

# Влияние схемы затириания на сбраживаемость пивного сусла

А. А. Гафоров, аспирант; Д. В. Карпенко, д-р техн. наук, доцент;  
Ю. А. Уваров, аспирант

Московский государственный университет пищевых производств

**Ключевые слова:** схема затириания; гидромодуль; сбраживаемость сусла; безалкогольное пиво; редуцирующие вещества.

**Keywords:** scheme of mashing; fermentability of wort; non-alcoholic beer; reducing substances.

Основной задачей наших исследований, проводимых в ГОУВПО «МГУПП», отмечающем 80-летний юбилей, является разработка технологии слабоалкогольного и безалкогольного пива, производимого преимущественно с использованием оборудования, характерного для производства обычного алкогольсодержащего пива. Дополнительная цель — обеспечение максимальной близости органолептики готового напитка к прической алкогольсодержащему пиву.

Ранее была проведена оценка влияния на характеристики сусла, предназначенного для получения пива с пониженным содержанием этилового спирта, ряда факторов: схемы затириания (с повышением и понижением температуры, с разным количеством пауз, в том числе с пропуском мальтозной паузы; состава засыпи (дозировки несоложенного ячменя); гидромодуля; значение pH начального сусла.

Установлено, что ни варьирование любого из этих факторов по отдельности, ни их комбинирование в различных сочетаниях не обеспечивают содержания редуцирующих веществ в сусле, позволяющих предположить накопление этанола при обычном сбраживании в количестве, характерном для безалкогольного пива (менее 0,5%). В то же время подбор состава засыпи и схема затириания, предусматривающая подавление активности β-амилазы, наиболее существенно снижают содержание редуцирующих веществ в сусле.

Так, при проведении затириания путем выдержки смеси засыпи и налива при 70...72 °С, а также при выдержке затора после этого при досахаривающей паузе (75 °С) на предыдущих этапах нашей работы были получены пониженные по сравнению с традиционным затирианием концентрации редуцирующих веществ. Однако снижение концентрации низкомолекулярных сахаров, по

нашему мнению, было недостаточно для получения безалкогольного пива сбраживанием «экспериментального» сусла обычным способом. Поэтому решено было модифицировать условия затириания так, чтобы они обеспечили накопление сбраживаемых сахаров в сусле в концентрации не более 1%.

Причиной недостаточного снижения эффективности гидролиза крахмала до сахаров могло быть то обстоятельство, что при активном действии α-амилазы, проявляющемся сразу после начала затириания, быстро накапливаются среднемолекулярные продукты гидролиза, на которые успевают подействовать солодовая β-амилаза до того, как этот фермент инактивируется в значительной степени. Поэтому решено было изучить результаты затириания, проводимого при еще более высокой, чем в предыдущих случаях, температуре, а именно при 75...77 °С. При этом мы исходили из предположения, что в таких условиях β-амилаза будет инактивирована практически сразу, не накапливая значимого количества сахаров, в то время как α-амилаза, имеющая температуру инактивации выше 78 °С, будет интенсивно гидролизовать клейстеризованный в данных условиях крахмал, накапливая среднемолекулярные декстрины и снижая вязкость жидкой фазы затора.

Для решения задачи был проведен следующий эксперимент. Воду, нагретую до 85 °С, смешали с засыпью различного состава так, чтобы получить два разных гидромодуля. Четыре варианта затора, переработанные в данном эксперименте, имели следующий состав:

- 1) 100% ячменного солода, гидромодуль 1:3;
- 2) 100% ячменного солода, гидромодуль 1:5;
- 3) 50% ячменного солода, 50% ячменя, гидромодуль 1:3;

4) 50% ячменного солода, 50% ячменя, гидромодуль 1:5.

Затириание проводили по схеме с единственной паузой при 75...77 °С до полного осахаривания по йодокрахмальной пробе; первую пробу для проверки этого показателя отбирали через 5 мин после начала затириания, на протяжении первых 20 мин процесса пробы отбирали через каждые 5 мин, затем через каждую минуту.

После осахаривания заторов их фильтровали через слой дробины. В полученном таким образом первом сусле определяли содержание сухих (СВ) и редуцирующих веществ (РВ), а также аминного азота (АА). Полученные результаты приведены в табл. 1.

Концентрации редуцирующих веществ были существенно выше предполагаемых, превышая даже значения, получаемые в ряде случаев при традиционном ведении затириания при ступенчатом повышении температуры. В то же время повышенная дозировка несоложенного ячменя и значение гидромодуля оказали закономерное влияние на выход сухих веществ в образцах сусла, а также выход аминного азота.

Для уточнения полученных данных был проведен аналогичный эксперимент, условия которого полностью соответствовали тем, в которых был реализован предыдущий, за исключением того, что начальная температура затириания равнялась 78...80 °С; при этой температуре и проводили единственную паузу. Результаты анализа образцов сусла приведены в табл. 2.

Сопоставляя данные табл. 1 и 2, можно заключить, что дополнительное повышение температуры затириания на 2...3 °С привело к увеличению концентрации сухих и редуцирующих веществ и снижению содержания аминного азота. Увеличение выхода сухих веществ логично объясняется более интенсивной клейстеризацией крахмала и, вследствие этого более интенсивным его гидролизом. Соответственно причина снижения концентрации АА — более существенная инактивация протеолитических ферментов зернового сырья при повышении температуры.

На основании результатов двух последних, а также предыдущих экспериментов было сделано предположение, что увеличение концентрации редуцирующих веществ при увеличении суммарной «тепловой нагрузки» на затор обусловлено не накоплением собственно сбраживаемых сахаров, а возрастанием количества восстанавливающих

группировок в составе декстринов и олигосахаридов, повышение выхода которых обусловлено интенсивным гидролизом  $\alpha$ -амилазой крахмала, в большей степени клейстеризованного при 78...80 °С, чем при 75...77 °С.

Если такое предположение верно, то затираание при температуре, не инактивирующей  $\alpha$ -амилазы, но существенно подавляющей активность  $\beta$ -амилазы, может быть эффективным инструментом снижения сбраживаемости суслу. Поэтому решено было рассмотреть динамику такого процесса, чтобы определить его наиболее целесообразную как с экономической, так и с технологической точек зрения продолжительность.

Для этого был проведен эксперимент, в рамках которого воду, нагретую до 85 °С, смешивали с засыпью, обеспечивая гидромодуль 1:5. Затираание проводили по схеме с единственной паузой при 75...77 °С в течение 1 ч. В эксперименте затирали два образца, отличавшихся составом засыпи. В первом варианте она включала 100% солода, во втором — 50% солода и 50% ячменя. Пробы отбирали через 0; 20; 40 и 60 мин, фильтровали их и фильтрат анализировали (табл. 3).

Из табл. 3 видно, что в заторе со 100% солода существенное увеличение всех показателей наблюдалось на протяжении всего процесса затираания. При переработке смеси солода и ячменя наибольший прирост проанализированных показателей (кроме концентрации аминного азота) отмечали в первые 20 мин затираания. Полученные результаты свидетельствуют, что при выборе рассматриваемой схемы затираания для использования в процессе производства безалкогольного пива необходимо определять оптимальную продолжительность затираания с учетом состава перерабатываемого зернового сырья.

Таким образом, установлено, что проведение затираания с одной паузой при высоких температурах позволяет снизить интенсивность гидролиза крахмалистых соединений до низкомолекулярных веществ. Кроме того, затираание при низком гидромодуле обеспечивает экономические преимущества, так как требует меньших объемов оборудования варочного отделения, давая возможность разбавить позднее сусло или пиво до необходимых кондиций. В то же время ведение процесса при постоянной высокой температуре требует большего расхода тепла / энергии, чем схема, предусматривающая нагрев налива до температуры, превышающей

Таблица 1

Показатель	Вариант			
	100% С, Гм 1:3	100% С, Гм 1:5	50% С + 50% Я, Гм 1:3	50% С + 50% Я, Гм 1:5
СВ, %	21,8	14,4	18,6	11,4
РВ, %	16,7	9,7	11,5	7,3
АА, мг/см <sup>3</sup>	0,27	0,25	0,21	0,20

Таблица 2

Показатель	Вариант			
	100% С, Гм 1:3	100% С, Гм 1:5	50% С + 50% Я, Гм 1:3	50% С + 50% Я, Гм 1:5
СВ, %	22,0	14,6	17,4	11,8
РВ, %	16,4	10,2	12,6	7,4
АА, мг/см <sup>3</sup>	0,20	0,22	0,13	0,18

Таблица 3

Показатель	Время, мин							
	0		20		40		60	
	100% С	50% С + 50% Я	100% С	50% С + 50% Я	100% С	50% С + 50% Я	100% С	50% С + 50% Я
СВ, %	8,8	5,8	13,0	10,4	13,6	10,4	15,0	12,4
РВ, %	5,8	2,5	8,2	5,7	10,5	6,6	12,9	8,0
АА, мг/см <sup>3</sup>	0,18	0,20	0,21	0,15	0,20	0,17	0,31	0,24

Таблица 4

Вариант	СВ, %	РВ, %	АА, мг/см <sup>3</sup>	Вязкость, мм <sup>2</sup> /с
1-й (t = const)	19,2	10,7	0,25	18,44
2-й (снижение t)	17,6	10,6	0,25	7,79

начальную, и последующее самопроизвольное снижение затора в течение некоторого времени. Поэтому в следующем эксперименте решено было сравнить результаты затираания, проводимого по двум вышеупомянутом схемам: с выдержкой при постоянной высокой температуре и с постепенным самопроизвольным ее снижением.

Для этого провели эксперимент в следующих условиях: воду, нагретую до 87 °С, смешивали с засыпью для достижения гидромодуля 1:3. Затираание проводили, перерабатывая смеси из 50% ячменного солода и 50% ячменя по следующим схемам:

1-й вариант — выдерживали при 75...77 °С до полного осахаривания по йодокрахмальной пробе, но не более 1 ч;

2-й вариант — после установления в заторе начальной температуры 76 °С ее значение постепенно самопроизвольно снижалось, при этом стакан был изолирован от окружающей среды несколькими слоями плотной ткани, что обеспечивало более медленное снижение температуры.

По окончании процесса заторы фильтровали через слой дробины, фильтраты анализировали (табл. 4). В 1-м варианте полное осахаривание по йодокрахмальной пробе было достигнуто через 50 мин затираания, а во 2-м затор

полностью не осахарился и продолжительность процесса составила 60 мин.

При постоянной температуре затираания достигается больший выход сухих веществ, но концентрация РВ в вариантах первого суслу была практически одинаковой, как и содержание низкомолекулярных азотистых соединений.

Таким образом, по показателям, определяющим результаты сбраживания суслу, существенной разницы не отмечается, но вязкость суслу, полученного затираанием зерноприпасов при постоянной температуре, почти в 3 раза больше, чем в сусле, полученном при снижении температуры затора. Ввиду технологической значимости этого показателя предпочтение по нашему методу следует отдать 2-му варианту.

Кроме того, следует учитывать, что использование низких гидромодулей при затираании приводит к более высоким потерям экстрактивных веществ зернового сырья, особенно при переработке заторов с высокими дозировками несоложенного ячменя, а именно такие используются в нашей работе. Поэтому нами решено было отказаться от применения низких гидромодулей, по крайней мере, на данном этапе исследований и сосредоточиться на изучении результатов затираания, проводимого по различным схемам, при гидромодуле 1:5.

Решено было сопоставить результаты различных схем затирания в рамках одного эксперимента, уменьшив тем самым количество неучтенных факторов, влияющих на результаты процесса. При этом определяли общее содержание редуцирующих веществ, оценивая по нему интенсивность гидролиза крахмалистых веществ с большой молекулярной массой, а не сбраживаемых дрожжами углеводов. Выход последних было решено оценить, сбраживая сусло, полученное по схеме, признанной нами наиболее соответствующей поставленной задаче.

Во всех вариантах перерабатывали смесь 50% ячменного солода и 50% ячменя, а гидромодуль равнялся 1:5. Температурные схемы, применяемые в различных вариантах, были следующими:

1) начальная температура затирания 50 °С, паузы при 50...52 °С, 60...63 °С, 70...72 °С по 20 мин каждая, доосахаривающая пауза при 75 °С до полного осахаривания затора по йодокрахмальной пробе, но не более 10 мин, подъем температуры со скоростью примерно 10 °С/мин; эту схему использовали в качестве контроля, так как примерно в таком режиме получают сусло на многих пивоваренных предприятиях;

2) начальная температура затирания 50 °С, паузы при 50...52 °С и 70...72 °С по 20 мин каждая, доосахаривающая пауза при 75 °С до полного осахаривания затора по йодокрахмальной пробе, но не более 10 мин, подъем температуры со скоростью примерно 10 °С/мин; эта схема с так называемым «проскоком» мальтозной паузы рекомендуется в литературных источниках [1];

3) затор выдерживали при единственной паузе при 75...77 °С до полного осахаривания, но не более 1 ч; эта схема представляла собой модификацию предлагаемого в литературных источниках подхода, за исключением того, что температуру повысили с 72 °С;

4) начальная температура затирания 75 °С, после чего температура затора самопроизвольно плавно снижалась в

термоизолированной емкости; продолжительность процесса — до полного осахаривания, но не более 1 ч; такой подход предложен в нашей работе на основе предыдущих экспериментов.

По окончании процесса затор в каждом варианте фильтровали через слой дробины, фильтрат анализировали (табл. 5).

Результаты эксперимента подтверждают большинство выводов, сделанных нами ранее. Так, отказ от ступенчатого подъема температуры приводит к снижению, как минимум, выхода экстрактивных веществ, а также уменьшению концентрации аминного азота. То же самое можно было бы сказать и о выходе редуцирующих веществ, если бы не значение этого показателя в варианте 4. Однако, как уже говорилось выше, это может быть обусловлено не содержанием сбраживаемых сахаров, а концентрацией средномолекулярных продуктов гидролиза крахмала. Тем не менее для следующего эксперимента, в котором проводили сбраживание сусла и определяли в нем, помимо прочего, содержание этилового спирта в молодом пиве, по сумме всех показателей была выбрана схема, примененная в варианте 3, несмотря на очень высокую вязкость, которая отмечалась для такого способа затирания и ранее.

Одним из основных критериев оценки целесообразности применения того или иного способа затирания в технологии безалкогольного пива может служить содержание этилового спирта в молодом пиве. Для установления этого показателя был реализован следующий эксперимент.

Затирание вели по схеме, использованной в варианте 3 предыдущего эксперимента (единственная пауза при 75...77 °С в течение 1 ч, гидромодуль 1:5). В данном случае были поставлены два варианта, отличавшихся составом засыпи: 100% солода (вариант 1) и 50% солода и 50% ячменя (вариант 2). Вариант 1 фактически служил образцом

сравнения, так как, по нашему мнению, для решения основной задачи наших исследований более целесообразно использование заторов с высокой дозировкой несоложенного зерна.

По окончании процесса затор фильтровали через слой дробины, фильтрат анализировали (табл. 6).

Оба образца сусла кипятили с хмелем в течение 1 ч 30 мин, задавая хмель в два приема: первую порцию (80%) вносили через 10 мин от начала кипячения, вторую порцию (20%) — за 15 мин до конца. Дозировка хмеля равнялась 22 г/дал.

Горячее сусло обоих образцов отфильтровали и охладили до 20 °С, после чего, определив содержание сухих веществ, разбавили их в одинаковое количество раз, так чтобы плотность в варианте 1 составила 11%. При этом содержание сухих веществ в варианте 2 равнялось 10,2%.

Образцы сусла засеивали производственными дрожжами так, чтобы на каждый процент сухих веществ сусла приходился 1 млн дрожжевых клеток на 1 см<sup>3</sup> сусла. Сбраживание сусла вели до того момента, когда содержание видимого экстракта, определявшегося рефрактометрически, не снижалось по сравнению с предыдущими сутками. В ходе брожения определяли видимый экстракт, общий титр и количество мертвых дрожжевых клеток (табл. 7).

Видно, что убыль сухих веществ при сбраживании сусла, полученного из 100%-ного солода, была больше, чем в случае сусла, полученного с применением ячменя. Это косвенно подтверждает наши предположения о том, что содержание сбраживаемых сахаров может быть уменьшено за счет замены значимой части солода несоложенным зерном. Обращает на себя внимание тот факт, что развитие популяции, оцениваемое по общему титру и числу мертвых дрожжевых клеток, было более интенсивным в чисто солодовом сусле. Причиной этого, по нашему мнению, может быть не только большее количество сбраживаемых сахаров в питательной среде, но и более высокая концентрация низкомолекулярных азотсодержащих соединений. Именно их нехватка могла быть причиной замедления развития дрожжей в варианте 2, что делает необходимым в дальнейшем разработать способ устранения этой проблемы.

Определение концентрации этилового спирта в образцах молодого пива дало следующие результаты: вариант 1 (100% солода) — 1,84 об. %; вариант

Таблица 5

Вариант	СВ, %	РВ, %	АА, мг/см <sup>3</sup>	Вязкость, мм <sup>2</sup> /с
1 (три паузы)	13,2	7,8	0,24	1,69
2 (две паузы, без мальтозной)	13,0	8,2	0,20	1,76
3 ( $t_{const} = 75...77$ °С)	11,4	6,4	0,20	6,12
4 (снижение $t$ )	11,2	8,0	0,15	2,48

Таблица 6

Вариант (состав засыпи)	СВ, %	РВ, %	АА, мг/см <sup>3</sup>	Вязкость, мм <sup>2</sup> /с
1 (100% солода)	15,4	9,7	0,18	1,79
2 (50% солода + 50% ячменя)	11,8	6,9	0,12	3,88

2 (50% солода + 50% ячменя) — 0,96 об. %.

Таким образом, во-первых, использование затирания с единственной паузой при 75...77 °С позволило существенно снизить накопление этилового спирта по сравнению с 11%-ным суслем, получаемым по обычной схеме; во-вторых, замена 50% солода ячменем примерно вдвое сокращает концентрацию этанола в молодом пиве. По нашему мнению, хотя в условиях эксперимента и не удалось соблюсти требований, предъявляемых к безалкогольному пиву в отношении его крепости, достигнутые результаты могут быть основой для доработки технологии производства напитков указанной группы.

Для определения влияния рассмотренных в нашей работе ранее приемов снижения степени сбраживания суслу на содержание РВ и сбраживаемых сахаров в одинаковых условиях был проведен эксперимент, объединявший две серии опытов. В первой из них затирали 100% ячменного солода; во второй засыпь состояла из 50% ячменного солода и 50% ячменя, культивируемого в Республике Таджикистан.

В каждой серии проводили три опыта, отличавшихся условиями затирания:

1) проводили три паузы при 50; 62; 72 °С по 20 мин каждая, затем доосахаривание при 75 °С до полного осахаривания по йодной пробе, но не более 10 мин;

2) процесс вели при 75...77 °С до полного осахаривания, но не более 1 ч;

3) начальная температура затирания равнялась 75...77 °С, затем процесс вели при самопроизвольном снижении температуры в теплоизолированной емкости до полного осахаривания, но не более 1 ч.

Таким образом, всего исследовали шесть образцов.

После сбора первого суслу к дробине каждого варианта добавили воду температурой 83...85 °С. Ее объем составлял 1/3 налива, использованного при приготовлении затора. Промывные воды с содержанием сухих веществ не менее 3% присоединяли к первому суслу, остальные отбрасывали.

Неохмеленное сусло хранили при температуре 3...4 °С до следующего дня. Охмеление вели в том же режиме, что и в предыдущих экспериментах, за исключением того, что норма задачи хмеля равнялась 15 г/дал. После отделения хмелевой дробины и охлаждения образцов суслу до 20 °С их разбавляли до одинаковой концентрации, равной 10,8% (такая концентрация сухих ве-

Таблица 7

Вариант	Показатель	Время, сут					
		0	1	2	3	4	5
		T, °C					
100% С	СВ, %	11	10,4	—	8	7,8	7,8
	N <sub>общ.</sub> млн/см <sup>3</sup>	11,03	—	—	62,5	72,0	69,0
	N <sub>мерт.</sub> %	—	—	—	4,8	4,9	4,3
50% С + 50% Я	СВ, %	10,2	9,6	—	7,6	7,5	7,6
	N <sub>общ.</sub> млн/см <sup>3</sup>	9,85	—	—	52,5	62,0	54,5
	N <sub>мерт.</sub> %	—	—	—	6,6	6,5	5,5

Таблица 8

Показатель	100% С			50% С + 50% Я		
	3 паузы	t <sub>const</sub>	t <sub>сниж.</sub>	3 паузы	t <sub>const</sub>	t <sub>сниж.</sub>
	Вариант					
	1	2	3	4	5	6
РВ, %	10,9	7,6	8,9	9,7	6,9	8,6
АА, мг/см <sup>3</sup>	0,218	0,151	0,179	0,174	0,176	0,196
Вязкость, мм <sup>2</sup> /с	1,61	2,03	2,27	3,17	5,14	3,34

Таблица 9

Содержание, мг/см <sup>3</sup>	Вариант			
	1	4	5	6
Фруктоза	1,19	1,04	0,44	0,51
Глюкоза	7,17	6,13	3,90	7,00
Сахароза	3,66	2,54	4,10	4,07
Мальтоза	49,62	43,49	16,27	27,32
Всего	61,64	53,20	24,70	38,90
РВ*	109,0	97,0	69,0	89,0

\* Определено по методу с ДНС.

ществ наблюдалась в варианте 6 и была минимальной среди всех вариантов).

После разбавления в образцах охмеленного суслу определяли СВ, РВ, АА, вязкость (табл. 8).

В образцах 1; 4; 5 и 6 определяли содержание сахаров на жидкостном хроматографе Agilent Technologies с рефрактометрическим детектором (колонок ZORBAX Carbohydrate 4,6×150 мм, 5-μm; объем вводимой пробы 20 мкл). Полученные результаты представлены в табл. 9.

Анализируя данные таблиц, можно сделать следующие выводы:

наблюдалась определенная корреляция между результатами хроматографического и химического определений сахаров и редуцирующих веществ соответственно; при этом подтверждается сделанное нами ранее предположение о том, что метод с ДНС «чувствителен» по отношению не только к истинным сахарам, но и к сахаридам, имеющим восстанавливающую группу;

предложенные в нашей работе приемы (высокая дозировка несоложенного ячменя и схемы затирания, подавляющая активность β-амилазы) позволяют снизить концентрации как сахаров, так

и редуцирующих веществ начального суслу;

наиболее интенсивное подавление сахарогенных ферментов затора обеспечивает ведение затирания при постоянной высокой температуре (75...77 °С);

проведение затирания при постоянной высокой температуре приводит к заметному снижению концентрации аминного азота и существенному повышению вязкости последнего вне зависимости от состава засыпи; эти проблемы, особенно вторая, в дальнейшем должны быть решены.

Таким образом, по нашему мнению, наиболее целесообразный способ затирания с целью получения безалкогольного пива — проведение процесса при постоянной температуре, равной 75...77 °С.

О разработке условий сбраживания суслу, полученных по экспериментальным схемам затирания, будет сообщено позднее.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оганнисян, В. Г. Разработка технологии безалкогольного пива, обогащенного вторичными продуктами метаболизма дрожжей: дис.... канд. техн. наук: утв. 05.18.07./ В. Г. Оганнисян. — СПб.: РГБ, 2006.