# Степень сбраживания сусла и пива

**Г.А. Ермолаева**
*Московский государственный университет пищевых производств*

Основной процесс при производстве пива — спиртовое брожение сахаров сусла под действием ферментов дрожжей. При брожении происходит изменение химического состава сусла и превращение его в пиво. Большое значение при этом имеют первоначальный состав сусла (содержание в нем сбраживаемых сахаров, несбраживаемых углеводов, азотистых веществ, фосфатов, неорганических солей и др.) и дрожжи.

Для брожения применяют расы чистых культур пивных дрожжей, которые должны обладать высокой бродильной активностью (бродильная активность — способность дрожжей возбуждать спиртовое брожение), способностью к оседанию (при этом происходит осветление пива, вызываемое оседанием дрожжей на дно бродильного аппарата), приданию пиву характерного аромата и мягкого вкуса.

Бродильную активность дрожжей определяют по степени сбраживания сахаров сусла. Степень сбраживания ($V$) дрожжей — это показатель, выраженный в процентах, характеризующий отношение массы сброженного экстракта ($E - e$) к массе сухих веществ в начальном сусле ($E$)

$$V = [100 (E - e)] / E,$$

где $e$ — содержание экстрактивных веществ в пиве, % к массе пива.

По степени сбраживания дрожжи делятся на сильносбраживающие (степень сбраживания 90–100 %), среднесбраживающие (80–90 %), низкосбраживающие (менее 80 %).

При главном брожении большая часть экстрактивных веществ превращается в продукты брожения. Ход этого процесса контролируют по степени сбраживания. Различают видимую и действительную степень сбраживания. Если содержание экстракта определяют в пиве в присутствии спирта и $CO_2$, то это видимый экстракт. Используя его значение, вычисляют видимую степень сбраживания. Действительную степень сбраживания находят по величине истинного содержания экстракта, которую определяют после удаления спирта и диоксида углерода пикнометрическим методом (по относительной плотности сусла или пива).

В целях регулирования процесса брожения по стадиям учитывают понятие «конечная степень сбраживания» (КСС), т.е. максимально возможная степень сбраживания. В процессе брожения конечная степень сбраживания не достигается, ее определяют в лаборатории завода. У светлых сортов пива видимая конечная степень сбраживания составляет 77–82 %.

Молодое пиво, перекачиваемое в цех дображивания, должно содержать около 1 % сбраживаемого экстракта, чтобы при дображивании получить необходимое насыщение пива диоксидом углерода.

В готовом пиве нельзя оставлять много сбраживаемого экстракта. Чем меньше разница между степенью сбраживания готового пива и конечной степенью сбраживания, тем больше его биологическая стойкость. Если между этими величинами имеется значительная разница, то микроорганизмы готового пива будут размножаться на сбраживаемых веществах готового пива и образовывать муть, снижая его биологическую стойкость и вкусовые качества.

### Определение степени сбраживания

Видимый (кажущийся) экстракт определяют в сбраживаемом сусле или пиве при наличии в нем спирта и диоксида углерода сахаромером, а действительный определяют в нем пикнометрическим способом после удаления спирта и диоксида углерода.

Величина видимого экстракта сбраживаемого сусла и пива всегда меньше действительного, так как сахаромер погружается в спиртсодержащей жидкости глубже и соответственно показывает величину меньше, чем действительная. В соответствии с этим разница экстрактов сусла и пива получается большей и поэтому видимая степень сбраживания также получается больше действительной. Приблизительно это $V_д \approx 0{,}87 V_{вид}$ (где 0,87 — опытная величина).

**Определение степени сбраживания сусла**. Этот анализ выполняют или при исследовании сусла для характеристики проведенных способов затирания или прогнозирования хода брожения в бродильно-лагерном отделении, или при изучении лабораторного сусла для характеристики солода.

Чтобы пользоваться величиной степени сбраживания для регулирования процесса брожения по стадиям, необходимо знать, какая часть экстрактивных веществ сусла является сбраживаемой. Для этого определяют так называемую конечную, то есть максимально возможную степень сбраживания, которая в производстве не достигается, а определяется в лаборатории. Она должна быть известна до конца главного брожения, на 4–6-й день брожения.

Для анализа используют толстостенную колбу вместимостью 500 или 600 см$^3$ с ватной пробкой, мерный цилиндр на 500 см$^3$; фарфоровую ступку; воронку; пикнометр.

*Проведение анализа.* Анализируемый образец сусла разбавляют дистиллированной водой до концентрации экстрактивных веществ 5–6 мас. %, которую определяют сахаромером или пикнометрически. Дрожжи для анализа предварительно обезвоживают, отпрессовывая их в мешочке из плотной ткани в ручном прессе до получения плотной, легко разламывающейся массы. Воду из дрожжей можно также удалить фильтрованием под вакуумом на воронке Бюхнера через фильтровальную бумагу. Для устранения разбавления сусла водой, которая остается на поверхности дрожжевых клеток, дрожжи на воронке Бюхнера ополаскивают небольшим количеством разбавленного сусла.

Разбавленное сусло сбраживают двумя способами: брожением без размешивания или брожением с размешиванием.

При первом способе в мерный цилиндр наливают 300 см$^3$ разбавленного сусла, а в фарфоровой ступке пестиком тщательно растирают 30 г прессованных дрожжей (10 % от массы сусла) с небольшим количеством сусла, приливаемого из цилиндра. Затем в толстостенную колбу вместимостью 500 см$^3$ смывают суслом из цилиндра дрожжи с пестика и из ступки. Сосуд закрывают ватной пробкой и проводят брожение в течение 48 ч при 20...25 °С, периодически слегка взбалтывая содержимое.

Сброженное сусло осторожно сливают с осадка в другой сосуд, энергично встряхивают для удаления диоксида углерода и отфильтровывают на воронке Бюхнера через бумажный фильтр, возвращая в воронку первые 20–30 см$^3$ фильтрата. В фильтрате с помощью сахаромера или пикнометрически определяют видимый экстракт.

При анализе вторым (ускоренным) способом в стакан вместимостью 500 или 600 см$^3$, снабженный мешалкой и крышкой, вносят 200 см$^3$ сусла и 16 г отпрессованных дрожжей, закрывают крышкой, помещают на водяную баню, включают мешалку и сбраживают сусло 5 ч при 20...25 °С. Сброженное сусло отфильтро-

вывают и определяют в нем видимый экстракт.

Конечную степень сбраживания $x$, показывающую количество сброженных веществ в сусле, вычисляют в процентах к массе экстрактивных вещества в исходном сусле по формуле

$$x = (m_{СВ} - m_{СВ1})\,100 / m_{СВ},$$

где $m_{СВ}$ — массовая доля сухих веществ в начальном сусле, %; $m_{СВ1}$ — видимая массовая доля сухих веществ сброженного сусла, %.

Для вычисления конечной степени сбраживания, например пикнометрически, определяют относительную плотность ($\rho_{20}^{20}$, г/см$^3$) исходного и сброженного сусла. Затем по относительной плотности находят значения массовой доли сухих веществ в начальном сусле ($m_{СВ}$, г/100 г или в %) и видимого экстракта сброженного сусла ($m_{СВ1}$, г/100 г или в %). Подставляя полученные данные в формулу, находят конечную степень сбраживания сусла.

Расхождение между результатами двух определений не должно быть более 1,1 %.

*Пример*. Сусло после разбавления его дистиллированной водой в два раза имеет относительную плотность 1,0237, что соответствует 6,002 % экстракта; относительная плотность после сбраживания — 1,0048, т.е. 1,232 % экстракта. Конечная степень сбраживания сусла (КСС, %)

$$x = (6{,}002 - 1{,}232)100 / 6{,}002 = 79{,}95\ \%.$$

По **методике ЕВС** (Европейской пивоваренной конвенции) предусмотрено, что если в сусле присутствует амилолитическая активность, то его в количестве 300–400 см$^3$ кипятят в течение 2 мин в колбе вместимостью 1 дм$^3$. Затем сусло разбавляют примерно до относительной плотности 1,025; 200 см$^3$ его помещают в колбу на 500 см$^3$, добавляют 12 г прессованных дрожжей предприятия, предварительно промытых разведенным суслом, и закрывают колбу затвором. Колбу помещают в качалку и встряхивают 24 ч при 25 °С так, чтобы дрожжи находились во взвешенном состоянии. Половину пробы отфильтровывают через бумажный фильтр диаметром 32 см, прикрыв воронку диаметром 15 см часовым стеклом во избежание испарения, и измеряют относительную плотность. Оставшуюся пробу продолжают встряхивать в течение 24 ч и снова измеряют относительную плотность. Для вычислений выбирают наименьшее значение.

*Ускоренный метод*. Для измерения относительной плотности 300–400 см$^3$ разбавленного сусла при 20 °С смешивают с 30 г прессованных дрожжей в колбе вместимостью 500 см$^3$, горлышко ее закрывают алюминиевой фольгой и перемешивают 6 ч при 100–150 мин$^{-1}$.

Значения начальной и конечной относительной плотности переводят в г/100 см$^3$ и рассчитывают видимую степень сбраживания ($AA$, %) по формуле

$$AA = (E - E_а)/E,$$

где $E$ — экстрактивность сусла, г/см$^3$; $E_а$ — видимая экстрактивность сброженного сусла, г/см$^3$.

Для получения действительной степени сбраживания следует видимую степень умножить на 0,81. При записи результат выражают до десятых и указывают тип использованных дрожжей.

По методике IoB (Института пивоварения Великобритании) видимую степень сбраживания ($Af$, %) рассчитывают по формуле

$$Af = (SG_1 - SG_2)100 / (SG_1 - 1{,}0),$$

где $SG_1$ — относительная плотность сусла; $SG_2$ — относительная плотность конечного пива.

Действительную степень сбраживания находят, умножив полученную величину $Af$ на 0,819 для солодового сусла и на 0,857 для сиропа глюкозы или инвертного сиропа. Для смеси сусла и сахаров следует интерполяцией подобрать соответствующий коэффициент.

**Определение видимой и действительной степени сбраживания пива**. Видимую и действительную степень сбраживания вычисляют по уравнениям:

$$X_в = (m_1 - m_{2вид})100 / m_1,$$

где $X_в$ — видимая степень сбраживания, %; $m_1$ — массовая доля сухих веществ в исходном сусле, %; $m_{2вид}$ — массовая доля видимого экстракта в пиве, %;

$$X_д = (m_1 - m_{2д})100 / m_1,$$

где $X_д$ — действительная степень сбраживания, %; $m_1$ — массовая доля сухих веществ в начальном сусле, %; $m_{2д}$ — массовая доля действительного экстракта в пиве, %.

*Пример*. Массовая доля сухих веществ начального сусла 11,1 %, массовая доля действительного экстракта пива 4,95, видимый экстракт пива 4,05 %. Тогда:

$$X_в = (11{,}1 - 4{,}05)\ 100 / 11{,}1 = 63{,}5\ \%;$$
$$X_д = (11{,}1 - 4{,}95)100 / 11{,}1 = 55{,}4\ \%.$$

По **методике ЕВС** действительную степень сбраживания пива RDF вычисляют по формуле

$$RDF = 100\,(2{,}0665A) / 2{,}0665AE_R,$$

где $A$ — содержание спирта, мас. %; $E_R$ — действительный экстракт, %.

Значения $A$ и $E_R$ берут из методик для определения спирта дистилляционным методом и определения экстракта пива.

Видимая степень сбраживания в бродильном отделении для светлых сортов пива составляет 58–65 %, для темных — 50–55 %. Видимая степень сбраживания готового пива в отделении дображивания должна быть на 10–15 % выше, чем в бродильном отделении, и на 2–4 % ниже конечной степени сбраживания.

**Определение конечной степени сбраживания пива**. Метод заключается в сбраживании остаточного экстракта пива дрожжами при определенных условиях и последующем расчете конечной степени сбраживания по изменению плотности пива.

Пробу пива подготовляют, как и при определении экстрактивности и содержания спирта в пиве.

100 см$^3$ подготовленного пива вносят в колбу вместимостью 250 см$^3$. 10 г дрожжей, приготовленных, как описано выше, размельчают, вносят в колбу с пивом и энергично взбалтывают до получения равномерной суспензии. Колбу выдерживают при периодическом взбалтывании в течение одних суток при комнатной температуре. Сброженное пиво сливают с осадка дрожжей, энергично встряхивают для освобождения от диоксида углерода и фильтруют через складчатый фильтр. В фильтрате пикнометром определяют относительную плотность.

Конечную степень сбраживания рассчитывают по формуле

$$X = (m_1 - m_2)100 / m_1,$$

где $X$ — конечная степень сбраживания, %; $m_1$ — массовая доля сухих веществ в начальном сусле, %; $m_2$ — действительный экстракт пива, %.

*Пример*. При сбраживании начального сусла концентрацией 12,1 % показания сахаромера в молодом пиве 4,1, в пиве в отделении дображивания перед розливом — 2,5 и при определении конечной степени сбраживания — 2,3. По формуле находим, что степень сбраживания молодого пива 66,1 %, а дображиваемого пива — 79,3 %.

Разница между приведенными значениями свидетельствует о том, что в молодом пиве содержится достаточное количество сбраживаемых веществ, необходимых в стадии дображивания. Конечная степень сбраживания в данном случае равна 81,0 % и превышает степень сбраживания дображиваемого пива на 1,7 % (81,0–79,3), что обеспечивает получение довольно стойкого пива.

В темных сортах пива разница между конечной степенью сбраживания и степенью сбраживания готового пива (перед розливом) значительно выше, чем у светлых сортов пива.