

# РЕЖИМЫ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ СВЕТОГО СОЛОДА В ВЫСОКОМ СТАЦИОНАРНОМ СЛОЕ

В. С. БОДРОВ, В. А. ДОМАРЕЦКИЙ, А. Н. КАШУРИН, А. Т. СОКОЛОВСКИЙ

Киевский технологический институт пищевой промышленности

В связи с тем, что темпы роста солодовенного производства отстают от темпов производства пива, перед работниками промышленности и научных учреждений стоят задачи интенсификации солодоращения на существующих солодовнях и создание новых высокоэффективных аппаратов большой единичной мощности для производства солода в необходимом количестве и высокого качества.

Поставлена задача разработать рациональные режимы сушки солода в высоком слое по ускоренной технологии (10 и 20 ч), главным образом, для солодовен с передвижной грядкой и ящичных с совмещенным способом производства солода.

Для этого на опытно-промышленной установке, смонтированной на Киевском пивзаводе № 2, исследовали конвективную сушку солода в высоком (1 м) стационарном (без ворошения) слое с целью определения влияния параметров процесса на технико-экономические и качественные показатели готового продукта и определения рациональных режимов при 10- и 20-часовом периодах сушки.

С помощью высоконапорного вентилятора воздух нагнетался в газогенератор, в котором нагревался теплом сгорания природного газа до заданной температуры, и уже в качестве сушильного агента (с. а.) направлялся в сушильную камеру (с. к.). Последняя имеет форму параллелепипеда размером  $0,5 \times 1,0$  м и высотой 1,5 м с подситовым пространством для выравнивания давления с. а. по всей площади основной решетки, живое сечение которой составляет 33%. Камера снабжена люками для загрузки и выгрузки солода и лючками для ввода необходимых контрольно-измерительных приборов. Конструктивно предусмотрена система шиберов и дополнительного вентилятора с приводом.

помощью которых можно изменять направление *c. a.* в процессе сушки.

Для сушки использован семисуточный сырой солод влажностью 46% и насыпной массой 550—600 кг/м<sup>3</sup>, полученный в солодовне системы «передвижная грядка» из ячменей сортов Альза и Унион. Для оценки эффективности осуществляемых режимов принят экономический критерий (минимум суммы затрат на электроэнергию и топливо) с условием обязательного выполнения требований стандарта по качеству высушиваемого солода, в том числе: стекловидности, влажности, экстрактивности в тонком и грубом помолах, скорости осахаривания, цветности, кислотности и др.

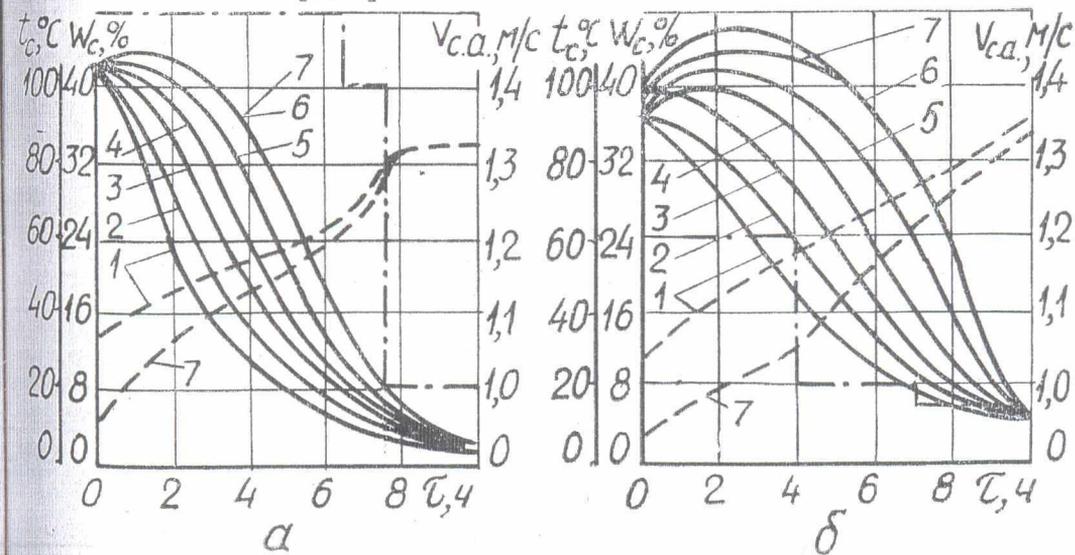
При проведении опытов изучали влияние температуры и скорости *c. a.* на прогрев слоя солода по высоте, его сопротивление и качественные показатели при различных режимах сушки.

Таблица 1

Этап	Длительность этапа, ч	Скорость, м/с		Температура, °C
		сушильного агента под решеткой		
I	1,5—3,5	1,2—1,6		30—50
II	3—6	1,0—1,5		50—70
III	0,5—1,5	1,0—1,5		60—85
IV	2,5—3,5	0,8—1,2		84—85

В табл. 1 приведены пределы изменения скорости и температуры сушильного агента при 10-часовом режиме сушки жигулевского солода.

Согласно технологическим требованиям, для получения высокого качества солода необходимо не только удалить из него влагу, но и подвергнуть его физическим, биохимическим и химическим превращениям. Поэтому при сушке солода изменение его влажности и температуры во времени должно происходить в пределах, соответствующих трем фазам сушки: физиологическая фаза (температура солода 45°C, влажность уменьшается от 45 до 30%), при которой синтетические процессы прекращаются, а гидролитические ферментативные продолжают; ферментативная фаза (температура солода 45—70°C, влажность уменьшается от 30 до 10%), при которой рост и дыхание зерна прекращаются, а ферментативные процессы развиваются сильнее; химическая фаза (температура солода от 70°C и выше, влажность уменьшается от 10 до 3%), характеризующаяся ароматообразованием, коагуляцией белка и ослаблением ферментов, которые частично инактивируются, а частично переходят в неактивное состояние [1, 2].



Высота слоя солода, мм: 1—50; 2—200; 3—350; 4—500; 5—650; 6—800; 7—950.

Пределы изменения параметров, приведенные в табл. 1, по принятым четырем этапам создают условия для осуществления необходимых технологических превращений.

Анализируя данные по 10-часовому режиму сушки солода в высоком плотном слое, можно констатировать, что важную роль в обеспечении необходимых технологических требований процесса играет скорость сушильного агента  $v_{c.a.}$ .

На рисунке приведены кривые изменения влажности  $W_c$  (—) и температуры слоя  $t_c$  (— — —) солода по его высоте при изменении  $v_{c.a.}$  (— · — · —) от 1,5 до 1,0 (а) и от 1,2 до 0,8 м/с (б).

На I и II этапах сушки зона тепломассообмена, ограниченная снизу температурой сушильного агента, а сверху температурой мокрого термометра, перемещается вверх через слой солода со скоростью, пропорциональной  $v_{c.a.}$  При этом поверхностная и легкосвязанная влага солода в зоне тепломассообмена нижнего слоя испаряется и перемещается в верхележащие слои, где частично конденсируется на поверхности зерен, температура которых ниже температуры мокрого термометра сушильного агента. Этот процесс испарения и конденсации влаги при  $v_{c.a.}$  под решеткой 1,2 м/с приводит к значительному (до 6%) доувлажнению верхних слоев солода (рис. б, кривые 5, 6, 7). Частичная конденсация влаги в верхних слоях регистрируется до тех пор, пока не начнет повышаться температура верхнего слоя на 15—20°C.

Максимальная разность температур в верхнем и нижнем слоях в начале I этапа при  $v_{c.a.} = 1,5$  м/с составляет 15—18°C, а к концу II этапа 1,0—1,5°C (рис. а). Установлено также, что сокращение длительности  $\tau$  I этапа до 1,5 ч нецелесообразно, так как это приводит к последующей коагуляции белковых веществ.

Из рис. б видно, что 10-часовой режим сушки солода при начальной скорости  $v_{c.a.} = 1,2$  м/с с технологической точки зрения неприемлем, так как он не обеспечивает отсушку солода. Верхний слой солода на IV этапе при  $W_c = 12 \div 24\%$  нагревается до недопустимо высокой  $t_c = 78 \div 65^\circ\text{C}$ , что приводит к резкому снижению качества готового продукта. Много тепла затрачивается на испарение сконденсировавшейся влаги в верхних слоях солода.

С точки зрения осуществления гидролизных и ферментативных процессов наиболее важен II этап, длительность которого должна быть максимальной и составлять не менее 4 ч. Изменять температуру  $s.a.$  рекомендуется от 50 до 60°C на протяжении 3/4 всего времени этапа, а от 60 до 65°C — 1/4 всего времени этапа. На III переходном этапе изменение температуры  $s.a.$  от 65 до 85°C в течение 0,5—1,0 ч не отражается на качестве готового солода и является допустимым.

Расход  $s.a.$  на IV этапе должен быть минимальным и постоянно обеспечивать требуемую температуру отсушки по всей высоте плотного слоя солода.

Аналогичные закономерности отмечаются при исследовании сушки длительностью 20 ч. В дополнительных опытах по принятому критерию определили область рациональных режимов 10- и 20-часовой длительности сушки жигулевского солода (табл. 2).

Анализы лабораторного сусла из солодов, высушенных по режимам табл. 2, показали следующее: средняя экстрактивность по сухому веществу 78,5%; время осахаривания — 15—20 мин; общая кислотность — 0,9—1,05 мл NaOH на 100 мл сусла; цветность 0,25—0,30 мл 0,1% йода на 100 мл сусла. Эти качественные показатели соответствуют требованиям стандарта к солоду 1—2-го классов типа жигулевского.

Таким образом, сравнение энергетических и качественных показателей солодов, высушенных по различным режимам, позволило выбрать

Таблица 2

Этап	$\tau$ , ч	$v_{c.a.*}$ , м/с	$t_{c.a.*}$ , °C	$c^{**}$ , %	Этап	$\tau$ , ч	$v_{c.a.*}$ , м/с	$t_{c.a.*}$ , °C	$c^{**}$ , %							
10-часовой режим сушки					20-часовой режим сушки											
I	0	1,5	40	43/43	I	0	1,1	40	44/44							
	1	1,5	43	44/36		1	1,1/1,0	41,5	45,3/38							
	2	1,5	48	43,5/23		2	1,0	43	46/30,5							
	2,5	1,5	50	43/19		3	1,0/0,85	44	45,8/26							
II	3	1,5	52	42/16	4	0,85	45,5	45,5/22								
	4	1,5	55	36/12	5	0,85	47	45/20								
	5	1,5	57	28/9	6	0,85	48,5	44,6/18,5								
	6	1,5	60	17/6	II	7	0,85/0,6	50	44/16							
	6,5	1,5/1,4	65	13/5		8	0,6	51	43,4/14							
III	7	1,4	75	10,5/4,5		9	0,6	53	42/11,5							
	7,5	1,4/1,0	84	8/4	10	0,6	56	39/9,4								
IV	8	1,0	85	6,5/3,8	11	0,6	58	36/7,3								
	9	1,0	85	3,8/3,4	12	0,6/0,4	60	30/6,4								
	10	1,0	85	3,4/3,2	III	13	0,4	63	25/5,8							
						14	0,4	66	14/5,2							
IV	15	0,4/0,3	70/80	12/4,7	16	0,3	80/84	7,5/4,3								
									17	0,3	84	5,2/3,9				
													18	0,3	84	4,6/3,7
20	0,3	84	3,9/3,4													

\* Дробь означает, что в конце указанного часа  $v_{c.a.}$  или  $t_{c.a.}$  должны быть уменьшены от значения, указанного в числителе, до значения в знаменателе.

\*\* В числителе и знаменателе указана влажность зерен солода в верхнем и нижнем слоях.

и рекомендовать рациональные режимы сушки светлого солода в метровом стационарном слое в течение 10 и 20 ч (табл. 2).

Энергетические затраты на процесс по 20-часовому рациональному режиму сушки солода ненамного превосходят энергетические затраты 10-часового режима, что объясняется сравнительно низкой скоростью сушильного агента.

Исследовано также влияние вытяжки  $s.a.$  из верхней части сушильной камеры дополнительным вентилятором. Такой способ эффективен на полутора-двух первых этапах; при этом увеличивается скорость фильтрации  $s.a.$ , ускоряется эвакуация влаги из камеры, интенсифицируется прогрев и испарение влаги из нижних и верхних слоев. Пять часов (для 10-часового режима) — наиболее рациональное время применения вытяжки; при этом увеличивается скорость  $s.a.$  под решеткой на 0,1 м/с. Энергозатраты в этом режиме возрастают на 10—12%, поэтому его можно рекомендовать в случае сушки слоя солода с начальной влажностью выше 46% или высотой более 1 м.

Рециркуляция  $s.a.$  может быть целесообразной только на этапе отсушки. При этом «смягчаются» условия отсушки нижних слоев, выравниваются влажность и цветность солода по всей высоте слоя, достигается частичная экономия энергозатрат. Оптимальное количество рециркулируемого воздуха составляет около 20% от общего расхода сушильного агента при отсушке.

К более интенсивному по сравнению с обычным режимом снижению влажности и показателя цветности солода приводит режим импульсной подачи  $s.a.$  на этапе отсушки. Поочередные отсушка и от-

лежка солода в высоком слое без ворошения благоприятствуют ускорению миграции трудносвязанной влаги изнутри к поверхности зерен, позволяют сократить время отсушки или при сохранении длительности этапа достигнуть меньшей влажности солода. Применение режима импульсной подачи с. а. позволяет экономить до 40% энергозатрат на этапе отсушки по сравнению с обычным режимом.

Для сушки солода в высоком стационарном слое эти вопросы должны быть дополнительно исследованы в промышленных условиях и выработаны конкретные рекомендации по рациональному комбинированному режиму.

Нами исследованы и рекомендованы к внедрению в производство обычные рациональные 10- и 20-часовые режимы сушки жигулевского солода в высоком плотном слое.

### ВЫВОД

Конвективную сушку светлого солода можно проводить в метровом стационарном слое в течение 10 и 20 ч. Ее рациональные режимы рекомендуются для внедрения в промышленность.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Мальцев П. М. Технология солода и пива. «Пищевая пром-сть», М., 1964.
2. Гавриленков А. М. Исследование конвективной сушки солода в плотном высоком слое. Автореф. канд. дис., Воронеж, 1968.