

ISSN 0367-319

ФЕРМЕНТНАЯ  
И СПИРТОВАЯ  
ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

7

1984

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА**

УДК 663.641

**Влияние рециркуляции дрожжевой суспензии  
на сбраживание мелассного сусла**

**Л. В. ЛЕВАНДОВСКИЙ, А. Д. КОВАЛЕНКО,**  
УкрНИИСП  
**Л. Л. ЯРОВЕНКО**  
ВЗИПП

Известно, что рециркуляция дрожжевой суспензии в период анаэробного брожения интенсифицирует превращение сахаров в

спирт\*. Поэтому указанный прием перспективен для совершенствования технологии спирта и других микробиологических производств.

\* Коваленко А. Д., Левандовский Л. В., Ячевский В. К. Ускоренное спиртовое брожение мелассного сусла. — Пищевая промышленность, 1980, № 1.

Таблица 1

Показатели	Дрожже- генераторы	Бродильные аппараты					
		1	2	3	5	6	7
<b>Концентрация сусла 20—22 % СВ</b>							
без рециркуляции дрожжевой суспензии							
Длительность пребывания среды, ч	7,08	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	—
Концентрация сахара, кг/м <sup>3</sup>	85,4	55,0	34,5	22,8	6,3	4,1	—
Количество сброженного сахара, кг/м <sup>3</sup>	44,9	30,4	20,5	11,7	5,9	1,8	—
Скорость брожения, кг/(м <sup>3</sup> ·ч)	6,34	13,80	9,32	5,31	2,68	0,82	—
с рециркуляцией дрожжевой суспензии							
Длительность пребывания среды, ч	5,92	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	—
Концентрация сахара, кг/м <sup>3</sup>	88,0	49,5	28,0	14,4	3,4	3,0	—
Скорость брожения, кг/(м <sup>3</sup> ·ч)	7,35	32,50	9,77	6,18	1,50	0,18	—
<b>Концентрация сусла 25—27 % СВ</b>							
без рециркуляции дрожжевой суспензии							
Длительность пребывания среды, ч	10,2	3,17	2,88	2,63	2,26	—	2,26
Концентрация сахара, кг/м <sup>3</sup>	27,9	45,7	55,2	46,1	29,3	—	8,0
Количество сброженного сахара, кг/м <sup>3</sup>	73,1	12,2	16,6	31,9	8,3	—	9,1
Скорость брожения, кг/(м <sup>3</sup> ·ч)	7,17	3,85	5,76	12,12	3,70	—	—
с рециркуляцией дрожжевой суспензии							
Длительность пребывания среды, ч	7,15	2,04	1,79	1,79	1,79	—	1,79
Концентрация сахара, кг/м <sup>3</sup>	47,0	46,0	34,0	21,1	7,1	—	4,0
Количество сброженного сахара, кг/м <sup>3</sup>	50,0	42,0	48,3	12,9	14,0	—	1,5
Скорость брожения, кг/(м <sup>3</sup> ·ч)	7,0	20,6	27,0	7,21	7,80	—	—

Критериями оценки скорости биохимических реакций сбраживания сахаров являются кинетические параметры. Некоторые из них применимы для анализа процессов непрерывного сбраживания мелассного сусла без рециркуляции и с рециркуляцией сусленной дрожжевой суспензии\*.

В наших исследованиях определяли следующие показатели:

длительность пребывания среды в аппарате ( $T$ ), ч,

$$T = \frac{1}{D},$$

где  $D$  — скорость разбавления среды в аппарате, ч<sup>-1</sup>;

скорость брожения ( $W$ ), кг/м<sup>3</sup>·ч,

$$W = \frac{S}{T},$$

где  $S$  — количество сахара, кг/м<sup>3</sup>;

константу скорости сбраживания сахаров ( $K$ ), ч<sup>-1</sup>,

$$K = \frac{2,3}{\tau} \lg \frac{C_0}{C},$$

где  $C_0$  и  $C$  — концентрации сбраживаемых сахаров в начале брожения и в момент времени  $\tau$ , кг/м<sup>3</sup>;

удельную производительность дрожжеброидильной аппаратуры по спирту ( $P$ ), дал/(м<sup>3</sup>·сут),

\* Интенсификация сбраживания мелассного сусла с рециркуляцией дрожжей / С. Т. Олийничук, Л. В. Левандовский, А. Д. Коваленко, В. К. Янчевский. — Ферментная и спиртовая промышленность, 1982, № 3.

$$P = \frac{P}{V},$$

где  $P$  — количество спирта, дал/сут;

$V$  — геометрическая емкость дрожжеброидильной аппаратуры, м<sup>3</sup>.

Влияние рециркуляции дрожжей на скорость сбраживания ими сахаров сусла приведено в табл. 1.

При переработке сусла концентрацией 20—22 % без рециркуляции дрожжевой суспензии количество сахаров сусла, сбраживаемых в аэробных условиях дрожжегенерирования, составляло 44,9 кг/м<sup>3</sup>. В бродильных аппаратах по мере уменьшения питательных веществ в среде этот показатель постепенно снижался с 30,4 (в первом) до 5,9 кг/м<sup>3</sup> (в пятом), а скорость брожения — с 13,8 до 2,68 кг/(м<sup>3</sup>·ч).

Рециркуляция суспензии при брожении увеличивала скорость сбраживания сахаров в головном аппарате до 32,5 кг/м<sup>3</sup>, что в 2,5 раза выше, чем в контрольном брожении. Средняя расчетная скорость сбраживания в первых пяти аппаратах составляла 10,7 кг/(м<sup>3</sup>·ч) против 7,07 кг/(м<sup>3</sup>·ч) в контроле, т. е. при рециркуляции была выше на 51 %.

При сбраживании концентрированного мелассного сусла усовершенствованным двухпоточным способом количество сброженного сахара и скорость его ассимиляции дрожжами от первого до третьего аппарата возрастали соответственно с 12,2 до 31,9 кг/м<sup>3</sup>ч и с 3,85 до 12,12 кг/м<sup>3</sup>ч. Это обуславливалось положительным влиянием дробного ввода основного сусла в головные бродильные аппараты.

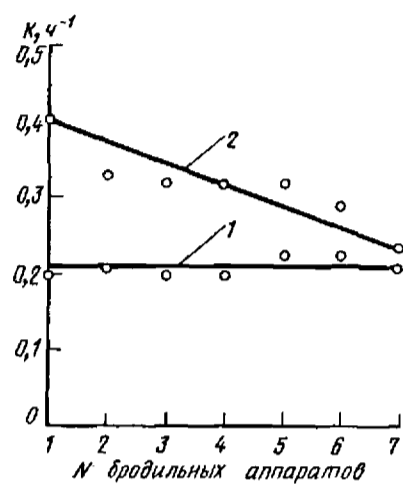


Рис. 1. Динамика констант скорости сбраживания сахаров мелассного сусле концентрацией 20—22 % СВ:  
1 — без рециркуляции дрожжей; 2 — с рециркуляцией дрожжей

В рециркуляционном режиме количество сахаров, сбраживаемых в 1 м<sup>3</sup> среды головного аппарата, существенно увеличивалось (до 42,0 кг, а во втором аппарате — до 43,3 кг. Соответственно возрастала и скорость ассимиляции сахаров, которая в трех первых аппаратах бродильной батареи составляла 20,6; 27,0 и 7,2 кг/(м<sup>3</sup>·ч), а в среднем — 18,3 кг/(м<sup>3</sup>·ч).

Как видно из рис. 1, с повышением концентрации дрожжей в среде ускоряется сбраживание сахаров по всей бродильной батарее. Так, при однопоточном брожении без рециркуляции величины констант в 1—7 аппаратах находились в пределах 0,199—0,236 ч<sup>-1</sup>. В рециркуляционном же режиме в головном бродильном аппарате константа скорости сбраживания резко повышалась до 0,404 ч<sup>-1</sup>, а во 2—5 аппаратах была практически стабильна — 0,332—0,322 ч<sup>-1</sup>.

Снизился этот показатель в седьмом бродильном аппарате до 0,238 ч<sup>-1</sup> из-за низкого содержания дрожжей в среде, поскольку этот аппарат находился вне

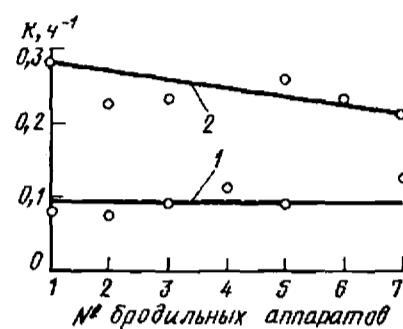


Рис. 2. Динамика констант скорости сбраживания сахаров мелассного сусле концентрацией 25—27 % СВ:  
1 — без рециркуляции дрожжей; 2 — с рециркуляцией дрожжей

контура рециркуляции дрожжевой суспензии.

В результате лимитирования и ингибирования роста дрожжей, что свойственно сбраживанию сусле повышенной концентрации, значения указанной константы намного ниже, чем при однопоточном брожении сусле обычной концентрации (рис. 2). В первых пяти аппаратах константа была в пределах 0,067—0,115 ч<sup>-1</sup>. Однако рециркуляция дрожжевой суспензии и повышение ее концентрации сняли лимитирование по количеству дрожжей, участвующих в брожении, что повлекло за собой значительное повышение константы скорости сбраживаемых сахаров. Наибольшее значение этот показатель имел в первом аппарате — 0,286 ч<sup>-1</sup>, а в пяти последующих поддерживался на уровне 0,231—0,266 ч<sup>-1</sup>, что более чем в два раза превосходило показатели сбраживания такого же сусле без рециркуляции дрожжевой суспензии.

Приведенные данные указывают на интенсификацию сбраживания сахаров мелассного сусле при рециркуляции сгущенной дрожжевой суспензии в анаэробной стадии брожения, что существенно улучшает и другие показатели сбраживания мелассного сусле обычной и повышенной концентрации, а также смеси мелассы с тростниковым сахаром-сырцом в соотношении 30:70 (по са-

Таблица 2

Показатели	Лужанский спиртзавод				Почовский спиртзавод	
	Мелассное сусле концентрацией 20—22 % СВ		Мелассное сусле концентрацией 25—27 % СВ		Сусле из смеси сахара-сырца с мелассой	
	брожение без рециркуляции	брожение с рециркуляцией	брожение без рециркуляции	брожение с рециркуляцией	брожение без рециркуляции	брожение с рециркуляцией
Длительность анаэробного брожения, ч	22,5	15,0	23,0	18,1	17,6	10,6
Скорость разбавления среды в бродильных аппаратах, ч <sup>-1</sup>	0,42	0,42	0,40	0,56	0,43	0,81
Удельная производительность дрожжебродильной аппаратуры (спиртосъем), дал/(м <sup>3</sup> ·сут)	7,8	12,4	8,2	11,6	7,1	12,2

хару). Зависимость некоторых показателей при сбраживании сусле различных субстратов с рециркуляцией дрожжей в анаэробной стадии процесса приведена в табл. 2.

Как видно из данных табл. 2, ускорение брожения, отмеченное во всех опытных вариантах, позволило при переработке смеси мелассы и сахара-сырца повысить скорость притока свежего сусла и достигнуть скорости разбавления среды в бродильных аппаратах  $0,81 \text{ ч}^{-1}$  против  $0,42 \text{ ч}^{-1}$  в контроле, или на 93 %.

Следствием этого явилось значительное возрастание удельной производительности

дрожжебродильной аппаратуры по спирту в сравнении с контрольными процессами без рециркуляции дрожжевой суспензии.

Таким образом, анализ кинетических показателей сбраживания показал, что применение рециркуляции, многократное использование дрожжей увеличивают скорость сбраживания сахаров в 2,5—3 раза, а константу скорости спиртового брожения в начальной стадии — в 2—3 раза. Это увеличивает получение спирта с  $1 \text{ м}^3$  дрожжебродильной аппаратуры на 30—45 %, что перспективно для создания высокопроизводительного спиртового производства.