

УДК 663.812; 538; 953

ОБОДОВИЧ А.Н., ГРАБОВА Т.Л., КОБА А.Р., ГОРЯЧЕВ О.А.

Институт технической теплофизики НАН Украины

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СУСЛА ИЗ КРАХМАЛОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ В СПИРТОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ДИСКРЕТНО-ИМПУЛЬСНОГО ВВОДА ЭНЕРГИИ

Метод ДІВЕ, вживаний у приготуванні сусла з сировини, що містить крохмаль, в спиртовому виробництві, дозволяє інтенсифікувати ресурсо- та енергозберігаючі процеси при виробництві етилового спирту.

Метод ДИВЭ, применяемый в приготовлении сусли из крахмалосодержащего сырья в спиртовом производстве, позволяет интенсифицировать ресурсо- и энергосберегающие процессы при производстве этилового спирта.

Method DIVE, common in preparation of wort from raw material, that contains starch, in alcoholic production, allows to intensify resource and power saving processes at production of ethyl alcohol.

A, k – эмпирические коэффициенты;
 t – температура;

γ – скорость сдвига потока;
 τ – время.

Приготовление сусли спиртового производства состоит из следующих технологических стадий: приемка зерна, очистка от примесей, предварительное измельчение, сверхтонкое измельчение, смешивание с водой, нагревание, выдерживание, разваривание, осахаривание (табл. 1).

При приготовлении спирта по существующей технологии потери сбраживаемых веществ крахмалосодержащего сырья составляют 8...10%.

Наибольшие потери наблюдаются на стадии разваривания сырья, которые составляют до 4% [1].

По существующей технологии перед развариванием зерно измельчают в две стадии. Первая – грубое измельчение. Как правило, проводят на молотковой дробилке. Размер частиц помола более 1000 мкм составляют до 50%. Вторая – сверхтонкое измельчение. Размер частиц колеблется от 1000 до 10 мкм. (Ролико-маятниковая, шаровая дробилки) (табл.2).

В связи с неравномерным размером частиц замера температура разваривания составляет от 110 до 150 °С [2].

При указанных температурах наблюдаются потери сахаров, которые вызваны оксиметил-

фурфурольным разложением, меланоидинообразованием, карамелизацией [3].

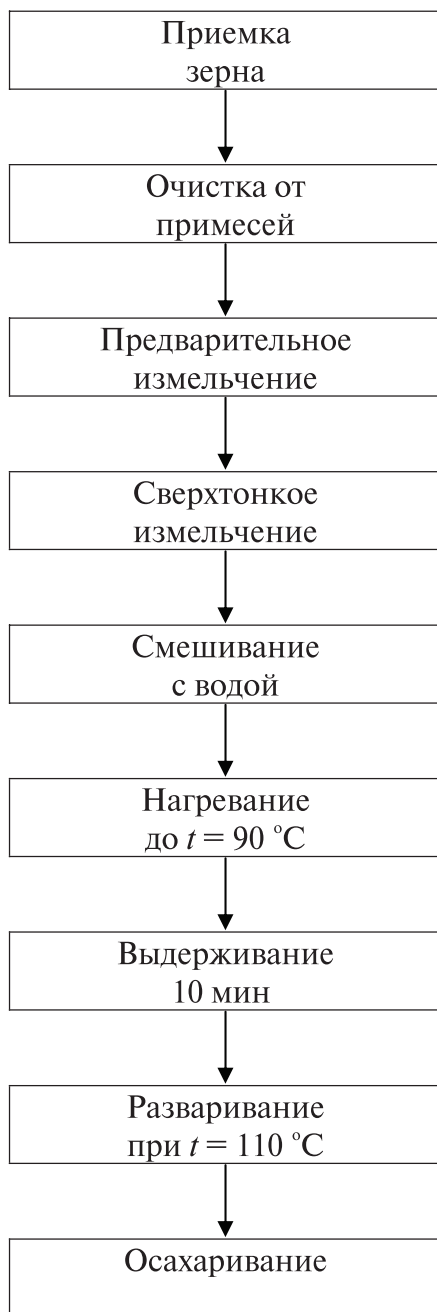
Учитывая вышеизложенное, мы поставили перед собой цель – усовершенствовать технологию приготовления сусли из крахмалосодержащего сырья, а именно:

- снизить энергозатраты на 30% при процессе разваривания;
- сократить продолжительность процесса в 2 раза ;
- уменьшить потери сбраживаемых веществ от 8...10% до 2...4%;
- увеличить выход спирта из единицы сырья на 1,5...3,0%.

Для реализации поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- подобрать теплообменное оборудование, позволяющее готовить замес в виде однородной массы с размером частиц не более 250 мкм;
- изучить зависимость температуры и продолжительности разваривания от скорости сдвига потока массы;
- совершенствовать аппаратно-технологическую схему разваривания за счет применения роторно-пульсационных аппаратов (РПА).

Табл. 1. Существующая технологическая схема приготовления суслу из крахмалосодержащего сырья в спиртовом производстве



На основании проведенных исследований была усовершенствована аппаратно-технологическая схема для разваривания замесов крахмалосодержащего сырья (рис.1).

Помол зерна и воду подают в сборник замеса 1. Частота вращения мешалки 50...60 об/мин. Температура приготовления замеса 20...40 °С. Замес плунжерным насосом 2 направляют в экстрапа-

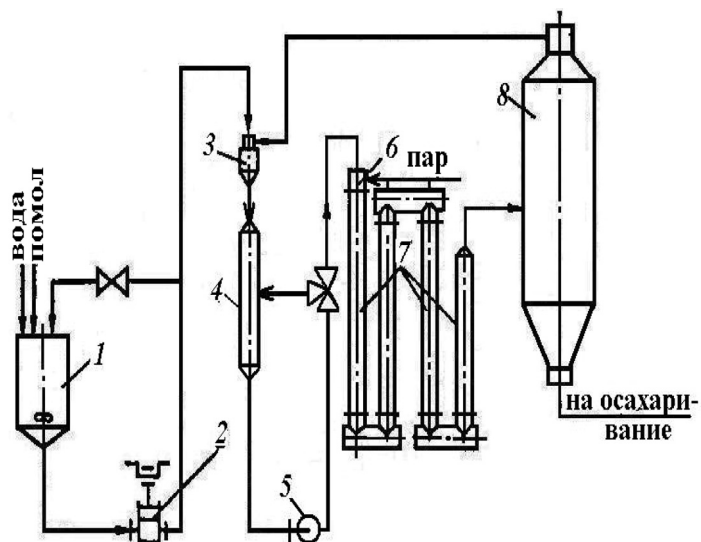


Рис. 1. Усовершенствованная аппаратно-технологическая схема для разваривания замесов крахмалосодержащего сырья.

- 1 – сборник замеса; 2 – плунжерный насос;
- 3 – экстрапаровая контактная головка;
- 4 – расширитель; 5 – роторно-пульсационный аппарат (РПА);
- 6 – остропаровая контактная головка; 7 – разварники; 8 – паросепаратор-выдерживатель.

ровую контактную головку 3, где он мгновенно нагревается до температуры 60 °С. Подогретый замес самотеком поступает в расширитель 4, где выделяется неиспользованный экстрапар, и набухают частицы замеса. Далее замес поступает на обработку методом ДИВЭ в роторно-пульсационный аппарат (РПА) 5.

Конструктивно РПА состоит из роторно-пульсационного узла, насоса, электродвигателя, корпуса и трубопровода для рециркуляции продукта. Основным рабочим органом аппарата является роторно-пульсационный узел, который включает установленные на валу электродвигателя диск с лопатками – своеобразное рабочее колесо центробежного насоса и два статора, между которыми находится ротор. При вращении ротора происходит поочередное совпадение пазов ротора и статоров, что вызывает значительные знакопеременные перепады давления, высокоградиентные течения в зазорах, а также большие градиенты сдвиговых напряжений. Возникают локальные скорости сдвига потока от (10 до 100) · 10³ с⁻¹ и частоты импульсов от 3 до 30 кГц. Условия обра-

Табл. 2. Гранулометрический состав помолов зерна, полученных на различных измельчающих устройствах

Тип мельницы	Остаток на ситах в %, при размере ячеек сит, мкм					
	1000	500	250	200	100	50
Молотковая	350...40	25...30	20...25	10...15	5...10	0
Ролико-маятниковая	10	15	30	35	10	0
Шаровая реактивная	0	10	35	40	10	5

ботки замеса при данных режимах позволяют получить однородную суспензию с размером частиц менее 250 мкм. Далее замес подается на остропаровую головку 6, где нагревается до температуры 80 °С и поступает в разварники 7. После разваривания масса направляется в паросепаратор – выдерживатель, откуда идет на осахаривание.

Расход пара на разваривание сырья для получения 1000 дал спирта по существующей технологии составляет 1400 кг. По предлагаемой технологии – 980 кг. Вторичный пар полностью утилизируют. Расход пара на разваривание сырья составляет 25...30 % от всего расхода на технологические нужды. Поэтому рациональное ведение процесса разваривания будет способствовать значительному сокращению расхода тепловой энергии на производство спирта.

Расход пара на разваривание сырья зависит от следующих факторов: температуры замеса, температуры разваривания, продолжительности процесса и степени измельчения перерабатываемого сырья.

Из литературных источников известно, что при замесе с размером частиц менее 250 мкм температуру разваривания можно снижать до 80 °С. С учетом усовершенствования технологии за счет обработки замеса методом ДИВЭ нами были проведены исследования, позволяющие установить зависимость температуры и продолжительности выдерживания замеса в расширители от скорости сдвига потока массы. При этом учитывался гранулометрический состав замеса (табл.3).

Данные таблицы свидетельствуют о том, что однородную массу с размером частиц менее 250 мкм можно получить при скорости сдвига потока $20 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$ за 10 мин при температуре 50 °С

и за 5 мин при температуре 90 °С. При увеличении скорости сдвига потока от $20 \cdot 10^3$ до $40 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$ температурные и временные режимы обработки замеса снижаются. Экспериментальные данные позволяют сделать вывод о том, что наиболее целесообразно проводить обработку замеса при температуре 60 °С за 1 мин (цикл) при скорости сдвига потока $40 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$.

По полученным данным была построена эмпирическая функция, определяющая зависимость продолжительности процесса от скорости сдвига потока:

$$\tau = A \exp(-kt),$$

где

$$A = 0,36 (\gamma \cdot 10^{-3}) - 17,21 (\gamma \cdot 10^{-3}) + 224,1;$$

$$k = 0,0001315 (\gamma \cdot 10^{-3}) - 0,0053 (\gamma \cdot 10^{-3}) + 0,0707.$$

Сравнение результатов расчета продолжительности процесса с результатами эксперимента представлено на рис. 2.

Нами установлено, что экспериментальные данные от расчетных отличаются не более, чем на 5 %.

Проведенные исследования условий разваривания сырья на мельницах различного типа по сравнению с использованием РПА позволяют сделать вывод, что дисперсность помола крахмалосодержащего сырья существенно влияет на режим его разваривания и выход спирта [4]. Определенная часть процессов по ослаблению механической прочности частичек помола и крахмала происходит при обработке замеса в РПА. Крахмал, подвергнутый механическому диспергированию посредством метода ДИВЭ, теряет свойственную ему морфологическую

Табл. 3. Зависимость гранулометрического состава замеса от температуры и продолжительности выдерживания при скорости сдвига потока от $20 \cdot 10^3$ до $40 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$

t , °С	τ , мин	γ , с^{-1}	Проход замеса через сито 250 мкм, в %
50	1	$20 \cdot 10^3$	70
	3		73
	5		81
	7		93
	10		100
60	1	$20 \cdot 10^3$	75
	3		79
	5		87
	7		99
	10		100
70	1	$20 \cdot 10^3$	81
	3		87
	5		92
	7		100
80	1	$20 \cdot 10^3$	85
	3		91
	5		98
	7		100
90	1	$20 \cdot 10^3$	93
	3		98
	5		100
50	1	$30 \cdot 10^3$	85
	3		89
	5		95
	7		100
60	1	$30 \cdot 10^3$	92
	3		97
	5		100
70	1	$30 \cdot 10^3$	98
	3		100
80	1	$30 \cdot 10^3$	100
50	1	$40 \cdot 10^3$	94
	10		100
60	1	$40 \cdot 10^3$	100
	3		100

структуру и в результате нарушения внутренних связей в молекуле, приобретает свойство растворимого крахмала.

Эти изменения крахмала зависят от степени его измельчения и механической активации

вследствие перехода части энергии в вещество [5].

Разваривание замесов, полученных с применением РПА с размером частиц менее 250 мкм увеличивает выход спирта, в зависимости от вида

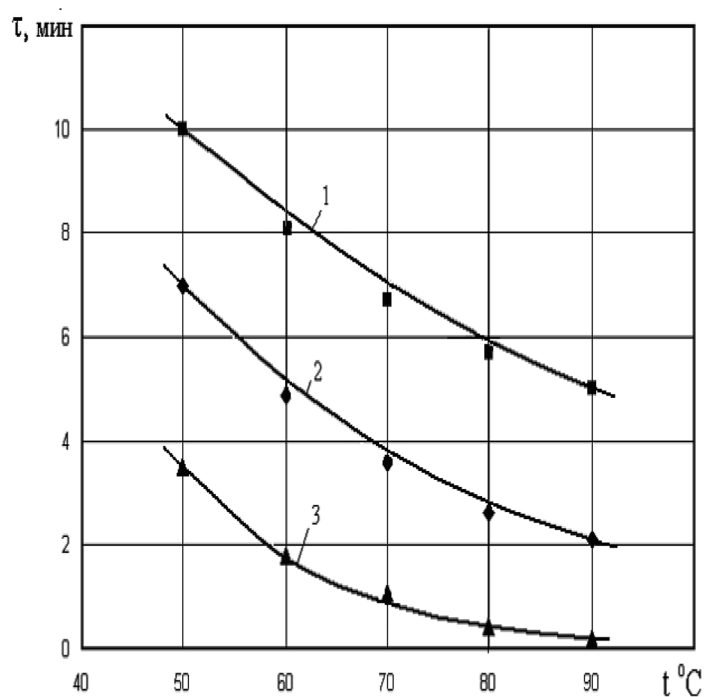


Рис. 2. Эмперическая функция, выражающая зависимость времени от скорости сдвига потока: 1 – $\gamma = 20 \cdot 10^{-3} \text{с}^{-1}$; 2 – 30; 3 – 40.

зерна, на 2...5 %. Это объясняется тем, что при тонком диспергировании зерна подвергаются деструкции не- крахмальные полисахариды с образованием сбраживаемых сахаридов, за счет чего выход спирта резко увеличивается.

Выводы

Совершенствование технологии приготовления суслу из крахмалосодержащего сырья в спиртовом производстве с применением метода ДИВЭ позволит:

- снизить энергозатраты на 30% при процессе разваривания;
- сократить продолжительность процесса в 2 раза;
- уменьшить потери сбраживаемых веществ от 8...10% до 2...4%;
- увеличить выход спирта из единицы сырья на 1,5...3,0%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мальцев П.М. Технология бродильных производств. – М.: Пищевая промышленность, 1980. – 560 с.
2. Полуянова М.Т., Устинников Б.А. Режимы тепловой обработки замесов из тонкодиспергированного зерна // Фермент. и спирт. пром.-сть. – 1973. – № 2. – С. 11 – 13.
3. Швец В.Н., Слюсаренко Т.П. Влияние продуктов реакций меланоидинообразования и карамелизации сахаров на дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* // Прикл. биохимия и микробиология. – 1976. – Т. 12, Вып. 1. – С. 73 – 78.
4. Колосков С.П., Важова Г.В., Зотов В.Н., и др. Пути повышения эффективности использования топлива и тепловой энергии на спиртовых заводах, перерабатывающих крахмалистое сырье // Спирт. и ликеро-водоч. пром.-сть. – 1980. – Вып. 6. – С. 52.
5. Маринченко В.А., Кислая Л.В. Интенсификация процессов осахаривания и сбраживания крахмалосодержащего сырья, подвергнутого механохимической деструкции // Фермент и спирт. пром.-сть. – 1978. – № 8. – С. 29 – 32.

Получено 03.05.2007 г.