

УДК 664.061.34  
ББК 31.76  
Р-17

*Кошевой Евгений Пантелеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой машин и аппаратов пищевых производств ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», 350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2, тел.: 8(861)2752279;*

*Косачев Вячеслав Степанович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», 350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2, тел.: 8(861) 2752279;*

*Схаляхов Анзаур Адамович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологий, машин и оборудования пищевых производств, декан технологического факультета ФГБОУ ВПО «Майкопский государственный технологический университет», 385000, Республика Адыгея, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191, тел.: 8(8772) 570412;*

*Чундышко Вячеслав Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационной безопасности и прикладной информатики ФГБОУ ВПО «Майкопский государственный технологический университет», 385000, Республика Адыгея, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191, тел.: 8(8772) 571133.*

### **РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ СО<sub>2</sub>-ЭКСТРАКЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПРЕССОРОВ И ДРОССЕЛИРОВАНИЯ**

(рецензирована)

*В работе проведена структурная и параметрическая оптимизация технологической схемы экстракции хмеля. В случае применения в качестве экстрагента жидкой двуокиси углерода в экстракционной установке реализуется термодинамический цикл, в котором последовательно меняются состояния двуокиси углерода, и происходит обмен энергией с внешними источниками.*

*Ключевые слова: двуокись углерода, дросселирование, экстракция, технологическая схема, компрессор.*

*Koshevoy Eugeny Panteleyevich, Doctor of Technical Sciences, professor, head of the Department of Machines and Equipment of Food production of FSBEI HPE «Kuban State Technological University», 350072, Krasnodar, 2 Moskovskaya Str., tel.: 8(861)2752279;*

*Kosachev Vyacheslav Stepanovich, Doctor of Technical Sciences, professor, professor of the Department of Machines and Equipment for Food Production of FSBEI HPE «Kuban State Technological University», 350072, Krasnodar, 2 Moskovskaya Str. tel.: 8(861)2752279;*

*Skhalyakhov Anzaur Adamovich, Doctor of Technical Sciences, associate professor, professor of the Department of Technologies, Machinery and Equipment for Food Production, dean of the Technological Faculty of FSBEI HPE «Maikop State Technological University», 385000, Republic of Adyghea, Maikop, 191 Pervomayskaya Str., tel.: 8(8772)570412;*

*Chundyshko Vyacheslav Yurievich, Candidate of Technical Sciences, assistant professor of the Department of Information Security and Applied Informatics of FSBEI HPE «Maikop State Technological University», 385000, The Republic of Adyghea, Maikop, 191 Pervomayskaya Str., tel.: 8(8772)571133.*

### **DEVELOPMENT OF ENERGY SAVING TECHNOLOGICAL SCHEMES OF CO<sub>2</sub> EXTRACTION USING COMPRESSORS AND THROTTLING**

(reviewed)

*In this article structural and parametric optimization of a technological scheme of hop extraction has been conducted. In case of using liquid carbon dioxide as the extractant in the extraction system a thermodynamic cycle is implemented in which conditions of carbon dioxide successively change and energy is exchanged with external sources.*

*Keywords: carbon dioxide, choking, extraction, technological scheme, compressor.*

Перерабатывающие отрасли агропромышленного комплекса являются крупными потребителями энергии различного вида. Перспективные технологии извлечения ценных компонентов из растительного сырья экстракцией сжиженными и сверхкритическими газами также не являются исключением. Машинно-аппаратурные комплексы включают тепло- и холодоиспользующее оборудование, а также оборудование для перемещения жидких и газообразных сред [1]. Анализ существующих схем экстракции растительного сырья с использованием сжатой и сжиженной двуокиси углерода показывает необходимость их энергетической оптимизации для повышения их конкурентной способности с экстракционными схемами с применением жидких органических растворителей.

Для проведения структурно-параметрической оптимизации разработан комплекс моделирующих программ (КМП) для персональной ЭВМ. Программы комплекса позволяют рассчитывать термодинамические и теплофизические свойства двуокиси углерода и её смесей со спиртом и водой в до- и сверхкритическом состоянии, проводить расчет затрат тепла, холода и электрической энергии по уравнениям энергетических балансов в основных процессах изменения состояния растворителя в цикле экстракции и визуализировать термодинамические циклы в TS-диаграмме. Алгоритмы расчета основываются на уравнениях состояния (УС) для чистых компонентов, модификациях УС для смесей, полуэмпирических соотношениях, сплайн-аппроксимации табличных данных и дифференциальных соотношениях термодинамики.

С использованием разработанного КМП проведена структурная и параметрическая оптимизация технологической схемы экстракции хмеля. В случае применения в качестве экстрагента жидкой двуокиси углерода в экстракционной установке реализуется термодинамический цикл, в котором последовательно меняются состояния двуокиси углерода, и происходит обмен энергией с внешними источниками. На рисунке 1 представлен цикл одноступенчатой жидкостной экстракционной установки.

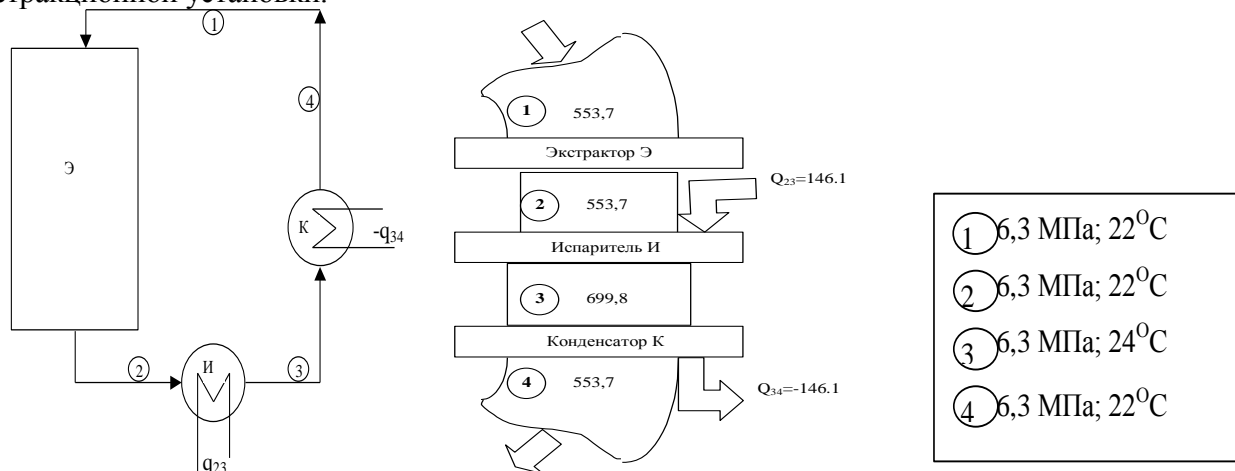


Рис. 1. Схема процесса экстракции жидкой CO<sub>2</sub> без применения насосов

Жидкая CO<sub>2</sub> в состоянии 1 из напорной емкости (на рисунке не показана) поступает в экстрактор Э при давлении и температуре экстракции (состояние 1). Жидкая CO<sub>2</sub> селективно насыщается экстрактом в экстракторе Э. Раствор CO<sub>2</sub> и экстракта (мисцелла) в состоянии 2 поступает в испаритель И. В испарителе мисцелла подогревается до температуры кипения и большая часть жидкой CO<sub>2</sub> испаряется вводом теплоты q<sub>23</sub>. Экстракт накапливается в нижней части корпуса испарителя. Насыщенные пары CO<sub>2</sub> в состоянии 3 полностью конденсируются и переохлаждаются, отдавая теплоту q<sub>34</sub>, в конденсаторе К. Жидкая CO<sub>2</sub> в состоянии 4 поступает в сборник и затем возвращается в экстрактор, завершая цикл процесса. Для нагрева испарителя и охлаждения конденсатора необходимо подвести значительное количество энергии (146.1 кДж/кг растворителя).

Рассмотрим возможности сокращения энергетических затрат на процесс. Поскольку тепло q<sub>34</sub> должно отводиться из конденсатора К, а испаритель И должен обогреваться, целесообразно использовать тепло паров, имеющих низкий потенциал. Это возможно включением в схему механического компрессора. На рисунке 2 представлен вариант схемы, включающей компрессию насыщенных паров двуокиси углерода, выходящих из испарителя, подачу перегретых паров в

трубное пространство испарителя и последующее дросселирование конденсата до рабочего давления экстракции.

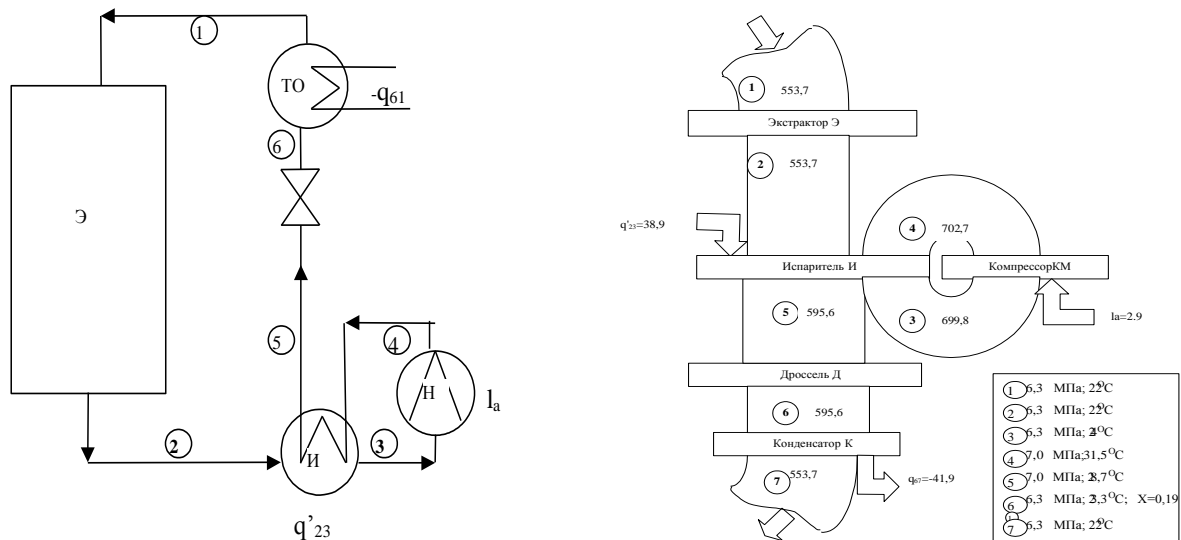


Рис. 2. Схема процесса с компрессией паров и дросселированием

В результате проведенной оценки режимных параметров существенно сократились затраты энергии:

1) при возросшем теплосодержании сжатых паров и перепадах температур между средами в испарителе полностью покрываются потребности в энергии на испарение мисцеллы, что исключает необходимость в подводе тепла с горячей водой ( $q_{23} = 0$ );

2) разница в температурах, паросодержании и теплосодержании конденсата после дросселирования и экстрагента в последнем варианте меньше, чем в предыдущем, что снижает отвод тепла в конденсаторе ( $q_{61}$ ) до 4,8 кДж/кг. Это упрощает реализацию процесса, и он может быть осуществлен во встроенном в сборник растворителя теплообменнике.

3) затраты энергии на сжатие ( $l_a = 4,7$  кДж/кг) являются сравнительно небольшими.

Применение компрессоров и дросселирования в схемах  $CO_2$ -экстракции защищено патентами [2, 3]. Необходимо продолжить работы в направлении оптимизации термодинамических циклов установок для экстракции сжиженными и сжатыми газами.

#### Литература:

1. Кошевой Е.П., Блягоз Х.Р. Экстракция двуокисью углерода в пищевой технологии. Майкоп, 2000. 495 с.
2. Кошевой Е.П., Боровский А.Б., Долгов А.Н. и др. Установка для  $CO_2$ -экстракции: патент на полезную модель №29931. БИ №16. 2003.
3. Кошевой Е.П., Боровский А.Б., Долгов А.Н. Установка для получения  $CO_2$ -экстрактов: патент на изобретение №2232800. БИ №20. 2004.

#### References:

1. Koshevoy E.P., Blyagoz H.R. Extraction with carbon dioxide in food technology. Maikop, 2000. 495 p.
2. Koshevoy E.P., Borovsky A.B., Dolgov A.N. and oth. Installation for  $CO_2$  extraction: utility model patent № 29931. BI №16. 2003.
3. Koshevoy E.P., Borovsky A.B., Dolgov A.N. An apparatus for obtaining  $CO_2$ -extracts: patent № 2232800. BI number 20, 2004.