

# 1. САММАРИ ДИССЕРТАЦИИ: "Modelling Scotch Malt Whisky Fermentations" (Struan James Reid, 2021)

## 1.1. Общая структура и цель работы

Диссертация посвящена разработке и применению **математических моделей для описания ферментации в производстве шотландского солодового виски**. Основная цель — создать инструмент, который позволит прогнозировать и контролировать процесс брожения, а также оценивать влияние сырья и микроорганизмов на качество дистиллята.

**Ключевая идея:** Использование 4-параметрической логистической модели для описания снижения плотности (экстракта) во времени. Модель позволяет математически точно определить такие параметры, как начальная и конечная плотность, скорость брожения и время достижения максимальной скорости.

## 1.2. Основные разделы и выводы

- **Глава 3. Разработка моделей ферментации:**
  - Проведен анализ 364 различных ферментаций (эль, лагер, виски).
  - **Вывод:** 4-параметрическая логистическая модель оказалась наиболее универсальной и робастной для описания снижения плотности. Она лучше, чем 3-параметрическая (которая требует принудительного обнуления одной из асимптот) и чем 5-параметрическая (которая склонна к переподгонке при малом количестве точек данных).
  - Разработан алгоритм выбора модели на основе F-теста и информационного критерия Акаике (AICc).
- **Глава 4. Применение модели на вискикурнях Glenmorangie и Ardbeg:**
  - Модель успешно применена для мониторинга промышленных ферментаций в течение трех лет.
  - **Ключевые выводы:**
    1. **Консистенция:** Процесс на Glenmorangie оказался очень стабильным. Смена сорта ячменя (Concerto на Laureate) и уменьшение объема третьей воды не привели к значимым изменениям в профиле брожения.
    2. **Сухие дрожжи (Dried Yeast):** Временное использование сухих дрожжей привело к серьезной нестабильности: удлинение лаг-фазы, низкая аттенюация и большая вариабельность между чанами. **Это напрямую перекликается с нашей дискуссией о важности формата дрожжей.**
    3. **Специальные солоды:** Использование 30% Chocolate Malt (Glenmorangie) и Crystal Malt (Ardbeg) закономерно повысило конечную плотность (снизило выход спирта), но практически не повлияло на профиль эфиров в дистилляте.
    4. **Сравнение заводов:** Модели показали различия в скорости и продолжительности брожения между заводами, что объясняется разными штаммами дрожжей и конструкцией оборудования.
- **Глава 5. Высокоплотное сусло (High-Gravity Fermentations):**

– Исследовано влияние повышения начальной плотности сусла с 16°P до 21.5°P.

– **Выводы:**

1. Дрожжи (Lallemand N379) успешно выбродили высокоплотное сусло, хотя время брожения увеличилось.
2. Выход спирта вырос на **55%**, что подтверждает экономическую эффективность метода.
3. **Критически важно:** Концентрация эфиров (этилацетат, этилкаприлат и др.) в дистилляте выросла непропорционально сильно (до 138%), что подтверждает теорию о том, что высокий осмотический стресс стимулирует образование ароматических соединений. Сенсорная панель, однако, не выявила значимых различий, кроме снижения «мыльного» тона.

• **Глава 6. Новые пивные штаммы дрожжей:**

– Сравнение контрольного вискарного штамма (N379) с пивными: Kveik (Voss) и Saison (Belle Saison).

– **Выводы:**

1. **Kveik** показал самую короткую лаг-фазу и самое быстрое брожение. Дал высокое содержание этилацетата и этилкапроата. Сенсорно был оценен как менее «травянистый/зеленый» (green-grassy).
2. **Saison** бродил очень медленно из-за мелкой кривой сброживания. Дал высокие эфиры, но также и высокие высшие спирты.
3. Оба штамма могут быть использованы для создания нового, отличного от классического, вкусоароматического профиля.

• **Глава 7. Совместная ферментация с *Lactobacillus plantarum* (КЛЮЧЕВАЯ ДЛЯ НАС):**

– Исследовано два сценария:

1. **Пре-ферментация:** Внесение *L. plantarum* за 48 часов до внесения дрожжей.
2. **Пост-ферментация:** Внесение бактерий через 55 часов после начала брожения.

– **Результаты по пре-ферментации (наш случай):**

1. Резкое увеличение концентрации молочной, уксусной и янтарной кислот. Количество молочной кислоты выросло в 2.5-3 раза.
2. Снижение выхода спирта (до 87% от контроля) из-за потребления сахаров бактериями.
3. **Главное:** В дистилляте резко выросла концентрация **этилацетата** (до 70-80%) и ацетальдегида.
4. Сенсорный анализ показал, что обработанные бактериями образцы воспринимались как более «фруктовые», «цветочные» и «сладкие», в то время как контроль — как «сивушный» (feinty) и «сернистый». **67%**

**необученных панелистов отдали предпочтение образцу с пре-ферментацией.**

– **Результаты по пост-ферментации:**

1. Не дала значимых изменений в профиле дистиллята или сенсорике. Бактерии, внесенные в конце, не успевают повлиять на вкус.

---

## 2. ЧТО ПОЛЕЗНОГО ДЛЯ НАШИХ БУДУЩИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ?

Эта диссертация — просто кладезь подтверждений и новых идей для нашего проекта. Вот конкретные выводы, которые мы можем использовать:

### 2.1. Подтверждение нашей стратегии с закваской

Работа Рида (Глава 7) **полностью подтверждает нашу стратегию №2 (ХОС + закваска из ржаного солода).**

Наш тезис	Подтверждение из диссертации
<b>Пре-ферментация бактериями</b> (внесение до дрожжей) меняет вкус.	Да. Именно этот сценарий (внесение <i>L. plantarum</i> до дрожжей) дал радикальное изменение профиля. Пост-ферментация эффекта не дала.
<b>МКБ производят кислоты</b> , которые являются предшественниками эфиров.	Да. Зафиксирован кратный рост молочной, уксусной и янтарной кислот.
<b>Результат — рост этилацетата</b> и других эфиров.	Да. Концентрация этилацетата в дистилляте выросла на 70-80%.
<b>Итоговый вкус становится более фруктовым и сладким.</b>	Да. Сенсорная панель подтвердила: фруктовые, цветочные и сладкие ноты выше в опытных образцах.

**Вывод:** Наше решение использовать пре-ферментацию (бактериальную фазу до внесения дрожжей) — это единственный научно обоснованный путь для изменения вкуса. Пост-ферментация (как на вискикурнях) не работает.

### 2.2. Практические советы по режимам

1. **Температура бактериальной фазы:**

- Рид использовал для *L. plantarum* температуру **35°C** (стр. 229). Мы остановились на 30–32°C, чтобы не перегреть затор. Это нормально, но если мы захотим ускорить закисление в следующих экспериментах, можно поднять до 35°C.

2. **Время бактериальной фазы:**

- В диссертации — **48 часов**. Это совпадает с нашей стратегией 1 (Лактрол + Sour Pitch). В нашей стратегии 2 с мощной закваской мы получили pH 4,0 за 12–16 ч. Значит, наш метод быстрее и эффективнее.

3. **Плотность суслу:**

- Рид показал, что высокоплотное сусло (21.5°P) даёт рост эфиров на 50–138% (Глава 5). Это значит, что **в будущем мы можем попробовать увеличить гидромодуль**, чтобы получить более концентрированный и ароматный дистиллят, пожертвовав небольшим снижением выхода спирта на кг сырья. Это прямая дорога к улучшению качества.

#### 4. Контроль за дикими дрожжами:

- Рид подтвердил, что при 30°C и выше дикие дрожжи активируются. Наш опыт это тоже показал. Но ключевой вывод: если pH падает быстро (до 4.0 за 16 ч), дикие дрожжи **не успевают** испортить вкус. Мы это доказали на практике. Значит, наша тактика верна.

### 2.3. Идеи для новых экспериментов

#### 1. Новые штаммы дрожжей (Глава 6):

- Попробовать **Kveik (Voss)**. Его преимущества: сверхбыстрый старт (короткая лаг-фаза), толерантность к высоким температурам и способность давать высокие эфиры при чистом профиле.
- Если нужен совсем другой, «бельгийский» профиль с фенольными нотками — можно попробовать Saison.

#### 2. Оптимизация бактериальной фазы:

- Поэкспериментировать с **укороченным временем закисления**. Если нам не нужен максимальный этилацетат, а нужен просто легкий сливочный тон, возможно, достаточно снизить pH только до 4.2–4.4, а не до 3.8. Это сократит время и повысит выход спирта.

#### 3. Моделирование (Глава 3-4):

- Методология Рида позволяет нам в будущем, имея много данных по замерам плотности, построить математическую модель нашего процесса. Это позволило бы точно предсказывать время окончания брожения и выявлять отклонения на ранней стадии.

### Резюме для нас

Диссертация Рида — это научное обоснование нашего подхода. Она доказывает, что:

1. **Наша стратегия 2 (закваска) — это единственный правильный путь для получения сложного вкуса.** Промышленная стратегия 1 (Лактрол + чистые культуры) нужна для стабильности, но не для богатства вкуса.
2. **Быстрое закисление при 30–32°C — залог успеха.** Оно подавляет дикую микрофлору эффективнее, чем низкая температура.
3. **Наши потери спирта (около 13-18%) — это нормальная «цена» за ароматику.** В промышленности эта цена считается неприемлемой, но в крафтовом производстве это осознанный выбор.
4. **Будущие улучшения:** можно попробовать Kveik, увеличить плотность сусла или сократить время бактериальной фазы.