

Обоснование основных направлений разработки энерго-сберегающей установки для обработки виноматериалов против кристаллических помутнений

Сильвестров А.В.^{1✉}, Загоруйко В.А.¹, Чаплыгина Н.Б.¹, Мишунова Л.А.¹, Феодосиди К.Ф.²

¹Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» РАН», 298600, Республика Крым, г. Ялта, ул. Кирова, 31;

²ООО «Завод марочных вин «Коктебель», Республика Крым, пгт Коктебель, ул. Юнге, 1

✉ asilvestr12@mail.ru

Аннотация. Результаты многочисленных исследований в области стабилизации винодельческой продукции, как и статистические данные, указывают на то, что нарушение розливостойкости вин вызвано в большинстве случаев (около 80%) образованием кристаллических осадков, состоящих из солей винной кислоты. Для предупреждения кристаллических помутнений винодельческой продукции рекомендованы способы обработки виноматериала, которые основаны на ингибировании кристаллизации виннокислых солей, повышение их растворимости или частичным их удалением из обрабатываемого продукта. Это внесение в винную среду препаратов на основе метавинной и лимонной кислот, карбоксиметилцеллюлозы, полиаспартата, маннопротеинов, обработка гексаметафосфатом, гуммиарабиком, трилоном Б, природными цеолитами и др., применение ионообмена, электродиализа, обратного осмоса, ультразвука, гиперфильтрации, обработка холодом. В настоящее время технологически наиболее приемлемым является способ обработки холодом, который улучшает органолептические свойства обрабатываемого продукта, способствует его гармонизации. На основе этой технологии на мировом рынке предлагается большой выбор промышленно освоенных установок для ускоренной обработки вин против кристаллических помутнений. Эти установки отличаются высокой стоимостью и энергетическими затратами. В целом они состоят из холодильного оборудования и изотермических аппаратов – кристаллизаторов и делятся на «шоковые», использующие максимально низкие температуры обработки виноматериалов, и «контактные», использующие затравочные кристаллы битартрата калия. Эффективность процесса обработки повышается, а энергопотребление снижается при внесении затравочных кристаллов битартрата калия. Также эффективность работы установки зависит от конструкции кристаллизатора. Поэтому исследования по созданию энергосберегающей установки для стабилизации виноматериалов холодом должны быть направлены на разработку эффективного кристаллизатора, что требует дальнейшего изучения гидродинамики данного аппарата и разработки его высокоэффективной изоляционной конструкции.

Ключевые слова: виноматериалы; стабильность; кристаллическая дестабилизация; обработка; способы; холод; технология; установка; кристаллизатор.

Для цитирования: Сильвестров А.В., Загоруйко В.А., Чаплыгина Н.Б., Мишунова Л.А., Феодосиди К.Ф. Обоснование основных направлений разработки энерго-сберегающей установки для обработки виноматериалов против кристаллических помутнений // «Магарач». Виноградарство и виноделие. 2022;24(3):286-296. DOI 10.34919/IM.2022.24.3.013.

Substantiation of main directions to develop energy-saving installation for processing base wines against crystalline haze

Silvestrov A.V.^{1✉}, Zagorouiko V.A.¹, Chaplygina N.B.¹, Mishunova L.A.¹, Feodosidi K.F.²

¹All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking Magarach of the RAS, 31 Kirova str., 298600 Yalta, Republic of Crimea, Russia;

²LLC Plant of vintage wines "Koktebel", Republic of Crimea, 1 Yunge str., Koktebel, Republic of Crimea, Russia

✉ asilvestr12@mail.ru

Abstract. The results of numerous studies in the field of stabilizing wine products, as well as statistical data, indicate that the violation of bottling stability of wines in most cases (about 80%) is caused by the formation of crystalline sediments consisting of tartaric acid salts. To prevent crystalline haze of wine products, methods of processing base wines are recommended. They are based on inhibition of crystallization of tartrate salts or their partial removal from the processing product to increase the solubility. This is the introduction of preparations based on metatartaric and citric acids, carboxymethylcellulose, polyaspartate, mannoproteins into the wine environment, treatment with hexametaphosphate, gum arabic, Trilon B, natural zeolites, etc., the use of ion exchange, electrodiagnosis, reverse osmosis, ultrasound, hyperfiltration, cold processing. Currently, the most technologically acceptable method is cold processing, which improves organoleptic properties of the processed product and contributes to its balancing. On the basis of this technology, a variety of industrially developed installations for accelerated processing of wines against crystalline haze is offered in the world market. These installations are characterized by high cost and energy expenses. In general, they consist of refrigeration equipment and isothermal devices – crystallizers. They are divided into "shocking" (using the lowest possible temperatures for processing base wines) and "contacting" (using seed crystals of potassium bitartrate). Process efficiency is increasing and energy consumption is decreasing by adding potassium bitartrate seed crystals. Also, the efficiency of installation device depends on the design of crystallizer. Therefore, the research on creation of energy-saving installation device for base wine stabilization by cold should be directed to the development of effective crystallizer, which requires further study of hydrodynamics of this apparatus and development of its highly efficient isolation design.

Key words: base wines; stability; crystalline destabilization; processing; methods; cold; technology; installation; crystallizer.

For citation: Silvestrov A.V., Zagorouiko V.A., Chaplygina N.B., Mishunova L.A., Feodosidi K.F. Substantiation of main directions to develop energy-saving installation for processing base wines against crystalline haze. Magarach. Viticulture and Winemaking. 2022;24(3):286-296. DOI 10.34919/IM.2022.24.3.013 (in Russian).

Введение

Одним из обязательных требований к качеству винодельческой продукции является ее розливостойкость, что подразумевает отсутствие любого вида осадков и нарушений прозрачности, свидетельствующих о потере товарного вида. С целью обеспечения конкурентоспособности отечественных вин на внутреннем и мировом рынках необходимо довести срок гарантированной стабильности готовой продукции в экспортном исполнении на уровень не менее двух лет, а на внутреннем рынке – согласно требованиям действующих нормативных документов.

Изучением стабильности виноматериалов и вин занимались многие отечественные и зарубежные ученые: Г.Г. Валуйко, З.Н. Кишковский, Н.М. Павленко, В.И. Зинченко, В.А. Загоруйко, Виноградов В.А., Н.М. Агеева, В.Г. Гержикова, О.А. Чурсина, P. Dunsford, W. Postel, P. Ribereau-Gayon, Усселио-Томассет Л., G. Wurdig, T. Muller, E. Praszch и др. [1-13] Результаты их исследований, как и статистические данные, показывают, что нарушение розливостойкости вин вызвано в большинстве случаев до 80% [14] образованием кристаллических осадков, состоящих из солей винной кислоты. В основном этот осадок представлен калиевой, реже – кальциевой солью.

Целью данной работы является обобщение современных подходов и технических решений по достижению стабильности винодельческой продукции в отношении кристаллических помутнений для определения и обоснования основных направлений разработки энергосберегающей установки для обработки виноматериалов.

Результаты и их обсуждение

Основной причиной образования кристаллических осадков в винах является наступление состояния их перенасыщенности виннокислыми солями вследствие изменения химического состава при их обработке, выдержке и хранении.

По данным различных авторов массовая концентрация основных участников кристаллической дестабилизации вина – калия и винной кислоты, варьирует в широких пределах. Виноградные вина содержат концентрацию калия $0,1 \div 1,2$ г/л и винной кислоты $2 \div 5$ г/л [15].

В общем виде кинетика роста кристаллов солей винной кислоты в винноматериале описывается дифференциальным уравнением первого порядка

$$dC/d\tau = K \cdot D \cdot (C'' - C')S/\delta, \quad (1)$$

где $dC/d\tau$ – скорость изменения концентрации солей винной кислоты в винноматериале; K – коэффициент, учитывающий влияние внешнего воздействия; D – коэффициент диффузии молекул солей винной кислоты; S – суммарная поверхность образовавшихся кристаллов; δ – толщина диффузионного слоя на границе раздела фаз; C'' и C' – концентрация солей винной кислоты в перенасыщенном состоянии и в состоянии насыщения при данной температуре.

Анализ уравнения (1), описывающего процесс кристаллизации солей винной кислоты, показыва-

ет, что для сокращения продолжительности этого процесса можно использовать различные методы. В связи с этим в настоящее время для предупреждения кристаллических помутнений винодельческой продукции предложены и рекомендованы многие способы обработки виноматериалов, которые основаны, в том числе на ингибировании кристаллизации виннокислых солей, повышении их растворимости, частичном их удалении из обрабатываемого продукта. Это в том числе внесение препаратов на основе метавинной и лимонной кислот, карбоксиметилцеллюлозы, полиаспартата, искусственно выделенных маннопротеинов, обработка гексаметафосфатом, гуммиарабиком, трилоном Б, природными цеолитами и др. [16-18].

Метавинную кислоту – смесь полимеров винной кислоты натурального происхождения вносят в винноматериал в количестве 80–100 мг/л. Она адсорбируется на поверхности микрокристаллов солей винной кислоты и препятствует их росту. При температуре хранения вина 20°C и выше и температурных колебаниях ингибирующее действие метавинной кислоты не превышает 2-3 месяца, т.е. применение метавинной кислоты снижает риск образования кристаллических помутнений в винах на короткий период времени.

Для стабилизации вин против кристаллических помутнений МОВВ в принятой резолюции 2/2009 г. рекомендовала использовать натриевую соль карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ). Максимально разрешенная доза КМЦ 10 г на 100 л винноматериала. Принцип действия КМЦ аналогичен метавинной кислоте – защитный коллоид, который откладывается на поверхности кристаллов солей винной кислоты, предотвращая их рост. В сильно перенасыщенном вине (температура насыщения калия больше чем 18°C) действие КМЦ ограничено и не может гарантироваться полная стабильность. Растворимость КМЦ в вине плохая и использование высоковязких растворов на предприятии приводит к трудностям при дозировке и мойке оборудования. Поэтому МОВВ рекомендует использование произведенных промышленным способом жидких продуктов КМЦ.

Полиаспартат калия – калиевая соль полиаспарагиновой кислоты, полученная в результате полимеризации L-аспарагиновой кислоты, которая входит в состав аминокислот винноматериала. Стабилизирующие свойства аналогичны со свойствами метавинной кислоты и карбоксиметилцеллюлозы. Максимально допустимая доза препарата 100 мг/л.

Маннопротеины получают из стенок клеток дрожжей. Эффект их применения с целью стабилизации винодельческой продукции нестойкий и зависит от типа вина.

Известно, что эффективность применения вышеперечисленных веществ зависит от условий хранения вина, в том числе температуры, типа вина, его физико-химического состава и др. Данные вещества проявляют должный защитный эффект только при незначительной исходной склонности вин к кристаллообразованию. Кроме того их использование может привести к появлению посторонних тонов в

аромате и вкусе обработанных вин, нарушению их гигиеничности.

Более широкое применение для стабилизации вин против кристаллических помутнений нашли физические способы, предусматривающие частичное удаление виннокислых солей из обрабатываемого продукта. Это установки с использованием ионообменных смол, электродиализа, обратного осмоса, ультразвука, гиперфильтрации, холода [19-23].

Ионообменные смолы содержат функциональные группы, способные к обмену одноименно заряженными ионами, и могут быть использованы для снижения содержания ионов K^+ и Ca^{2+} в вино материале. В виноделии применяются смолы, которые являются катионообменными, то есть они содержат отрицательно заряженные ионы (группы сульфокислот – SO_3H дают сильные обменные возможности, а карбоксильные группы – $COOH$ – слабые).

Как правило, стабилизация вино материалов ионообменными смолами финансово затратная и отрицательно влияет на органолептические показатели обработанных вин. Также применение ионообменных смол в виноделии нежелательно в связи с опасностью обогащения вин токсичными мономерами [20].

Электродиализная обработка вино материалов также снижает концентрацию в них ионов K^+ и Ca^{2+} и обеспечивает кристаллическую стабильность вина. Установка для электродиализа (ЭД) состоит из центральной ячейки, в которую помещают вино материал, обрабатываемый электродиализом. Центральная ячейка отделена от отсеков с анодом и катодом селективными мембранами. Когда вино материал попадает в электрическое поле, ионы движутся к соответствующему электроду. Анионы – битартрат и тартрат через анион проницаемую мембрану к аноду. Катионы – K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} к катоду через мембрану с катионной проницаемостью.

Однако ЭД также удаляет сульфатные соединения, что может повлиять на стабильность других компонентов вино материала и снизить его рН.

Проведенными исследованиями [23] по изучению влияния электродиализной обработки белых вино материалов из мускатных сортов винограда на степень удаления катионов металлов установлено, что в наибольшей степени устранению с помощью диализа подвергаются катионы аммония и кальция – 33,1 и 26,5% соответственно. Электродиализ способствует удалению 16,8–18,6% катионов натрия и магния. Меньше всего удаляется катионов калия – всего 2,8% от имеющегося в вино материале количества.

Основной недостаток электродиализа – значительная стоимость оборудования (сотни тысяч евро). Кроме того для обеспечения работы электродиализной установки требуется очень большой расход воды и специальные реактивы для регенерации ионоселективных мембран.

В целом, применение электродиализа, обратного осмоса, гиперфильтрации связано со значительными материальными и энергетическими затратами и приводит к снижению органолептической оценки вина [19].

Многочисленные исследования [1-15] и практический опыт показывают, что технологически наиболее приемлемым для стабилизации вин против кристаллических помутнений является способ обработки вино материалов холодом. Этот технологический прием носит универсальный характер и используется не только для устранения избыточного содержания солей винной кислоты, вызывающих кристаллические помутнения, но и для удаления высокомолекулярных веществ, вызывающих коллоидные помутнения вин.

Обработка холодом способствует гармонизации и смягчению вкуса вино материалов, интенсифицирует в них процессы, протекающие при длительной выдержке в естественных условиях. Поэтому многие машиностроительные фирмы уделяют внимание разработке технологического оборудования для осуществления данного процесса [19, 23-27]. Однако из всех технологических обработок, которым подвергается вино материал, обработка холодом является одной из самых дорогостоящих. По утверждению Хаубса [28], энергозатраты на процесс охлаждения в виноделии составляют до 60% общих расходов предприятия на электроэнергию.

В связи с этим актуальной является задача обеспечения необходимой стабильности винодельческой продукции с минимальными энергетическими затратами.

Анализ литературных данных по вышеуказанным вопросам показал, что непосредственное технологическое и экономическое влияние на процесс стабилизации вин холодом оказывает технический уровень и материальная оснащенность предприятия, а также технология проведения стабилизации вино материалов холодом.

Согласно классической технологии стабилизацию вин холодом осуществляют в результате охлаждения вино материала на холодильной установке до необходимой температуры, экспозиции в термоизолированных условиях с последующей фильтрацией при температуре охлаждения.

Как показали исследования, эффективность обработки вино материалов при такой технологии напрямую зависит от подготовки вино материала к обработке, его физико-химического состава, отсутствию защитных коллоидов к которым относятся высокомолекулярные вещества вино материала: полисахариды, фенольные вещества, белки, маннопротеины дрожжевых клеток. Известно, что коллоиды вина образуют пространственно разветвленную структуру, в которой «зависают» кристаллы солей винной кислоты, что препятствует их седиментации. Защитные коллоиды также блокируют микрокристаллы винного камня, препятствуя их росту, в результате чего становится невозможным удаление из вино материала избыточного содержания солей винной кислоты – тартратов, что сводит на нет усилия по предупреждению кристаллических помутнений.

Таким образом, с учетом физико-химических и коллоидных механизмов равновесия тартратов в винах вино материал должен быть готов к обработке холодом. Поэтому многие исследователи рекомендуют

перед обработкой виноматериалов холодом удалить часть коллоидов путем воздействия физическими, химическими или биохимическими способами.

Кроме того, существенное влияние для достижения надежной стабильности вин против кристаллических помутнений оказывают режимы и параметры процесса обработки холодом.

Общепринята рекомендация о необходимости охлаждения виноматериала до температуры близкой к точке замерзания и выдержки его при температуре, на 0,5 °С превышающей температуру его точки замерзания.

Температура замерзания вина на практике определяется следующим образом:

$$T^{\circ}\text{C} = \frac{-(\text{Крепость вина} - 1)}{2}. \quad (2)$$

Известно, что процесс кристаллизации виннокислых солей протекает в две независимые друг от друга стадии: первая – образование центров-зародышей кристаллизации, вторая – рост величины кристаллов. Зародыши кристаллизации появляются в результате образования агрегатов из определенного количества. Считается, что единичная ячейка состоит из 4 НТ– и 4 К+ [15]. Они возникают спонтанно при охлаждении насыщенного раствора и их количество зависит от скорости охлаждения виноматериала. Поэтому для сокращения времени обработки, процесс охлаждения необходимо вести с максимальной интенсивностью при температуре, близкой к точке замерзания, во избежание явления гистерезиса и замедления выпадения солей в осадок.

В отношении продолжительности обработки виноматериалов холодом для их стабилизации против кристаллических помутнений нет единого мнения. Согласно Технологической инструкции по обработке виноматериалов и вин продолжительность обработки холодом в потоке составляет 2-3 ч, а при выдержке в термостатированных условиях 2-3 суток. Однако, как показывает практический опыт, указанные режимы являются недостаточными.

За рубежом продолжительность обработки виноматериалов холодом составляет в Италии, США, Испании до 10 сут., во Франции 6–7 сут. Выдерживать виноматериалы при низкой температуре до 9 суток рекомендуется в справочнике по виноделию под редакцией Г.Г. Валушко [29].

В настоящее время на мировом рынке предлагается большой выбор промышленно-освоенных установок для ускоренной обработки вин против кристаллических помутнений. Это системы обработки вина, работающие на принципах «термического шока» и «контактные» системы. Примером первых служат установки «Vinipal» (Италия), «Поток кристаллов» Alfa-Laval (Швеция), где осуществляется охлаждение виноматериала с образованием до 10 % льда, система «Gasquet» (Франция), «Frigoflash» R.T.B.-Selip (Франция), в которых виноматериал, предназначенный для стабилизации, быстро доводят до температуры близкой к точке замерзания (минус 6 – 10°С), посредством обработки в трубчатых теплообменных

аппаратах – ультраохладителях с теплообменной поверхностью, очищаемой скребками, затем охлажденный виноматериал подается в кристаллизатор, где микрокристаллы битартрата калия, образующиеся при «тепловом ударе» (термическом шоке) увеличиваются в размерах и выпадают в осадок при постоянно поддерживаемой низкой температуре, после чего виноматериал подается на фильтрацию при температуре охлаждения. Скорость охлаждения виноматериала при обработке должна быть большой. Снижение температуры продукта например от +20°С до температуры близкой к точке замерзания осуществляется в потоке за несколько секунд. Этот термический удар считается необходимым для эффективной обработки.

Основное отличие между установками для проведения ускоренной стабилизации вин связано с их конструктивными особенностями. Так, стабилизация виноматериалов на установке «Crystal-Flow» фирмы Alfa-Laval включает три основных этапа:

- охлаждение виноматериала до температуры ниже его точки замерзания, за счет чего образуется до 10 % льда, повышается концентрация спирта и образуется пересыщенный раствор виннокислых солей;
- кратковременная выдержка охлажденного виноматериала для роста кристаллов виннокислых солей в горизонтальном кристаллизаторе;
- частичное отепление виноматериала на рекуперативном теплообменнике для растворения кристаллов льда, с последующим отделением кристаллов битартрата калия фильтрованием.

При обработке виноматериалов на установке «Vinipal» их охлаждают до температуры, близкой к точке замерзания, после чего направляют в кристаллизатор – вертикальный изотермический резервуар с коническим днищем.

Установка «Imesa» отличается оригинальной конструкцией кристаллизатора, которая способствует образованию, росту и расслоению кристаллов винного камня. Крупные кристаллы накапливаются на дне кристаллизатора, а мелкие, находясь в тангенциальном движении, растут, достигая критической массы, затем также оседают на дно. Кристаллы размером 10 мкм и меньше отделяются сепарацией. Обработка виноматериалов холодом на установке «Imesa» продолжается в течение 2 ч.

Однако для достижения гарантированной стабильности фирма предлагает проводить дополнительную выдержку виноматериалов при температуре –3 ÷ –5°С в течение 5-10 дней в зависимости от температуры обработки и типа вина.

На установке Frigoflash стабилизацию вин против выпадения виннокислых солей, по данным фирмы R.T.B.-Selip, можно проводить за 3 ч. Она включает в себя комплекс холодильного оборудования. Охлаждение виноматериала проводится в пластинчатом теплообменнике. Рост кристаллов осуществляется в резервуаре – реакторе из полиэстера с коническим днищем, армированного стекловолокном, изолированного пенополиуретаном. Виноматериал охлаждается почти до точки замерзания и подается в реактор.

Небольшое входное отверстие в реактор обеспечивает турбулентность потока, что способствует образованию и росту кристаллов винного камня. Из верхней части реактора виноматериал подается на холодную фильтрацию. Промежуточный хладоноситель – этиленгликоль.

Установки для непрерывной стабилизации вин холодом предлагаются также фирмами «Daubron» (Франция), «Kadalpe» (Италия) и др.

В основу «контактного» способа стабилизации виноматериалов легло ускорение фазы образования зародышей кристаллов винного камня за счет принудительного контакта виноматериала с искусственно вносимыми, так называемыми «затравочными» кристаллами битартрата калия – мелко измельченным до 0,25–1,00 мм порошком битартрата калия. Наибольшую эффективность при обработке виноматериалов показали препараты битартрата калия с размером кристаллов 0,50–0,75 мм. Фаза образования зародышей битартрата калия в виноматериале, даже в условиях пересыщенного раствора, составляет не менее 3 ч.

При этом нет необходимости доводить температуру виноматериала до очень низких значений, достаточно 0 – минус 3,5°C. Добавка битартрата калия разрешена регламентом ЕЭС № 3577/81 от 3.12.81. Рекомендуемая доза 4 г/дм³.

После перемешивания в течение нескольких часов кристаллы битартрата калия из виноматериала удаляются фильтрацией или центрифугированием. Этот способ был изучен в 1958 г. Берголе и Кифером и практически реализован Мюллер-Шпэтом в 1977 г. и институтом «Магарач» на Минском комбинате шампанских вин в 2011 г.

Основные факторы, которые влияют на эффективность стабилизации вин «контактным» методом, следующие:

- количество и качество битартрата калия;
- применение перемешивающих устройств;
- время контакта.

Данный метод считается экономически более выгодным, чем «шоковое охлаждение», т.к. обработка виноматериала осуществляется при температуре 0...+1°C. Машиностроительные фирмы предлагают виноделам большой выбор установок стабилизации вин, работающих по «контактному» принципу, основной целью которых является интенсификация процесса кристаллизации виннокислых солей и повышение эффективности обработки. Это в том числе установки фирмы «Seitz», «Vestfalia Separator» (Германия), «Kristalloprocess» (Энотехническая станция Шампани, Франция), «ТМСИ Padova» (Италия) и др.

В «контактной» установке «Seitz» поступающий виноматериал ступенчато охлаждается с помощью хладоносителя (гликоль), затем во время перекачки в изотермические резервуары в охлажденный виноматериал дозатором вводят кристаллы битартрата калия. В изотермических резервуарах виноматериал непрерывно перемешивается.

Время нахождения виноматериалов в аппарате вместо 7-8 дней сокращается до «кратковременно-

го» периода, который зависит от типа виноматериала и степени стабилизации. Затем виноматериал подается на сепарацию. Фирма утверждает, что располагая необходимым количеством изотермических резервуаров можно организовать процесс стабилизации виноматериала в непрерывном режиме.

«Контактная» система «Vestfalia Separator» также включает в себя ступенчатое охлаждение до минус 2°C, после дозировки битартрата калия, виноматериал вводят в изотермические резервуары, снабженные мешалками. По завершении процесса вино проходит через гидроциклон, где происходит разделение кристаллов. Крупные кристаллы возвращаются для «затравки» следующей партии виноматериала, мелкие далее отделяются на центрифуге и фильтре. Дозировка «затравочных» кристаллов 4 г/дм³, процесс идет не менее 4 ч.

Технология «Kristalloprocess» энотехнической станции Шампани включает в себя процессор, контролирующий стабильность виноматериала на выходе. Также применяется двухступенчатое охлаждение виноматериала – сначала в пластинчатом теплообменнике до минус 1,9°C, затем добавляются в поток дозатором «затравочные» кристаллы винного камня, затем внутри кристаллизатора продукт доводится до рабочей температуры минус 3,5°C, специальные мешалки поддерживают «затравочные» кристаллы в состоянии суспензии по всему объему реактора.

Установка Kristalstop итальянской фирмы ТМСИ Padova предназначена для ускоренной стабилизации виноматериалов в потоке. Виноматериал, проходя последовательно два теплообменника, охлаждается до заданной температуры – минус 2-5°C. Затем охлажденный виноматериал поступает в кристаллизатор. Перед кристаллизатором в поток виноматериала впрыскивается винный камень из расчета создания пересыщенного раствора солей винной кислоты. В кристаллизаторе виноматериал находится 2 ч, затем он подается на холодную фильтрацию через диатомитовый фильтр.

К недостаткам данной установки относится необходимость предварительно охлаждать виноматериал. Начальная температура виноматериала, подаваемого на обработку в установку, должна быть не выше +15°C. При обработке виноматериала в установке происходит его ступенчатое охлаждение, которое может привести к явлению гистерезиса. Установка Kristalstop предназначена для обработки только столовых виноматериалов, предварительно хорошо подготовленных. Цена установки Kristalstop-20 (производительностью по обрабатываемому виноматериалу 200 дал) – 99540 евро.

Все вышеперечисленные технологии характеризуются высокими первоначальными капиталовложениями и значительными текущими затратами. Кроме того, они рассчитаны на обработку столовых виноматериалов, так как 90% вин, выпускаемых за рубежом к категории столовых вин. Физико-химические показатели этих вин отличаются от отечественных столовых, тем более от крепких и десертных виноматериалов.

Также эти установки оснащены программным управлением, требующим соблюдения определенного температурно-влажностного режима в производственных помещениях, особенно в условиях подвального производства. Сравнительный технико-экономический анализ машин и аппаратов для обработки виноматериалов холодом, производимых ведущими зарубежными машиностроительными фирмами, приводится в табл. 1.

Традиционно технологическая схема процесса обработки виноматериалов холодом, применяемая практически на многих винодельческих предприятиях, выглядит следующим образом (рис.): виноматериал из накопительного резервуара насосом прокачивается через теплообменный аппарат, охлаждаемый хладоносителем, поступающим из машинного отделения; затем охлажденный до температуры обработки виноматериал поступает в изотермические резервуары, зачастую помещенные в холодильные камеры и снабженные для поддержания низкой температуры виноматериала рубашками или змеевиками по которым циркулирует хладоноситель.

В изотермических резервуарах виноматериал находится до 5-6 сут. и более, в течение которых происходит постепенная кристаллизация винного камня и выпадение его в осадок; при этом чрезвычайно важно поддержание в течение всего времени выдержки первоначальной низкой температуры, которая происходит, как правило, за счет хладоносителя, циркулирующего в рубашках или змеевике изотермического резервуара. При этом температура хладоносителя не должна быть ниже температуры охлажденного виноматериала, т.к. в противном случае образуется наледь из виноматериала на стенках изотермического резервуара, т.е. вымораживание воды, что способствует потерям виноматериала, поэтому для этого хладоносителя задействуется дополнительная линия. После выдержки виноматериал насосом направляется на фильтрацию при температуре охлаждения, а затем на следующую обработку (рис.).

Данная технология обработки виноматериалов холодом требует значительных капитальных и текущих затрат, связанных с необходимостью применения парка изотермических резервуаров с рубашками охлаждения, специальных холодильных камер, значительными энергозатратами, а также необходимостью в холодильных установках достаточной мощности. В случае использования рубашек охлаждения – специальная холодильная машина для поддержания необходимой температуры охлаждения виноматериала при выдержки

Таблица 1. Технико-экономические показатели машин и аппаратов для обработки виноматериалов холодом, производимых ведущими зарубежными машиностроительными фирмами

Table 1. Technical-economic indicators of machines and devices for processing base wines with cold, produced by leading foreign machine-building companies

Показатели	Технология тартратной стабилизации		
	традиционная	«шоковая»	«контактная»
Температура обработки в зависимости от типа виноматериала, °С	минус 5 ÷ 8	минус ÷ 8	0 - минус 1
Скорость охлаждения виноматериала	низкая	высокая	низкая
Продолжительность цикла обработки	от 5 до 10 сут.	от 2 до 4 ч	от 3-х до 4-х ч
Расход электроэнергии на обработку холодом 1000 дал виноматериала, кВт	135,0	162,0	≈ 100,0
Расход вспомогательных материалов – битартрат калия, г/л	–	–	4,0
Стоимость вспомогательных материалов (битартрат калия) на обработку 1000 дал виноматериала, руб.	–	–	2590,0
Стоимость установки для обработки виноматериалов холодом на условиях ex-works производительностью 1000 дал/ч, руб.	–	16187500 (на 31.05.2022)	133624575 (на 31.05.2022)

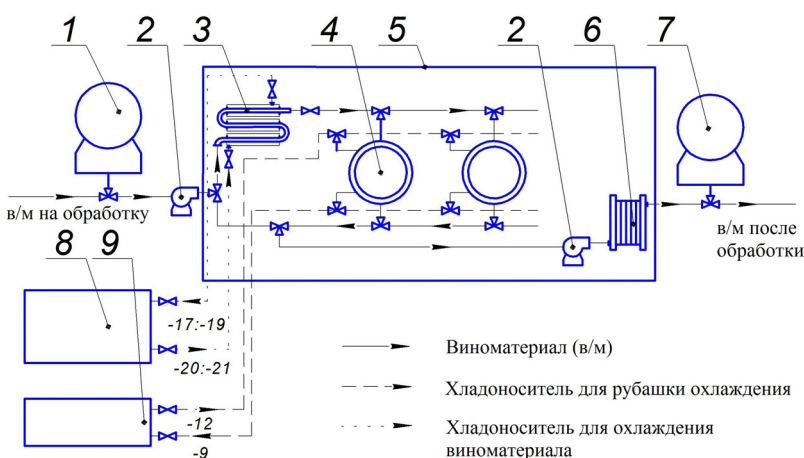


Рис. Схема обработки виноматериалов холодом: 1 – сборник исходного виноматериала; 2 – насос; 3 – трубчатый теплообменный аппарат; 4 – изотермический резервуар; 5 – термоизолированная камера; 6 – фильтр; 7 – резервуар-накопитель; 8 – холодильная машина для хладоносителя на охлаждение виноматериала; 9 – холодильная машина для хладоносителя поступающего в рубашку охлаждения

Fig. Scheme of cold processing of base wines: 1 – collector of initial base wine; 2 – pump; 3 – tubular heat exchanger; 4 – isothermal tank; 5 – thermally insulated chamber; 6 – filter; 7 – storage tank; 8 – refrigeration machine for the coolant to chill base wines; 9 – refrigerating machine for the coolant entering the cooling jacket

на холоде. Особенность подобного способа обработки холодом заключается в использовании промежуточного хладоносителя – он охлаждается в холодильной машине за счет кипения холодильного агента. Затем виноматериал хладоносителем охлаждается до температуры обработки в теплообменных аппаратах, как правило, трубчатого типа. Расход электроэнергии при использовании промежуточного хладоносителя

ля на 20% выше, чем в системах непосредственного охлаждения [30]. Кроме того используемые теплообменные аппараты трубчатого типа обладают коэффициентом теплопередачи не выше 300 ккал/м² ч°С, т.е. за один проход через теплообменник виноматериал может охладиться максимум на 15 °С. При охлаждении виноматериала от начальной температуры +18÷20°С этого перепада недостаточно для выхода на технологические режимы минус 3÷5°С для столовых виноматериалов и минус 8÷9 °С для крепленых. Поэтому виноматериал несколько раз прокачивают через теплообменный аппарат для достижения необходимой температуры охлаждения, что приводит к повышенным энергозатратам и явлению гистерезиса – задержке кристаллизации солей винной кислоты, так как виноматериал успевает приспособиться к низкой температуре. В таком случае эффективнее использовать для охлаждения виноматериала в области положительных температур (до +2°С) пластинчатый теплообменный аппарат с коэффициентом теплопередачи 1500-2000 ккал/м²ч °С, а затем охлаждать виноматериал на трубчатом теплообменном аппарате до температуры обработки. В этом случае виноматериал охлаждается за один проход через теплообменники.

Также эффективным способом снижения текущих производственных затрат и сбережения энергоресурсов винодельческого предприятия является использование изотермических резервуаров с высококачественной изоляцией, которая минимизирует теплопритоки к охлажденному виноматериалу и обеспечивает заданную температуру виноматериала в течение всего периода его выдержки на холоде.

Изотермические резервуары должны иметь изоляцию, способную обеспечить температурную дисперсию до очень низкого уровня, порядка 0,1°С в сутки. Повышение температуры (t) виноматериала, находящегося на выдержке, дает уравнение [31]:

$$t = K \cdot S \cdot (t_1 - t_2) / V, \quad (3)$$

где K – коэффициент теплопередачи, зависит от теплопроводности материала резервуара и изоляции; S – поверхность резервуара; V – объем резервуара; t₁ – t₂ – разность температур окружающей среды и виноматериала.

Коэффициент теплопередачи рассчитывается с учетом исключения возможности конденсации влаги на поверхности изотермического резервуара с учетом того, что температура окружающей среды, как правило, выше 0 °С по формуле [32]:

$$K \leq 0,95\alpha (t_{oc} - t'') / (t_{oc} - t_b), \quad (4)$$

где α – коэффициент теплоотдачи от окружающей среды поверхности изотермического резервуара; t_{oc}, t_b – температура окружающей среды и виноматериала в изотермическом резервуаре; t'' – температура, соответствующая точке росы в зависимости от влажности воздуха окружающей среды.

При разности температур окружающей среды и обрабатываемого виноматериала 20÷30°С оптимальный коэффициент теплопередачи должен быть не более 0,50 ккал/м²ч°С; так как при большем зна-

чении коэффициента теплопередачи на поверхности изотермического резервуара образуется конденсат. С учетом того, что каждый килограмм водяного пара, конденсируясь на поверхности изотермического резервуара, выделяет около 2500 кДж тепла [33], то для поддержания требуемого температурного режима потребуются дополнительные энергозатраты на компенсацию теплопритоков. Кроме того, коэффициент теплопередачи изоляции изотермических резервуаров напрямую зависит от коэффициента теплопроводности изоляционного материала.

Анализируя теплоизоляционную эффективность предлагаемых промышленностью изоляционных материалов это в том числе таких хорошо известных материалов, как минеральная вата, пенопласт ПХВ-1, пенополиуретан ППУ и новых – изоллат [34], изолон ППЭ ИРА 30/30 [35], необходимо отметить, что наилучшими эксплуатационными свойствами по нашим многолетним наблюдениям обладает изоляция из пенополиуретана. Этот материал при соблюдении технологии изготовления изоляционного покрытия сохраняет свои изоляционные свойства без изменения в течение длительного срока эксплуатации. Изотермические резервуары, изготовленные с изоляционным покрытием из пенополиуретана толщиной не менее 200 мм, при перепаде температур внешней среды и выдерживаемого на холоде виноматериала до 35°С не нуждаются в дополнительном охлаждении с помощью рубашек или змеевиков, что также позволяет сократить энергозатраты на данный технологический процесс.

Кроме температурного эффекта скорость процесса кристаллизации зависит от двух факторов – скорости подвода виноматериала к поверхности кристалла и скорости отложения молекул на поверхности кристалла. Пограничный слой тонок, но в нем перенос вещества осуществляется за счет молекулярной диффузии, поэтому он представляет основное сопротивление для перехода кристаллизующегося вещества из пересыщенного раствора на поверхность кристалла. Движущей силой процесса кристаллизации является разность концентраций.

Согласно закону Фика, масса вещества M (кг), прошедшего через слой δ(м) в процессе молекулярной диффузии, прямо пропорционально поверхности слоя F(м²), изменению концентрации вещества ΔC (кг/м³) в толщине слоя, времени τ(с) и обратно пропорционально расстоянию, пройденному частицей вещества δ, т.е.:

$$M = D \cdot F \cdot \Delta C \cdot \tau / \delta, \quad (5)$$

где D – коэффициент диффузии, м²/с.

Скорость процесса кристаллизации солей винной кислоты можно значительно увеличить за счет переноса процесса диффузии из молекулярного в конвективный. Конвективный процесс диффузии наблюдается в жидкостях при перемешивании. При этом вещество переносится не только в направлении движения потока, но и в его поперечном сечении. При конвективной диффузии перенос вещества осуществляется также и за счет переноса более крупных ча-

стиц, состоящих из многих молекул. Вследствие этого скорость процесса кристаллизации вещества при конвективной диффузии во много раз превосходит скорость кристаллизации при молекулярной диффузии [36].

Согласно закону А.Н. Шукарева [33], количество вещества, переносимого конвективной диффузией в единицу времени от поверхности раздела к ядру фазы, пропорционально поверхности F (m^2) контакта фаз и разности концентраций ΔC ($кг/м^3$) переходящего вещества:

$$dM/dt = \beta \cdot F \cdot \Delta C, \quad (6)$$

где β – коэффициент массоотдачи, характеризующий перенос вещества конвективным и диффузионным потоками одновременно, $кг/с$.

Коэффициент массоотдачи зависит от физических и гидродинамических (частота перемешивания) параметров, а также от геометрических факторов процесса. Если кристаллизация солей винной кислоты происходит при перемешивании, то скорость ее возрастает во много раз, диффузионный процесс из молекулярного переходит в конвективный.

Р. Данквертц [33] рассматривает межфазовый перенос вещества как неустановившийся, изменяющийся во времени процесс, характеризующийся непрерывным обновлением поверхности контакта. Он получил следующее выражение для коэффициента массоотдачи:

$$\beta = \sqrt{D \cdot S}, \quad (7)$$

где S – доля поверхности обновления в единицу времени, D – коэффициент диффузии, $m^2/с$.

Для первой диффузионной стадии процесса массообмена можно считать:

$$M = D \cdot (C - C_H) / r, \quad (8)$$

где M – количество вещества, которое перемещается из основной массы перенасыщенного раствора в пограничный слой на $1 m^2$ поверхности кристаллов за $1 с$, $кг/(m^2 \cdot с)$; D – коэффициент диффузии, $m^2/с$; r – толщина пограничного слоя, $м$; $C - C_H$ – разность концентраций переходящего вещества, $кг/м^3$.

Вещество, перешедшее через диффузионный слой, укладывается в кристаллическую решетку кристаллов. На этой стадии процесса – кинетической:

$$M = K \cdot (C - C_H), \quad (9)$$

где K – константа скорости фазового перехода, $м^4 (с \cdot кг)$.

По формуле Эйнштейна величина коэффициента диффузии зависит от абсолютной температуры T и от вязкости среды μ ($Па \cdot с$):

$$D = K \cdot T / \mu, \quad (10)$$

где K – постоянная Больцмана.

Отсюда:

$$M = K \cdot T (C - C_H) / r \cdot \mu, \quad (11)$$

где M – количество вещества, отнесенное к единице поверхности и одной секунде.

В общем случае, для количества вещества, перемещаемого из раствора к пограничному слою формула принимает вид:

$$M = [K \cdot T \cdot (C - C_H) \cdot F \cdot \tau] / r \cdot \mu, \quad (12)$$

где F – поверхность кристаллов, m^2 , τ – время процесса, $с$.

Отсюда время процесса кристаллизации винного камня критического размера:

$$\tau = M \cdot r \cdot \mu / K \cdot T \cdot (C - C_H) \cdot F. \quad (13)$$

Анализируя данное уравнение, можно сделать ряд выводов. Так, чем больше поверхность кристаллизации, тем больше солей винной кислоты переходит за единицу времени из раствора в твердую фазу. Чем меньше кристаллы, тем больше их поверхность, приходящаяся на единицу массы. Поэтому при малых размерах затравочных кристаллов, масса твердой фазы увеличивается быстрее. Так при массе одного кристалла $0,1 \cdot 10^{-7} кг$ поверхность винного камня массой $1 г$ имеет значение $178 m^2$.

На интенсивность процесса кристаллизации большое влияние оказывает температура виноматериала. При понижении температуры происходит увеличение вязкости виноматериала и увеличение толщины диффузного слоя.

Движущая сила процесса кристаллизации $C - C_H$ – разность концентраций, которая обеспечивает преодоление двух сопротивлений: диффузного сопротивления пограничного слоя и кинетического сопротивления, т. е. сопротивления, возникающего при вводе молекулы вещества в кристаллическую решетку кристалла. Чем больше пресыщения виноматериала солями винной кислоты, тем интенсивнее происходит кристаллизация.

Если кристаллизация происходит при перемешивании, то скорость ее возрастает, так как при этом уменьшается толщина диффузного слоя и процесс кристаллизации винного камня из молекулярного переходит в конвективный.

Сопоставительные данные по затратам электроэнергии в традиционной схеме обработки виноматериалов холодом и рекомендуемой авторами с целью сокращения энергозатрат приведены в табл. 2.

Таблица 2. Сопоставительные данные по затратам электроэнергии при традиционной схеме обработки виноматериалов холодом и рекомендуемой

Table 2. Comparative data on the cost of electricity when using the traditional scheme of cold processing of base wines and the recommended one

Наименование показателей	Значение показателя	
	традиционная схема	рекомендуемая схема
Удельный расход электроэнергии на охлаждение виноматериала, кВт/1000 дал	151,4	151,4
Удельный расход электроэнергии на поддержание температуры охлажденного виноматериала в течение 5÷6 суток, кВт/1000 дал	79,2÷95,0	–
Расход электроэнергии на обработку 1000 дал виноматериала холодом, кВт	230,6÷246,4	151,4

Выводы

Сравнительный анализ существующих способов и технических решений для стабилизации винодельческой продукции против кристаллических помутнений, образуемых солями винной кислоты, показал, что технологически наиболее приемлемым, обеспечивающим стабильный результат, является способ обработки виноматериалов холодом. К недостаткам данного способа относится высокая стоимость промышленно освоенного оборудования, применяемого для этой технологической операции и его энергоемкость.

Производимые ведущими зарубежными машиностроительными фирмами установки для обработки виноматериалов холодом с целью достижения их стабильности независимо от осуществляемой ими технологии «шоковая» или «контактная» состоят из комплекта холодильного оборудования и изотермических аппаратов – кристаллизаторов, от конструкции которых зависит энергоемкость и технологическая эффективность проводимого процесса. При этом необходимо отметить, что «контактная» технология является наименее затратной.

Использование при обработке виноматериалов систем непосредственного охлаждения, позволяет исключить промежуточный хладоноситель и снизить общие энергозатраты на процесс на 20 %.

Исследование теплотехнических свойств изоляционных конструкций позволило определить оптимальный коэффициент теплопередачи не более 0,50 ккал/м²ч °С.

Детальный анализ теплоизоляционных свойств различных конструкционных материалов, применяемых для термоизоляции резервуаров, а также стабильности этих свойств во время эксплуатации в условиях реального производства показывает, что наиболее приемлемой является теплоизоляция из пенополиуретана ППУ.

Наши дальнейшие исследования по созданию высокоэффективной, энергосберегающей отечественной установки для обработки виноматериалов с целью стабилизации будут направлены на разработку изотермического аппарата – кристаллизатора, изоляционная конструкция которого обеспечит суточное падение температуры обрабатываемого холодом виноматериала не более 0,1±0,2°С, а также оптимизацию гидродинамики проводимого процесса обработки охлажденного виноматериала, что позволит экономить до 60% электроэнергии на 1000 дал обрабатываемого виноматериала по сравнению с традиционной технологией обработки виноматериалов холодом.

Источник финансирования

Не указан.

Financing source

Not specified.

Конфликт интересов

Не заявлен.

Conflict of interests

Not declared.

Список литературы

1. Валуйко Г.Г., Зинченко В.И., Мехузла Н.А. Стабилизация виноградных вин. М: Агропромиздат. 1987:1-130.
2. Кишковский З.Н. Современные способы стабилизации вин // Материалы международного симпозиума по технологии виноделия 20–31 августа 1979 г. Кишинев: Штиинца. 1979:118-134.
3. Кишковский З.Н., Линецкая А.Е. Кристаллические помутнения вин и их предупреждение // Виноград и вино России. 2000;2:30-32.
4. Павленко Н.М. Итоги исследований в области химии вина и разработки методов контроля // Труды ВНИИВиВ «Магарач». 1978;XIX:127-135.
5. Валуйко Г.Г., Загоруйко В.А. Технологические правила виноделия. Симферополь: Таврида. 2006;1:1-488.
6. Виноградов В.А., Загоруйко В.А., Кулев С.В., Чаплыгина Н.Б. и др. Исследование технологического процесса комплексной стабилизации виноматериалов против коллоидных и кристаллических помутнений // Виноградарство и виноделие: Сб. науч. тр. НИИВиВ «Магарач». 2013;43:83-88.
7. Виноградов В.А., Чаплыгина Н.В., Кулев С.В. Практическое решение проблемы стабилизации виноматериалов холодом // Виноград. 2010;9:66-69.
8. Гержикова В.Г., Кулев С.В., Сильвестров А.В., Чаплыгина Н.Б., Михеева Л.А., Ермихина Н.В. Изменение значений физико-химических показателей при поточной обработке виноматериалов, склонных к коллоидным и кристаллическим помутнениям // Русский виноград. 2018;7:172-178.
9. Агеева Н.М. Научно-практические рекомендации по вопросам стабилизации вина // Краснодар. 1999:1-54.
10. Риберо-Гайон Ж., Пейно Э., Риберо-Гайон П., Сюдро П. Теория и практика виноделия. Под ред. Валуйко Г.Г. М.: Легкая и пищевая промышленность. 1981;4:1-415.
11. Dunsford P., Boulton R. The kinetics of potassium bitartrate crystallisation from table wines. Amer. j. Enol. Viticult. 1981;32:100-110.
12. Muller Th., Wurdig G. Dar minikontakt verfahrenun eineinfacher zur Prufung auf Weinsteinstabilitat. Die Weinwirtschaft. 1978;31(3):858-864.
13. Усселио-Томассет Л. Помутнения физико-химического характера. Их предупреждение и устранение // Материалы международного симпозиума по технологии виноделия 20 – 25 августа 1979 г. Кишинев: Штиинца. 1979:147-162.
14. Агеева Н.М., Таланян О.Р., Монастырский В.Ф. О стабилизации вин к кристаллическим помутнениям // Известия вузов. Пищевая технология. 1982;1:114-116.
15. Rodriguez-Clemente I., Correa-Gorospe A. Structural, morphological and kinetic aspects of the deposition of acidic potassium tartrate in wines and ethanol solutions. American journal of Enol. and Vitic. 1988;39:2:169-179.
16. Червяк С.Н., Гниломедова Н.В., Весютова А.В. Препараты для ингибирования кристаллообразования в вине // «Магарач». Виноградарство и виноделие. 2020;22(2):168-175. DOI 10.35547/IM.2020.84.89.016.
17. Пономарева И.Н., Солдатенко Е.В., Таран М.Н. Совершенство технологических приемов стабилизации белых игристых вин против кристаллических и коллоидных помутнений // Виноделие и виноградарство. 2015;6:18-20.
18. Хурцилава Е.Е., Ильюшина М.Ю. Карбоксиметилцеллю-

- лоза для кристаллической стабилизации вин // Пиво и напитки. 2010;3:32-34.
19. Таран Н.Г., Зинченко В.И. Современные технологии стабилизации вин. Кишинев. 2006;1-240.
 20. Гниломедова Н.В., Червяк С.Н., Весютова А.В. Физические способы стабилизации вин против кристаллических помутнений // «Магарач». Виноградарство и виноделие. 2020;22(3):277-282. DOI 10.35547/IM.2020.22.3.018.
 21. Исламов М.Н. Использование процесса электродиализа в винодельческом производстве // Виноделие и виноградарство. 2007;5:26-27.
 22. Исламов М.Н. Влияние электродиализа на стабильность полусладких вин // Науч. труды КубГТУ. 2015;8:84-87.
 23. Кашкара К.Э., Кашкара Г.Г. Гугучкина Т.И. Стабилизация вина к кристаллическим помутнениям с помощью электродиализа // Плодоводство и виноградарство Юга России 2018;50(2):123-135. DOI 10.30679/2219-5335-2018-2-50-123-135.
 24. Refrigeratore cons cambiatore tuboin tubo. Prospect of Vilo firm. Italy. 2009;1-2.
 25. Enorefrigeratori. Prospect of the Della Toffola S.P.A. Italy. 2013;1-6.
 26. Cooling systems. Prospect of the firm Spadoni. Italy. 2016;1-8.
 27. Equipment for the vinery. Prospect of the firm PIM. Bulgaria. 2012;1-28.
 28. Refrigeratori. TMCI Padovan Spa. Italy. 2010;1-4.
 29. Kolher N., Miltenberger R., Kristalbildung un Wein. Bayer Landwirt. 1981;3:55-69.
 30. Справочник по виноделию. Под ред. Валуйко Г.Г. Симферополь: Таврида. 2005:1-587.
 31. Ильин Е.В., Малыгина Е.В. Холодильные машины и установки. М.: Государственное издательство торговой литературы. 1960:1-400.
 32. Комаров Н.С. Справочник холодильщика. М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы. 1962:1-419.
 33. Стабников В.Н., Баранцев В.И. Процессы и аппараты пищевых производств. Москва. Легкая и пищевая промышленность. 1983:1-328.
 34. Изоллат. Рекламный листок ООО «Специальные технологии». Сравнительный анализ технико-экономической эффективности при использовании пенополиуретана, минеральной ваты, пенопласта и изоллата. Екатеринбург: ООО «Специальные технологии». 2007;1.
 35. Изолон. Рекламный лист. Ижевск: АО «Ижевский завод пластмасс». 2007;1-3.
 36. Справочник по теплообменникам в двух томах. Перевод с английского под ред. Мартыненко О.Г. и др. М.: Энергоатомиздат. 1987;2:1-352.
- 2000;2:30-32 (in Russian).
4. Pavlenko N.M. Results of research in the field of wine chemistry and development of control methods. Proceedings of VNIIViV Magarach. 1978;XIX:127-135 (in Russian).
 5. Valuiko G.G., Zagorouiko V.A. Technological rules of winemaking. Simferopol: Tavrida. 2006;I:1-488 (in Russian).
 6. Vinogradov V.A., Zagorouiko V.A., Kuliov S.V., Chaplyghina N.B. et al. Study of the technological process of complex wine material stabilization against colloidal and crystal clouds. Viticulture and Winemaking. Collection of Scientific Works. 2013;43:83-88 (in Russian).
 7. Vinogradov V.A., Chaplygina N.V., Kulev S.V. A practical solution to the problem of stabilization of wine materials by cold. Grapes. 2010;9:66-69 (in Russian).
 8. Gerzhikova V.G., Kulev S.V., Silvestrov A.V., Chaplygina N.B., Mikheeva L.A., Ermikhina N.V. Changes in the values of physical and chemical parameters during in-line processing of wine materials prone to colloidal and crystalline turbidity. Russian Grapes. 2018;7:172-178 (in Russian).
 9. Ageeva N.M. Scientific and practical recommendations on the stabilization of wine. Krasnodar. 1999:1-54 (in Russian).
 10. Ribero-Gayon J., Peino E., Ribero-Gayon P., Sudro P. Theory and practice of winemaking. Edited by Valuiko G.G. M.: Legkaya i pischevaya promyshlennost'. 1981;4:1-415 (in Russian).
 11. Dunsford P., Boulton R. The kinetics of potassium bitartrate crystallisation from table wines. Amer. j. Enol. Viticult. 1981;32:100-110.
 12. Muller Th., Wurdig G. Dar minikontakt verfahrenun eineinfa cher zur Prufuung auf Weinsteinstabilital. Die Weinwirtsahaf. 1978;31(3):858-864.
 13. Usselio-Thomasset L. Opacities of a physical and chemical nature. Their prevention and elimination. Proceedings of the international symposium on winemaking technology August, 20 - 25, 1979. Chisinau: Shtiintsa. 1979:147-162 (in Russian).
 14. Ageeva N.M., Talanyan O.R., Monastyrsky V.F. On the stabilization of wines to crystalline haze. University digest. Food technology. 1982;1:114-116 (in Russian).
 15. Rodriguez-Clemente I., Correa-Gorospe A. Structural, morphological and kinetic aspects of the deposition of acidic potassium tartrate in wines and ethanol solutions. American journal of Enol. and Vitic. 1988;39:2:169-179.
 16. Cherviakov S.N., Gnilomedova N.V., Vesjutova A.V. Preparations for inhibiting crystal formation in wine. Magarach. Viticulture and Winemaking. 2020;22(2):168-173. DOI 10.35547/IM.2020.22.2.016 (in Russian).
 17. Ponomareva I.N., Soldatenko E.V., Taran M.N. The perfection of technological methods for stabilizing white sparkling wines against crystalline and colloidal turbidity. Winemaking and Viticulture. 2015;6:18-20 (in Russian).
 18. Khurtsilava E.E., Ilyushina M.Yu. Carboxymethylcellulose for crystalline stabilization of wines. Beer and drinks. 2010;3:32-34 (in Russian).
 19. Taran N.G., Zinchenko V.I. Modern technologies of wine stabilization. Kishinev. 2006;1-240 (in Russian).
 20. Gnilomedova N.V., Cherviakov S.N., Vesjutova A.V. Physical methods for wine stabilization against crystalline haze. Magarach. Viticulture and Winemaking. 2020;22(3):277-282. DOI 10.35547/IM.2020.22.3.018 (in Russian).
 21. Islamov M.N. The use of electrodiagnosis process in wine

References

1. Valuiko G.G., Zinchenko V.I., Mekhuzla N.A. Stabilization of grape wines. M: Agropromizdat. 1987:1-130 (in Russian).
2. Kishkovskiy Z.N. Modern methods of wine stabilization. Proceedings of the international symposium on winemaking technology August 20-31, 1979. Chisinau: Shtiintsa. 1979:118-134 (in Russian).
3. Kishkovsky Z.N., Linetskaya A.E. Crystalline turbidity of wines and their prevention. Grapes and wine of Russia.

- industry. Winemaking and Viticulture. 2007;5:26-27 (in Russian).
22. Islamov M.N. Impact of electro dialysis on stability of semi-sweet wines. Scientific Works KubGTU. 2015;8:84-87 (in Russian).
23. Kashkara K.E., Kashkara G.G., Guguchkina T.I. Stabilization of wine to crystalline dimness by electric dialysis. Horticulture and Viticulture of South Russia. 2018;50(2):123-135. DOI 10.30679/2219-5335-2018-2-50-123-135 (in Russian).
24. Refrigeratore cons cambiatore tuboin tubo. Prospect of Vilo firm. Italy. 2009;1-2.
25. Enorefrigeratori. Prospect of the Della Toffola S.P.A. Italy. 2013;1-6.
26. Cooling systems. Prospect of the firm Spadoni. Italy. 2016;1-8.
27. Equipment for the vinery. Prospect of the firm PIM. Bulgaria. 2012;1-28.
28. Refrigeratori. TMCI Padovan Spa. Italy. 2010;1-4.
29. Kolher N., Miltenberger R., Kristalbildung un Wein. Bayer Landwirt. 1981;3:55-69.
30. Handbook of winemaking. Edited by Valuiko G.G. Simferopol: Tavrida. 2005:1-587 (in Russian).
31. Ilyin E.V., Malygina E.V. Refrigerating machines and installations. M.: State publishing house of trade literature. 1960:1-400 (in Russian).
32. Komarov N.S. Refrigerationist's Handbook. M.: State Scientific and Technical Publishing House of Machine-Building Literature. 1962:1-419 (in Russian).
33. Stabnikov V.N., Barantsev V.I. Processes and devices of food production. M.: Legkaya I pischevaya promyshlennost'. 1983:1-328 (in Russian).
34. Isollat. Advertising leaflet of Special Technologies LLC. Comparative analysis of technical and economic efficiency when using polyurethane foam, mineral wool, foam plastic and isollate. Yekaterinburg: Special Technologies LLC. 2007;1 (in Russian).
35. Isolon. Advertising leaflet. Izhevsk: JSC Izhevsk Plastics Plant. 2007;1-3 (in Russian).
36. Handbook of heat exchangers in two volumes. Translation from English edited by Martynenko O.G. et al. M.: Energoatomizdat. 1987;2:1-352 (in Russian).

Информация об авторах

Антон Владимирович Сильвестров, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., заведующий лабораторией технологического оборудования и механизации сельского хозяйства; e-мейл: asilvestr12@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7360-5794>;

Виктор Афанасьевич Загоруйко, д-р техн. наук, член-корр. НААН, гл. науч. сотр., заведующий лабораторией коньяка; e-мейл: vikzag51@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1350-7551>;

Наталья Борисовна Чаплыгина, науч. сотр. лаборатории технологического оборудования и механизации сельского хозяйства; e-мейл: 79788411864@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4416-4843>;

Людмила Алексеевна Мишунова, мл. науч. сотр. лаборатории технологического оборудования и механизации сельского хозяйства; e-мейл: mil_25@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6804-8842>;

Константин Федорович Феодосиди, гл. инженер-винодел.

Information about authors

Anton V. Silvestrov, Cand. Techn. Sci., Senior Staff Scientist, Head of the Laboratory of Process Equipment and Mechanization of Agriculture; e-mail: asilvestr12@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7360-5794>;

Viktor A. Zagorouiko, Dr. Techn. Sci., Corresponding Member of the National Academy of Agrarian Sciences (NAAS), Chief Staff Scientist, Head of the Laboratory of Cognac and Brandy; e-mail: vikzag51@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1350-7551>;

Nataliya B. Chaplygina, Staff Scientist, Laboratory of Process Equipment and Mechanization of Agriculture; e-mail: aurum.22@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4416-4843>;

Lyudmila A. Mishunova, Junior Staff Scientist, Laboratory of Process Equipment and Mechanization of Agriculture; e-mail: mil_25@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6804-8842>;

Konstantin F. Feodosidi, Chief Engineer Winemaker.

Статья поступила в редакцию 22.08.2022, одобрена после рецензии 26.08.2022, принята к публикации 30.08.2022.