

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕНЕТРОМЕТРОВ ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ЗЕРНА, МУКИ И ХЛЕБА*

Л. Я. АУЭРМАН

Московский Технологический Институт Пищевой Промышленности

Количество лабораторий, связанных с определением качества зерна, муки и хлеба, в СССР очень велико и исчисляется тысячами.

В связи с этим актуальным является вопрос о применении в этих лабораториях современных приборов, которые могли бы быть использованы для объективного определения ряда технологически существенных показателей качества зерна и муки, а также и хлеба.

Таковыми приборами могут быть современные автоматизированные пенетрометры, производимые в ряде стран. Работами, проведенными под нашим руководством в Московском технологическом институте пищевой промышленности, установлено, что пенетрометры могут быть использованы для определения не только консистенции битумов, густых смазочных материалов и твердых жиров, но и ряда показателей хлебопекарных свойств зерна и муки, стойкости прессованных дрожжей при хранении и физических свойств мякиша хлеба.

Показатели качества и свойств зерна и продуктов его переработки, могущие определяться с применением пенетрометра

Разработаны методы и приспособления, позволяющие проводить на пенетрометрах определение нижеследующих показателей:

1. «Сила» зерна пшеницы (пшеничной муки)

1.1. В качестве показателя «силы» зерна (или муки) на пенетрометре определяется K_{60} теста (консистенция теста) с влажностью, постоянной для муки данного выхода, определяемая после 60 мин автолиза теста при 35°C , с применением тела погружения, имеющего на конце шарик с $\Phi = 6$ мм, и определением глубины его погружения в тесто за 5 сек при общей массе системы погружения (Р) равной 50,0 г. Величина K_{60} теста выражается в единицах шкалы пенетрометра (1 ед. п. = 0,1 мм глубины погружения) и тем

* Доклад прочтен на Юбилейной научной сессии Инженерно-химического факультета Будапештского Технического Университета, 7 октября 1971 г.

меньше, чем «сильнее» зерно пшеницы или пшеничная мука. Детали методики определения и необходимые приспособления описаны в публикациях [1].

1.2. Определение БЧ— K_{20} зерна пшеницы или пшеничной муки. Определяется содержание сырой клейковины, выражаемое в % к муке с влажностью 14,5%.

Содержание сухой клейковины может определяться экспериментально (высушиванием сырой клейковины), либо расчетным путем, исходя из содержания сырой клейковины и показателя ее качества (K_{20} -клейковины), определяемого на пенетрометре. Это возможно в связи с тем, что чем «сильнее» по физическим свойствам клейковина, тем ниже ее влагоемкость. Методика такого расчетного определения содержания сухой клейковины описана в литературе [2, 3].

Для определения показателя K_{20} -клейковины навеска сырой клейковины в соответствующем приспособлении (см. [1]) в течение 20 мин подпрессовывается при 20° С, после чего при соответствующем теле погружения и $P = 1000,0$ г на пенетрометре определяется глубина внедрения за 5 сек тела погружения в образец клейковины. Величина погружения (K_{20} -клейковины) выражается в ед. п.

Чем сильнее клейковина, тем меньше величина показателя K_{20} . Зная содержание в зерне пшеницы (или муке) сухой клейковины, выражаемое в % на сухое вещество муки, и величину K_{20} -клейковины, можно определить величину показателя БУ— K_{20} зерна или муки. Величина БУ— K_{20} выражается в баллах и может достигать до 100 баллов. Из этих 100 возможных баллов до 50 баллов может быть начислено за содержание сухой клейковины.

Чем выше содержание сухой клейковины, тем больше начисляется баллов (при 6 и менее % сухой клейковины число начисляемых баллов равно нулю, в при 20 и выше % — равно 50).

За качество клейковины, характеризуемое величиной показателя K_{20} -клейковины, также может быть начислено до 50 баллов. Чем «сильнее» клейковина и чем меньше величина показателя K_{20} -клейковины, тем больше начисляется баллов. При величине K_{20} -290 и более ед. п. количество начисляемых баллов равно нулю, а при K_{20} -75 и менее ед. п. — равно 50.

Величина БЧ— K_{20} определяется, как сумма баллов, начисляемых за содержание сухой клейковины и за ее качество (K_{20} -клейковины).

Чем больше в зерне (муке) клейковины и чем «сильнее» она по физическим свойствам, тем больше (в пределах до 100 баллов) будет численная величина показателя БЧ— K_{20} .

1.2.2. Определение БЧ— $H_{сж}$ зерна пшеницы или пшеничной муки. Это определение аналогично определению БЧ— K_{20} и отличается лишь тем, что качество клейковины характеризуется не по величине K_{20} -клейковины, а по величине показателя $H_{сж}$ -клейковины, также определяемого на пенетрометре.

Методика определения на пенетрометре $H_{сж}$ -клейковины разработана нами совместно с Лазаревой [4]. По этой методике 4,0 г сырой клейковины формуется в шарик, который на 15 мин помещается в сосуд с водой, имеющей температуру $20 \pm 1^\circ \text{C}$. После этого образец клейковины подвергается на

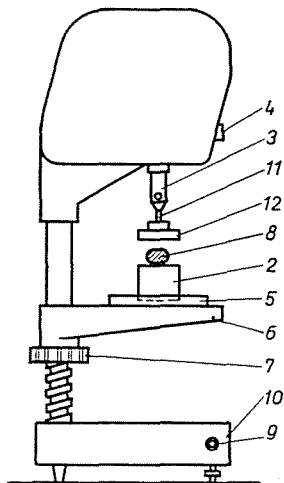


Рис. 1.

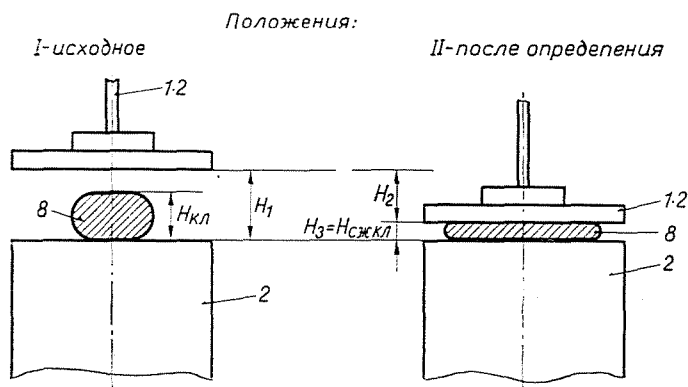


Рис. 2.

пенетрометре деформации сжатия между двумя плоскостями (плоскостью дна установленного на столике пенетрометра опрокинутого стаканчика и плоскостью диска «тела сжатия», закрепляемого в системе погружения пенетрометра вместо тела погружения (см. рис. 1).

Исходное расстояние (H_1 на рис. 2) между этими плоскостями всегда постоянное и равно 20 мм, что равно 200 единицам пенетрометра. Деформация сжатия при $P = 100 \text{ г}$ длится 5 сек. После этого по шкале пенетрометра фиксируется величина H_2 , показывающая насколько (в ед. п.) опустилась

система сжатия образца клейковины за 5 сек. Высота образца клейковины после его сжатия — H_3 или $H_{сж}$ определяется как $H_1 - H_2$ и также выражается в ед. шкалы пенетрометра. Чем «сильнее» клейковина, тем больше высота ее образца после сжатия и тем больше численная величина показателя $H_{сж}$ -клейковины.

Отметим кстати, что между величинами K_{20} и $H_{сж}$ -клейковины существует очень тесная и прямолинейная обратная корреляционная зависимость ($r = -0,9$).

Зная величины содержания сырой клейковины и $H_{сж}$ -клейковины также можно расчетным путем определить содержание сухой клейковины.

Между величинами содержания сухой клейковины, определенными экспериментально и расчетным путем, имеет место очень высокая прямолинейная корреляционная зависимость (при $n = 38$ $r = 0,98 \pm 0,0065$).

Исходя из содержания сухой клейковины, как и при определении БЧ— K_{20} , устанавливается количество (до 50) начисляемых за него баллов.

Исходя из величин $H_{сж}$ -клейковины, начисляется соответствующее количество (тоже до 50) начисляемых баллов [5]. Сумма баллов, начисленных за содержание сухой клейковины, и составляет величину БЧ— $H_{сж}$, также могущую достигать до 100 баллов.

2. Автолитическая активность зерна ржи и ржаной муки

Общеизвестно, что хлебопекарные свойства зерна ржи (и муки из него) в основном зависят от автолитической активности, обусловленной активностью альфа-амилазы, а также и протеолитических ферментов.

Дефектность зерна ржи (и муки) с повышенной автолитической активностью обычно вызвана прорастанием зерна. Для применения в производственных лабораториях наиболее подходят методы определения автолитической активности ржаной муки (зерна ржи) путем определения, физических свойств (вязкости, консистенции) водно-мучных смесей после определенного периода их автолиза:

(а) при прогреве до температуры, превышающей температуры начала клейстеризации крахмала (определение η_{max} водно-мучной суспензии на амилографе; определение «числа падения» по методу Хагберга—Пертена и другие «горячие» методы);

(б) при температуре — ниже температуры начала клейстеризации ржаного крахмала, например при 35°C (так называемые «холодные» методы).

С применением современных автоматизированных пенетрометров можно, как будет указано далее, определять автолитическую активность ржаной муки (зерна ржи) как «горячим», так и «холодным» методами.

2.1. Определение автолитической активности ржаной муки (соответствующей измельченному зерну ржи) на пенетрометре по величине показателя $K_{эк}$, характеризующего консистенцию водно-мучной смеси, имеющей влажность постоянную для муки данного выхода, клейстеризованной прогревом электроконтактным методом в течение примерно 1 мин до температуры 75°C (принцип и устройство для электроконтактного прогрева водно-мучной смеси описан в соответствующих работах [6, 7]).

Консистенция прогретой таким образом водно-мучной клейстеризованной массы определяется на пенетрометре, по глубине погружения в него за 5 сек при $P = 50$ г соответствующего тела погружения конической формы (детали определения см. [8]).

Чем выше автолитическая активность ржаной муки (зерна), тем больше величина $K_{эк}$, выражаемая в ед. п. Этот метод также относится к группе «горячих» методов определения автолитической активности муки (зерна).

2.2. Определение автолитической активности ржаной муки (зерна ржи) на пенетрометре по величине показателя K_{60} -теста, характеризующего консистенцию теста с влажностью постоянной для муки данного выхода после 60 мин автолиза при 35°C .

Консистенция теста определяется на пенетрометре по глубине погружения в него за 5 сек при $P = 50$ г тела погружения, имеющего на конце шарик $s = 8$ мм, выражаемой в ед. п.

Чем выше автолитическая активность ржаной муки (зерна), тем выше значения показателя K_{60} -теста. Детали методики и необходимых приспособлений описаны в соответствующих работах [9].

Величины показателя $K_{эк}$ очень чувствительно отражают относительно небольшое увеличение автолитической активности ржаной муки, вызванное незначительной степенью пророслости зерна или добавлением небольшого количества (до 10...15%) муки из проросшего зерна. Значения $K_{эк}$ возрастают и при дальнейшем увеличении степени пророслости зерна или % добавляемой муки из проросшего зерна, но уже в меньшей степени. Это характерно для всех «горячих» методов определения автолитической активности ржаной муки (зерна ржи).

Значения K_{60} -теста при повышении автолитической активности ржаной муки (зерна ржи) нарастают медленнее, но зато прямолинейно пропорционально % проросших зерен или добавления муки из проросшего зерна (по всем диапазонам от 1 до 100% проросших зерен или добавок муки из проросшего зерна).

Это характерно для холодных методов определения автолитической активности ржаной муки (зерна ржи).

Помимо «силы» пшеничной муки или зерна пшеницы и автолитической активности ржаной муки (зерна ржи), автоматизированные пенетрометры могут быть использованы в лабораториях хлебозаводов для ряда других определений, перечень которых мы далее приводим.

3. Определение на пенетрометре физико-механических свойств мякиша хлеба

На пенетрометрах можно определять как общую сжимаемость мякиша хлеба [10, 11], так и величины относительной пластичности и упругости мякиша хлеба [12, 13].

4. Определение на пенетрометре консистенции производственного теста и предшествующих ему полуфабрикатов также может быть использовано при проведении техно-химического контроля процесса производства хлеба и хлебных изделий.

5. Реологические свойства теста также могут исследоваться с применением современных пенетрометров [14].

6. Определение стойкости прессованных дрожжей при их хранении также может проводиться с применением современных пенетрометров [15].

Таким образом современные автоматизированные пенетрометры могут найти в производственных лабораториях разностороннее применение.

Зависимость между величинами показателей «силы» зерна пшеницы (пшеничной муки) и автолитической активности зерна ржи (ржаной муки), определяемыми на пенетрометрах и другими методами

1. Взаимозависимость между показателями «силы» пшеничной муки (зерна пшеницы), определяемыми различными методами

В таблице 1 приводятся величины коэффициента корреляции ($\chi_{x,y}$) между величинами отдельных показателей «силы» пшеничной муки (зерна пшеницы), определяемых на пенетрометре и другими методами. Данные, приведенные в этой таблице, позволяют сделать следующие заключения:

1. Величины показателей качества клейковины, определяемые на пенетрометре (K_{20} и $H_{сж}$), хорошо коррелируют как между собою ($\chi = -0,920$), так и с показателями качества клейковины, определяемыми на глютографе Брабендера и производимом в СССР приборе ПЭК—ЗА ($H_{пЭК}$).

Для K_{20} и $P_{гл}$ — $\chi = -0,978$, а для $H_{сж}$ и $H_{пЭК}$ — $\chi = -0,988$. Следовательно показатели качества клейковины, определяемые на пенетрометре, практически равноценны показателям качества, определяемым на глютографе и приборе ПЭК—ЗА.

2. Данные, приведенные в п. п. 4 . . . 8 таблицы 1, позволяют отметить, что величины показателя K_{60} -теста, определяемого на пенетрометре, неплохо коррелируют с величинами показателей физических свойств теста, определяемыми на альвеографе — $W_{альв}$ и $P_{альв}$ и фанирографе — $e_{фар}$ (величины χ лежат в пределах 0,716 . . . 0,912). Величины же $e_{фар}$ коррелируют с величинами $W_{альв}$ и $P_{альв}$ даже менее четко выражено ($\chi = -0,675$). И в этом отно-

Таблица 1

№	n	Сопоставляемые показатели		Ч _{х,у}
		х	у	
1	13	К ₂₀ -клейковины	Р _{гд} -клейковины	-0,978
2	13	К ₂₀ -клейковины	Н _{сж} -клейковины	-0,920
3	76	Н _{сж} -клейковины	Н _{пэк} -клейковины	-0,988
4	13	К ₆₀ -теста	W _{альв.} -теста	-0,716
5	13	К ₆₀ -теста	Р _{альв.} -теста	-0,755
6	13	К ₆₀ -теста	е _{фар.} -теста	0,912
7	13	W _{альв.} -теста	е _{фар.} -теста	-0,714
8	13	Р _{альв.} -теста	е _{фар.} -теста	-0,675
9	96	К ₆₀ -теста	% сухой клейковины	-0,640
10	96	К ₆₀ -теста	К ₂₀ -клейковины	0,653
11	96	К ₆₀ -теста	БЧ-К ₂₀	-0,826
12	96	W _{альв.} -теста	% сухой клейковины	0,522
13	96	W _{альв.} -теста	К ₂₀ -клейковины	-0,714
14	96	W _{альв.} -теста	БЧ-К ₂₀	0,816
15	96	е _{фар.} -теста	% сухой клейковины	-0,629
16	96	е _{фар.} -теста	К ₂₀ -клейковины	0,602
17	96	е _{фар.} -теста	БЧ-К ₂₀	-0,910
18		БЧ-Н _{сж}	БЧ-К ₂₀	0,990
19	38	БЧ-Н _{сж}	БЧ-Н _{пэк}	0,890
20	24	БЧ-Н _{сж}	W _{альв.} -теста	0,809
21	24	БЧ-Н _{сж}	е _{фар.} -теста	-0,718
22	24	W _{альв.} -теста	е _{фар.} -теста	-0,796
23	97	БЧ-Н _{пэк}	V _{хлеба} (Ремикс-метод)	0,790
24	23	W _{альв.} (озимая пшеница)	V _{хлеба} (Ремикс-метод)	0,73
25	23	е _{фар.} (озимая пшеница)	V _{хлеба} (Ремикс-метод)	-0,75
26	34	W _{альв.} (яровая пшеница)	V _{хлеба} (Ремикс-метод)	0,66
27	34	е _{фар.} (яровая пшеница)	V _{хлеба} (Ремикс-метод)	-0,60

шении определение «силы» пшеничной муки по физическим свойствам теста на пенетрометре не уступает определению этого свойства муки (зерна) на альвеографе и фаринографе.

3. Данные п. п. 9 . . . 17 таблицы I позволяют отметить, что показатели физических свойств теста (К₆₀, W_{альв} и е_{фар}) хорошо коррелируют с величинами бонитационного числа БЧ-К₂₀, отражающего и содержание, и качество клейковины, характеризуемое на пенетрометре по К₂₀ (величины ч лежат в пределах от 0,910). Корреляция показателей физических свойств теста отдельно с содержанием сухой клейковины и с К₂₀-клейковины значительно менее четкая (величины ч находятся в пределах 0,522 . . . 0,714).

4. Величины БЧ-К₂₀, БЧ-Н_{сж} и БЧ-Н_{пэк}, вычисляемые по разработанному нами методу, хорошо коррелируют между собою (значения Ч лежат в пределах от 0,890 до 0,990) и следовательно практически равноценно отражают «силу» пшеничной муки (зерна пшеницы).

5. Как видно из п. 20 . . . 22 величины БЧ-Н_{сж} хорошо коррелируют с величинами W_{альв.} (Ч = 0,809) и е_{фар.} (Ч = -0,718). Корреляция между величинами W_{альв.} и е_{фар.} того же порядка (Ч = -0,796).

6. Общеизвестно, что «сила» пшеничной муки хорошо отражается показателем объема хлеба ($V_{хл}$), получаемого при пробных выпечках, проводимых Ремикс-методом. Из п. п. 23 . . . 27 таблицы 1 видно, что величины БЧ даже несколько лучше коррелируют с $V_{хл}$ ($Ч = 0,790$), чем величины показателей $W_{альв.}$ и $e_{фар.}$ (значения $Ч$ в пределах от 0,60 до 0,75).

7. Из вышеотмеченного следует, что определяемые с применением пенетрометра показатели: K_{60} -теста, БЧ— K_{20} и БЧ— $H_{сж}$ хорошо характеризуют «силу» пшеничной муки (зерна пшеницы), не уступая в этом отношении показателям, определяемым на глютографе, фаринографе и альвеографе.

2. Взаимозависимость величин показателей автолитической активности ржаной муки (зерна ржи), определяемых разными методами

В таблице 2 приведены величины коэффициента корреляции ($Ч_{x,y}$) между величинами отдельных показателей автолитической активности ржаной сеяной ($R-700$) и ржаной обойной ($BSR-1790$) муки, определенные на пенетрометре ($K_{ЭК}$ и K_{60} -теста) и другими методами («Число падения» по ХАГБЕРГУ и η_{max} -амилограмм).

В числе испытывавшихся образцов были образцы из непроросшего зерна ржи и образцы с добавками 1, 5, 10% муки из зерна ржи, проращивавшегося в течение 1 и 3 суток.

Таблица 2

№	Сопоставляемые показатели		$Ч_{x,y}$ для ржаной	
	x	y	сеяной (R 700)	обойной (BSR 1790)
1	$K_{ЭК}$	η_{max} -амилограмм	-0,931	-0,991
2	$K_{ЭК}$	K_{60} -теста	0,978	0,922
3	$K_{ЭК}$	Число падения	-0,943	-0,986
4	K_{60} -теста	η_{max} -амилограмм	-0,944	-0,845
5	K_{60} -теста	Число падения	-0,941	-0,934

Данные таблицы 2 позволяют сделать следующие заключения:

1. Величины определяемых на пенетрометре показателей $K_{ЭК}$ и K_{60} -теста очень хорошо коррелируют между собою ($Ч = 0,978$ для сеяной муки и 0,922 для обойной муки).

2. Величины $K_{ЭК}$ находятся в очень высокой корреляции с величинами и «Числа падения» ($Ч = -0,944$ и $-0,941$), а также и с величинами η_{max} -амилограмм ($Ч = -0,931$ и $-0,991$).

3. Величины K_{60} -теста также очень четко коррелируют с величинами «Числа падения» ($Ч = -0,941$ и 0,934) и η_{max} -амилограмм ($Ч = -0,944$ и для обойной муки $-0,845$).

4. Из указанного выше следует, что определяемые на пенетрометре показатели $K_{ЭК}$ и K_{60} -теста хорошо характеризуют автолитическую активность ржаной муки (зерна ржи) и в этом отношении являются практически равноценными показателями, определяемыми на амилографе (η_{max}) или на приборе ХАГБЕРГА—ПЕРТЕНА («Число падения»).

Напомним, что одно определение η_{max} на амилографе требует 45...60 мин, в то время как два параллельных определения $K_{ЭК}$ имеют общую длительность 7 мин, а пенетрометр при этом занят не более 1 мин.

Общее заключение

Изложенное в докладе свидетельствует о том, что современные автоматизированные пенетрометры могут быть использованы в производственных лабораториях для определения на них: «силы» пшеничной муки (зерна пшеницы) как по физическим свойствам теста (по показателю K_{60} -теста), как и по содержанию и качеству клейковины ($BЧ-K_{20}$ и $BЧ-H_{СЖ}$); автолитической активности ржаной муки (зерна ржи) по консистенции теста (K_{60}) или клейстеризованной электроконтактным прогревом водномучной смеси ($K_{ЭК}$).

На пенетрометрах можно также контролировать консистенцию производственного теста и предшествующих ему полуфабрикатов, определять физико-механические свойства мякиша хлеба (общую его сжимаемость, пластичность и упругость) и стойкость пресованных дрожжей при хранении.

Для определения всех этих показателей нами и под нашим руководством разработаны соответствующие методы и приспособления к пенетрометрам.

Литература

1. Чойшнер, Х. и Ауэрман, Л. Я.: Известия высших учебных заведений 5, 147 (1963). См. также журнал *Die Lebensmittelindustrie*, II, 2, 56 (1964).
2. Ауэрман Л. Я., Гонгадзе Н. В. и Суворова М. А.: Известия высших учебных заведений, Пищевая технология 6, 49 (1965).
3. Ауэрман, Л. Я.: Труды Всесоюзного научно-исследовательского института зерна и продуктов его переработки 58—59, 57 (1967).
4. Ауэрман Л. Я. и Лазарева Л. В.: Научно-техническая информация. Хлебопекарная, макаронная и дрожжевая промышленность, вып. 1 Цинтип (1970).
5. Ауэрман Л. Я. и Лазарева Л. В.: Научно-техническая информация. Хлебопекарная, макаронная и дрожжевая промышленность, вып. 3 Цинтип (1970).
6. Ауэрман Л. Я., Яковлева Л. В., Пятибратова Г. М., Островский Я. Г. и Евтропов Е. Л.: Пищевая промышленность 1/219/10 ЦИНТИПП (1964), а также авторское свидетельство Государственного комитета по делам изобретений и открытий СССР, № 159691 (1964).
7. Островский Я. Г., Ауэрман Л. Я., Евтропов Е. Л., Исаев С. Г. и Зеленев Ю. П.: Научно-техническая информация, Хлебопекарная, макаронная и дрожжевая промышленность, вып. 9, 1 ЦИНТИПП (1966).
8. Tschuschner H. D. und Auermann L. J.: *Der Bäcker und Konditor*, 13, 3, 89 (1965).

9. Чойшнер Х. и Ауэрман Л. Я.: Известия высших учебных заведений. Пищевая технология 6, 128 (1963), см. и в *Bäcker und Konditor* 12/18, 10, 321 (1964).
10. Ауэрман Л. Я., Суворова М. А. и Тихомирова Л. В.: Известия высших учебных заведений. Пищевая технология 3, 135 (1960).
11. Tscheuschner, H. D. und Auermann, L. J.: *Bäcker und Konditor*, 12, 8, 227 (1964).
12. Ауэрман, Л. Я. и Мелькина, Г. М.: Научно-техническая информация, Хлебопекарная, кондитерская, макаронная и дрожжевая промышленность, вып. 15, 6 ЦИНТИПП (1967).
13. Zimmermann, R.: *Bäcker und Konditor*, 15, 7, 215 (1967).
14. Schmieder, W. und Zabel, S.: *Die Nahrung*, 10, 619 (1966).
15. Чойшнер, Х. и Ауэрман, Л. Я.: Известия высших учебных заведений, Пищевая технология 4, 141 (1963), см. также *Lebensmittelindustrie* II, 10, 341 (1964).

Резюме

Современные автоматизированные пенетрометры могут быть использованы в производственных лабораториях для определения на них: силы пшеничной муки как по физическим свойствам теста, так и по содержанию и качеству клейковины; автолитической активности ржаной муки по консистенции теста или клейстеризованной электроконтактным способом нагревания водно-мучной смеси.

На пенетрометрах можно также контролировать консистенцию производственного теста и предшествующих ему полуфабрикатов, определять реологические свойства мякниша хлеба.

Для определения вышеупомянутых показателей были разработаны соответствующие методы и приспособления.

Л. Я. Ауэрман

Московский Технологический Институт Пищевой Промышленности Москва, СССР