

Евгения Анатольевна Николаева, д-р техн. наук, директор
Компания «ИНГРЕДИКО»

УДК 637.1

Оптимизация расхода сырья, анализ и управление показателями процессов в сыроделии

В производстве сыров на крупном промышленном предприятии большое значение приобретает система управления показателями технологического процесса, направленная на повышение выхода сыров, снижение расхода сырья, максимально эффективное извлечение основных значимых компонентов молока, таких как белок, жир и лактоза. Более важное значение имеет регулирование и стандартизация показателей сыров как после процесса прессования, так и по завершении созревания.

Для выполнения задач по формированию системы управления необходимо организовать контроль выхода сыров и определить влияние различных факторов на выход.

Определение выхода — достаточно сложный процесс, который требует статистической проверки ряда данных, влияющих на формирование результатов. Для определения выхода чаще всего применяют фактическое значение:

$$\text{Фактический выход (aY)} = \frac{\text{Вес сыра (кг)}}{\text{Вес молока (кг)}} \times 100 .$$

Однако величина фактического выхода не отражает полную картину. Для формирования полного комплекса показателей, влияющих на расчет выхода сыров, важно определить целевую массовую долю влаги (целевую влагу) для группы сыров. Далее для каждой выработки группы необходимо рассчитать выход сыра с поправкой на влагу. Данный показатель в международной терминологии обозначается как MACY — Moisture Adjusted Cheese Yield (%). Он учитывает выход в зависимости от отклонения фактической массовой доли влаги от целевой:

$$\text{MACY} = (\text{aY}) \times \frac{100 - \text{фактическая влага в сыре } \%}{100 - \text{целевая влага в сыре } \%} .$$

Целевая влага устанавливается как оперативный показатель для сыров после прессования. При определении целевой влаги соблюдается этапность. Если производство уже имеет массив данных по качеству сыров и достигло соответствия органолептических показателей стандарту предприятия и нормативной документации, целевая влага рассчитывается как среднее между показателями влаги сыров после прессования. Целевая влага определяется в каждом отдельном виде сыра, имеющем одинаковую нормативную массовую долю жира. Если есть разделение производства по цехам, то следует обратить внимание, что собирать данные по каждому цеху необходимо отдельно с целью выявления возможных потерь, зависящих от условий производства. Целевую влагу сыров на новом производстве определяют на основании технической документации. Далее экспериментальным путем, основанным на результатах не менее 30 выработок одного типа сыра, которые коррелируют с хорошей органолептической оценкой, устанавливают оптимальный показатель. После принятия показателя целевой влаги успешность его достижения будет зависеть от величины отклонений фактических значений массовой доли влаги от установленных целевых. По сути, работа с минимизацией отклонений является одним из направлений пути к достижению эффективности.

Также важным фактором, влияющим на фактический выход сыров, является массовая доля соли в сыре. При постановке целевых значений массовой доли соли можно рассчитать выход с учетом влияния как массовой доли влаги, так и массовой доли соли:

$$\text{Выход с учетом} = \frac{\text{Фактический}}{\text{выход}} \times \frac{\left(\frac{100 - \text{фактическая}}{\text{влага в сыре } \%} \right) \times \left(\frac{100 - \text{фактическая}}{\text{соль в сыре } \%} \right)}{\left(\frac{100 - \text{целевая}}{\text{влага в сыре } \%} \right) \times \left(\frac{100 - \text{целевая}}{\text{соль в сыре } \%} \right)} .$$

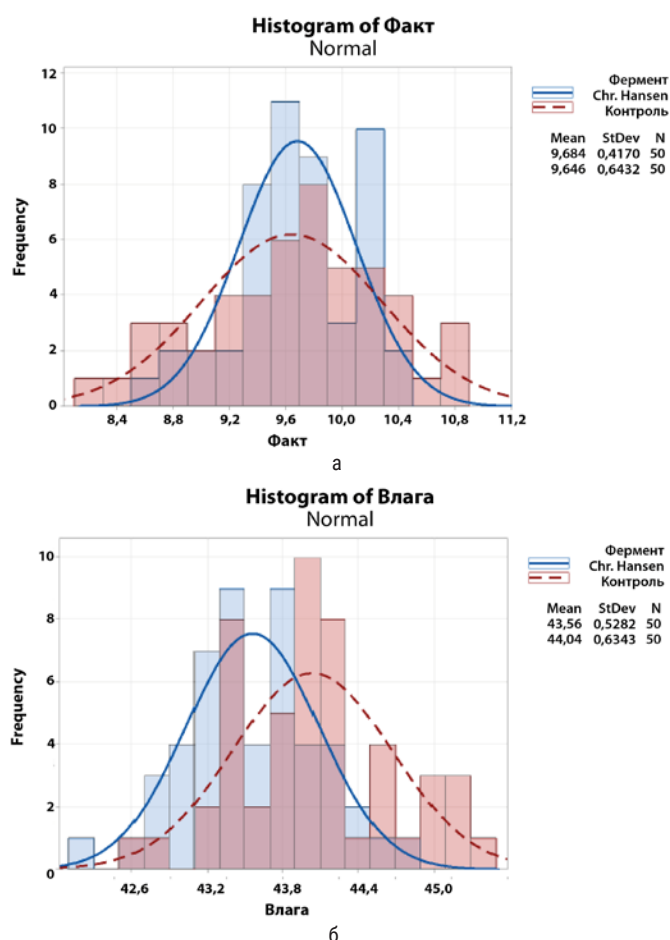


Рис. 1. Отклонение фактического выхода (а) и массовой доли влаги (б)

Безусловно, эффективность процесса производства сыров определяют и такие показатели, как извлечение белка и жира:

$$\text{Извлечение белка} = \frac{Q_{c_0} \times P_{c_0}}{Q_m \times P_m} \times 100,$$

$$\text{Извлечение жира} = \frac{Q_{c_0} \times Fat_{c_0}}{Q_m \times Fat_m} \times 100,$$

где Q_{c_0} — вес сыра; Q_m — вес молока; Fat_{c_0} — абсолютный жир в сыре; Fat_m — жир в молоке; P_{c_0} — абсолютный белок в сыре; P_m — белок в молоке.

Дата	Нормализованная смесь			Фермент		Сыворотка			Сыр						
	Вес, кг	Массовая доля, %		Наименование	Номер партии	Массовая доля, %			Вес, кг	Абсолютный жир, %	Абсолютный белок, %	Массовая доля влаги, %	pH		
		белка	жира			белка	жира	сухих веществ							
09.07.2022	27503	3,71	3,3	6,61	CHY-MAX SUPREME	341883	0,94	0,29	7,03	6,62	3124,1	27,18	25,49	42,43	5,35
09.07.2022	27503	3,73	3,3	6,61	CHY-MAX EXTRA	341886	0,97	0,32	7,04	6,62	3119,5	26,6	25,4	42,79	5,33

$$\text{Фактический выход (aY)} = \frac{\text{Вес сыра (кг)}}{\text{Вес молока (кг)}} \times 100$$

$$\text{MACY} = (aY) \times \frac{100 - \text{фактическая влага в сыре \%}}{100 - \text{целевая влага в сыре \%}}$$

CM Extra	CM Supr
11,34 %	11,36 %
+ 0,15 %	

CM Extra	CM Supr
11,18 %	11,27 %
+ 0,79 %	

$$\text{Извлечение белка} = \frac{Q_{c_0} \times P_{c_0}}{Q_m \times P_m} \times 100$$

$$\text{Извлечение жира} = \frac{Q_{c_0} \times Fat_{c_0}}{Q_m \times Fat_m} \times 100$$

CM Extra	CM Supr
77,24	77,83
+ 0,77 %	

CM Extra	CM Supr
91,43	93,56
+ 2,33 %	

Показатели извлечения жира и белка рассчитываются аналитически, исходя из значений каждой индивидуальной выработки. Управление этими показателями — одна из целей эффективного производства.

Обобщая факторы и инструменты анализа, влияющие на эффективность, можно выделить:

- фактический выход сыра;
- выход сыра с учетом влаги;
- целевое значение массовой доли влаги;
- целевое значение массовой доли соли;
- коэффициент извлечения белка;
- коэффициент извлечения жира.

При постановке целевых значений влаги и соли и их внедрении в оперативную систему учета на производстве большую роль в оценке эффективности играет уровень отклонений показателей. Стандартное отклонение в упрощенном понимании — это разброс данных относительно заданного целевого значения. Чем больше разброс данных, тем выше отклонения. Решение задачи по снижению отклонений заключается в стандартизации качества сыров и инициации процесса повышения эффективности.

Как пример, исследован процесс внедрения на производстве нового фермента компании Chr. Hansen — CHY-MAX™ SUPREME. Контрольные испытания проводили с текущим образцом молокозвертывающего фермента предприятия. Для сравнения построили гистограмму и посчитали величину отклонения фактического выхода (рис. 1, а) и массовой доли влаги (рис. 1, б). Анализ результатов позволил сделать вывод, что при использовании нового фермента значение отклонений было ниже, фактический выход увеличился незначительно (на 0,3 %). Выход с корректировкой по влаге MACY подтвердил возможность повышения выхода на 1 % при приближении значений фактической массовой доли влаги к целевой. Это позволило дать рекомендации по применению нового фермента на предприятии как более стабильного и перспективного в получении дополнительного выхода сыров.

Анализируя влияние различных факторов на выход сыра, необходимо отметить тип коагулянтов и молокозвертывающих ферментов. Этот фактор важен с позиции не только подбора типа для определенных видов сыров, но и

Рис. 2. Оценка эксперимента



Рис. 3. Прибор «CoaguSens Flex™» для определения момента разрезки коагулированного сгустка в автоматическом режиме

необходимых дозировок в IMCU на единицу нормализованной смеси. IMCU — международная молокосвертывающая единица (International Milk-Clotting Unit).

Для определения влияния коагулянтов на выход сыра с целью получения дополнительного выхода и величины отклонений проведены сравнительные испытания выработок с микробальными ферментами Chr. Hansen первого и третьего поколения — CHY-MAX™ EXTRA и CHY-MAX™ SUPREME. Данные выработок указаны в таблице. Целевая массовая доля влаги на предприятии была принята на уровне 42 %. В результате исследования сделали оценку эксперимента (рис. 2).

Так как фактическая массовая доля влаги (м.д.в.) в выработках отличается от целевой, необходимо посчитать



Рис. 4. Прибор непрерывного действия «CoaguTouch™» для определения момента разрезки коагулированного сгустка

MACУ, и дальнейшее сравнение проводить по полученному показателю с учетом корректировки влаги на целевое значение. Для понимания эффективности производства и степени перехода ценных компонентов молока в сыр подсчитаны коэффициенты извлечения жира и белка. На основе этих показателей можно сделать следующие выводы — при оптимизации м.д.в. и приведении к равенству значений целевой и фактической м.д.в. дополнительный выход с использованием фермента CHY-MAX™ SUPREME может быть выше на 0,79 %. Также эффективность перехода жира и белка в готовую продукцию, рассчитанную на основе коэффициентов извлечения жира и белка (рис. 2), выше с использованием фермента CHY-MAX™ SUPREME. Базируясь на этих выводах и обобщив результаты 30 выработок,

сделан расчет экономической эффективности с большим преимуществом для фермента CHY-MAX™ SUPREME.

После определения типа фермента необходимо рассмотреть несколько критических точек, которые определяют как качество, так и выход готовой продукции. Это прежде всего дозировка фермента (IMCU/л), а также определение момента разрезки коагулированного сгустка. В исследованиях на разных типах ферментов в границах дозировки от 20 до 32 IMCU/л получили достоверное увеличение фактического выхода, коррелирующего с динамикой изменения дозировки. Безусловно, на каждом предприятии это разные уровни, которые требуют подтверждения обработкой массива статистических данных по экспериментальным выработкам.

При определении момента разрезки коагулированного сгустка, как правило, опираемся на комплексную оценку плотности сгустка и статистику фактического выхода и потерь, что во многом зависит от опыта и профессионального подхода технологического департамента предприятия. С января 2023 г. компания Chr. Hansen предоставляет нам для работы на производственных площадках молочной промышленности новое портативное оборудование — прибор «CoaguSens Flex™» (рис. 3), который позволяет оптимизировать момент разрезки и дозировку фермента в ходе коагуляции сгустка относительно ожидаемого выхода и целевой м.д.в. в автоматическом режиме. Определение ведется путем исследования пробы нормализованной смеси с внесенным и распределенным

ферментом, взятой из сыроизготовителя. Исследование проходит одновременно с коагуляцией нормализованной смеси в сыроизготовителе, что позволяет определить оптимальный момент для разрезки сгустка. В соответствии с таким же принципом определения европейские производители разработали оборудование непрерывного действия «CoaguTouch™» (рис. 4), которое можно встраивать в производственную линию. Но в России оно пока недоступно. Возможно, с учетом развития отечественного приборостроения подобный анализатор будет разработан и в России.

Компания «ИНГРЕДИКО» имеет большой опыт в сыроделии. С 1998 г. работаем, сопровождая технологии производства сыров. Этот опыт может быть полезен производству, так как компания внедряла вакуум-упаковочные системы в сыроделии, в 2000-х годах это было инновационной технологией. С 2001 г. компания совместно с Chr. Hansen внедряла технологию применения заквасок прямого внесения и микробиальных ферментов. Обладая знаниями в области заквасок и ферментов, влияния и взаимосвязи полимерной упаковки, проницаемости материалов и потенциала процессов ферментации в сыроделии, мы реализуем более точную постановку технологии производства сыров и оптимизируем выход. Конечно, это возможно только при поддержке технологической команды производства и стремлении предприятия к усовершенствованию систем оценки качества.