УДК 66.012-52

С.Н. Кондрашов, С.А. ВласовПермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия**АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО
РЕЖИМА РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ
РАЗДЕЛЕНИЯ БЕНЗИНА НА ФРАКЦИИ**

По традиционному методу автоматическое регулирование теплового режима ректификационной колонны осуществляется путем изменения расхода топлива, подаваемого в подогреватель, циркулирующего нижнего продукта в зависимости от температуры отгонной части колонны. Недостатком этого способа является то, что он не обеспечивает стабилизацию парового потока в ректификационной колонне, так как на процесс парообразования влияет изменение давления и состава питания, что приводит к низкому качеству регулирования.

Предложен метод автоматического регулирования теплового режима ректификационной колонны, позволяющий решить эту проблему. Регулирование осуществляют путем стабилизации перепада давления кипящего циркулирующего продукта в трубчатом змеевике подогревателя с коррекцией по температуре отгонной части ректификационной колонны и скорости изменения отношения расходов питания и циркулирующего продукта. Данный метод позволит решить задачу стабилизации качества продуктов разделения ректификационной колонны при переменном расходе питания, а также повысить точность регулирования теплового режима колонны. Этот результат достигается тем, что расход топлива, подаваемого в подогреватель, регулируют в зависимости от перепада давления циркулирующего продукта в трубчатом змеевике подогревателя с дополнительной коррекцией по скорости изменения отношения расходов питания и циркулирующего продукта. При этом происходит уменьшение величины перерегулирования и времени переходного процесса при возмущении со стороны расхода питания.

Данный метод был применен на типовой промышленной установке АВТ. В сравнении с традиционным методом регулирования предложенный метод позволяет повысить точность регулирования температуры в отгонной части колонны, что приводит к уменьшению дисперсии показателей качества продуктов разделения. Таким образом, преимущество предлагаемого метода заключается в стабилизации качества продуктов разделения ректификаци-

онной колонны при переменном расходе питания. Другое преимущество заключается в уменьшении вероятности получения некондиционных продуктов, при этом появляется возможность изменения границы деления продуктов таким образом, чтобы уменьшить температуру отгонной части колонны, а следовательно, и расход энергоресурсов на нагрев циркулирующего продукта.

Ключевые слова: нефтепереработка, установка АВТ, процесс ректификации, колонна разделения бензина на фракции, тепловой режим, температура, питание колонны, расход топлива, автоматическое регулирование, дисперсия показателей качества.

S.N. Kondrashov, S.A. Vlasov

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

AUTOMATIC CONTROL OF THERMAL CONDITIONS OF THE DISTILLATION COLUMN SEPARATION ON GASOLINE FRACTION

The traditional method of automatic control of thermal conditions of the distillation column by changing the fuel in the heater circulating underflow depending on the temperature of distant parts of the column. The disadvantage of this method is that it does not provide stabilization of the vapor stream in a distillation column, because the process of vaporization affected by the change of pressure and feed composition, which leads to a low quality of regulation.

A method for automatic control of thermal conditions of the distillation column, allowing to solve this problem. The regulation carried out by stabilizing the pressure differential circulating fluidized product in tubular coil heater with correction for the temperature of distant parts of the distillation column and the rate of change in the relationship of cost of supply and circulating product. The method is directed to solving the problem of stabilization of the quality of the separation products of the distillation column when alternating flow feeding and improve the accuracy of controlling thermal regime of the column. This result is achieved in that in the fuel heater regulate on the rate of change in the relationship of cost of supply and circulating product. Thus there is a decrease in the magnitude of the overshoot and transient time when resentment on the part of power consumption.

This example was carried out on the a typical industrial installation of the distillation unit. Compared with the traditional control method, this method which leads to improved accuracy of temperature control dis-

tant part of the distillation column and reduce the variance of the indicators of the quality of the products. Thus, the advantage of the proposed method is to stabilize the quality of the separation products of the distillation column when AC power usage. Another advantage is the reduction in the likelihood of receiving substandard products, thus there is the possibility of changing the boundaries of the fission products in such a way as to reduce the temperature of the distant part of the column, and hence the energy consumption for heating of the circulating product.

Keywords: *petroleum refining, distillation unit, distillation process, column separation on gasoline fraction, thermal conditions, feed column, flow fuel, automatic control, dispersion of quality parameters.*

По традиционному методу автоматическое регулирование теплового режима ректификационной колонны осуществляется путем изменения расхода топлива, подаваемого в подогреватель, циркулирующего нижнего продукта в зависимости от температуры отгонной части колонны [1]. Недостатком этого способа является то, что он не обеспечивает стабилизацию парового потока в ректификационной колонне, так как на процесс парообразования влияет изменение давления и состава питания, что приводит к низкому качеству регулирования.

В предлагаемом методе автоматического регулирования теплового режима ректификационной колонны [2] регулирование осуществляют путем стабилизации перепада давления кипящего циркулирующего продукта в трубчатом змеевике подогревателя с коррекцией по температуре отгонной части ректификационной колонны и скорости изменения отношения расходов питания и циркулирующего продукта. Расход топлива, подаваемого в подогреватель, регулируют в зависимости от перепада давления циркулирующего продукта в трубчатом змеевике подогревателя с дополнительной коррекцией по скорости изменения отношения расходов питания и циркулирующего продукта. На рисунке изображена принципиальная схема автоматического регулирования теплового режима ректификационной колонны, реализующая предложенный способ.

Способ реализуется следующим образом. В ректификационную колонну 1 подают многокомпонентную углеводородную смесь, расход которой измеряют датчиком 2. Циркулирующий продукт, расход которого измеряют датчиком 3, нагревают в подогревателе 4 и подают в отгонную часть колонны 1. Перепад давления кипящего циркулирующего продукта в трубчатом змеевике подогревателя 4 измеряют

датчиком 5 и регулируют изменением расхода топлива, подаваемого в подогреватель по сигналу с регулятора 6 исполнительным механизмом 7. Датчиком 8 измеряют температуру отгонной части ректификационной колонны 1. Сигнал регулятора 9 температуры поступает в сумматор 11, в который также поступает корректирующий сигнал функционального блока 10, соответствующий скорости изменения отношения расходов питания и циркулирующего продукта. Выходной сигнал сумматора 11 служит заданием регулятору 6 перепада давления циркулирующего продукта.

Данный метод был исследован на типовой промышленной установке АВТ (см. рисунок). В ректификационную колонну блока вторичной

Рис. Принципиальная схема автоматического регулирования теплового режима ректификационной колонны: 1 – ректификационная колонна; 2 – датчик расхода питания; 3 – датчик расхода циркулирующего продукта; 4 – подогреватель; 5 – датчик; 6 – регулятор перепада давления циркулирующего продукта; 7 – исполнительный механизм на линии подачи топлива в подогреватель; 8 – датчик; 9 – регулятор температуры отгонной части ректификационной колонны; 10 – функциональный блок; 11 – сумматор

разгонки бензина (1) диаметром 3000 мм, оборудованную 60 тарелками S-образного типа и работающую под давлением $P_k = 0,09 \dots 0,15$ МПа, подают многокомпонентную углеводородную смесь бензиновую фракцию 62–180 °С. Исходная фракция с расходом $Q_n = 70 \dots 90$ м³/ч, измеряемым датчиком 2, и температурой $t_n = 140 \dots 150$ °С поступает в колонну на 25-ю тарелку (счет снизу). С низа колонны выводят фракцию 105–180 °С, часть которой с расходом $Q_n = 50 \dots 70$ м³/ч, измеряемым датчиком 3, нагревают в трубчатой печи 4 и подают в отгонную часть ректификационной колонны. Перепад давления циркулирующего продукта в трубчатом змеевике печи $\Delta P = 0,3 \dots 0,65$ МПа измеряют датчиком 5 и регулируют изменением расхода топливного газа в печь по сигналу с регулятора 6 исполнительным механизмом 7. Регулятор 9 по сигналу с датчика 8, измеряющего температуру отгонной части ректификационной колонны $t_o = 150 \dots 160$ °С, генерирует управляющий сигнал, поступающий в сумматор 11, где суммируется с корректирующим сигналом функционального блока 10, соответствующим скорости изменения отношения расходов питания и циркулирующего продукта. Сумматор 11 изменяет задание регулятору 6 перепада давления циркулирующего продукта.

В таблице представлены показатели технологического режима и результаты лабораторных анализов фракционного состава питания и продуктов разделения ректификационной колонны по ГОСТ 2177–82 при автоматическом регулировании теплового режима колонны согласно предлагаемому способу (вариант 1) и прототипу (вариант 2).

Сравнение результатов, приведенных в таблице, показывает, что при переменном расходе питания автоматическое регулирование теплового режима ректификационной колонны согласно предлагаемому способу позволяет в 1,7 раза повысить точность регулирования температуры отгонной части колонны, что приводит к уменьшению дисперсии показателей качества продуктов разделения в 1,9 раза.

Таким образом, преимущество предлагаемого метода заключается в стабилизации качества продуктов разделения ректификационной колонны при переменном расходе питания. Другое преимущество заключается в уменьшении вероятности получения некондиционных продуктов, при этом появляется возможность изменения границы деления продуктов таким образом, чтобы уменьшить температуру отгонной части колонны, а следовательно, и расход энергоресурсов на нагрев циркулирующего продукта.

Сравнение показателей технологического режима
и лабораторных анализов

№ п/п	Показатель	Вариант 1	Вариант 2
1	Расход питания $Q_{\text{п}}$, м ³ /ч	70–90	70–90
2	Температура питания $t_{\text{п}}$, °С	140–150	140–150
3	Давление в колонне $P_{\text{к}}$, МПа	0,11–0,13	0,09–0,15
4	Расход циркулирующего продукта $Q_{\text{ц}}$, м ³ /ч	55–65	50–70
5	Перепад давления циркулирующего продукта ΔP , МПа	0,30–0,65	0,25–0,75
6	Температура отгонной части колонны $t_{\text{о}}$, °С	151–157	150–160
7	Температура укрепляющей части колонны $t_{\text{в}}$, °С	110–112	110–112
8	Расход орошения $Q_{\text{ор}}$, м ³ /ч	25–27	25–27
9	Усредненный фракционный состав питания, °С: НК 5 % 50 % 95 % КК	63 68 110 157 178	63 68 110 157 178
10	Температура выкипания 95 % фракции 62–105 °С, °С	97–103	94–106
11	Температура выкипания 5 % фракции 105–180 °С, °С	108–114	106–117
12	Разность температур выкипания 5 % фракции 105–180 °С и 95 % фракции 62–105 °С, °С	5–17	0–23

Разработанный метод предлагается использовать совместно с другими способами управления процессом ректификации различных продуктов, прежде всего, продуктов нефтепереработки [3–10].

Список литературы

1. Шувалов В.В., Огаджанов Г.А., Голубятников В.А. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. – М.: Химия, 1991. – 480 с.
2. Способ автоматического регулирования теплового режима ректификационной колонны: пат. 2081664 Рос. Федерация / А.И. Мустафин, С.Н. Кондрашов, А.Г. Шумихин, П.И. Мустафин, А.Н. Елсуков, В.А. Никонов. – № 95103907/25; заявл. 17.03.95; опубл. 20.06.97; Бюл. № 17. – 4 с.
3. Использование термодинамических зависимостей при управлении ректификационной колонной на установке замедленного коксования / С.Н. Кондрашов [и др.] // Автоматизация в промышленности. – 2016. – № 2. – С. 23–26.

4. Кондрашов С.Н., Мустафин А.И., Буракова А.Е. Управление процессом ректификации бензиновых фракций с использованием аналитической зависимости «температура – давление – качество дистиллята» // Автоматизация в промышленности. – 2014. – № 1. – С. 59–61.

5. Способ автоматического управления процессом ректификации: пат. 2092222 Рос. Федерация / А.И. Мустафин, С.Н. Кондрашов, А.Н. Елсуков, П.И. Мустафин, А.Г. Булдаков, С.В. Васькина. № 95110163/25; заявл. 14.06.95; опубл. 10.10.97; Бюл. № 28. – 4 с.

6. Способ автоматического управления процессом первичной переработки нефти: пат. 2148069 Рос. Федерация / А.И. Мустафин, С.Н. Кондрашов, В.Г. Плехов, П.И. Мустафин, Н.С. Дегтерев, Ю.И. Негашев, И.Е. Афонин, А.Н. Елсуков, К.А. Кусакин, С.В. Васькина. – № 99111567/12; заявл. 01.06.99; опубл. 27.04.2000; Бюл. № 12. – 19 с.

7. Способ переработки нефти: пат. 2235753 Рос. Федерация / С.Н. Кондрашов, П.В. Безворотный, Д.И. Мальцев, С.А. Ознобищев, В.А. Крылов, В.Ю. Груздев, С.А. Горохова. – № 2003112768/04; заявл. 29.04.03; опубл. 10.09.04; Бюл. № 25. – 5 с.

8. Способ автоматического управления процессом разделения паров коксования тяжелого нефтяного сырья на фракции: пат. 2144413 Рос. Федерация / П.Н. Парамонов, А.А. Каменских, С.Н. Кондрашов, А.А. Шмаков, Н.П. Фоминых, А.Л. Меньшаков, А.Г. Шумихин. – № 99103376/12; заявл. 22.02.99; опубл. 20.01.2000; Бюл. № 2. – 11 с.

9. Способ очистки углеводородных фракций: пат. 2191202 Рос. Федерация / П.В. Безворотный, И.Г. Кузьмин, В.А. Крылов, А.Г. Аликин, С.Н. Кондрашов, В.Ю. Груздев. – № 2001117084/04; заявл. 18.06.01; опубл. 20.10.02; Бюл. № 29. – 6 с.

10. Способ очистки легких углеводородных фракций: пат. 2492213 Рос. Федерация / В.Ю. Жуков, В.И. Якунин, В.А. Крылов, С.Н. Кондрашов, П.В. Безворотный, В.В. Братчиков. – № 2012102730/04; заявл. 26.01.12; опубл. 10.09.13; Бюл. № 25. – 6 с.

References

1. Shuvalov V.V., Ogadzhyanov G.A., Golubyatnikov V.A. Avtomatizatsiya proizvodstvennykh protsessov v khimicheskoy promyshlennosti [Automation of production processes in the chemical industry]. Moscow: Khimiya, 1991. 480 p.

2. Mustafin A.I., Kondrashov S.N., Shumikhin A.G., Mustafin P.I., Elsukov A.N., Nikonov V.A. Sposob avtomaticheskogo regulirovaniya teplo-

vogo rezhima rektifikatsionnoj kolonny [The method of automatic control of thermal conditions of the distillation column]. Patent no. 2081664 RF. 1997.

3. Kondrashov S.N. [et al.] Ispolzovanie termodinamicheskikh zavisimostej pri upravlenii rektifikatsionnoj kolonnoj na ustanovke zamedlennogo koksovaniya [Using thermodynamic dependences in the management of the distillation column to the delayed coker]. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti*, 2016, no. 2, pp. 23–26.

4. Kondrashov S.N., Mustafin A.I., Burakova A.E. Upravlenie protsessom rektifikatsii benzinovykh fraktsij s ispolzovaniem analiticheskoy zavisimosti «temperatura – davlenie – kachestvo distillyata» [Managing the process distillation gasoline fractions with analytical dependence “temperatour – pressure – quality distillate”]. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti*, 2014, no. 1, pp. 59–61.

5. Mustafin A.I., Kondrashov S.N., Elsukov A.N., Mustafin P.I., Buldakov A.G., Vas'kina S.V. Sposob avtomaticheskogo upravleniya processom rektifikatsii [Automatic control method distillation process]. Patent no. 2092222 RF. 1997.

6. Mustafin A.I., Kondrashov S.N., Plekhov V.G., Mustafin P.I., Degterev N.S., Negashev Ju.I., Afonin I.E., Elsukov A.N., Kusakina K.A., Vaskina S.V. Sposob avtomaticheskogo upravleniya protsessom pervichnoj pererabotki nefi [The method of automatic control of primary oil refining process]. Patent no. 2148069 RF. 2000.

7. Kondrashov S.N., Bezvorotnyj P.V., Maltsev D.I., Oznobishchev S.A., Krylov V.A., Gruzdev V.Ju., Gorokhova S.A. Sposob pererabotki nefi [A method of oil refining]. Patent no. 2235753 RF. 2004.

8. Paramonov P.N., Kamenskikh A.A., Kondrashov S.N., Shmakov A.A., Fominykh N.P., Men'shakov A.L., Shumikhin A.G. Sposob avtomaticheskogo upravleniya protsessom razdeleniya parov koksovaniya tyazhelogo neftyanogo syrja na fraktsii [A method for the automatic control of coking vapor separation process heavy oil feedstock into fractions]. Patent no. 2144413 RF. 2002.

9. Bezvorotnyj P.V., Kuzmin I.G., Krylov V.A., Alikin A.G., Kondrashov S.N., Gruzdev V.Yu. Sposob ochistki uglevodorodnykh fraktsij [A method of purifying hydrocarbon fractions]. Patent no. 2191202 RF. 2002.

10. Zhukov V.Yu., Jakunin V.I., Krylov V.A., Kondrashov S.N., Bezvorotnyj P.V., Bratchikov V.V. Sposob ochistki legkikh uglevodorodnykh fraktsij [A method for purifying light hydrocarbons]. Patent no. 2492213 RF. 2013.

Об авторах

Кондрашов Сергей Николаевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации технологических процессов Пермского национального исследовательского политехнического университета (614013, г. Пермь, ул. Профессора Поздеева, 9, корпус Б; e-mail: Sergej.Kondrashov@pnos.lukoil.com).

Власов Сергей Алексеевич (Пермь, Россия) – магистрант кафедры автоматизации технологических процессов Пермского национального исследовательского политехнического университета (614013, г. Пермь, ул. Профессора Поздеева, 9, корпус Б; e-mail: sergey-vlas@rambler.ru).

About the authors

Sergej N. Kondrashov (Perm, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Automation of Technological Processes, Perm National Research Polytechnic University (9, Building B, Professor Pozdeev str., 614013, Perm, Russian Federation; e-mail: Sergej.Kondrashov@pnos.lukoil.com).

Sergej A. Vlasov (Perm, Russian Federation) – Undergraduate Student, Department of Automation of Technological Processes, Perm National Research Polytechnic University (9, Building B, Professor Pozdeev str., 614013, Perm, Russian Federation; e-mail: sergey-vlas@rambler.ru).