QO‘QON DAVLAT PEDAGOGIKA INSTITUTI ILMIY XABARLARI
(2026-yil 8-son)

TABIIY FANLAR

NATURAL SCIENCES

https://doi.org/10.70728/a.series.tab.v08.i08.093

ПУТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДИСТИЛЛЯЦИИ И АППАРАТА ДЛЯ ПЕРЕГОНКИ КОНЬЯЧНОГО СПИРТА

Абдурахмонов Олим Рустамович
доктор технических наук, профессор, Бухарский государственный технический университет, E-mail: azi100@mailru
Джураев Хайрулло Файзиевич
доктор технических наук, профессор, Бухарский государственный технический университет
Кобилов Хасан Халилович
кандидат технических наук, доцент, Бухарский государственный технический университет

Аннотация. В статье рассматриваются актуальные вопросы способов перегонки виноматериала и модернизации дистилляционных установок периодического действия, применяемых в производстве коньячных дистиллятов. Авторами исследованы конструктивные изменения элементов перегонного куба и дефлегматора, направленные на снижение удельных энергозатрат, интенсификацию тепломассообмена и улучшение качественных характеристик целевого продукта за счет более четкого фракционирования летучих компонентов виноматериала.

Ключевые слова: дистилляция, коньячный спирт, перегонный куб, дефлегматор, энергоэффективность, фракционирование, шарантский тип.

Annotatsiya. Maqolada konyak spirti ishlab chiqarishda qo‘llaniladigan dastlabki vino (vinomaterial)ni haydash usullari va davriy ta’sir qiluvchi haydash qurilmalarini modernizatsiya qilishga oid dolzarb masalalar ko‘rib chiqiladi. Mualliflar solishtirma energiya sarfini kamaytirish, issiqlik va massa almashinuvi jarayonlarini jadallashtirish hamda dastlabki vinoning uchuvchan komponentlarini aniqroq fraksiyalash orqali yakuniy mahsulot sifatini oshirishga qaratilgan haydash kubi va deflegmator konstruksiyasidagi o‘zgarishlarni tadqiq qiladilar.

Kalit so‘zlar: haydash (distillash), konyak spirti, haydash kubi, deflegmator, energiya samaradorligi, fraksiyalash, Sharant (Charentais) turi.

Abstract. The article examines current issues regarding distillation methods for base wine and the modernization of batch distillation units used in the production of cognac spirits. The authors investigate design modifications to the still and dephlegmator aimed at reducing specific energy consumption, intensifying heat and mass transfer, and improving

the quality of the target product through more precise fractionation of the base wine's volatile components.

Keywords: distillation, cognac spirit, still, dephlegmator, energy efficiency, fractionation, Charentais type.

Введение. Качество и органолептические свойства коньяка напрямую зависят от физико-химического состава молодого коньячного спирта. Основой традиционного коньячного производства остаются аппараты периодического действия (как классического шарантского типа, так и односгоночные установки типа ПУ-500). Однако данные установки обладают рядом недостатков:

На сегодняшний день процесс дистилляции - это процесс получения крепких спиртных напитков путем испарения бродильного сусла (вина, браги) и последующей конденсации паров (**Винокурение**). В качестве основных этапов классического винокурения можно привести следующие: **При подготовке сырья происходить** сбраживание винограда, зерна, фруктов или ягод, далее производиться н**агрев, т.е. к**ипячение перебродившего сырья в медных кубах (аламбиках) или колоннах, **и их испарение - п**ереход спирта и ароматических веществ в парообразное состояние, к**онденсация, где** охлаждаются паровы в змеевике до жидкого состояния, разделение дистиллята на «головы», «тело» и «хвосты» - ф**ракционирование.**

По типам сырья процесс дистилляции можно специфицировать следующим образом: при перегонке материала на основе **Виноградного виноматериала (коньяк, бренди, граппа) производиться** перегонка вина вместе с дрожжевым осадком для максимального обогащения спирта энантовыми эфирами и фруктовыми ароматами; материалы на основе **Зернового сырья (виски, полугар, бурбон) производиться о**сахаривание солодом крахмала, содержащегося в зерне (ячмень, рожь, кукуруза), перед брожением для получения плотного солодового вкуса; **Фруктовое** виноматериалы **(кальвадос, киршвассер, сливовица),** используется спелых плодов без добавления сахара для сохранения тонкого сортового аромата фруктов.

Совершенствование перегонки коньячного спирта основывается на разработке новых граней классической технологии винокурения. В условиях современного состояния технологий производства коньяка, где потребительские предпочтения смещаются в сторону премиального качества, а требования к экологичности и рентабельности бизнеса растут, что требует модернизации и совершенствование классического подхода к технологии производства коньячного спирта. Совершенствование процесса перегонки (дистилляции) коньячного спирта сегодня стало ключевым фактором выживания и успеха винодельческих предприятий.

Анализ энергетической эффективности и снижение затрат на производства коньячного спирта показывает, что классическая двукратная дистилляция в медных аламбиках (шарантский метод) — процесс крайне энергоемкий. Длительный нагрев кубов требует большого количества тепла. А это непосредственно влияет на себестоимость спирта.

Методология исследования. **Перспективным путем оптимизации энергетического баланса смотрится** применение современной системы рекуперации тепла (использование тепла барды или паров для предварительного подогрева вина), что способствует снижению расход топлива на 15–20% без изменения химического профиля напитка. Совершенствование оборудования позволяет эффективно разделять фракции, извлекая ценные компоненты (например, винный камень) прямо в процессе или сразу после перегонки.

Современный потребитель и рынок предъявляют жесткие требования качестве коньячного спирта. И в свою очередь, качество этого спирта требует соблюдение точных технологических параметров и четкого проведения процесса дистилляции важно, то есть не просто получить этанол, а ювелирно отсечь токсичные примеси, сохранив ароматические вещества в продукте. При этом ставиться задача необходимости снижения концентрации летучих кислот, тяжелых металлов и минимизация образования карбамата этила (потенциального канцерогена). Использование современной системы автоматического регулирования температуры в ответственных частях дистилляционной аппаратуры, скорости срезки «головных» и «хвостовых» фракций с применением датчиков в реальном времени минимизирует человеческий фактор и гарантирует стабильно чистый высококачественный коньячный спирт. Для сохранения и усиление аутентичного аромата, что обеспечивает ценность коньячного спирта, старается максимум сохранить богатство энантовых эфиров, высших спиртов и сложных ароматических соединений. Их формируют при дистилляции виноматериала коньячного спирта на дрожжевом осадке в кубе дистилляционном аппарате.

Исходя из того, что виноград вырешенный в различное время и различное месторасположение имеет различный компонентный состав. То есть изменение климата влияет на химический состав винограда, часто и довольно в больших приделах меняется кислотность, меняется баланс сахаров. А классический - стационарный режим срезки фракций могут «терять» аромат сырья. **Исходя из этого, что** модификация геометрии шлема аламбика, регулировка дефлегмации и варьирование скорости перегонки помогают адаптировать процесс под свойства винограда, выращенного в конкретном сезоне. При этом стремиться выжимать максимум органолептического потенциала.

Как известно в традиционной технологии коньячный спирт перегоняются именно в дистилляторах, т.е. в аппаратах периодического действия, а не в ректификационных колоннах непрерывного действия. Исследования показывают, что это связано по двум основным причинам, это традиционной (**законодательной)** и **технологической**.

Исходя из того, что основной целью производства коньячного спирта является не получение чистого, нейтрального алкоголя, а максимальный перенос ароматических веществ из белого вина в дистиллят. Проще говоря тенденция процесса дистилляции

направлена на сохранение компонентов винограда обеспечивающего (составляющего) коньячный спирт (традиционная причина).

В конечный продукт перегонки летучие компоненты виноградного вина вместе со спиртом переходят в основном **при дистилляции (особенно двойной сгонке)**. Это энантовые эфиры, которые придают коньяку характерный мыльный и фруктовый тон, высшие спирты, органические кислоты и альдегиды. Именно эти «примеси» при последующей многолетней выдержке в дубовых бочках превращаются в сложный коньячный букет вкуса и запаха.

При ректификации спирт очищается до химически чистого состояния (более 96 %). Этот спирт в основном используется для производства водки. Если пропустить вино через ректификационную колонну, все уникальные виноградные ароматы будут полностью удалены, и на выходе получится обычный чистый спирт.

2. Строгий закон и традиции имеет основу, т.е. законодательную причину. Она базируется на то, что есть закон, который гласит: истинный коньяк может производиться **только методом двойной дистилляции** в специальном медном кубе, дистилляционный аппарат называется **шарантский аламбик**. Применение непрерывной ректификации может лишит производителя права называть свой напиток коньяком. Есть ГОСТы жестко разделяющие понятия «коньячный дистиллят» - продукт полученный дистилляцией, а «этиловый спирт» - продукт полученный ректификацией.

При проведении процесса дистилляции максимально стараются удержать энантовые эфиры (также известные как коньячное масло). Эти эфиры в виде смеси сложных этиловых эфиров высших жирных кислот образуются в материале образуется в процессе жизнедеятельности дрожжей при брожении винограда и во время дистилляции переходят из виноматериала в коньячный спирт. Эти компоненты как раз подчеркивают специфику букета коньячного спирта, именно они они формируют благородный, узнаваемый аромат и мягкий вкус выдержанного коньяка. В чистом виде энантовый эфир представляет собой маслянистую, бесцветную или слегка желтоватую жидкость [1, 2]. Эти вещества хорошо растворяются в спирте, легче воды и абсолютно в ней не растворяется. Их температура кипения довольно высокая - в пределах 225–230 °С, а в составе содержаться смеси эфиров каприновой, каприловой, лауриновой, а также (в меньших количествах) миристиновой, пальмитиновой, капроновой и стеариновой кислот. В тоже время они обладают высокой летучестью и мощной ароматикой, что обеспечивает формирование вкуса и аромата коньячного спирта. Широко распространены такие глубокие концентрированные цветочно-фруктовые ароматы, как цветущий сад, спелые фрукты и т.п. этот специфический профиль характерное обволакивающее ощущение на слизистой оболочке рта и особый маслянистый привкус, свойственный премиальным коньякам. Во время многолетней выдержки спирта в дубовых бочках энантовые эфиры взаимодействуют с компонентами древесины, образовывая своеобразный сложный коньячный привкус тонами ванили, смолы и старого вина.

Главным источником энантовых эфиров являются винные дрожжи. Для обогащения коньячного спирта коньячным маслом, молодое вино перегоняют вместе с дрожжевым осадком. Это классический метод, используемый в классических технологиях производства коньячного спирта. При нагревании эти дрожжевые клетки разрушаются, высвобождая жирные кислоты, которые вступают в реакцию со спиртом [3, 4, 5] Из-за более высокой температуры кипения энантовые эфиры переходят в дистиллят в самом конце перегонки.

Коньячные дистилляторы традиционно изготавливают из чистой меди. В процессе кипения вина медные стенки аппарата вступают в химическую реакцию с соединениями серы (которые образуются при брожении винограда). Медь связывает неприятно пахнущие серные компоненты и осаждает их, делая вкус спирта мягким и чистым. Такие дистилляторы отличаются высокой энергоемкостью, приводящие к значительным затратам тепловой энергии на нагрев и испарение. С точки зрения динамики: в дистилляторах происходить недостаточная четкость разделения фракций, и увеличивается доля попадания нежелательных хвостовых компонентов (высших спиртов и жирных кислот) в сердцевину погона. При тепловой обработке высока вероятность термическая деструкция сырья. Это происходит в результате локальных перегрев виноматериала у стенок куба, что могут приводить к появлению пригорелых привкусов в получаемом дистилляте. В связи с этим совершенствование конструктивных элементов дистилляционных аппаратов является важной научно-практической задачей.

Для решения указанных проблем авторами предлагается комплексная модернизация ключевых узлов дистилляционной установки. Традиционные кубы с паровым или огневым обогревом подвержены неравномерному распределению температурных полей.

Результаты исследования и обсуждение. В качестве совершенствования дистиллятора авторами исследована геометрия дистиллятора и способ подвода тепла для обогрева перегонного куба. В частности, исследованы применение пластинчатые пленочные нагревателей в место стандартных змеевиков что позволяет точно контролировать скорость закипания виноматериала. Для осуществления локального перегревания исследована влияние установки перемешивающих устройств. Некоторые формы малооборотистых лопастных мешалок не обеспечивают гидродинамический профиль предотвращения пристеночного перегрева дрожжевого осадка. Это в свою очередь приводит к накоплению избыточного количества фурфурола в виноматериале.

Для теплового регулирования охлаждения дефлегматора предложена его автоматизация. Это достигается установкой высокоточной прецизионного клапана на линии подачи хладагента в дефлегматор. В результате достигается поддержание температуры парогазовой смеси на выходе с высокой точностью (до ±0,1 °C). Это гарантирует стабильное отделение головной фракции и удержание тяжелых сивушных масел в кубе.

Для исследования энергоэффективности модернизированного аппарата составлено уравнение теплового баланса периода дистилляции.

Уравнение прихода тепла ($Q_{прих}$, *Вт*):

$$Q_{прих}=Q_{пара}=D\cdot(i_п - c_к \cdot t_к)$$

где: D - расход греющего пара, *кг/с*; $i_п$ - энтальпия сухого насыщенного пара при давлении в рубашке, *Дж/кг*; $c_к$ - удельная теплоемкость конденсата, *Дж/(кг·К)*; $t_к$ - температура конденсата, °С.

Уравнение расхода тепла ($Q_{расх}$, *Вт*):

$$Q_{расх}= Q_{нагр}+Q_{исп}+ Q_{пот}$$

где; $Q_{нагр}$ - теплота, затрачиваемая на нагрев виноматериала, *Вт*; $Q_{исп}$ - теплота, затрачиваемая на испарение спиртовых паров, *Вт*; $Q_{пот}$ - теплота на компенсацию потерь в окружающую среду, *Вт.*

Теплота, затрачиваемая на испарение спиртовых паров ($Q_{исп}$):

$$Q_{исп}=W \cdot r_{см}$$

где W - скорость дистилляции (расход паров), кг/с; $r_{см}$ - удельная теплота парообразования водно-спиртовой смеси, Дж/кг (рассчитывается по правилу аддитивности в зависимости от текущей крепости кубового остатка):

$$r_{см} =x_{сп} \cdot r_{сп} +(1- x_{сп}) \cdot r_{вод}$$

здесь $x_{сп}$ - массовая доля спирта в парах; $r_{сп}$, $r_{вод}$ - теплоты парообразования спирта и воды соответственно.

Теплота на компенсацию потерь в окружающую среду *($Q_{пот}$):*

$$Q_{пот} = \alpha \cdot F_{куб} \cdot (t_{ст} - t_{вс})$$

α - коэффициент теплоотдачи от стенки куба в воздух, Вт/(м²·К); $F_{куб}$ - площадь наружной поверхности куба, м²; $t_{ст}$ - $t_{вс}$ - температуры наружной поверхности изоляции и окружающего воздуха, °С.

Таблица 1.

Энергетические параметры и продолжительность сгона

Аппарат / Показатель	**Удельный расход пара, кг/дал БС**	**Продолжительность сгона, ч**
Базовый аппарат (ПУ-500)	24,1	10,1
Модернизированный аппарат	17,6	8,4

В таблице приведены результаты сравнительной оценки базового (ПУ-500) и модернизированного дистилляционных аппаратов по двум важнейшим технико-экономическим критериям. Это удельное потребление тепловой энергии (в виде пара) и общей длительности производственного цикла.

На графике видно снижение удельного расхода пара с 24,1 до 17,6 кг/дал безводного спирта (БС). Этот эффект обусловлен изменением конструкции кубовой части аппарата. Традиционные внутренние змеевики в базовом аппарате ПУ-500 имеют ограниченную площадь контакта и склонны к образованию пристеночного пограничного слоя, ухудшающего теплопередачу. Внедрение пластинчатого пленочного нагревателя в сочетании с секционной рубашкой позволило интенсифицировать теплообмен. Дополнительная теплоизоляция куба минеральной ватой минимизировала потери тепла в окружающую среду ($Q_{пот}$). В результате для испарения того же объема водно-спиртовой смеси требуется на 26,9% меньше пара, что прямо снижает себестоимость спирта.

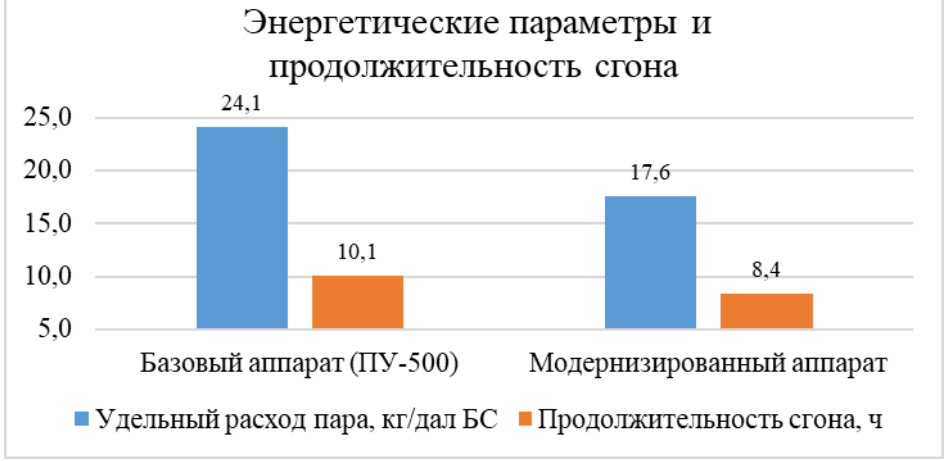


Рис 1. Энергетические и временные параметры сгона

Сокращение продолжительности сгона (с 10,1 до 8,4 часов): Установка низкооборотной пропеллерной мешалки (n = 48 об/мин) устранила температурное расслоение кубовой жидкости и обеспечила турбулизацию потока у нагревательной поверхности. За счет этого фаза прогрева куба до температуры кипения и сама стадия интенсивного испарения протекают быстрее. Сокращение времени цикла на 1,7 часа (16,8%) позволяет увеличить оборачиваемость оборудования и повысить суточную производительность цеха дистилляции без расширения производственных площадей.

Расчеты по дистилляционному аппарату с полезной емкостью перегонного куба V = 450 дал (4,5 м^3) определены следующие оптимальные конструктивные параметры: Геометрия перегонного куба рекомендована цилиндрическая с сферическим днищем, что способствует предотвращению образования застойных зон при сливе барды. Диаметр куба ($D_{вн}$): 1700 мм. Высота цилиндрической части ($H_{цил}$): 1620 мм. Толщина стенок (медь марки М1): дно – 5,8 мм, обечайка – 4,2 мм (обеспечивает высокую теплопроводность и каталитический эффект взаимодействия с серосодержащими компонентами).

Параметры насадочной колонны, применяемого в качестве дефлегматора следующие: высота царги: 800 мм. Диаметр царги довольно большой около 300 мм.

Для такой широкой царги (300 мм) пластинчатый нагреватель куба подойдет идеально. Он сможет выдать нужную высокую мощность и обеспечит правильный объем пара по всему огромному диаметру трубы. Предлагается регулярная проволочная насадка из медной гофрированной сетки. Удельная поверхность насадки около a = 310 м^2/м^3, 022222

то обеспечивает эквивалент 3-4 теоретических тарелок очистки при минимальном гидравлическом сопротивлении $\Delta P \leq 155$ Па.

Для равномерного перевешивания виноматериала рекомендована трехлопастная пропеллерная мешалка гидродинамического профиля с диаметр лопастей $d_м$ = 600 мм. Мешалка имеет частоту вращения вала: n=48 об/мин (низкие обороты исключают избыточное пенообразование, но гарантируют постоянное обновление пограничного теплового слоя).

Этот график имеет комбинированную структуру и объясняет физико-химические изменения в составе получаемого коньячного дистиллята («сердца» погона) за счет усовершенствованной системы дефлегмации.

Табл 2.

Качественные показатели дистиллята

Аппарат	Показатели			
	Высшие спирты (максимум), г/дм³	**Высшие спирты (среднее), г/дм³**	**Высшие спирты (минимум), г/дм³**	**Погрешность отбора голов, ±%**
Базовый аппарат (ПУ-500)	4,10	3,75	3,50	1,50
Модернизирован-ный аппарат	3,08	2,95	2,80	0,20

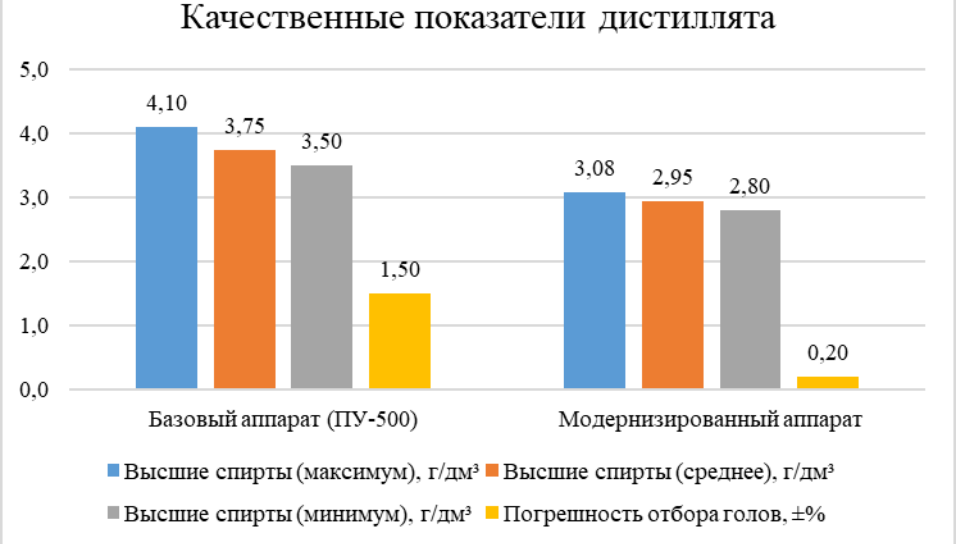


Рис 2. Качественные показатели дистиллята

Динамика содержания высших спиртов (сивушных масел): Высшие спирты (изоамиловый, изобутиловый и др.) являются промежуточными примесями. В базовом аппарате ПУ-500 из-за слабой разделяющей способности шлема их концентрация в целевом продукте колеблется в широком и высоком диапазоне - от 3,5 до 4,1 г/дм³, что часто придает спиртам излишнюю грубость. В модернизированной установке интеграция насадочной царги с регулярной проволочной насадкой создала условия для многократно повторяющихся процессов испарения и конденсации (эквивалент 4–5 теоретических тарелок). Тяжелые компоненты сивушного масла с более высокой температурой кипения эффективно конденсируются на медной сетке и возвращаются в куб в виде флегмы. Это позволило снизить их концентрацию в дистилляте до безопасного и стабильного уровня 2,8–3,1 г/дм³, обеспечивая более мягкий, чистый и сбалансированный вкус.

Погрешность отбора головной фракции (с ±1,5% до ±0,2%): В классических аппаратах отсечение «голов» (содержащих токсичный метанол, уксусный альдегид и этилацетат) часто выполняется винокуром «на глаз» или по грубым температурным датчикам, из-за чего погрешность составляет до 1,5% от объема. Это приводит либо к потере ценного спирта, либо к попаданию вредных веществ в целевой продукт. Применение прецизионного клапана охлаждения на дефлегматоре, управляемого микропроцессором, позволило стабилизировать температуру паров на выходе с точностью до ±0,1 °C. Автоматика мгновенно реагирует на изменение состава кипящей смеси и производит «срезку» фракций с ювелирной точностью. Погрешность отбора снизилась до ±0,2 % что гарантирует химическую безопасность коньячного спирта и стабильность его органолептических свойств от партии к партии.

Заключение. Совершенствование перегонки коньячного спирта - это не отказ от традиций, а их защита с помощью технологий. Модернизация оборудования, цифровой контроль за фракционированием и внедрение энергосберегающих систем позволяют производителям сохранять аутентичный вкус коньяка, делая бизнес экономически устойчивым, экологически безопасным и конкурентоспособным на мировом рынке.

Совершенствование дистилляционного аппарата путем изменения геометрии обогрева, автоматизации дефлегматора и оптимизации контактных элементов позволяет существенно повысить энергоэффективность процесса. Полученный коньячный спирт обладает более чистым ароматическим профилем с выраженными энантиковыми эфирами и сниженным уровнем токсичных примесей, что делает модернизацию экономически и технологически оправданной. За счет применения секционной рубашки обогрева и современной изоляции (минеральная вата с фольгированным слоем) коэффициент α снизился, что сократило статью расходов $Q_{пот}$ на 15–18%.

Литература

1. Кишковский З.Н. Технология вина / З.Н. Кишковский, А.А. Мержаниан. - Москва: Промбытиздат, 1984 (или переиздание: Санкт-Петербург: Профессия, 2009). - 504 с.

2. Оганесянц Л.А. Теория и практика производства коньячных дистиллятов / Л. А. Оганесянц. -Москв : ДеЛи принт, 2016. -436 с.

3. Гаджиев М. С. Комплексная технология получения коньячных дистиллятов улучшенного качества / М.С. Гаджиев, П.Я. Мишиев // Виноделие и виноградарство. - **2019**. -№ 3. -С. 22–27.

4. Таланян А. А. Особенности распределения компонентов коньячного дистиллята при непрерывной и периодической перегонке виноматериалов / А.А. Таланян, В.А. Мартыненко // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. — **2023**. -Т. 35. -С. 112–119.

5. Зайнуллин Р.А. Технология спирта, ликеро-водочных изделий и коньяка: учебное пособие / Р.А. Зайнуллин, Р.В. Кунакова. -Уфа: УГНТУ, **2018**. -142 с.