

DOI: 10.15593/2224-9400/2016.4.02

УДК 66.012-52

**С.Н. Кондрашов, И.С. Бурдин**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь, Россия**СИСТЕМА НЕПРЕРЫВНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ  
И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКТОВ  
ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ**

*Недостаток современных способов управления процессом первичной переработки нефти заключается в низкой точности регулирования показателей качества отбираемых фракций из-за наличия в системе управления процессом неконтролируемых возмущающих воздействий, в том числе по линии подачи сырья, которые не могут быть своевременно идентифицированы по данным дискретного низкочастотного анализа этих показателей. Большая дисперсия показателей качества продуктов фракционирования не позволяет повысить отбор светлых фракций.*

*В статье рассмотрена предложенная система непрерывной идентификации и управления качеством продуктов первичной переработки нефти, позволяющая решить эту задачу. Сущность работы системы: для каждого из отбираемых в процессе первичной переработки нефти светлых продуктов байпасируют часть потока, нагревают его до перевода в область, близкую идеальному газу, затем байпасный поток охлаждают, несконденсировавшуюся паровую фазу вновь нагревают до перевода ее в область, близкую идеальному газу, по измеренным температурам, давлениям, перепадам давлений на сужающих устройствах и массовым расходам байпасного потока и его паровой фазы вычисляют их молекулярный вес, по вычисленным параметрам определяют текущие значения целевых температур кипения отбираемых фракций, сравнивают их с заданными и изменяют расходы острых и циркуляционных орошений ректификационных колонн в сторону выравнивания текущих и заданных значений целевых температур кипения отбираемых фракций. Одновременно вычисляют текущие значения отборов светлых фракций, корректируют уравнения связи отборов светлых фракций с технологическими параметрами процесса, используют скорректированные уравнения связи для нахождения потенциального содержания светлых фракций в исходной нефти при установленных ограничениях на отборы и показатели качества фракций, в зависимости от потенциального содержания светлых фракций корректируют расходы продуктов, отбираемых в ректификационных колоннах.*

*С целью оценки эффективности предложенной системы непрерывной идентификации и управления качеством продуктов первичной переработки нефти в пакете программ UniSimDesign проведено ее имитационное моделирование. Анализ результатов моделирования в сравнении с действующей системой управления на промышленной установке АВТ показывает, что предлагаемая система автоматического управления процессом первичной переработки нефти позволяет повысить точность регулирования целевых температур кипения отбираемых фракций, уменьшить степень налегания смежных фракций, увеличить отбор светлых фракций от потенциала.*

***Ключевые слова:** первичная переработка нефти, светлые фракции, управление качеством, ректификационная колонна, непрерывная идентификация, система автоматического управления, дисперсия показателей качества.*

**S.N. Kondrashov, I.S. Burdin**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

## **A SYSTEM OF CONTINUOUS IDENTIFICATION AND MANAGEMENT OF THE QUALITY OF PRODUCTS OF PRIMARY OIL REFINING**

*The lack of modern methods of management of primary oil refining process is the low accuracy of control indicators of the quality of selected fractions from the presence of the system management process of uncontrolled disturbances, including through the supply of raw materials, which can not be promptly identified according to discrete low-frequency analysis of these indicators. A large dispersion of quality indicators fractionation products does not allow to increase the selection of light fractions.*

*The article considers the proposed system of identification and quality control of primary oil refining products, which allows to solve this problem. SUMMARY system operation: for each of the sampled during primary refining of light products baypasiruyut part stream heated to transfer in a region close to an ideal gas, then the bypass stream is cooled uncondensed vapor phase is again heated to its transition in a region close to an ideal gas, for measuring temperature, pressure, differential pressure across the orifice and the mass flow rate of the bypass flow and vapor calculate their molecular weight, according to the calculated parameters determine the current value of the target temperature boiling fractions were collected, compare them with the set and alter the cost of acute and circulating irrigation fractionators in the direction of alignment of current and set values of target temperature*

*selected by boiling fractions. At the same time calculates the current value selections of light fractions, correct the equation due selections of light fractions with the technological parameters of the process, using the corrected connection equations for finding a potential content of light fractions in the original oil when the restrictions on the selection and quality indicators fractions, depending on the potential content of light fractions is adjusted cost products, selected in distillation columns.*

*In order to evaluate the effectiveness of the proposed system of identification and continuous quality management of primary oil refining products in the package UniSim Design program held its simulation. Analysis of simulation results in comparison with the existing control system on the plant AVT shows that the proposed automatic control of primary oil refining process, the system can improve the accuracy of the control target temperature selected by boiling fractions, reducing overlap steppe adjacent fractions to increase the selection of light fractions from the building.*

**Keywords:** *primary oil refinery, light fractions, quality control, fractionating column, continuous identification, automatic control system, dispersion of quality indicators.*

Недостаток современных способов управления процессом первичной переработки нефти заключается в низкой точности регулирования показателей качества отбираемых фракций из-за наличия в системе управления процессом неконтролируемых возмущающих воздействий, в том числе по линии подачи сырья, которые не могут быть своевременно идентифицированы по данным дискретного низкочастотного анализа этих показателей. Большая дисперсия показателей качества продуктов фракционирования не позволяет повысить отбор светлых фракций.

Предложена система непрерывной идентификации и управления качеством продуктов процесса первичной переработки нефти для типовой двухколонной установки АТ [1], которая позволяет увеличить отбор светлых фракций за счет повышения точности регулирования заданных значений показателей качества отбираемых фракций. На рисунке приведена принципиальная схема реализации предлагаемого способа автоматического управления процессом первичной переработки нефти.

Способ автоматического управления процессом первичной переработки нефти осуществляется следующим образом. Обезвоженную и обессоленную нефть подают в колонну отбензинивания 1, которая предназначена для отделения от нефти легкой бензиновой фракции НК – 175 °С и жирного газа, при этом расход сырья колонны измеряют

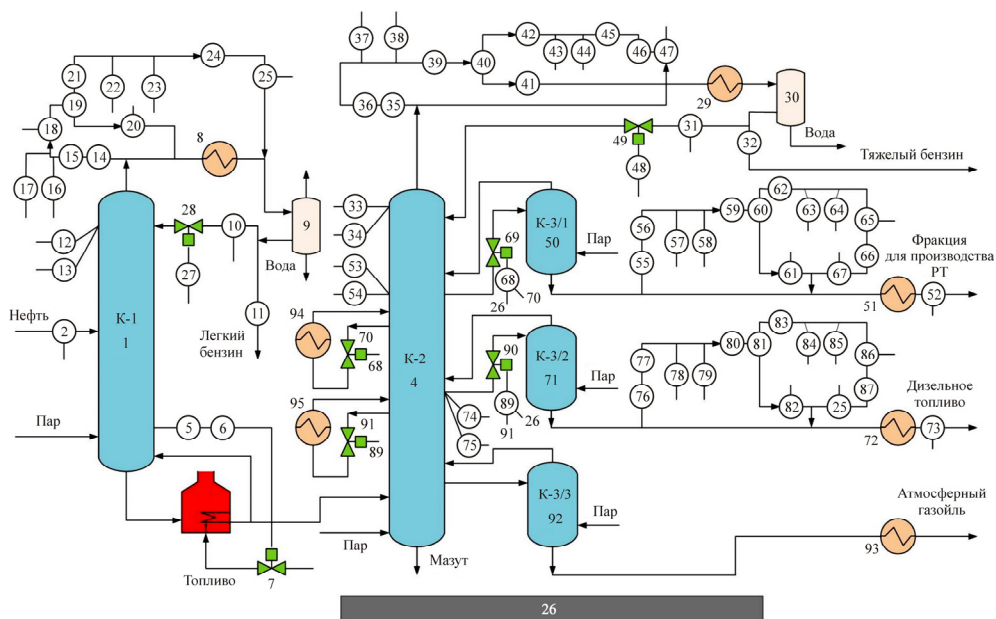


Рис. Принципиальная схема реализации способа автоматического управления процессом первичной переработки нефти

датчиком 2. Полуотбензиненую нефть с низа колонны 1 нагревают в трубчатой печи 3 и подают: одну часть в виде горячей струи обратно в колонну 1, другую (балансовую) часть – в атмосферную колонну 4. С целью наиболее полного отбензинивания нефти в нижнюю секцию колонны 1 подают перегретый водяной пар. Температуру в нижней секции колонны 1 измеряют датчиком 5. Регулятор 6 сравнивает текущее и заданное значения температуры нижней секции колонны отбензинивания и при помощи регулирующего органа 7 изменяет расход топлива в печь 3 в сторону их выравнивания. Парогазовую смесь с верха колонны 1 подают в конденсатор-холодильник 8, где пары конденсируются, охлаждаются и поступают в емкость 9, из которой часть легкой бензиновой фракции подают в колонну в качестве острого орошения, а балансовое количество этой фракции направляют на стабилизацию. Расход острого орошения колонны 1 измеряют датчиком 10, расход отбираемого легкого бензина – датчиком 11. Из емкости 9 также выводят жирный газ и воду. Давление в верхней секции колонны 1 измеряют датчиком 12, температуру в этой секции измеряют датчиком 13. Часть парогазового потока с верха колонны 1 байпасируют при помощи побудителя расхода 14, байпасный поток подогревают нагре-

вателем 15 до перевода его в область, близкую к идеальному газу. Датчиком 16 измеряют температуру байпасного потока, датчиком 17 – его первичное давление. На сужающем устройстве по линии байпасного потока датчиком 18 измеряют перепад давлений. Далее байпасный поток охлаждают в холодильнике 19 и разделяют на паровую фазу и конденсат, массовый расход которого измеряют датчиком 20. Паровую фазу подогревают нагревателем 21 до перевода ее в область, близкую к идеальному газу. Измеряют датчиком 22 температуру паровой фазы, ее первичное давление – датчиком 23, перепад давлений на сужающем устройстве по линии паровой фазы – датчиком 24, массовый расход паровой фазы – датчиком 25. Сигналы с датчиков температуры байпасного потока (16), первичного давления байпасного потока (17), перепада давлений на сужающем устройстве по линии байпасного потока (18), массового расхода конденсата (20), температуры паровой фазы (22), первичного давления паровой фазы (23), перепада давлений на сужающем устройстве по линии паровой фазы (24), массового расхода паровой фазы (25) поступают в функциональный блок 26, в котором вычисляют молекулярные веса байпасного потока и его паровой фазы:

$$\rho_C^1 = K_1^1 \cdot \frac{(Q_1^1 + Q_2^1)^2}{\Delta P_1^1}; \quad (1)$$

$$M_C^1 = z_C^1 \cdot \rho_C^1 \cdot R \cdot \frac{T_1^1}{P_1^1}; \quad (2)$$

$$\rho_L^1 = K_2^1 \cdot \frac{(Q_2^1)^2}{\Delta P_2^1}; \quad (3)$$

$$M_L^1 = z_L^1 \cdot \rho_L^1 \cdot R \cdot \frac{T_2^1}{P_2^1}, \quad (4)$$

где  $Q_1^1$  – текущее значение массового расхода конденсата байпасного потока, кг/с;  $Q_2^1$  – текущее значение массового расхода паровой фазы байпасного потока, кг/с;  $\Delta P_1^1$  – текущее значение перепада давлений на сужающем устройстве по линии байпасного потока, Па;  $K_1^1$  – коэффициент сопротивления сужающего устройства по линии байпасного по-

тока,  $\text{с}^2/\text{м}^5$ ;  $\rho_C^1$  – рассчитанное значение плотности байпасного потока,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $T_1^1$  – текущее значение температуры байпасного потока, К;  $P_1^1$  – текущее значение первичного давления байпасного потока, Па;  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $R = 8,31$  кДж/кмоль·К;  $z_C^1$  – коэффициент сжимаемости байпасного потока, безразмерный;  $M_C^1$  – текущее значение молекулярного веса байпасного потока,  $\text{кг}/\text{кмоль}$ ;  $\Delta P_2^1$  – текущее значение перепада давлений на сужающем устройстве по линии паровой фазы, Па;  $K_2^1$  – коэффициент сопротивления сужающего устройства по линии паровой фазы,  $\text{с}^2/\text{м}^5$ ;  $\rho_L^1$  – рассчитанное значение плотности паровой фазы,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $T_2^1$  – текущее значение температуры паровой фазы, К;  $P_2^1$  – текущее значение первичного давления паровой фазы, Па;  $z_L^1$  – коэффициент сжимаемости паровой фазы, безразмерный;  $M_L^1$  – текущее значение молекулярного веса паровой фазы,  $\text{кг}/\text{кмоль}$ .

По вычисленным параметрам в функциональном блоке 26 определяют текущее значение конечной температуры (КК) кипения легкой бензиновой фракции:

$$\text{КК}_T^{\text{ЛБ}} = a_0 + a_1 + M_C^1 + a_2 + M_L^1 + a_3 \cdot M_C^1 \cdot M_L^1, \quad (5)$$

где  $a_0, a_1, a_2, a_3$  – коэффициенты;  $\text{КК}_T^{\text{ЛБ}}$  – текущее значение конечной температуры кипения легкой бензиновой фракции, °С.

Регулятор 27 отбора и качества легкой бензиновой фракции сравнивает текущее и заданные значения конечной температуры кипения легкой бензиновой фракции и при помощи регулирующего органа 28 изменяет расход острого орошения в колонну 1 в сторону выравнивания текущего и заданных значений конечной температуры кипения легкой бензиновой фракции. После нагрева в трубчатой печи 3 полуотбензиненную нефть из колонны отбензинивания 1 подают в нижнюю секцию атмосферной колонны 4, которая служит для разделения полуотбензиненной нефти на тяжелую бензиновую фракцию НК – 180 °С, лигроин, дизельное топливо, атмосферный газойль и мазут. С целью наиболее полного извлечения светлых фракций в нижнюю секцию атмосферной колонны подают перегретый водяной пар. С верха колон-

ны 4 выводят пары бензина и водяного пара, которые поступают в конденсатор-холодильник 29 и после конденсации и охлаждения собираются в емкости 30. Из емкости 30 часть тяжелой бензиновой фракции подают в колонну 4 в качестве острого орошения, а избыток (балансовое количество) этой фракции направляют на стабилизацию. Расход острого орошения колонны 4 измеряют датчиком 31, расход отбираемого тяжелого бензина – датчиком 32. Вода из емкости (водоотделителя) 30 выводится на блок очистки (на схеме не показан). Давление в верхней секции колонны 4 измеряют датчиком 33, температуру в этой секции измеряют датчиком 34. Часть паров из верхней секции колонны 4 байпасируют при помощи побудителя расхода 35, байпасный поток подогревают нагревателем 36 до перевода его в область, близкую к идеальному газу. Датчиком 37 измеряют температуру байпасного потока, датчиком 38 – его первичное давление. На сужающем устройстве по линии байпасного потока датчиком 39 измеряют перепад давлений. Байпасный поток охлаждают в холодильнике 40 и разделяют на паровую фазу и конденсат, массовый расход конденсата измеряют датчиком 41. Паровую фазу байпасного потока подогревают нагревателем 42 до перевода ее в область, близкую к идеальному газу. Датчиком 43 измеряют температуру паровой фазы, датчиком 44 – ее первичное давление, датчиком 45 – перепад давлений на сужающем устройстве по линии паровой фазы. Паровую фазу охлаждают в холодильнике 46, массовый расход сконденсированной паровой фазы измеряют датчиком 47. Сигналы с датчиков температуры байпасного потока (37), первичного давления байпасного потока (38), перепада давлений на сужающем устройстве по линии байпасного потока (39), массового расхода конденсата (41), температуры паровой фазы (43), первичного давления паровой фазы (44), перепада давлений на сужающем устройстве по линии паровой фазы (45), массового расхода сконденсированной паровой фазы (47) поступают в функциональный блок 26, в котором по формулам (1)–(4) вычисляют молекулярный вес байпасного потока  $M_C^2$  и молекулярный вес его паровой фазы  $M_L^2$ . По вычисленным параметрам в функциональном блоке 26 определяют текущее значение конечной температуры кипения тяжелой бензиновой фракции:

$$KK_T^{TB} = a_4 + a_5 + M_C^2 + a_6 + M_L^2 + a_7 \cdot M_C^2 \cdot M_L^2, \quad (6)$$

где  $a_4, \dots, a_7$  – коэффициенты;  $KK_T^{TB}$  – текущее значение конечной температуры кипения тяжелой бензиновой фракции, °С.

Регулятор 48 отбора и качества тяжелой бензиновой фракции сравнивает текущее и заданное значения конечной температуры кипения тяжелой бензиновой фракции и при помощи регулирующего органа 49 изменяет расход острого орошения в колонну 4 в сторону выравнивания текущего и заданного значений конечной температуры кипения тяжелой бензиновой фракции. Из атмосферной колонны 4 в стриппинг 50 – отпарную колонну лигроина выводят жидкофазный поток, из которого водяным паром отпаривают легкие фракции. Лигроин из стриппинга 50 охлаждают в теплообменнике 51 и выводят с установки. Расход отбираемого лигроина измеряют датчиком 52. Давление на тарелке отбора лигроина измеряют датчиком 53, температуру на этой тарелке – датчиком 54. Часть лигроина из стриппинга 50 байпасируют при помощи побудителя расхода 55, байпасный поток подогревают нагревателем 56 до перевода его в область, близкую к идеальному газу. Температуру байпасного потока измеряют датчиком 57, первичное давление байпасного потока – датчиком 58. На сужающем устройстве по линии байпасного потока датчиком 59 измеряют перепад давлений. Байпасный поток охлаждают в холодильнике 60 и разделяют на паровую фазу и конденсат; массовый расход конденсата измеряют датчиком 61. Паровую фазу байпасного потока подогревают нагревателем 62 до перевода ее в область, близкую к идеальному газу. Датчиком 63 измеряют температуру паровой фазы, датчиком 64 – ее первичное давление, датчиком 65 – перепад давлений на сужающем устройстве по линии паровой фазы. Паровую фазу охлаждают в холодильнике 66, массовый расход сконденсированной паровой фазы измеряют датчиком 67. Сигналы с датчиков температуры байпасного потока (57), первичного давления байпасного потока (58), перепада давлений на сужающем устройстве по линии байпасного потока (59), массового расхода конденсата (61), температуры паровой фазы (63), первичного давления паровой фазы (64), перепада давлений на сужающем устройстве по линии паровой фазы (65), массового расхода сконденсированной паровой фазы (67) поступают в функциональный блок 26, в котором по формулам (1)–(4) вычисляют молекулярный вес байпасного потока  $M_C^3$  и молекулярный вес его паровой фазы  $M_L^3$ . По вычисленным параметрам в функциональном блоке 26 определяют текущие значения начальной и конечной температур кипения лигроина:



$$\text{НК}_T^{\text{Л}} = a_8 + a_9 + M_C^3 + a_{10} + M_L^3 + a_{11} \cdot M_C^3 \cdot M_L^3; \quad (7)$$

$$\text{КК}_T^{\text{Л}} = a_{12} + a_{13} + M_C^3 + a_{14} + M_L^3 + a_{15} \cdot M_C^3 \cdot M_L^3, \quad (8)$$

где  $a_8, \dots, a_{15}$  – коэффициенты;  $\text{НК}_T^{\text{Л}}$  – текущее значение начальной температуры кипения лигроина, °С;  $\text{КК}_T^{\text{Л}}$  – текущее значение конечной температуры кипения лигроина, °С.

Регулятор 68 отбора и качества отбираемого лигроина сравнивает текущие и заданные значения начальной и конечной температур кипения лигроина и при помощи регулирующих органов 69 и 70 изменяет расходы соответственно отбираемого лигроина и первого циркуляционного орошения атмосферной колонны в сторону выравнивания текущих и заданных значений начальной и конечной температур кипения лигроина. Из атмосферной колонны 4 в стриппинг 71 – отпарную колонну дизельного топлива выводят жидкофазный поток, из которого водяным паром отпаривают легкие фракции. Дизельное топливо из стриппинга 71 охлаждают в теплообменнике 72 и выводят с установки. Расход отбираемого дизельного топлива измеряют датчиком 73. Давление на тарелке отбора дизельного топлива измеряют датчиком 74, температуру на этой тарелке – датчиком 75. Часть дизельного топлива из стриппинга 71 байпасируют при помощи побудителя расхода 76, байпасный поток подогревают нагревателем 77 до перевода его в область, близкую к идеальному газу. Температуру байпасного потока измеряют датчиком 78, первичное давление байпасного потока – датчиком 79. На сужающем устройстве по линии байпасного потока датчиком 80 измеряют перепад давлений. Байпасный поток охлаждают в холодильнике 81 и разделяют на паровую фазу и конденсат; массовый расход конденсата измеряют датчиком 82. Паровую фазу байпасного потока подогревают нагревателем 83 до перевода ее в область, близкую к идеальному газу. Датчиком 84 измеряют температуру паровой фазы, датчиком 85 – ее первичное давление, датчиком 86 – перепад давлений на сужающем устройстве по линии паровой фазы. Паровую фазу охлаждают в холодильнике 87, массовый расход сконденсированной паровой фазы измеряют датчиком 88. Сигналы с датчиков температуры байпасного потока (78), первичного давления байпасного потока (79), перепада давлений на сужающем устройстве по линии байпасного потока (80), массового расхода конденсата (82), температуры паровой фазы (84), первичного давления паровой фазы (85), пе-

репада давлений на сужающем устройстве по линии паровой фазы (86), 88 массового расхода сконденсированной паровой фазы поступают в функциональный блок 26, в котором по формулам (1)–(4) вычисляют молекулярный вес байпасного потока  $M_C^4$  и молекулярный вес его паровой фазы  $M_L^4$ . По вычисленным параметрам в функциональном блоке 26 определяют текущее значение начальной и конечной температуры кипения дизельного топлива:

$$\text{НК}_T^{\text{ДТ}} = a_{16} + a_{17} + M_C^4 + a_{18} + M_L^4 + a_{19} \cdot M_C^4 \cdot M_L^4; \quad (9)$$

$$\text{КК}_T^{\text{ДТ}} = a_{20} + a_{21} + M_C^4 + a_{22} + M_L^4 + a_{23} \cdot M_C^4 \cdot M_L^4, \quad (10)$$

где  $a_{16}, \dots, a_{23}$  – коэффициенты;  $\text{НК}_T^{\text{ДТ}}$  – текущее значение начальной температуры кипения дизельного топлива, °С;  $\text{КК}_T^{\text{ДТ}}$  – текущее значение конечной температуры кипения дизельного топлива, °С.

Регулятор 89 отбора и качества отбираемого дизельного топлива сравнивает текущие и заданные значения начальной и конечной температур кипения дизельного топлива и при помощи регулирующих органов 90 и 91 изменяет расходы соответственно отбираемого дизельного топлива и второго циркуляционного орошения атмосферной колонны в сторону выравнивания текущих и заданных начальной и конечной температур кипения дизельного топлива. Из атмосферной колонны 4 в стриппинг 92 – отпарную колонну атмосферного газойля выводят жидкофазный поток, из которого водяным паром отпаривают легкие фракции. Атмосферный газойль из стриппинга 92 охлаждают в теплообменнике 93 и выводят с установки. Из нижней секции атмосферной колонны также выводят мазут. Сигналы с датчиков расхода сырья (2), расхода отбираемого легкого бензина (11), расхода отбираемого тяжелого бензина (32), расхода отбираемого лигроина (52), расхода отбираемого дизельного топлива (73) также поступают в функциональный блок 26, в котором вычисляют текущие значения отборов светлых фракций как отношения массовых расходов отбираемых фракций и сырья:

$$O_T^{\text{ЛБ}} = \frac{F_{\text{ЛБ}}}{F_C}; \quad (11)$$

$$O_T^{\text{ТБ}} = \frac{F_{\text{ТБ}}}{F_C}; \quad (12)$$

$$O_T^Л = \frac{F_L}{F_C}; \quad (13)$$

$$O_T^{ДГ} = \frac{F_{ДГ}}{F_C}; \quad (14)$$

$$O_{\Sigma CB}^T = O_T^{ЛБ} + O_T^{ТБ} + O_T^Л + O_T^{ДГ}, \quad (15)$$

где  $F_{ЛБ}$ ,  $F_{ТБ}$ ,  $F_L$ ,  $F_{ДГ}$ ,  $F_C$  – текущие значения расходов отбираемых легкого бензина, тяжелого бензина, лигроина, дизельного топлива и исходной нефти соответственно, кг/с;  $O_T^{ЛБ}$ ,  $O_T^{ТБ}$ ,  $O_T^Л$ ,  $O_T^{ДГ}$ ,  $O_{\Sigma CB}^T$  – текущие значения отборов легкого бензина, тяжелого бензина, лигроина, дизельного топлива, суммарный светлых фракций соответственно.

Коррекцию коэффициентов уравнений связи отборов светлых фракций с технологическими параметрами процесса также осуществляют в функциональном блоке 2б, например, по формуле

$$a_i[n] = a_i[n-1] + \frac{Q_T^j[n] - f_j(X[n], A[n-1])}{\gamma + X^T[n] \cdot X[n]} \cdot \frac{df(X[n], A[n-1])}{da_i}, \quad (16)$$

где  $A$  – вектор коэффициентов модели;  $X$  – вектор технологических параметров, нормированных в диапазоне  $-1 \dots +1$ ;  $a_i$  –  $i$ -й коэффициент модели;  $n$  – номер такта управления;  $Q_T^j$  – текущее значение отбора  $j$ -го светлого дистиллята, кг/кг;  $\gamma$  – подстроечный коэффициент;  $f_j$  – расчетное значение отбора  $j$ -го светлого дистиллята с коэффициентами модели на  $[n-1]$  такте управления;  $X^T$  – транспонированная матрица вектора технологических параметров.

Рассчитанные по формуле (16) коэффициенты  $a_i[n]$  используют в функциональном блоке 2б для адаптации уравнений связи отборов светлых фракций и молекулярных весов байпасных потоков и их паровых фаз с технологическими параметрами процесса:

$$O_P^{ЛБ} = a_{24} + a_{25} \cdot P_B^1 + a_{26} \cdot F_{OP}^1; \quad (17)$$

$$O_P^{ТБ} = a_{27} + a_{28} \cdot P_B^2 + a_{29} \cdot F_{OP}^2; \quad (18)$$

$$O_P^Л = a_{30} + a_{31} \cdot P_L^2 + a_{32} \cdot F_{ИЦО}^2; \quad (19)$$

$$O_P^{ДГ} = a_{33} + a_{34} \cdot P_{ДГ}^2 + a_{35} \cdot F_{2ИЦО}^2; \quad (20)$$

$$M_C^{1P} = a_{36} + a_{37} \cdot P_B^1 + a_{38} \cdot F_{OP}^1; \quad (21)$$

$$M_L^{1P} = a_{39} + a_{40} \cdot P_B^1 + a_{41} \cdot F_{OP}^1; \quad (22)$$

$$M_C^{2P} = a_{42} + a_{43} \cdot P_B^2 + a_{44} \cdot F_{OP}^2; \quad (23)$$

$$M_L^{2P} = a_{45} + a_{46} \cdot P_B^2 + a_{47} \cdot F_{OP}^2; \quad (24)$$

$$M_C^{3P} = a_{48} + a_{49} \cdot P_{Л}^2 + a_{50} \cdot F_{ЦО}^2; \quad (25)$$

$$M_L^{3P} = a_{51} + a_{52} \cdot P_{Л}^2 + a_{53} \cdot F_{ЦО}^2; \quad (26)$$

$$M_C^{4P} = a_{54} + a_{55} \cdot P_{ДТ}^2 + a_{56} \cdot F_{2ЦО}^2; \quad (27)$$

$$M_L^{4P} = a_{57} + a_{58} \cdot P_{ДТ}^2 + a_{59} \cdot F_{2ЦО}^2, \quad (28)$$

где  $O_P^{ЛБ}$ ,  $O_P^{ТБ}$ ,  $O_P^{Л}$ ,  $O_P^{ДТ}$  – рассчитанные значения отборов легкого бензина, тяжелого бензина, лигроина и дизельного топлива соответственно;  $M_C^{1P}$ ,  $M_C^{2P}$ ,  $M_C^{3P}$ ,  $M_C^{4P}$  – рассчитанные значения молекулярных весов байпасных потоков шлемовой линии колонны отбензинивания, шлемовой линии атмосферной колонны, линии отбираемого лигроина и линии отбираемого дизельного топлива соответственно, нормированные в диапазоне  $-1...+1$ ;  $M_L^{1P}$ ,  $M_L^{2P}$ ,  $M_L^{3P}$ ,  $M_L^{4P}$  – рассчитанные значения молекулярных весов паровых фаз байпасных потоков шлемовой линии колонны отбензинивания, шлемовой линии атмосферной колонны, линии отбираемого лигроина и линии отбираемого дизельного топлива соответственно, нормированные в диапазоне  $-1...+1$ ;  $P_B^1$ ,  $P_B^2$ ,  $P_{Л}^2$ ,  $P_{ДТ}^2$  – текущие значения давлений верха колонны отбензинивания, верха атмосферной колонны, на тарелке отбора лигроина атмосферной колонны, на тарелке отбора дизельного топлива атмосферной колонны соответственно, нормированные в диапазоне  $-1...+1$ ;  $F_{OP}^1$ ,  $F_{OP}^2$ ,  $F_{ЦО}^2$ ,  $F_{2ЦО}^2$  – текущие значения расходов острого орошения колонны отбензинивания, острого орошения атмосферной колонны, первого и второго циркуляционных орошений атмосферной колонны соответственно, нормированные в диапазоне  $-1...+1$ ;  $a_{24}$ , ...,  $a_{59}$  – коэффициенты.

Уравнения (17)–(28) используют в функциональном блоке 26 для нахождения потенциального содержания светлых фракций в исходной нефти при установленных ограничениях на отборы и показатели качества фракций, для чего решают оптимизационную задачу в системе уравнений вида:

$$F_1 = k_1 \frac{1 - O_T^{ЛБ}}{1 - O_P^{ЛБ}} + k_2 \frac{M_C^1 - M_C^{1P}}{M_C^{1P}} + k_3 \frac{M_L^1 - M_L^{1P}}{M_L^{1P}}; \quad (29)$$

$$F_2 = k_4 \frac{1 - O_T^{ТБ}}{1 - O_P^{ТБ}} + k_5 \frac{M_C^2 - M_C^{2P}}{M_C^{2P}} + k_6 \frac{M_L^2 - M_L^{2P}}{M_L^{2P}}; \quad (30)$$

$$F_3 = k_7 \frac{1 - O_T^{Л}}{1 - O_P^{Л}} + k_8 \frac{M_C^3 - M_C^{3P}}{M_C^{3P}} + k_9 \frac{M_L^3 - M_L^{3P}}{M_L^{3P}}; \quad (31)$$

$$F_4 = k_{10} \frac{1 - O_T^{ДТ}}{1 - O_P^{ДТ}} + k_{11} \frac{M_C^4 - M_C^{4P}}{M_C^{4P}} + k_{12} \frac{M_L^4 - M_L^{4P}}{M_L^{4P}}, \quad (32)$$

где  $F_1, F_2, F_3, F_4$  – локальные критерии оптимальности;  $k_1, k_2, k_3$  – коэффициенты, устанавливающие ограничения на отбор и температуру конца кипения легкой бензиновой фракции;  $k_4, k_5, k_6$  – коэффициенты, устанавливающие ограничения на отбор и температуру конца кипения тяжелой бензиновой фракции;  $k_7, k_8, k_9$  – коэффициенты, устанавливающие ограничения на отбор, температуры начала и конца кипения, вспышки и кристаллизации отбираемого лигроина;  $k_{10}, k_{11}, k_{12}$  – коэффициенты, устанавливающие ограничения на отбор, температуры начала и конца кипения, вспышки и застывания отбираемого дизельного топлива.

Все переменные в уравнениях (29)–(32) нормированы в диапазоне  $-1 \dots +1$ .

В результате решения в функциональном блоке 26 оптимизационной задачи с использованием уравнений (29)–(32) находят потенциальное содержание светлых фракций в исходной нефти:

$$O_{\Sigma CB}^P = (O_P^{ЛБ})^{ОПТ} + (O_P^{ТБ})^{ОПТ} + (O_P^{Л})^{ОПТ} + (O_P^{ДТ})^{ОПТ}, \quad (33)$$

где  $(O_P^{ЛБ})^{ОПТ}$ ,  $(O_P^{ТБ})^{ОПТ}$ ,  $(O_P^{Л})^{ОПТ}$ ,  $(O_P^{ДТ})^{ОПТ}$ ,  $O_{\Sigma CB}^P$  – рассчитанные значения потенциальных отборов легкого бензина, тяжелого бензина, лигроина, дизельного топлива, суммарный соответственно.

В зависимости от потенциального содержания легкой бензиновой фракции в исходной нефти функциональный блок 26 корректирует задание регулятору 27, который изменяет расход острого орошения в колонну отбензинивания 1, а тем самым и расход отбираемой легкой бензиновой фракции в сторону ее максимального отбора от потенциала. В зависимости от потенциального содержания тяжелой бензиновой фракции в нефти функциональный блок 26 корректирует задание регулятору 48, который изменяет расход острого орошения в атмосферную колонну 4, а тем самым и расход отбираемой тяжелой бензиновой фракции в сторону ее максимального отбора от потенциала. В зависимости от потенциального содержания лигроина в нефти функциональный блок 26 корректирует задание регулятору 68, который изменяет расход отбираемого из атмосферной колонны лигроина в сторону его максимального отбора от потенциала. В зависимости от потенциального содержания дизельного топлива в нефти функциональный блок 26 корректирует задание регулятору 89, который изменяет расход отбираемого из атмосферной колонны дизельного топлива в сторону его максимального отбора от потенциала. Числами 94, 95 на схеме обозначены системы теплообмена 1-го и 2-го циркуляционных орошений соответственно.

С целью оценки эффективности предложенной системы непрерывной идентификации и управления качеством продуктов процесса первичной переработки нефти в пакете программ UniSimDesign проведено ее имитационное моделирование, результаты моделирования в сравнении с действующей системой управления представлены в таблице.

Результаты имитационного моделирования системы непрерывной  
идентификации и управления качеством продуктов процесса  
первичной переработки нефти

| № п/п | Показатели технологического режима, технико-экономические показатели | Распознавание качества продуктов при помощи аналитического контроля | Автоматическое распознавание качества продуктов |
|-------|--|---|---|
| 1     | Температура в верхней секции атмосферной колонны, °С                 | $\leq 160$  | $\leq 160$                                      |
| 2     | Давление в верхней секции атмосферной колонны, кг/см <sup>2</sup>    | $\leq 2,0$  | $\leq 2,0$                                      |

## Продолжение таблицы

| № п/п | Показатели технологического режима, технико-экономические показатели                  | Распознавание качества продуктов при помощи аналитического контроля | Автоматическое распознавание качества продуктов |
|-------|---|---|---|
| 3     | Расход острого орошения в атмосферную колонну, т/ч                                    | 70,0–110,0  | 70,0–110,0                                      |
| 4     | Расход отбираемого тяжелого бензина, т/ч  | 5,0–15,0  | 5,0–15,0  |
| 5     | Температура на тарелке отбора лигроина атмосферной колонны, °С                        | 160–180   | 160–180   |
| 6     | Давление на тарелке отбора лигроина атмосферной колонны, кг/см <sup>2</sup>           | ≤ 2,0   | ≤ 2,0   |
| 7     | Расход отбираемого лигроина, т/ч  | 30,0–45,0   | 30,0–45,0                                       |
| 8     | Расход первого циркуляционного орошения атмосферной колонны, т/ч                      | 100,0–160,0   | 100,0–160,0                                     |
| 9     | Температура на тарелке отбора дизельного топлива атмосферной колонны, °С              | 250–275   | 250–275   |
| 10    | Давление на тарелке отбора дизельного топлива атмосферной колонны, кг/см <sup>2</sup> | ≤ 2,0   | ≤ 2,0   |
| 11    | Расход отбираемого дизельного топлива, т/ч  | 74,0–113,5  | 75,5–117,0                                      |
| 12    | Расход второго циркуляционного орошения атмосферной колонны, т/ч                      | 30,0–45,0   | 30,0–45,0                                       |
| 13    | Температура конца кипения легкого бензина, °С   | 172–179   | 173–175   |
| 14    | Температура конца кипения тяжелого бензина, °С  | 165–175   | 168–171   |
| 15    | Температура начала кипения лигроина, °С   | 140–150   | 143–147   |
| 16    | Температура конца кипения лигроина, °С  | 243–250   | 248–250   |
| 17    | Температура начала кипения дизельного топлива, °С                                     | 213–225   | 218–223   |
| 18    | Температура конца кипения дизельного топлива, °С                                      | 356–360   | 358–360   |
| 19    | Интервал температур налегания тяжелого бензина и лигроина, °С                         | +8  | +5  |
| 20    | Интервал температур налегания лигроина и дизельного топлива, °С                       | +20   | +15   |

| № п/п | Показатели технологического режима, технико-экономические показатели        | Распознавание качества продуктов при помощи аналитического контроля | Автоматическое распознавание качества продуктов |
|-------|---|---|---|
| 21    | Интервал температур налегания дизельного топлива и атмосферного газойля, °С | +110  | +90   |
| 22    | Отбор светлых нефтепродуктов на исходное сырье, мас. %                      | 44,8  | 45  |

Сравнительный анализ результатов, приведенных в табл. 1, показывает, что предлагаемый способ автоматического управления процессом первичной переработки нефти позволяет уменьшить степень налегания смежных фракций: тяжелый бензин/лигроин – с 8 до 5 °С, лигроин/дизельное топливо – с 20 до 15 °С, дизельное топливо/атмосферный газойль – с 110 до 90 °С и увеличить отбор светлых нефтепродуктов на 0,2 мас. %. В таблице не показан дополнительный технический эффект, который заключается в минимизации перерегулирования и времени переходного процесса при смене углеводородного состава (типа) нефти и загрузки установки, а также в минимизации энергопотребления для осуществления процесса первичной переработки нефти. Другим достоинством предлагаемой системы является то, что при управлении процессом показатели качества не измеряются, а задаются. Это очень важно в переходных режимах при изменении расхода и состава сырья, а также при изменении задания на получаемые продукты, например, при переходе с производства зимнего дизельного топлива на летнее и наоборот. Разработанную систему непрерывной идентификации и управления качеством продуктов первичной переработки нефти рекомендуется использовать совместно с другими способами управления процессами нефтепереработки [2–10].

### Список литературы

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



2. 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.

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

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

5. Способ автоматического регулирования теплового режима ректификационной колонны: пат. 2081664 Рос. Федерация / Мустафин А.И., Кондрашов С.Н., Шумихин А.Г., Мустафин П.И., Елсуков А.Н., Никонов В.А. – № 95103907/25; заявл. 17.03.95; опубл. 20.06.97, Бюл. № 17. – 4 с.

6. Кондрашов С.Н., Власов С.А. Автоматическое регулирование теплового режима ректификационной колонны разделения бензина на фракции // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2016. – № 2. – С. 30–38.

7. Использование термодинамических зависимостей при управлении ректификационной колонной на установке замедленного коксования / С.Н. Кондрашов [и др.] // Автоматизация в промышленности. – 2016. – № 2. – С. 32–35.

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

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

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

## References

1. Mustafin A.I., Kondrashov S.N., Plekhov V.G., Mustafin P.I., Degterev N.S., Negashev Ju.I., Afonin I.E., Elsukov A.N., Kusakin K.A., Vas'kina S.V. Sposob avtomaticheskogo upravleniya protsessom pervichnoj pererabotki nefiti [The method of automatic control of primary oil refining process]. Patent 2148069 RF. 2000.

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

3. Mustafin A.I., Kondrashov S.N., Elsukov A.N., Mustafin P.I., Buldakov A.G., Vaskina S.V. Sposob avtomaticheskogo upravleniya protsessom rektifikatsii [Automatic control method distillation process]. Patent 2092222 RF. 1997.

4. Kondrashov S.N., Bezvorotnyj P.V., Maltsev D.I., Oznobishhev S.A., Krylov V.A., Gruzdev V.Yu., Gorokhova S.A. Sposob pererabotki nefiti [A method of oil refining]. Patent 2235753 RF. 2004.

5. Mustafin A.I., Kondrashov S.N., Shumikhin A.G., Mustafin P.I., Elsukov A.N., Nikonov V.A. Sposob avtomaticheskogo regulirovaniya teplovogo rezhima rektifikatsionnoj kolonny [The method of automatic control of thermal conditions of the distillation column]. Patent 2081664 RF. 1995.

6. Kondrashov S.N., Vlasov S.A. Avtomaticheskoe regulirovanie teplovogo rezhima rektifikatsionnoj kolonny razdeleniya benzina na fraksii [Automatic control of thermal conditions of the distillation column separation into fractions of gasoline]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Khimicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya*, 2016, no. 2, pp. 30–38.

7. 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. 32–35.

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 syrya na fraktsii [A method for the automatic control of coking vapor separation process heavy oil feedstock into fractions]. Patent 2144413 RF. 2000.

9. Bezvorotnyj P.V., Kuz'min I.G., Krylov V.A., Alikin A.G., Kondrashov S.N., Gruzdev V.Yu. Spособ ochistki uglevodorodnykh fraktsij [A method of purifying hydrocarbon fractions]. Patent 2191202 RF. 2002.

10. Zhukov V.Yu., Yakunin V.I., Krylov V.A., Kondrashov S.N., Bezvorotnyj P.V., Bratchikov V.V. Spособ ochistki legkikh uglevodorodnykh fraktsij [A method for purifying light hydrocarbons]. Patent 2492213 RF. 2013.

Получено 26.10.2016

### **Об авторах**

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

**Бурдин Игорь Сергеевич** (Пермь, Россия) – магистрант кафедры автоматизации технологических процессов и производств Пермского национального исследовательского политехнического университета (614013, г. Пермь, ул. Профессора Поздеева, 9, корпус Б; e-mail: IgorBurdin93@yandex.ru).

### **About the authors**

**Sergej N. Kondrashov** (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate professor, Department of automation of technological processes and production, Perm National Research Polytechnic University (9, Building B, Professora Pozdeeva str., Perm, 614013; e-mail: Sergej.Kondrashov@pnos.lukoil.com).

**Igor S. Burdin** (Perm, Russian Federation) – Undergraduate Student, Perm National Research Polytechnic University (9, Building B, Professora Pozdeeva str., Perm, 614013; e-mail: IgorBurdin93@yandex.ru).