

<https://doi.org/10.47370/2072-0920-2021-17-4-53-61>

УДК 664.1.038.4

© 2021

Поступила 08.08.2021

Received 08.08.2021



Принята в печать 14.09.2021

Accepted 14.09.2021

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interests

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ СУЛЬФИТАТОРОВ ЖИДКОСТНО-СТРУЙНОГО ТИПА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУЛЬФИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ЖИДКОСТЕЙ САХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Владимир О. Городецкий, Семен О. Семенихин*,
Наталья И. Котляревская, Мирсабир М. Усманов**

*Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки
сельскохозяйственной продукции – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский
федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»;
ул. Тополиная аллея, д.2, г. Краснодар, 350072, Российская Федерация*

Аннотация. В статье рассмотрена и проанализирована конструкция жидкостно-струйных сульфитаторов, применяемых в свеклосахарной отрасли. Отмечена важность сульфитационной обработки в технологии переработки сахарной свеклы и тростникового сахара-сырца, и приведены основные преимущества ее использования на различных технологических стадиях, а именно, подготовки экстрагента, применяемого для диффузионного извлечения сахара из свекловичной стружки, обработки фильтрованного сока II сатурации, обработки сиропа с клеровками желтых сахаров II и III продуктов, а также обработки клеровок сахара-сырца. Отмечено, что основными преимуществами жидкостно-струйных сульфитаторов является создаваемая эжекция, засасывающая сульфитационный газ в камеру контактирования, а также то, что абсорбция сернистого ангидрида идет на большей поверхности, чем в других типах конструкций, а основными недостатками – малая длина камеры контактирования, недостаточная для обеспечения полной абсорбции сернистого ангидрида, а также нестабильность создаваемой эжекции при изменении производительности. Это обуславливает приведенные в статье критерии для совершенствования жидкостно-струйных сульфитаторов. Приведено описание разработанной конструкции центробежно-струйной форсунки сульфитатора жидкостей сахарного производства, обеспечивающей стабильность поступления сульфитационного газа в широком диапазоне производительности завода; стабильность гидроаэродинамического режима системы «обрабатываемая жидкость – сульфитационный газ» внутри сульфитатора; достаточное время контактирования для полного растворения сернистого ангидрида, содержащегося в сульфитационном газе, в обрабатываемой жидкости. Отмечены преимущества разработанных центробежно-струйных сульфитаторов по сравнению с типовыми жидкостно-струйными сульфитаторами: обеспечение диапазона работы 50–120% от номинальной мощности

(производственной мощности завода); значительное сокращение расхода технической серы для получения сернистого ангидрида, применяемого в качестве реагента для сульфитационной обработки жидкостей свеклосахарного производства; сокращение вредных выбросов в атмосферу за счет 100-процентного растворения сернистого ангидрида в обрабатываемой жидкости.

Ключевые слова: сахарное производство, сульфитатор, конструкция, сульфитационный газ, сернистый ангидрид, значение pH, эжекция, абсорбция

Для цитирования: *Совершенствование конструкции сульфитаторов жидкостно-струйного типа для повышения эффективности сульфитационной обработки жидкостей сахарного производства [Городецкий В.О. и др.] // Новые технологии. 2021. Т. 17, № 4. С. 53-61. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2021-17-4-53-61>.*

IMPROVEMENT OF THE LIQUID-JET SULFITATORS CONSTRUCTION TO INCREASE THE EFFICIENCY OF SULFITATION TREATMENT OF SUGAR PRODUCTION LIQUIDS

Vladimir O. Gorodetsky, Semen O. Semenikhin*,
Natalia I. Kotlyarevskaya, Mirsabir M. Usmanov

Krasnodar Research Institute for Storage and Processing of Agricultural Products – a branch of the FSBSI «The North Caucasian Federal Research Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking»; 2 Topolinaya Alley, Krasnodar, 350072, the Russian Federation

Abstract. The article discusses and analyzes the construction of liquid-jet sulficators used in the beet sugar industry. The importance of sulfitation treatment in the sugar beet processing and raw cane sugar technology is noted and the main advantages of its use at various technological stages are given, namely, preparation of extractant used for diffusion sucrose extraction out of beet cosettes, thin juice processing, thick juice with B- and C-remelts processing, as well as raw cane sugar remelt processing. The advantages and disadvantages of liquid-jet sulficators in comparison with other constructions are noted and criteria for their improvement are given. It has been noted that the created ejection, which sucks in the sulphitation gas into the contacting chamber, and the fact that the absorption of sulfur dioxide occurs on a larger surface than in other types of structures the main advantages of liquid-jet sulphitators. The main disadvantages are the short length of the contacting chamber, which is insufficient for ensuring complete absorption of sulfur dioxide, as well as instability of the generated ejection when the productivity changes. This determines the criteria given in the article for the improvement of liquid-jet sulficators. The description of the developed construction of the sulphitator centrifugal-jet nozzle of sugar production liquids is given, which provides: the stability of the sulphitation gas supply in a wide range of plant productivity; stability of the hydroaerodynamic regime of the system «treated liquid – sulphitation gas» inside the sulphitator; sufficient contact time for complete dissolution in the treated liquid of the sulfur anhydride contained in the sulphitation gas. The advantages of the developed centrifugal-jet sulficators in comparison with typical liquid-jet sulficators are noted: ensuring the operation range of 50-120% of the nominal capacity (plant production capacity); significant reduction in the technical sulfur consumption for the sulphur anhydride production, which is used as a reagent for the sulfitation treatment of liquids in beet sugar processing; reduction of harmful emissions into the atmosphere due to 100 % sulfur anhydride dissolution in the treated liquid.

Keywords: sugar production, sulficator, construction, sulfitation gas, sulfurous anhydride, pH level, ejection, absorption

For citation: Improvement of the liquid-jet sulfators construction to increase the efficiency of sulfitation treatment of sugar production liquids / Gorodetsky V.O. [et al.] // New technologies. 2021. Vol. 17, No. 4. P. 53-61. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2021-17-4-53-61>.

В настоящее время учеными и специалистами уделяется недостаточное внимание процессу сульфитационной обработки жидкостей сахарного производства, а именно, экстрагента, применяемого для диффузионного извлечения сахарозы из свекловичной стружки, фильтрованного сока II сатурации, сиропа с клеровками желтых сахаров II и III продуктов, а также клеровок сахара-сырца. Указанный процесс предусматривает обработку жидкостей с применением сернистого ангидрида, получаемого при сжигании технической серы в качестве компонента сульфитационного газа [1]. Сульфитационная обработка реализуется в специальных аппаратах – сульфитаторах различных типов конструкций [2].

Известно, что для достижения более высокого эффекта сульфитационной обработки жидкостей сахарного производства, а именно, экстрагента, применяемого для диффузионного извлечения сахарозы из свекловичной стружки, фильтрованного сока II сатурации, сиропа с клеровками желтых сахаров II и III продуктов, а также клеровок сахара-сырца необходимо обеспечить оптимальные условия ее осуществления [3; 4]. Это позволит достичь следующих положительных результатов:

- оптимальной щелочности полупродуктов станции известково-углекислотной очистки при переработке сахарной свеклы, обладающей изначально повышенной на 10–20% натуральной щелочностью;

- возможности снижения, в случае необходимости, рН полупродуктов станции известково-углекислотной очистки на 0,5–0,8 ед. при нарушении технологических режимов;

- значительного снижения цветности полупродуктов, а это, в свою очередь, позволяет получать готовый продукт

- белый сахар более высокой категории качества;

- сокращения неучтенных потерь сахарозы на стадиях ее диффузионного извлечения, выпаривании очищенного сока и сгущении сиропа, что обеспечивает повышение выхода белого сахара.

Учитывая это, важной задачей является проведение сульфитации жидкостей сахарного производства в оптимальных условиях, особенно при переработке сахарной свеклы и тростникового сахара-сырца ухудшенного качества [5–7].

Предопределяющим фактором эффективного проведения сульфитационной обработки, наряду с автоматизацией, являются особенности конструкции сульфитаторов, от которых, в первую очередь, зависит эффективность абсорбции реагента, применяемого для сульфитации – сернистого ангидрида, что обеспечивает требуемое стабильное значение рН обрабатываемой жидкости.

Ранее в работе было установлено, что из существующих сульфитаторов наиболее эффективными, с точки зрения достижения высокого эффекта сульфитационной обработки жидкостей сахарного производства, являются жидкостно-струйные сульфитаторы [2].

Эскиз жидкостно-струйного сульфитатора представлен на рисунке 1. К такой конструкции принадлежат сульфитаторы марок А2-ПСК и А2-ПСМ различной производительности.

В сульфитаторе жидкостно-струйной конструкции обрабатываемая жидкость поступает под давлением в форсунку сульфитатора 1 через диск с несколькими отверстиями 2, диаметр которых соответствует заданной производительности, куда также поступает сульфитационный газ через патрубок 3. Форсунка 1 сопряжена с камерой контактирования 4, длина которой составляет 1 м, тангенциально

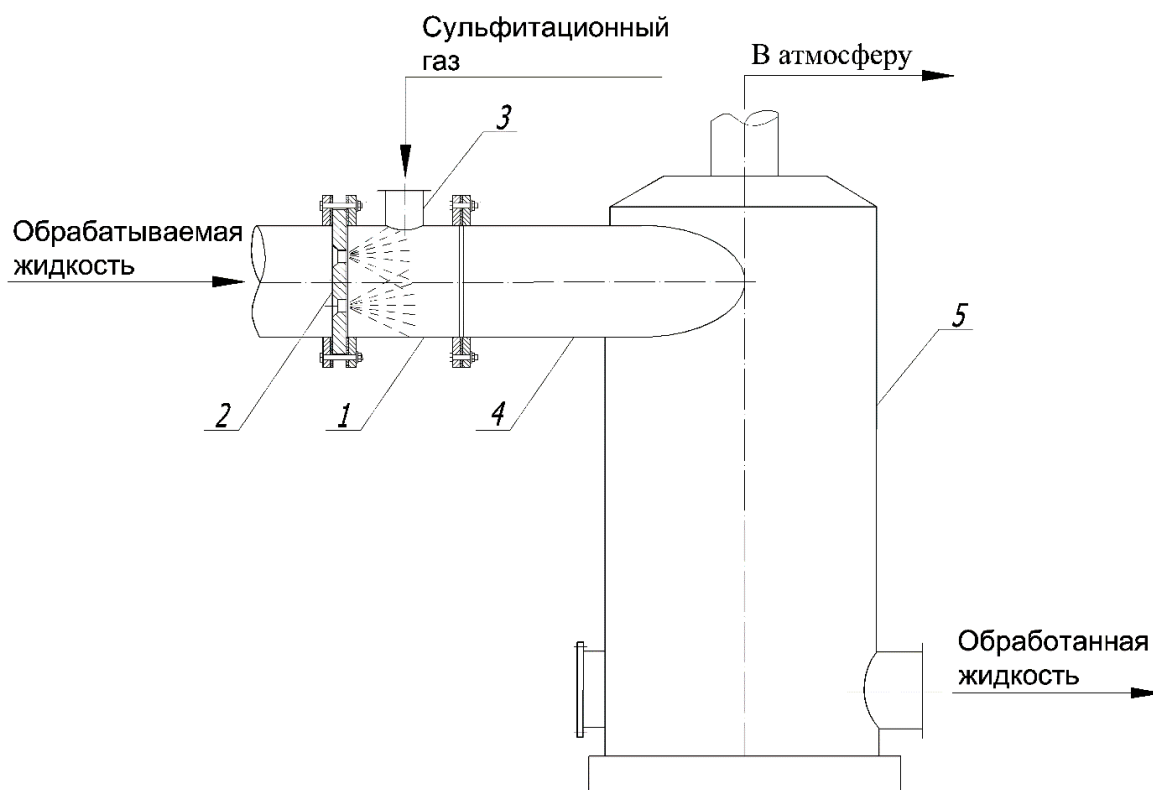


Рис. 1. Эскиз сульфитатора жидкостно-струйной конструкции:
1 – форсунка сульфитатора; 2 – диск с отверстиями; 3 – патрубок подвода сульфитационного газа;
4 – камера контактирования; 5 – дегазатор

Fig. 1. Liquid jet sulphitator sketch:
1 – sulfitator nozzle; 2 – a disk with holes; 3 – sulphitation gas supply pipe;
4 – contacting chamber; 5 – degasser

подведенной в верхнюю часть дегазатора 5. Через отверстия происходит распыление жидкости, ее смешивание с сульфитационным газом, в результате которого происходит растворение сернистого ангидрида, содержащегося в сульфитационном газе, в камере контактирования, откуда тангенциально газожидкостная смесь поступает в дегазатор для удаления неконденсирующихся компонентов сульфитационного газа и затем обработанная жидкость поступает на дальнейшую переработку.

Отличительным преимуществом данной конструкции сульфитатора является то, что в результате разности скоростей сред создается эжекция, засасывающая сульфитационный газ в камеру контактирования, тем самым

исключается необходимость в принудительном его нагнетании. Кроме этого, в результате распыления потока жидкости в капли абсорбция сернистого ангидрида, содержащегося в сульфитационном газе, идет на большей поверхности, чем в сульфитаторах барботерного и оросительного типов [2].

Однако несмотря на указанные преимущества, сульфитаторы жидкостно-струйной конструкции также имеют недостатки.

Так, типовые сульфитаторы имеют длину камеры контактирования 1 м, что, как показала практика, недостаточно для обеспечения полной абсорбции сернистого ангидрида, содержащегося в сульфитационном газе, в обрабатываемой жидкости, а это, в свою очередь, приводит

к выбросу нерастворенного сернистого ангидрида в атмосферу через оттяжную коммуникацию дегазатора. Кроме этого, в результате нестабильной подачи жидкости, вызванной нарушением технологического режима, степень создаваемой эжекции может быть недостаточной, что приводит к выбросу сульфитационного газа из серосжигательной печи в производственные помещения.

Учитывая вышеизложенное, совершенствование конструкции жидкостно-струйного сульфитатора с целью нивелирования недостатков типовых сульфитаторов, эксплуатируемых до настоящего времени на сахарных заводах Российской Федерации, является актуальной задачей.

Таким образом, конструктивные особенности разрабатываемого высокоэффективного сульфитатора

усовершенствованной конструкции должны обеспечивать:

- стабильность поступления сульфитационного газа в широком диапазоне производительности завода;

- стабильность гидроаэродинамического режима системы «обрабатываемая жидкость – сульфитационный газ» внутри сульфитатора;

- достаточное время контактирования для полного растворения сернистого ангидрида, содержащегося в сульфитационном газе, в обрабатываемой жидкости.

Нами разработана и прошла производственные испытания высокоэффективная центробежно-струйная форсунка сульфитатора жидкостей сахарного производства, эскиз которой представлен на рисунке 2.

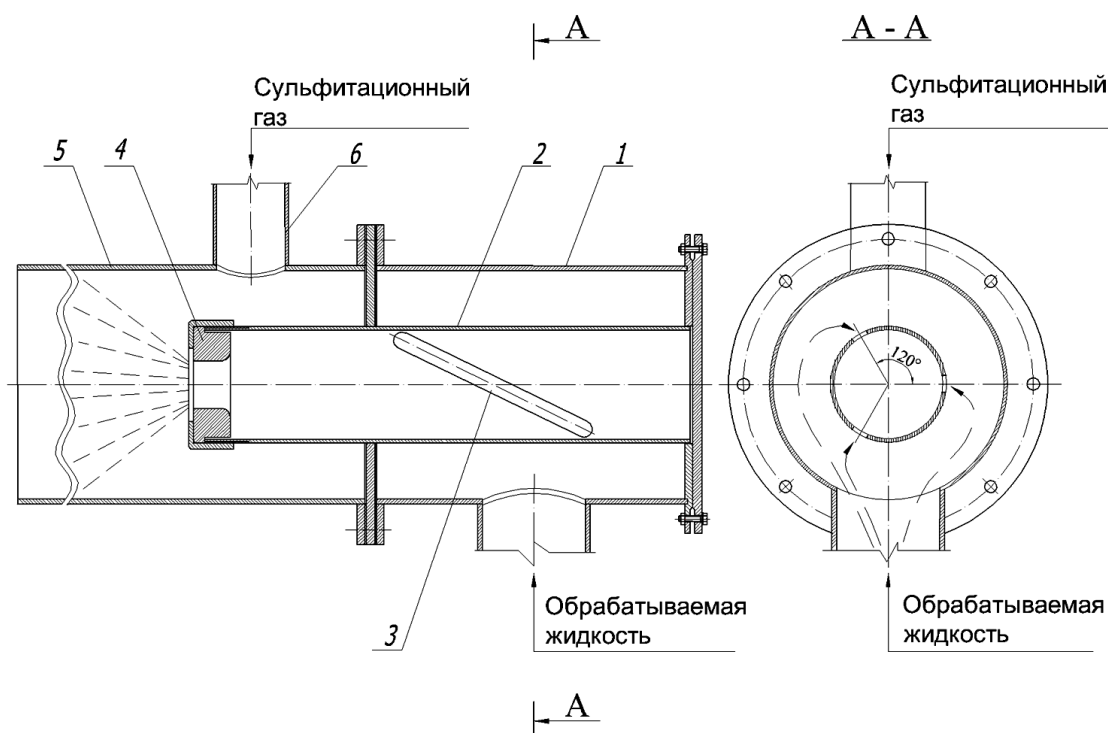


Рис. 2. Эскиз высокоэффективной центробежно-струйной форсунки сульфитатора жидкостей сахарного производства:

1 – кожух камеры закручивания; 2 – камера закручивания; 3 – три овальных отверстия; 4 – сопло; 5 – камера контактирования; 6 – патрубок подвода сульфитационного газа

Fig. 2. Sketch of a highly efficient centrifugal jet sulphitator nozzle for sugar production liquids:

1 – casing of the twisting chamber; 2 – twisting chamber; 3 – three oval holes; 4 – nozzle; 5 – contacting chamber; 6 – sulphitation gas inlet pipe

В разработанной центробежно-струйной форсунке сульфитатора обрабатываемая жидкость подается во внутреннюю часть кожуха камеры закручивания 1, откуда через три наклонных овальных отверстия 3 она поступает в камеру закручивания 2, на конце которой установлено сопло 4, через которое происходит распыление жидкости под определенным углом в камеру контактирования 5, имеющую длину 3 м, в которую поступает сульфитационный газ через патрубок 6.

Отличительной особенностью центробежно-струйной конструкции форсунки от жидкостно-струйной является наличие трех овальных отверстий, расположенных через 120° и имеющих продольное смещение осей относительно оси камеры закручивания [8]. Проходя через указанные отверстия, обрабатываемая жидкость подвергается воздействию центробежной силы, позволяющей увеличить путь прохождения жидкости в камере контактирования.

Наличие буферной зоны перед распылением позволяет поддерживать необходимое избыточное давление жидкости перед ее распылением, что обеспечивает стабильность поступления сульфитационного газа в широком диапазоне производительности завода.

Вынос сопла дальше патрубка ввода сульфитационного газа, наряду с применением сопла с единственным отверстием, позволяет обеспечить стабильность гидроаэродинамического режима системы «обрабатываемая жидкость – сульфитационный газ» внутри сульфитатора, так как исключается попадание факела распыла в патрубок ввода газа, а также перекрытие несколькими факелами распыла друг друга.

Наклонные овальные отверстия обеспечивают центробежное закручивание факела распыла жидкости в удлиненной до трех метров камере контактирования, увеличивая путь прохождения обрабатываемой жидкости и обеспечивая

достаточное время контактирования для полного (100-процентного) растворения сернистого ангидрида, содержащегося в сульфитационном газе.

Нами разработана также оригинальная методика расчета основных технических характеристик высокоэффективной центробежно-струйной форсунки, геометрические параметры которой определяются в долях в зависимости от диаметра сопла, т.е. диаметр сопла является определяющим параметром.

Однако анализ эксплуатации разработанной центробежно-струйной форсунки в производственных условиях позволил сделать обоснованный вывод о необходимости модернизации конструкции центробежно-струйной форсунки, в частности ее элемента – камеры закручивания, и запатентовать внесенные изменения [9].

Эскиз высокоэффективной усовершенствованной центробежно-струйной форсунки сульфитатора жидкостей сахарного производства представлен на рисунке 3.

Конструктивное отличие доработанной центробежно-струйной форсунки заключается в том, что последний вариант камеры закручивания имеет вместо трех овальных отверстий четыре, расположенных через 90° , и предусмотрен шток с поршнем, оборудованные ручным управлением. Эти доработки обеспечивают более равномерное распыление обрабатываемой жидкости, а также позволяют осуществить более точную настройку режима работы за счет частичного перекрытия площади сечения овальных отверстий, тем самым регулируя давление перед соплом.

Следует отметить, что оба варианта разработанных центробежно-струйных форсунок обеспечивают достаточно надежную работу сульфитационной установки в целом.

В результате промышленной эксплуатации выявлены преимущества разработанных центробежно-струйных

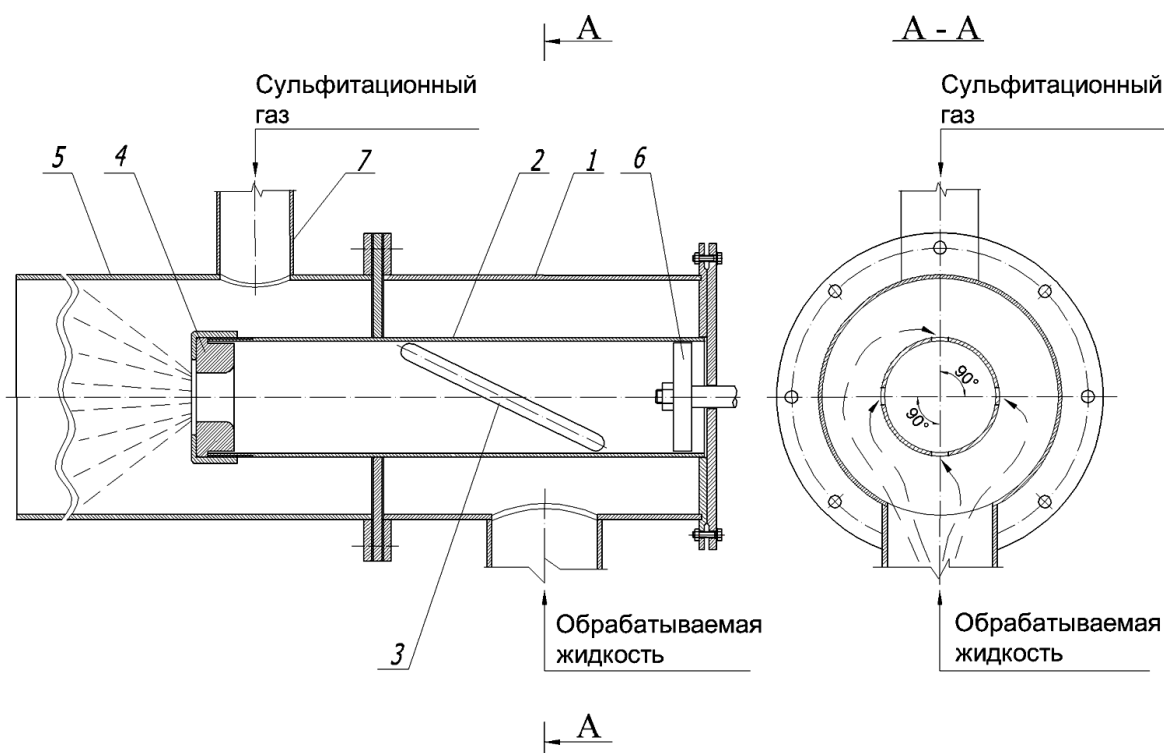


Рис. 3. Эскиз высокоэффективной усовершенствованной форсунки для сульфитации жидкостей сахарного производства:

- 1 – кожух камеры закручивания; 2 – камера закручивания; 3 – четыре овальных отверстия;
 4 – сопло; 5 – камера контактирования; 6 – шток с поршнем;
 7 – патрубок подвода сульфитационного газа

Fig. 3. Sketch of a highly efficient advanced nozzle for the sulphitation of sugar liquids:

- 1 – casing of the twisting chamber; 2 – twisting chamber; 3 – four oval holes;
 4 – nozzle; 5 – contacting chamber; 6 – rod with piston;
 7 – sulphitation gas inlet pipe

сульфитаторов по сравнению с типовыми жидкостно-струйными сульфитаторами:

- обеспечение диапазона работы 50–120 % от номинальной мощности (производственной мощности завода);
- значительное сокращение расхода технической серы для получения сульфитационного газа, содержащего

сернистый ангидрид, применяемого в качестве реагента для сульфитационной обработки жидкостей свеклосахарного производства;

- сокращение вредных выбросов в атмосферу за счет 100-процентного растворения сернистого ангидрида в обрабатываемой жидкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бугаенко И.Ф. Общая технология отрасли: Научные основы технологии сахара: учебник для студентов ВУЗов / И.Ф. Бугаенко, В.И. Тужилкин. Ч. I. СПб.: ГИОРД, 2007. 512 с.
2. Городецкий В.О., Семенихин С.О., Люсый И.Н. Даишева Н.М., Котляревская Н.И., Усманов М.М. Сравнительный анализ основных конструктивных характеристик сульфитационных установок, эксплуатируемых на отечественных свеклоперерабатывающих предприятиях // Научный журнал КубГАУ. 2018. № 136 (02). С. 15–21.
3. Hugot E. Sulphitation / E. Hugot // Editor: E. Hugot. Handbook of cane sugar engineering. Elsevier, 2014. Chapter 25. P. 274–281.

4. Asadi Mosen. Beet-Sugar Handbook / Mosen Asadi // John Wiley & Sons, Inc, 2007. 664 p.
5. Молодницкая Е.Н., Мищук Р.Ц., Штангеев В.О. Эффективность сульфитации полупродуктов сахарного производства // Сахар. 2010. № 11. С. 44–46.
6. Marchés J. Clarification of cane juices by means of the sulphitation process / J. Marchés // Editor: Pieter Honig. Principles of Sugar Technology. Elsevier, 2013. Chapter 15. P. 582–654.
7. Молотилин Ю.И., Городецкий В.О. Сульфитационная обработка соков, сиропов и экстрагента свеклосахарного производства // Сахар. 2013. № 9. С. 38–40.
8. Установка для сульфитации жидкостей сахарного производства: пат. 124680 Рос. Федерация: МПК C13K 13/00 / Ю.И. Молотилин, В.О. Городецкий; заявитель и патентообладатель ГНУ КНИИХП Россельхозакадемии. Заявл. 12.10.2011; опубл. 10.02.2013. 3 с.: илл.
9. Установка для сульфитации жидкостей сахарного производства: пат. 171666 Рос. Федерация: МПК C13B 20/10 / В.О. Городецкий, С.О. Семенихин, Н.И. Котляревская; заявитель и патентообладатель ГНУ КНИИХП Россельхозакадемии. Заявл. 13.02.2017; опубл. 08.06.2017. 5 с.: илл.

REFERENCES:

1. Bugaenko I.F., Tuzhilkin V.I. General technology of the industry: Scientific foundations of sugar technology: a textbook for university students. Part I. SPb.: GIOR, 2007. 512 p.
2. Comparative analysis of the main constructive characteristics of sulphitation apparatus operated at Russian sugar beet factories / Gorodetsky V.O. [et al.] // Scientific journal of KubSAU. 2018. No. 136 (02). P. 15–21.
3. Hugot E. Sulphitation / E. Hugot // Editor: E. Hugot. Handbook of cane sugar engineering. Elsevier, 2014. Chapter 25. P. 274–281.
4. Asadi Mosen. Beet-Sugar Handbook / Mosen Asadi // John Wiley & Sons, Inc. 2007. 664 p.
5. Molodnitskaya E.N., Mishchuk R.Ts., Shtangeev V.O. The effectiveness of sulfitation of intermediate products of sugar production // Sugar. 2010. No. 11. P. 44–46.
6. Marchés J. Clarification of cane juices by means of the sulphitation process // J. Marchés // Editor: Pieter Honig. Principles of Sugar Technology. Elsevier, 2013. Chapter 15. P. 582–654.
7. Molotilin Yu.I., Gorodetsky V.O. Sulphitation processing of juices, syrups and extractant of sugar beet production // Sugar. 2013. No. 9. P. 38–40.
8. Apparatus for the sulfitation of liquids from sugar production: pat. 124680 Ross. Federation: IPC C13K 13/00 / Yu.I. Molotilin, V.O. Gorodetsky; applicant and patent holder GNU KNIHP Russian Agricultural Academy. Appl. 10/12/2011; publ. 02/10/2013. 3 p.: ill.
9. Apparatus for the sulfitation of liquids from sugar production: pat. 171666 Ros. Federation: IPC C13B 20/10 / V.O. Gorodetsky, S.O. Semenikhin, N.I. Kotlyarevskaya; applicant and patent holder GNU KNIHP Russian Agricultural Academy. Appl. 02/13/2017; publ. 08.06.2017. 5 p.: ill.

Информация об авторах / Information about the authors

Владимир Олегович Городецкий, старший научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов Краснодарского НИИ хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», кандидат технических наук
gorodecky_v_o@mail.ru

Vladimir O. Gorodetsky, a senior researcher of the Department of Technology of Sugar and Sugary Products of Krasnodar Scientific Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products – a branch of the FSBSI «The North-Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Wine-Making», Candidate of Technical Sciences
gorodecky_v_o@mail.ru

Семен Олегович Семенихин, заведующий отделом технологии сахара и сахаристых продуктов Краснодарского НИИ хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», кандидат технических наук

semenikhin_s_o@mail.ru

Наталья Ивановна Котляревская, научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов Краснодарского НИИ хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»

kotlyarevskaya_n_i@mail.ru

Мирсабир Миразалович Усманов, научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов Краснодарского НИИ хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»

usmanov_m_m@mail.ru

Semen O. Semenikhin, Head of the Department of Technology of Sugar and Sugary Products of Krasnodar Scientific Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products – a branch of the FSBSI «The North-Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Wine-Making», Candidate of Technical Sciences

semenikhin_s_o@mail.ru

Natalia I. Kotlyarevskaya, a researcher of the Department of Technology of Sugar and Sugary Products of Krasnodar Scientific Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products – a branch of the FSBSI «The North-Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Wine-Making»

kotlyarevskaya_n_i@mail.ru

Mirsabir M. Usmanov, a researcher of the Department of Technology of Sugar and Sugary Products of Krasnodar Scientific Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products – a branch of the FSBSI «The North-Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Wine-Making»

usmanov_m_m@mail.ru