

## I. ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на то что главным источником крахмала в Соединенных Штатах является кукуруза, пшеница также играет важную роль как сырье для производства крахмала. Производство пшеничного крахмала в настоящее время экономически целесообразно вследствие выделения пшеничного глютена — ценного белкового побочного продукта. Вследствие своих уникальных свойств — повышенного содержания белка без нарушения свойств других ингредиентов, мягкого вкуса и запаха, совместимости с углеводами, жирами и другими белками — пшеничный глютен используется как добавка к различным кондитерским и другим продуктам, а также как улучшитель качества муки с низким содержанием белка.

## II. РАННИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ

Разработано много промышленных способов производства пшеничного крахмала, но распространение получили лишь некоторые. Большинство методов не учитывали выход и качество глютена. Одним из таких методов приготовления пшеничного крахмала был ферментативный способ Халле, направленный на то, чтобы разрушить как можно больше глютена и освободить более устойчивый крахмал из пшеницы. Процесс заключался в замачивании и размягчении целого зерна; измельчении размягченного зерна; ферментации для разрушения глютена в процессе химических и биохимических реакций; получении растворимых отходов; отделении крахмала от ферментативной жидкости; очистке и удалении примесей и сушке. При этом глютен полностью разрушался и его нельзя было выделить. Крахмальный продукт был сравнительно загрязнен и слегка окрашен; выход крахмала был также низким.

Способ Халле и ему подобные были постепенно вытеснены способом Алсатиана, в котором было обеспечено выделение глютена. По этому методу зерно подвергали продолжительному неферментативному замачиванию в воде. Размягченное зерно затем помещали в сетчатые мешки, что позволяло крахмалу легко проходить через сетки, в то время как глютен задержи-

вался в них. Мешки с зерном проходили обработку на серии вальцов, в которых расстояние между парами валков постепенно уменьшалось. Крахмал продавливался наружу и собирался, а оболочка и глютен оставались в мешках. Дальнейшая очистка крахмала осуществлялась на крахмальных желобах. Операция отделения глютена от оболочки путем отмывки была при этом довольно трудоемка, а выход глютена — низким.

В 1835 г. в Париже Мартен предложил сравнительно простой способ для получения глютена и крахмала из пшеничной муки, из которой можно получить более чистый продукт, чем из целого зерна. Способ Мартена [2, 3] включает приготовление крутого теста, содержащего около 40% воды. После одночасовой гидратации тесто прокатывают между гофрированными барабанами или размешивают в движущихся возвратно-поступательно барабанах под струей воды для вымывания крахмала и получения глютена в виде липкой массы. Преимущество этого способа в максимальном выходе глютена хорошего качества и легкообработываемого. Крахмал очищают на желобах и высушивают.

Во время второй мировой войны сотрудники Исследовательской лаборатории северных районов (США) предложили два метода для выделения крахмала из пшеничной муки.

Первый метод, названный щелочным [4], был химическим и включал диспергирование и растворение пшеничного белка в 0,03 н. растворе гидроокиси натрия. Он давал денатурированный белок и пшеничный крахмал хорошего качества. Второй метод, названный методом сбивания, включает изготовление так называемого сбитого теста, механическое разрушение сбитого теста в присутствии добавленной воды и вымывание крахмала из глютена [5, 6]. В противоположность методу Мартена глютен выделяют в виде липкой, похожей на творог массы. Примерно в то же самое время об открытии подобного метода заявили канадские ученые [7]. Метод применялся во время войны на нескольких заводах.

Метод мокрого помола целого пшеничного зерна для извлечения крахмала также был использован на нескольких заводах во время второй мировой войны. Он был аналогичен тому, который применялся для кукурузы, и давал крахмал высокого качества [8]. Крахмал был гидролизован в патоку и сахар теми же способами, которые используют для кукурузного крахмала.

### III. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ

Давно известно, что для производства крахмала в качестве сырья используют низкосортную пшеничную муку. Для выделения крахмала и глютена из пшеничной муки используются модификации двух основных методов — Мартена и метода взби-

вания. Канадская фирма сообщает об использовании щелочного способа [9].

Существуют пять основных стадий при использовании как метода Мартена, так и метода взбивания: а) смешивание муки с водой; б) вымывание крахмала из теста или взбитого теста; в) извлечение крахмала и глютена; г) очистка каждой фракции; д) высушивание фракций. Ниже приводится схематическое изображение этих стадий:



На стадии смешивания на американских заводах непрерывные смесители вытеснили большинство периодических тестомешалок. На одном заводе переход к непрерывному смешиванию и замесу теста обеспечил удвоение мощности [10]. Рекомендуются также смесители и других конструкций [11, 12].

Много конструкций предложено для извлечения крахмала вымыванием [13—18 а]. На этой стадии способ Мартена и способ взбивания резко отличаются. При первом оборудовании может быть представлено парой движущихся возвратно-поступательно барабанов, которые размешивают тесто в желобе под струей воды, или тщательным противоточным вымывателем, в

котором происходит постепенное отделение крахмала от белковой массы. По способу взбивания продукт поступает к «режущему» насосу вместе с добавляемой водой, а глютенная масса отделяется от крахмальной суспензии на сотрясательных ситах.

Неочищенное крахмальное молоко проходит через тонкие сита для удаления мезги и мелких частиц глютена. Далее оно очищается, проходя через систему непрерывно работающих сепараторов, которые заменили старую технику осаждения на желобах. В США применяют сепараторы Мерко, специально сконструированные сепараторы с сопловой выгрузкой [19, 20]. Использование этих и подобных им сепараторов («Де Лаваль», «Шарплез», «Вестфалия», «Штаркоза») значительно увеличивает выход и качество пшеничного крахмала первого сорта, сокращает время обработки и занимаемую площадь.

Крахмал высушивают обычными средствами, главным образом в непрерывно действующих сушилках, таких, как туннельная, барабанная, распылительная и пневматическая. В процессе очистки крахмала обычно получают и крахмал второго сорта, отличающийся более высоким содержанием белка, чем крахмал первого сорта. Его высушивают тем же способом.

Метод сушки глютена зависит от желаемого типа конечного продукта. Если требуется неденатурированный глютен, необходимо специальное оборудование для защиты белка от перегрева и денатурации. В промышленности глютен высушивают в вакуумных сушилках при сравнительно низких температурах, после чего его разрезают на куски или измельчают другим способом; сырой глютен смешивают с высушенным глютенем, и смесь сушат в пневматической сушилке в потоке теплого воздуха [21] или измельченный сырой глютен, содержащий около 10% сухих веществ, высушивают распылением [22, 23].

Все эти способы дают сухой глютен, обеспечивая сохранение многих свойств исходного сырого глютена.

Производственные и промывные воды, которые накапливаются во время выделения крахмала и глютена из пшеничной муки, большей частью выбрасываются, даже если они содержат более 10% общей массы муки.

#### **IV. ПОСЛЕДНИЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МЕТОДОВ**

##### **1. Непрерывный способ взбивания**

Инженеры-химики Исследовательской лаборатории Северных районов описали непрерывный вариант процесса взбивания. Усовершенствования установки показали возможность извлечения крахмала из низкосортной пшеничной муки [24, 25].

Способ заключается в смешивании муки и воды в соответствующей пропорции и получении эластичного, легко подвиж-

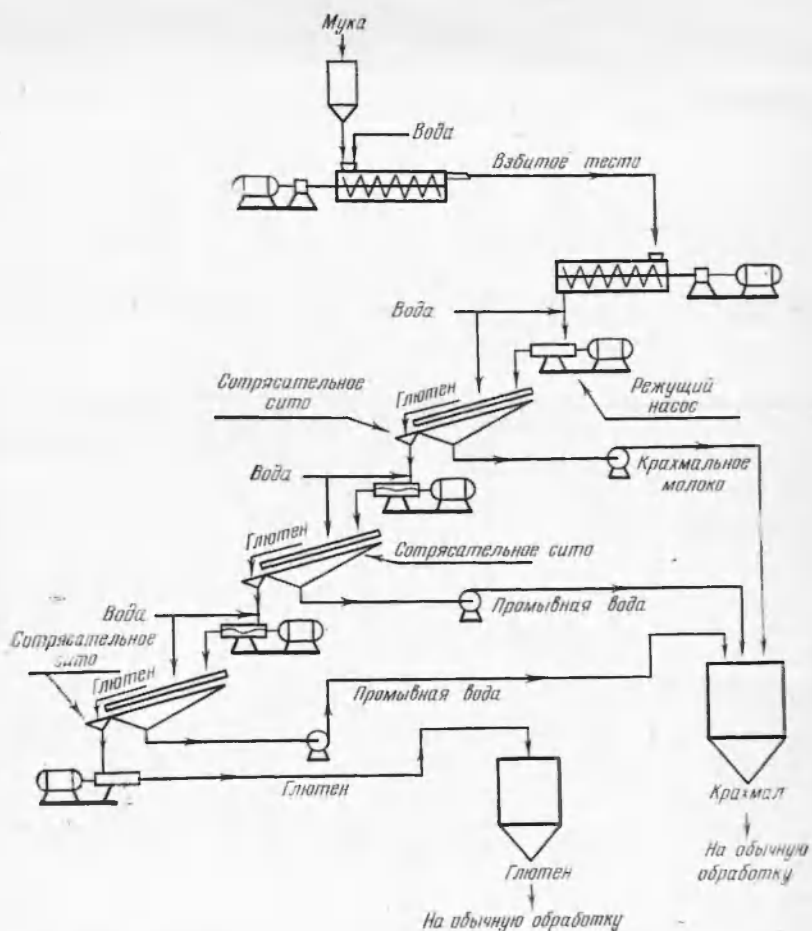


Рис. 12. Схема усовершенствованного метода взбивания [25].

ного гладкого взбитого теста. Затем тесто механически разрушается в присутствии дополнительного количества воды. Крахмал быстро и почти полностью вымывается, оставляя глютен взвешенным в суспензии в виде кусочков или творожистой массы. Глютен отделяют от крахмала ситованием суспензии. Крахмал и глютен можно далее очистить и высушить обычными средствами.

Непрерывная опытная установка по переработке 182 кг муки в час была смонтирована из стандартного, легко доступного оборудования. Она отличается гибкостью и простотой. В опытной установке с успехом перерабатывают муку, полученную из различных сортов пшеницы.

На рис. 12 представлена схема выделения глютена и крах-

мала из пшеничной муки по непрерывному способу сбивания NRRL. По этому способу мука и вода непрерывно поступают в контролируемых количествах на ленточный смеситель. Соотношение воды и муки по массе колеблется между 0,7:1 и 1,8:1 в зависимости от сорта используемой муки. Мука из мягкой пшеницы требует меньшего количества воды; для муки из твердой пшеницы необходимо соотношение воды и муки больше 1,8:1. Вода нагревается до 48—57° С для облегчения гидратации глютена и снижения времени размешивания, необходимого для обеспечения соответствующей консистенции взбитого теста. Длительное размешивание необходимо, когда перерабатывается мука мягкой пшеницы или других низкобелковых сортов. Гладкое эластичное сбитое тесто по конвейеру подают к моеющему или «режущему» насосу, в который поступает холодная вода (соотношение воды и муки 3:1) и осуществляется перемешивание теста с водой. Таким образом крахмал вымывается из глютена, который остается в виде мелких творожистых частиц. Глютеновые частицы удаляют из неочищенной крахмальной суспензии на центробежных ситах. При дальнейшем вымывании удаляется большая часть крахмала.

В табл. 10 показано разделение, достигаемое из муки различных сортов пшеницы.

Несмотря на то что выделенные продукты различались по количеству и составу, их можно было считать почти одинаковыми, учитывая широкие колебания в составе перерабатываемой муки. Содержание белка в неочищенном крахмале (вклю-

Таблица 10  
Результаты опытов по способу взбивания [25]

Тип муки	Сорт пшеницы				Сорт муки из чистой твердой красной озимой пшеницы	
	патент, мягкая белая озимая	патент, мягкая красная озимая	патент, твердая красная озимая	патент, твердая красная яровая	первый	второй
Состав муки по СВ						
белок, %*	9,2	11,1	14,3	14,6	16,6	17,3
зола, %*	0,39	0,34	0,41	0,41	0,79	1,47
глютен, выделенный из 45,4 кг муки (около 12% влажности), кг по СВ	3,2	4,45	5,9	6,2	6,6	7,5
Чистота глютена, % белка по СВ	81,0	81,0	80,7	79,6	84,8	74,9
Неочищенный крахмал**, выделенный из 45,4 кг муки (около 12% влажности и 3% белка), кг по СВ	34,7	32,7	33,1	32,2	31,7	30,7

\* Белок = N×5,7.

\*\* Включает СВ промывной воды.

чая сухие вещества промывной воды) в различных сортах муки мало изменялось и в среднем составляло около 3%. Переход общего белка в глютеновую фракцию составил для большинства переработанных сортов пшеницы 80% и выше, за исключением муки, полученной из мягкой белой озимой пшеницы. Содержание белка в глютене, выделенном из различных сортов муки, изменялось от 75 до 85%.

Эти результаты в достаточной степени иллюстрируют усовершенствованный способ взбивания. Способ обеспечивает большой выход пшеничного крахмала и ценного побочного продукта глютена. Операции описанного процесса просты, легко контролируемы и механизированы. Способ эффективен при минимальной затрате труда, энергии и воды. Непрерывность метода дает минимальную задержку продукта, что уменьшает возможность ферментативного или микробиологического разрушения фракций. Этот способ экспериментально был проверен для пшеничной муки с выходом в пределах 72—96%; результаты показывают, что мука с выходом до 85% может удовлетворительно перерабатываться и давать продукт, равный по качеству и количеству продукту, выделенному из коммерческой муки второй степени чистоты [25a].

## **2. Использование муки воздушной классификации**

Введение тонкого измельчения и воздушной классификации пшеничной муки в мукомольной промышленности дает новые источники сырья для производства пшеничного крахмала. Контролируя размер частиц, можно получить фракции муки с содержанием белка в пределах от 3 до 25% [26—29].

Исследования, в которых в качестве сырья для производства пшеничного крахмала была использована высокобелковая фракция, проводили европейские и австралийские ученые. Высокобелковые фракции необходимо использовать так, чтобы глютен мог более легко выделяться из крахмала. Хороший выход крахмала и глютена достигнут при использовании для этих фракций оборудования мокрого помола [30, 31, 32].

## **3. Аммонийный способ**

Национальный исследовательский совет Канады недавно разработал лабораторный способ изготовления крахмала и нативного глютена из низкосортной пшеничной муки с высоким содержанием золы [33]. Способ похож на вышеупомянутый щелочной метод, но с использованием гидроокиси аммония вместо гидроокиси натрия или калия. В результате глютен может быть выделен в нативном виде. Совет считает, что способ обещает быть безупречным в промышленном масштабе. Схема, включающая материальный баланс для завода, способного перерабатывать 50 т муки в сутки, изображена на рис. 13.

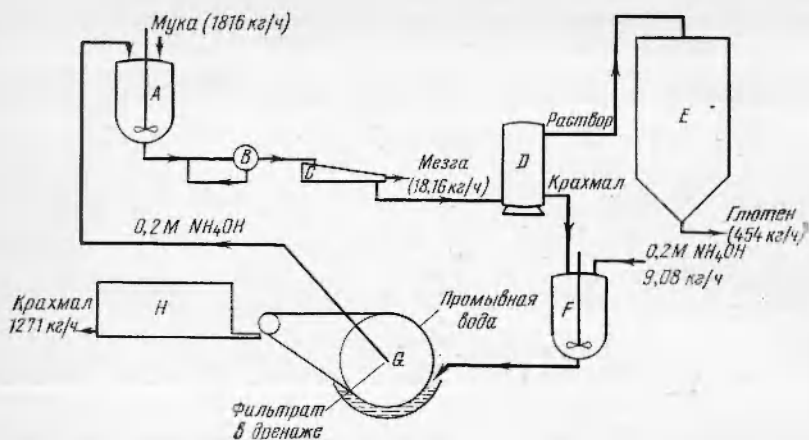


Рис. 13. Схема аммонийного процесса:

*A* — сборник суспензии; *B* — мельница с рециркуляцией; *C* — сотрясательное сито; *D* — непрерывный сепаратор; *E* — распылительная сушилка; *F* — промывной сборник; *G* — вакуум-фильтр; *H* — туннельная сушилка.

## V. ПРОИЗВОДСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ ПШЕНИЧНОГО КРАХМАЛА

По приблизительным подсчетам в США вырабатывается в год 56—68 тыс. т пшеничного крахмала.

Пшеничный крахмал поступает в продажу в порошкообразном, модифицированном и предварительно клейстеризованном виде. Он находит такое же применение, что и крахмал из кукурузы, картофеля, тапиока и риса. Пшеничный крахмал считается превосходным для прачечных работ, вероятно, вследствие большого диапазона величин зерен крахмала. Более мелкие зерна проникают в волокна тканей, в то время как более крупные покрывают внешнюю поверхность. Чисто белый цвет пшеничного крахмала делает его необходимым компонентом таблетированных лекарственных и косметических препаратов. Способность к образованию гелей в холодном состоянии используется в пищевой промышленности. Крахмал второго сорта используют в производстве паст и клеев для обоев; кроме хороших адгезионных свойств, пшеничные пасты хорошо удерживают влагу и обладают свойством скольжения, что важно в бумажной промышленности [35, 36]. Из пшеничного крахмала ферментативным способом получен глютаминат натрия [37].

Существует много возможностей для превращения пшеничного крахмала в другие полезные продукты. Такие продукты, как диальдегидный крахмал, ксантиды крахмала и органические кислоты из ферментированного крахмала, способствуют выпуску больших количеств крахмала из пшеницы.



## VI. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Radley J. A. *Starch and Its Derivatives*, London, Chapman and Hall Ltd., 1953.
2. Brautlecht C. A., *Starch — Its Sources, Production, and Uses*, New York, Reinhold Publishing Co., 1953.
3. Knight J. W. *The Chemistry of Wheat Starch and Gluten and Their Conversion Products*, London, Leonard Hill, 1965.
4. Dimler R. J., Davis H. A., Rist C. E., Hilbert G. E. — «Cereal Chem.», 1944, 21, 430.
5. Hilbert G. E., Dimler R. J., Rist C. E. — «Am. Miller», 1944, 72, No. 4, 32.
6. Rist C. E. — «Sugar J.», 1949, 11, No. 9, 26.
7. Shewfelt A. L., Adams G. A. — «Can. Chem. Process Inds.», 1944, 27, 502, «Can. J. Research. F.», 1945, 23, 373.
8. Slotter R. L., Langford C. T., — «Ind. Eng. Chem.», 1944, 36, 404.
9. Crozier J. R. — «Can Food Ind.», 1959, 30, No. 1, 26.
10. Meinhold T. F., Logsdon H. W. — «Chem. Process» (Chicago), 1956, 19, No. 7, 15.
11. Walsh J. F., Levitt D. M., Goodman A. H. U. S. Patent 2 517 149 (1950); «Chem. Abstr.», 1950, 44, 9587.
12. Kilander A. K., Edsall L. B. U. S. Patent 2 530 823 (1950); «Chem. Abstr.», 1951, 45, 785.
13. Callaghan R. W., Elverum G. W. U. S. Patent 2 388 902 (1945); «Chem. Abstr.», 1946, 40, 758.
14. Edsall L. B., Kilander A. K. U. S. Patent 2 453 310 (1948); «Chem. Abstr.», 1949, 43, 1204.
15. Von Edeskutv J. J., Zalar J. F. U. S. Patent 2 555 908 (1951).
16. Honsch W. — «Saerke», 1955, 7, 107.
17. Anderson R. A., Vojnovich C., Pfeifer C. F., Griffin E. L. — Jr. «Am. Miller», 1959, 87, No. 12, 18.
18. Schmiedel L., Heder E. — «Staerke», 1962, 14, 324.
- 18a. Morton F. — «Food Eng.», 1965, 37, No. 12, 83.
19. Flow diagram No. 26—22, «Wheat Starch Separation and Purification», Merco Centrifugal Co., sucers., Dorr — Oliver, Inc., Stamford, Conn., 1955.
20. Schmalz C. E., Meinhold T. F., — «Chem. Process» (Chicago), 1955, 18, No. 7, 14.
21. Regan J. B., Flather H. Australian Patent 107 603 (1939).
22. McConnell W. B., — «Can. J. Technol.», 1955, 33, 256.
23. Anon. — «Food Eng.», 1959, 31, No. 12, 73.
24. Anderson R. A., Pfeifer V. F., Lancaster E. B. — «Cereal Chem.», 1958, 35, 449.
25. Anderson R. A., Pfeifer V. F., Lancaster E. B., Vojnovich C., Griffin E. L., Jr. — «Cereal Chem.», 1960, 37, 180.
26. Anderson R. A., Peplinski A. J., Pfeifer V. F. — «Cereal Sci. Today», 1965, 10, No. 4, 106.
- 26a. Elias D. G., Scott R. A. — «Milling», 1957, 79, 240.
27. Anon. — «Northwest. Miller», 1957, 257, No. 18, 10.
28. Elias D. G. — «Am. Miller», 1958, 86, No. 8, 15.
29. Pfeifer V. F., Griffin E. L. Jr. — «Am. Miller», 1960, 88, No. 2, 5.
30. Honsch W. M. — «Staerke», 1958, 10, 324.
31. Pelschenke P. F., Kempf W. — «Staerke», 1959, 11, 185.
32. Jackering G. Personal communication, 1960.
33. Phillips K. L., Sallans H. R. — «Cereal Sci. Today», 1966, 11, No. 2, 61.
34. Anon. *Starch*. United States Tariff Commission. Washington, D. C., 1960, p. 24.
35. Dubois D. K. — «Baker's Dig.», 1959, 33, No. 12, 38.
36. Horan F. E. — «Trans. Am. Assoc. Cereal Chem.», 1954, 12, 258.
37. Anon. — «Chem. Week», 1961, 89, No. 24, 123.