

УДК 663.3-048.34

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/20>**Токар А.Ю.**

Уманський національний університет садівництва

Гайдай І.В.

Уманський національний університет садівництва

Матенчук Л.Ю.

Уманський національний університет садівництва

Харченко З.М.

Уманський національний університет садівництва

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ БРОДІННЯ СУСЕЛ З ЯБЛУК СОРТУ АЙДАРЕД У ВИГОТОВЛЕННІ НЕКРІПЛЕНИХ СОЛОДКИХ ВИН

Наведено результати контролю за бродінням сусел з яблук сорту Айдаред під час виготовлення некріплених виноматеріалів. На основі отриманих даних оптимізовано процес накопичення етилового спирту (y , % об.) залежно від тривалості бродіння (x , доба) у вигляді математичної моделі за певних умов. Рекомендовано застосувати АСД рас ЕС 1118, ENSIS LE-5, ENSIS LE-6. Температура бродіння суслу 18–25 °С. Зокрема за масової концентрації цукрів у суслі до початку бродіння 266 г/дм³: $y = -0,005x^2 + 0,526x + 1,61$ (область застосування $x = 1 \dots 76$). Таку модель можна використати в контролі бродіння сусел, допустиме відхилення 0,85% об. Отримано критерії, за якими можна оцінити процес бродіння періодичним способом та взяти заходи з його регулювання.

Ключові слова: яблука сорту Айдаред, сусло, процес бродіння, оптимізація, дріжджі, некріплені виноматеріали.

Постановка проблеми. Плодово-ягідне вино є здоровим і якісним продуктом та здатне розширити асортимент цієї групи напоїв. За споживанням вина Україна на 88-му місці, що у 10–20 разів менше, ніж у розвинених країнах світу. Після прийняття у 2018 р. законопроекту «Про внесення змін до деяких законодавчих актів щодо розвитку виробництва терруарних вин та натуральних медових напоїв» дозволено малому виноробству виготовляти тільки натуральні сортові або купажні вина на основі бродіння винограду, різних плодів, ягід або меду, без застосування кріплення спиртом-ректифікатом. Тому оптимізація процесу бродіння яблучних сусел із метою виготовлення некріплених виноматеріалів із достатньою об'ємною часткою етилового спирту є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Біотехнологічний процес бродіння характеризується великою кількістю різноманітних реакцій і перетворень. У результаті бродіння змінюється склад суслу, накопичуються нові продукти, проходять складні біохімічні, фізичні і хімічні перетворення системи, в результаті яких із виноградного соку утворюється вино [1, с. 125].

Аналогічно спиртове бродіння плодово-ягідних сусел є багатоступеневим складним проце-

сом, під час якого в результаті життєдіяльності дріжджів утворюється два головних продукти – етиловий спирт і діоксид вуглецю, а також низка так званих вторинних продуктів. Хімізм бродіння детально викладено у працях професорів З.Н. Кишковського, І.М. Скуріхіна, Н.І. Бур'ян, Г.Г. Валуйко [2, с. 45].

Солодкі плодово-ягідні вина – це некріплені вина, які готують зброджуванням підсолоджененого суслу з таким розрахунком, щоб забезпечити накопичення етилового спирту вище нижньої межі для кожної марки на 1,2–1,4%. Дозволяється використовувати виноматеріал за наявності залишкового цукру не більше 1,0 г / 100 см³. Для забезпечення об'ємної частки етилового спирту в готовому солодкому вині 13%, необхідно приготувати виноматеріал, що має вміст 14,2–14,3%, а масова концентрація цукрів у перерахунку на інвертний у вихідному суслі має бути 24,1–24,3 г / 100 см³. Для забезпечення об'ємної частки етилового спирту в готовому солодкому вині 14% необхідно приготувати виноматеріал, що має вміст 15,3–15,4%, а масова концентрація цукрів у перерахунку на інвертний у вихідному суслі має бути 26,0–26,1 г / 100 см³ [3, с. 92]. Для виробництва таких вин необхідне створення та підтримування

оптимальних умов для проходження процесу бродіння шляхом вибору відповідної раси дріжджів [4, с. 39; 5, с. 100], а забезпечення складу компонентів поживного середовища з метою коректування та фізико-хімічних, естетичних, органолептичних та біологічних показників якості виноматеріалів і вин є актуальним завданням для виноробів [6; 7].

Складність у виробництві некріплених виноматеріалів полягає у тривалому процесі бродіння. За даними Н.А. Мехузла, А.Л. Панасюк [8, с. 135], тривалість бродіння таких сусел може сягати 4 місяців. Критерії для оцінки того, що процес протікає в оптимальному режимі, відсутні, тому пошуки оптимізації процесу бродіння залежно від різних факторів є необхідною умовою для забезпечення успіху [9].

Постановка завдання. Оптимізація процесу бродіння сусел з яблук сорту Айдаред задля отримання критеріїв для порівняння фактичних результатів контролю та своєчасне передбачення кінцевого результату було завданням наших досліджень.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження проводились у 2014–2016 рр. на кафедрі технології зберігання і переробки плодів та овочів Уманського національного університету садівництва.

Об'єктами досліджень у нашій роботі були соки, отримані з яблук сорту Айдаред, вирощених у навчально-науково-виробничому відділі університету.

Яблука мили, інспектували та подрібнювали на лабораторній дробарці. Сік одержували шляхом пресування яблучної м'язги на лабораторному пресі. Вихід соку становив 50,4–55,4%.

В одержаних соках і суслах визначали масову концентрацію цукрів, кислот, густину (табл. 1), на основі яких готували сусла. Користувались стандартними методиками визначення показників якості. До соків додавали необхідну кількість цукру-піску з метою набродження об'ємної частки етилового спирту 15,5% та одержання стійкого виноматеріалу, придатного для виготовлення некріплених натуральних вин.

Сусла пастеризували за температури 80–85°C упродовж 3–5 хв. Застосовували чисту культуру дріжджів, зокрема раси EC 1118 (контроль), ENSIS LE – CI, ENSIS LE – 1, ENSIS LE – 5, ENSIS LE – 6. Бродіння проводили при температурі 18–25°C. Регулярно проводили контроль за бродінням шляхом зважування сусел. Після закінчення бродіння, ущільнення осаду виноматеріали декантували і визначали в них об'ємну частку етилового спирту аерометричним методом згідно з ДСТУ 4112.3:2002 [10].

Результати досліджень обробляли дисперсійним, кореляційним і регресійним методом аналізу із застосуванням відповідних комп'ютерних програм.

Різні раси дріжджів впливали неоднаково як на тривалість бродіння, так і на накопичення об'ємної частки етилового спирту. Динаміка накопичення етилового спирту в суслах з яблук урожаю 2014 р. показана на рисунку 1.

У 2014 р. найбільш інтенсивно процес розпочався у варіанті з расою дріжджів ENSIS LE–5, де на п'яту добу об'ємна частка етилового спирту була 4,9%. І в наступний період, до 12-ї доби цей варіант переважав інші. Але на 22-у добу найвища об'ємна частка етилового спирту була в суслі з

Таблиця 1

Акт приготування сусла із яблук сорту Айдаред

Назва матеріалів	Кількість		Густина г/см ³	Вміст інвертного цукру		Вміст кислот в перерахунку на яблучну	
	см ³	г		г/100см ³	г	г/дм ³	г
Сік яблучний	4140	4392,5	1,061	12,5	517,5	8,6	35,6
Цукор	407,7	656,6 (657,6)			691,2		
Сусло	4547,7	5050,1	1,111	26,6	1208,7	7,83	35,6
2015 рік							
Сік яблучний	5200	5460	1,050	11,2	582,4	6,4	33,28
Цукор	559,3	900,7 (902,1)			948,1		
Сусло	5759,3	6362,1	1,105	26,6	1530,5	5,78	33,28

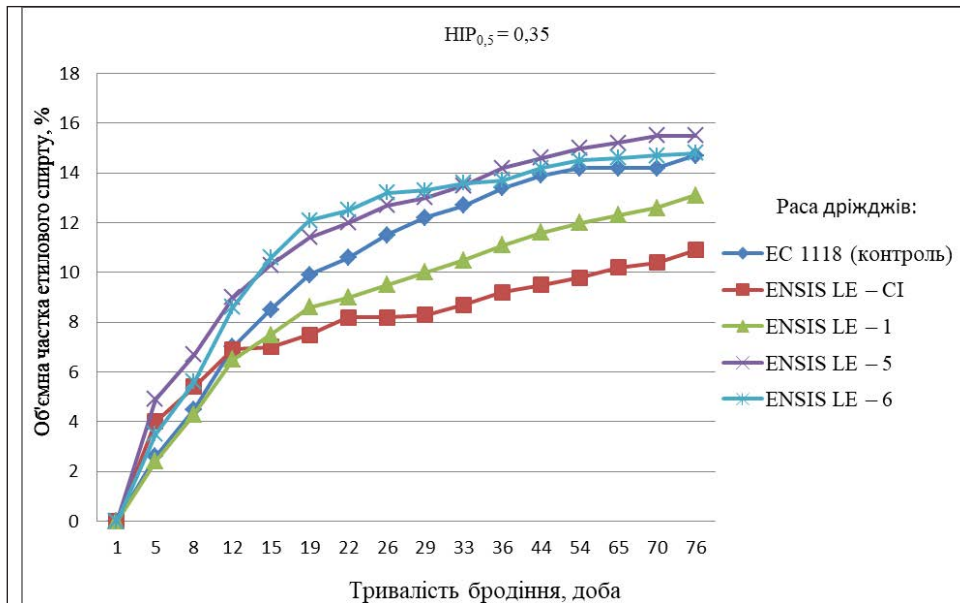


Рис. 1. Накопичення етилового спирту в виноматеріалі з яблук сорту Айдаред 2014 р. врожаю

расою дріжджів ENSIS LE-6. У наступні періоди різниці вмісту етилового спирту між цими варіантами були 0,1–0,8% об. Наприкінці бродіння найвищий вміст етилового спирту, 15,5%, був у суслі, що зброджувалось расою дріжджів ENSIS LE-5. Цей варіант переважав всі інші варіанти, а також контрольний.

Кращими виявились варіанти із застосуванням рас дріжджів ENSIS LE-5, ENSIS LE-6 та EC 1118 (контроль). Результати дисперсійного аналізу показали на істотний вплив обох факторів на накопичення етилового спирту в суслі: А – раса дріжджів (14%), В – тривалість бродіння (81%).

У 2015 р. (рис. 2) отримали гірші результати. Процес бродіння завершився аж через 98 діб, тоді як у 2014 – за 70–76 діб. Кращими за об'ємною часткою етилового спирту були також варіанти з расами дріжджів ENSIS LE-5, ENSIS LE-6 та EC 1118 (контроль). У варіантах із расами дріжджів ENSIS LE-C1 і ENSIS LE-1 отримали незадовільні результати.

Результати дисперсійного аналізу даних у 2015 р. показали на істотний вплив обох факторів на накопичення етилового спирту в суслі: А – раса дріжджів (13%), В – тривалість бродіння (82%).

Нами було прийнято рішення оптимізувати процес залежно від тривалості бродіння (переважаючий фактор). Для оптимізації взято результати контролю за бродінням сусел у 2014 р. (табл. 2).

За середніми даними (табл. 2) провели кореляційний та регресійний аналізи та побудували модель оптимального процесу бродіння для сусла яблук сорту Айдаред із масовою концентрацією цукрів на початок бродіння 266 г/дм³ (рис. 3). Гарним результатом бродіння є, коли об'ємна частка етилового спирту на 26 добу перевищить 13%.

Для аналізу отриманої криволінійної залежності склали таблицю 3 [11, с. 260–266].

Кореляційне відношення η_{yx} розраховували за формулою (1):

$$\eta_{yx} = \sqrt{\frac{\sum(Y-\bar{y})^2 - (Y-\bar{y}_x)^2}{\sum(Y-\bar{y})^2}} = \sqrt{\frac{168,23 - 12,71}{168,23}} \approx 0,92, \quad (1)$$

Таблиця 2

Дані контролю за бродінням, взяті для оптимізації процесу бродіння сусел з яблук сорту Айдаред

Дріжджі	Доба														
	5	8	12	15	19	22	26	29	33	36	44	54	65	70	76
EC-1118	2,6	4,5	7,0	8,5	9,9	10,6	11,5	12,2	12,6	13,4	13,9	14,2	14,2	14,2	14,7
ENSIS LE -5	4,9	6,7	9,0	10,3	11,4	12,0	12,7	13,0	13,5	14,2	14,6	15,0	15,0	15,5	15,5
ENSIS LE -6	3,5	5,6	8,6	10,5	12,1	12,5	13,2	13,3	13,6	13,7	14,2	14,5	14,6	14,7	14,8
Середнє значення	3,7	5,6	8,2	9,8	11,1	11,7	12,54	12,8	13,2	13,8	14,2	14,6	14,6	14,8	14,8

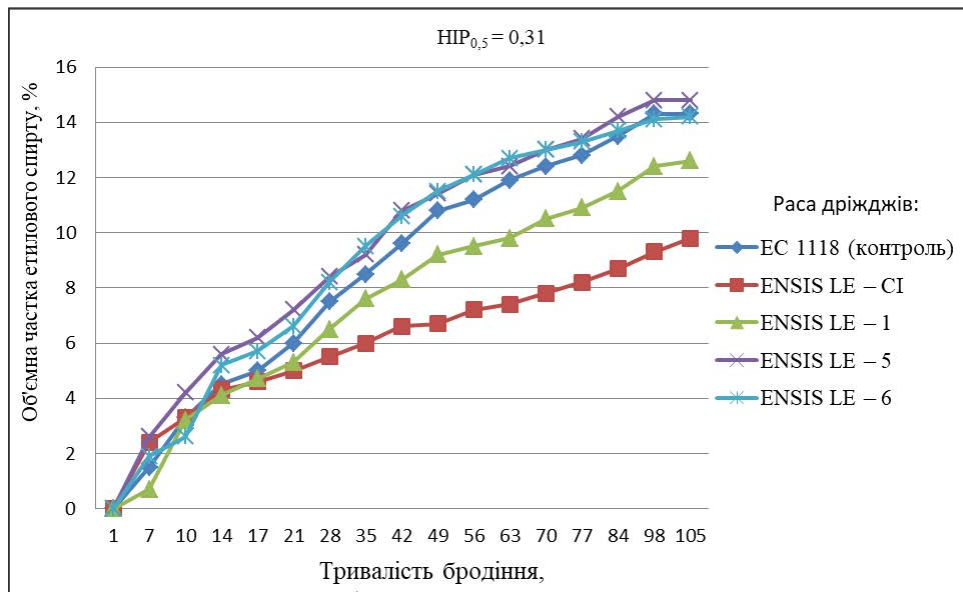


Рис. 2. Накопичення етилового спирту в виноматеріалі з яблук сорту Айдаред 2015 року врожаю

Таблиця 3

Накопичення етилового спирту (Y) залежно від тривалості процесу бродіння

Доба	Y	\bar{y}_x	$Y - \bar{y}_x$	$(Y - \bar{y}_x)^2$	$Y - \bar{y}$	$(Y - \bar{y})^2$
5	3,7	4,1	-0,4	0,16	-8,0	64,0
8	5,6	5,5	0,1	0,01	-6,1	37,21
12	8,2	7,2	1,0	1,00	-3,5	12,25
15	9,8	8,4	1,4	1,96	-1,9	3,61
19	11,1	9,8	1,3	1,69	-0,6	0,36
22	11,7	10,8	0,9	0,81	0,0	0,00
26	12,5	11,9	0,6	0,36	0,8	0,64
29	12,8	12,7	0,1	0,01	1,1	1,21
33	13,2	13,5	-0,3	0,09	1,5	2,25
36	13,8	14,1	-0,3	0,09	2,1	4,41
44	14,2	15,1	-0,9	0,81	2,5	6,25
54	14,6	15,3	-0,7	0,49	2,9	8,41
65	14,6	14,7	-0,1	0,01	2,9	8,41
70	14,8	13,9	0,9	0,81	3,1	9,61
76	14,8	12,7	2,1	4,41	3,1	9,61
	$\bar{y} = 11,7$		$\Sigma (Y - \bar{y}_x) = 5,7$	$\Sigma (Y - \bar{y}_x)^2 = 12,71$	$\Sigma (Y - \bar{y}) = 0$	$\Sigma (Y - \bar{y})^2 = 168,23$

Оскільки кореляційне відношення становить 0,92 і знаходиться в межах 0,66–0,99, це підтверджує, що між накопиченням етилового спирту і тривалістю бродіння зв'язок сильний.

Далі обчислювали похибку кореляційного відношення за формулою (2):

$$S_{\eta_{yx}} \sqrt{\frac{1 - \eta_{yx}^2}{n - 2}} = \sqrt{\frac{1 - 0,92^2}{15 - 2}} = 0,012, \quad (2)$$

Достовірність зв'язку перевіряли, розраховуючи критерій достовірності фактичний за формулою (3):

$$t_{\eta} = \frac{\eta_{xy}}{S_{\eta_{yx}}} = \frac{0,92}{0,012} = 76,7, \quad (3)$$

Критерій Стюдента теоретичний знаходять за числом ступенів вільності за формулою (4),

$$v_{\eta} = n - 2 = 15 - 2 = 13, \quad (4)$$

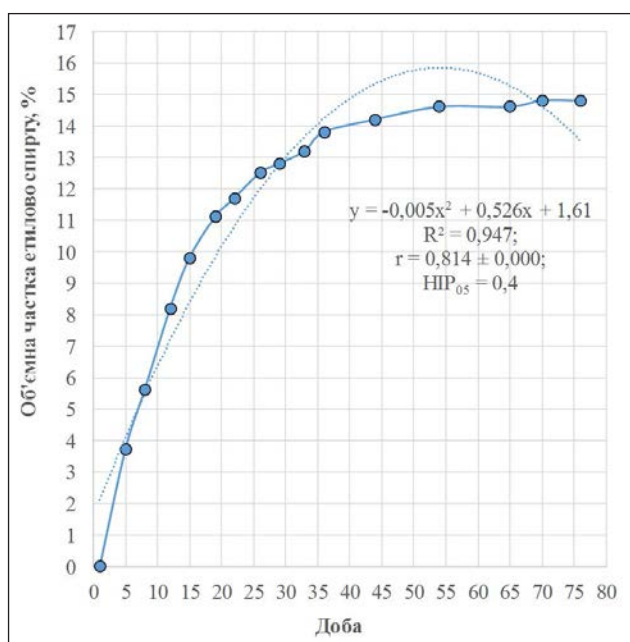


Рис. 3. Динаміка накопичення етилового спирту в суслі з початковим вмістом цукрів 266 г/дм³ з яблук сорту Айдаред за оптимального проходження процесу бродіння

Тоді $t_{0,95} = 2,16$, $at_{0,99} = 3,01$.

Оскільки критерій Стьюдента фактичний $t_{\eta} = 76,7$ більший за $t_{0,95}$ і $t_{0,99}$, зв'язок достовірний на обох рівнях надійної імовірності.

Відхилення (y) від оптимального значення знаходили за формулою (5):

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum(y - \bar{y}_x)^2}{n}} = \sqrt{\frac{12,71}{15}} = 0,85\%, \quad (5)$$

Список літератури:

1. Хімія та біохімія вина / [Доморецький В.А., Маринченко В.О., Білько М.В., Мацко О.П., Василичка С.М.]; за ред. А.І. Українця. Київ : НУХТ, 2007. 261 с.
2. Литовченко А.М., Тюрин С.Т. Технология плодово-ягодных вин. Симферополь: Таврида, 2004. 368 с.
3. Литовченко В.П. и др. Сборник технологических инструкций и нормативных материалов по плодово-ягодному виноделию. Кн. 2: Учет и отчетность при переработке плодов и ягод / Под ред. д.т.н. А.М. Литовченко. Дніпропетровськ: Січ, 1998. 290 с.
4. Soares-Lepe J.A., Morata A. New trends in yeast selection for winemaking. *Trends in Food Science & Technology*. Volume 23, Issue 1, January 2012. P. 39–50.
5. Масляк Н. Новые биотехнологические приемы корпорации «Лаллеманд». *Вино та виноробство* : матеріали VI Міжнародної спеціалізованої виставки-симпозіуму. Одеса : Морвокзал, 2006. С. 100.
6. Bisson L.F. Stuck and sluggish fermentations. *Am. J. Enol. Vitic.* 1999. Vol. 50. № 1. P. 107–119.
7. High alcohol wine production from grape juice concentrates / W.A. Buescher, C.E. Siler, J.R. Morris, R.T. Threlfall, G.L. Main, G.C. Cone. *Am. J. Enol. Vitic.* 2001. Vol. 52. № 4. P. 345–351.
8. Мехузла Н.А., Панасюк А.Л. Плодово-ягодные вина. Москва: Легкая и пищевая пром-сть, 1984. 240 с.
9. Sharma S.K., Joshi V.K. Optimization of some factors for secondary bottle fermentation for production of sparkling plum (*Prunus salicina*) wine. *Indian J. exper. Biol.* 1996. Vol. 34. № 3. P. 235–238.
10. Визначення вмісту етилового спирту. Контрольний метод. Вина та виноматеріали: ДСТУ 4112.3:2002. [Чинний від 2003–07–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2003. 6 с.
11. Основи наукових досліджень в агрономії : підручник / [В.О. Єщенко, П.Г. Копитко, В.П. Опришко, П.В. Костогриз]; за ред. В.О. Єщенка. Київ : Дія, 2005. 288 с.

Динаміка накопичення етилового спирту описана рівнянням квадратичної параболи, що має загальний вигляд: $y' = Ax^2 + Bx + C$.

Швидкість проходження процесу (y') є похідною від рівняння та може бути визначена в будь-який день (x) за рівнянням: $y' = 2Ax + B + 0$. Зокрема, при зброджуванні сусел з яблук сорту Айдаред із концентрацією цукрів на початок бродіння: $y' = 0,526 - 0,010x$. Отже, порівнявши фактичну швидкість накопичення етилового спирту в суслі з порахованою відповідно до моделі, можна додатково своєчасно оцінити, наскільки дійсний процес відрізняється від оптимального.

Висновки. Задля зброджування сусел з яблук сорту Айдаред рекомендовано застосовувати активні сухі дріжджі раси ENSIS LE-5, ENSIS LE-6 чи EC 1118. Температура бродіння сусла 18–25 °С.

Об'ємна частка етилового спирту (y , %) у суслі з масовою концентрацією цукрів до початку бродіння 266 г/дм³ з яблук сорту Айдаред за оптимального проходження процесу може бути прогнозована залежно від тривалості бродіння (x , доба) за моделлю у вигляді рівняння: $y = 0,005x^2 + 0,526x + 1,61$. Область застосування $x = 0–76$ діб.

Користуючись моделлю, можна своєчасно оцінити проходження процесу бродіння та вжити заходів щодо його покращення. Гарним результатом може бути також вміст етилового спирту в суслі 13% об. на 26-у добу.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА БРОЖЕНИЯ СУСЕЛ ИЗ ЯБЛОК СОРТА АЙДАРЕД В ПРИГОТОВЛЕНИИ НЕКРЕПЛЕННЫХ СЛАДКИХ ВИН

Приведены результаты контроля за брожением сусел из яблок сорта Айдаред при изготовлении некрепленых виноматериалов. На основании полученных данных оптимизирован процесс накопления этилового спирта (в % об.) в зависимости от продолжительности брожения (x, сутки) в виде математической модели при определенных условиях. Рекомендовано использовать АСД расы ЕС 1118, ENSIS LE-5, ENSIS LE-6. Температура брожения сусла 18–25 °С. При массовой концентрации сахаров в сусле до начала брожения равной 266 г/дм³: $y = -0,005x^2 + 0,526x + 1,61$ (область применения $x = 1 \dots 76$). Эту модель можно использовать в контроле брожения сусел, допустимое отклонение 0,85% об. Получены критерии, по которым можно оценить процесс брожения периодическим способом и принять меры для его регулирования.

Ключевые слова: яблоки сорта Айдаред, сусло, процесс брожения, оптимизация, дрожжи, некрепленые виноматериалы.

THE OPTIMIZATION OF THE FERMENTATION PROCESS OF A WORT FROM APPLES AIDARED IN THE PRODUCTION OF THE UNFORTIFIED SWEET WINES

The results of the control of the wort fermentation from apples Aidared in the production of unfortified wine materials are given. On the basis of the obtained data, the process of accumulation of ethyl alcohol (y,% vol.), depending on the duration of fermentation (x, day) in the form of mathematical model under certain conditions is optimized. It is recommended to use the ASD races of EC 1118, ENSIS LE-5, ENSIS LE-6. The fermentation temperature of the wort is 18-25 °C. In particular for mass concentration of sugar in the wort before the beginning of fermentation 266 g / dm³: $y = -0,005x^2 + 0,526x + 1,61$ (application area $x = 1 \dots 76$). This model can be used to control the wort fermentation, with a tolerance of 0.85% v / v. The criteria for estimating the fermentation process in a periodic way and taking measures for its regulation are obtained.

Key words: Aidared apples, wort, fermentation process, optimization, yeast, unfortified wine materials.