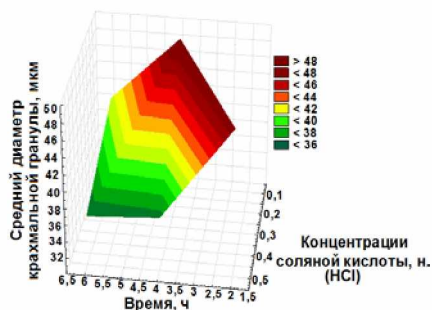
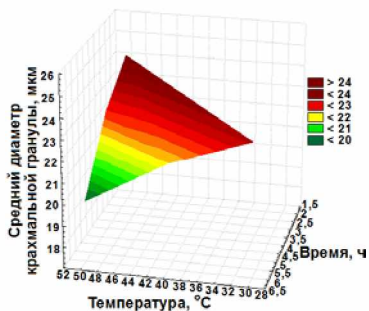
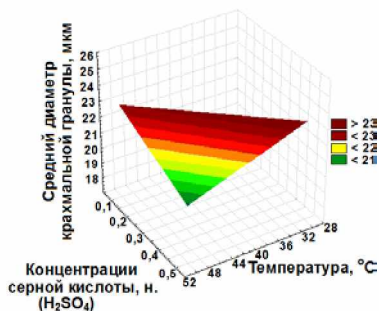


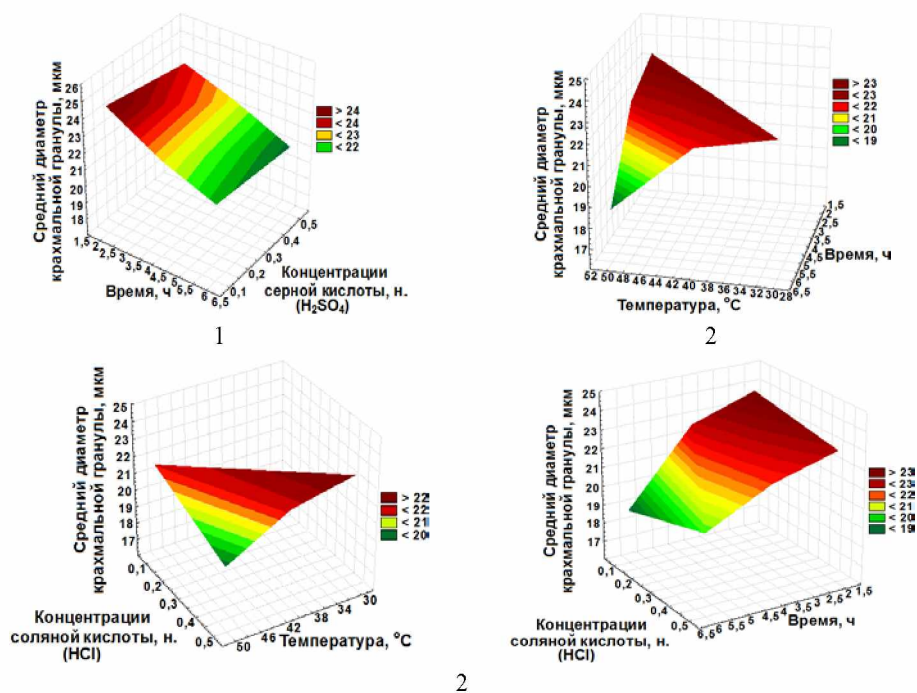
Рис. 3. Зависимость среднего диаметра гранул картофельного крахмала от условий холодного кислотного гидролиза:

1 — серная кислота (H₂SO₄); 2 — соляная кислота (HCl)



1





2

Рис. 4. Зависимость среднего диаметра гранул кукурузного крахмала от условий холодного кислотного гидролиза: 1 — серная кислота (H₂SO₄); 2 — соляная кислота (HCl)

Анализ экспериментальных данных (табл. 1, 2 и рис. 1—4) показывает, что наибольший эффект снижения условной вязкости и размера крахмальных гранул отмечен под влиянием соляной кислоты при концентрации 0,5 н., температуре 50±3°С и времени гидролиза 6 часов. Серная кислота, по сравнению с соляной, менее активно гидролитически расщепляла крахмал. У кукурузного крахмала в сравнении с картофельным крахмалом наблюдался больший эффект кислотного гидролиза (уменьшение среднего размера крахмальных гранул при одновременном понижении условной вязкости крахмальных клейстеров). Следовательно, можно предположить, что в результате различий в строении крахмальных гранул (соотношения амилозы и амилопектина, типов кристаллитов, средней влажности, среднего размера крахмальных гранул, наличия других веществ и т.д.) [1] кукурузный крахмал по сравнению с картофельным имел большее сродство к кислотному гидролизу и гидролитически расщеплялся при одинаковых условиях быстрее, чем картофельный крахмал.

Нативный крахмал — природный полимер, в котором мономеры (остатки α-D-глюкопиранозы) связаны α-(1→4)- и α-(1→6)-глюкозидными связями, образуя амилозу (полисахарид линейного строения) и амилопектин (полисахарид разветвленного строения). Крахмальные фракции (амилоза и амилопектин) компактно упакованы в крахмальные зерна (или гранулы) [1; 9; 10].

Согласно полученным нами результатам, а также известным данным [1; 9; 10] крахмальные зерна имеют овальную, сферическую или неправильную

форму, их диаметр колеблется в пределах 0,001—0,2 мм. Крахмальные зерна разделяются на простые и сложные: простые зерна представляют собой однородные образования; сложные — сочетание более мелких частиц. Плотность крахмала равна в среднем 1,5 кг/м³.

На основании анализа особенностей строения нативного крахмала можно сделать предположение, что основной структурной единицей, обуславливающей его свойства, является крахмальное зерно (гранула) [1; 9; 10]. Так, особенности размера и формы крахмальных зерен обуславливают проявление следующих характеристик крахмала:

1. Количество связанной влаги (чем больше крахмальная гранула, тем больше связанной влаги имеется в крахмале и наоборот).

2. Температуру клейстеризации (чем больше крахмальная гранула, тем меньше температура ее клейстеризации и наоборот).

3. Соотношение крахмальных фракций — разветвленной фракции амилопектина и линейной амилозы (формирование крахмальной гранулы обусловлено взаимодействием линейных участков амилопектина друг с другом или с амилозой).

4. Реологические характеристики крахмального клейстера (вязкость крахмального клейстера обусловлена соотношением крахмальных фракций амилопектина и амилозы).

Температура клейстеризации, количество связанной влаги, вязкость крахмального клейстера, соотношение крахмальных фракций, цвет йодной пробы и другие физико-химические свойства обуславливаются (определяются) особенностями размера и формы крахмальных зерен.

Известно [1; 11], что кислотноголизованные крахмалы находят широкое применение в пищевой промышленности для приготовления мягких конфет, жележных изделий, рахат-лукума, корпусов шоколадных конфет, пудинговых смесей, пастилы, жевательных резинок, в качестве стабилизатора фруктовых и ягодных желе, а также для получения защитных плёнок. Также известно [11] различное использование кислотноголизованного крахмала в технических целях:

- в текстильной промышленности для шлихтования основ и отделки как хлопчатобумажных, так и смешанных тканей;

- в производстве жидких подкрахмаливающих средств и т.д.

Найдено применение полученных кислотноголизованных крахмалов с высокой текучестью крахмального клейстера (условной вязкостью 10—15 с) в пищевой промышленности для приготовления кисельных напитков в качестве структурообразователя, а также в технических целях при производстве гипсокартонных изделий на ОАО «БелГИПС» в качестве связующего средства, а при производстве стекловолокна на ОАО «Полоцк-Стекловолокно» в качестве загустителя.

Выводы

В результате осуществления холодного кислотного гидролиза минеральными кислотами картофельного и кукурузного крахмала с сохранением

крахмальных гранул наблюдается снижение условной вязкости при одновременном уменьшении среднего размера крахмальных гранул. Наибольший эффект отмечен при использовании соляной кислоты 0,5 н. концентрации, при температуре $50 \pm 3^\circ\text{C}$ и времени гидролиза 6 часов. Большое сродство к кислотному гидролизу имел кукурузный крахмал. Гранулы картофельного крахмала подвергались гидролизу с большим трудом, чем гранулы кукурузного крахмала.

Найдено применение кислотногидролизированных крахмалов с условной вязкостью крахмального клейстера 10—15 с в пищевой промышленности для приготовления кисельных напитков в качестве структурообразователя и в технических целях при производстве гипсокартонных изделий на ОАО «БелГИПС» в качестве связующего средства, при производстве стекловолокна на ОАО «Полоцк-Стекловолокно» в качестве загустителя.

Литература

1. Полумбрик М. О., Литвяк В. В., Ловкис З. В., Ковбаса В. Н. Углеводы в пищевых продуктах. Минск: ИВЦ Минфина, 2016. 592 с.
2. Bej V., Basu R.K., Ash S.N. Kinetic studies on acid catalysed hydrolysis of starch. *Journal of scientific and industrial research*. 2008. Vol. 67. No.4. P. 295—298.
3. Лукин Н. Д. К 200-летию открытия каталитической реакции гидролиза крахмала. *Пищевая промышленность*. 2011. № 11. С. 44—45.
4. Garba M. U., Abubakar Mohammed, Etim E. D. A Kinetic Study of the Enzymatic Hydrolysis of Cassava Starch. *International Journal of Science and Engineering Investigations*. 2012. Vol. 1. No.11. P. 65—70.
5. Chavan Ram, Saxena Kunjan, Tigote Dhananjay Optimization of Acid Hydrolysis Process for Free Glucose Recovery From Starch. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*. 2015. Vol. 2. No. 12. P. 55—58.
6. Wang S., Copeland L. Effect of Acid Hydrolysis on Starch Structure and Functionality: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2013. Vol. 55. No. 8. P. 1081—1097.
7. Sun Qingjie, Zhu Xiaolei, Si Fumei, Xiong Liu Effect of acid hydrolysis combined with heat moisture treatment on structure and physicochemical properties of corn starch. *Journal of Food Science and Technology*. 2015. Vol. 52. No. 1. P. 375—382.
8. Арнаут С. А., Литвяк В. В., Алексеенко М. С. ТУ ВУ 190239501.889-2015 «Крахмал кислотногидролизированный». РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию». Минск, 2015. 20 с. Государственная регистрация №043217 от 12.02.2015 г.
9. Атлас: морфология полисахаридов / В. В. Литвяк, Г. Х. Оспанкулова, Д. А. Шаймерденова, Н. К. Юркштович, С. М. Бутрим, Ю. Ф. Росляков. Астана: ТОО «EDIGE», 2016. 335 с.
10. Литвяк Владимир, Алексеенко Маргарита, Канарский Альберт Формирование крахмальной гранулы и механизм химической модификации крахмала. *Наука и инновации: научно-практический журнал*. 2016. № 3(157). С. 63—67.
11. Алексеенко М. С., Литвяк В. В. Применение кислотногидролизированных крахмалов. Наука, питание и здоровье: материалы конгресса (Минск, 8, 9 июня 2017 г.) / Нац. акад. наук Беларуси, РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»; редкол.: З.В. Ловкис [и др.]. Минск: Беларуская навука, 2017. С. 203—211.