

УДК 665.6/7:004.942

## ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩАЯ СИСТЕМА ПРОЦЕССОВ ПРОМЫСЛОВОЙ ПОДГОТОВКИ ГАЗА И ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТА

А.В. Кравцов, Н.В. Ушева, О.Е. Мойзес, Е.А. Кузьменко, В.И. Рейзлин, А.А. Гавриков

Томский политехнический университет

E-mail: vir@tpu.ru

Разработана информационно-моделирующая система комплексной подготовки газа и газового конденсата для расчётов материальных балансов установок, исследования влияния технологических параметров на выход и качество товарного газа, оптимизации технологических режимов работы промышленных установок. На примере Мыльджинского газоконденсатного месторождения Томской области показана возможность ее практического применения для выбора наиболее эффективных режимов работы установки.

### Ключевые слова:

Газовый конденсат, низкотемпературная сепарация, каплеобразование, отстаивание, материальный баланс, математическая модель, информационно-моделирующая система.

### Key words:

Gas condensate, low-temperature separation, drop formation, assertion, material balance, mathematical model, informational-simulating system.

Природный газ, газовый конденсат, направляемые промышленным и бытовым потребителям, должны отвечать стандартам или техническим условиям их транспортировки, хранения, поставки и использования (ОСТ 51.40–93).

С этой целью осуществляется промышленная подготовка газового конденсата, которая предусматривает проведение процессов низкотемпературной сепарации и стабилизации конденсата.

Математическое моделирование процессов первичной подготовки углеводородного сырья является необходимым этапом при решении задач анализа, оптимизации, повышения эффективности действующих установок промышленной подготовки газа и газового конденсата. В настоящее время разработаны и широко применяются различные моделирующие системы, такие как, HYSYS, HYSIM, PRO-2, PROSYM, GIBBS, «ГазКондНефть» и другие [1], которые являются универсальными и используются, в основном, при проведении проектных расчетов. Информационно-моделирующие системы (ИМС) отличаются от традиционных методов математического моделирования комплексным подходом к проблеме, удобным пользовательским интерфейсом и использованием современных операционных сред, в рамках которых функционируют все блоки ИМС. Кроме того, большинство подобных систем включают экспертные оценки специалистов, накопленные базы данных, базы знаний.

Однако для повышения эффективности действующих промышленных установок целесообразно применять специализированные моделирующие системы, адаптированные к технологическим условиям данного промышленного объекта.

Целью данной работы являлось создание ИМС промышленной подготовки газа и газового конденсата месторождений Томской области.

Разработанная ИМС предназначена для исследования технологических режимов, прогнозирования

протекания процессов первичной подготовки газа и газового конденсата в динамике разработки месторождения и оптимизации процесса.

ИМС включает три основных модуля расчета:

- состава пластовой смеси;
- материальных балансов;
- процессов промышленной подготовки газового конденсата.

Для расчета состава и расхода пластового газа, поступающего на установку комплексной подготовки газа, в качестве исходной информации используются данные по параметрам выходных потоков: товарного газа, нестабильного конденсата, воды из разделителя жидкости РЖ1, водометанольного раствора из разделителя РЖ2 и циркулирующего потока метан-этановой фракции установки деэтаннизации и стабилизации конденсата (УДСК), рис. 1.

Расчёт проводится на основе уравнений материального баланса:

$$G_c = G_{tr} + G_{нк} - G_{гд} + G_{рж1} + G_{рж2},$$

$$G_{пр} = G_{tr} + G_{нк} - G_{гд} + G_{рж1} + G_{рж2} - G_m,$$

где  $G_i$  – расход  $i$ -го потока, т/сут;  $G_{пр}$  – пластового газа;  $G_c$  – сырья на установку;  $G_{tr}$  – товарного газа;  $G_{нк}$  – нестабильного конденсата;  $G_{гд}$  – циркулирующего газа деэтаннизации;  $G_{рж1}$  – воды из разделителя жидкости РЖ1;  $G_{рж2}$  – водометанольного раствора из разделителя РЖ2;  $G_m$  – метанола на установку.

Расчёт состава входного потока выполняется по формуле:

$$C_i = \frac{\sum_{j=1}^n C_i^j G_j}{\sum_{j=1}^n G_j},$$

где  $C_i$ ,  $C_i^j$  – концентрация  $i$ -го компонента во входящем на УКПГ потоке и в  $j$ -м уходящем или циркулирующем, мас. %;  $G_j$  – расход  $j$ -го уходящего или циркулирующего потоков, т/сут.

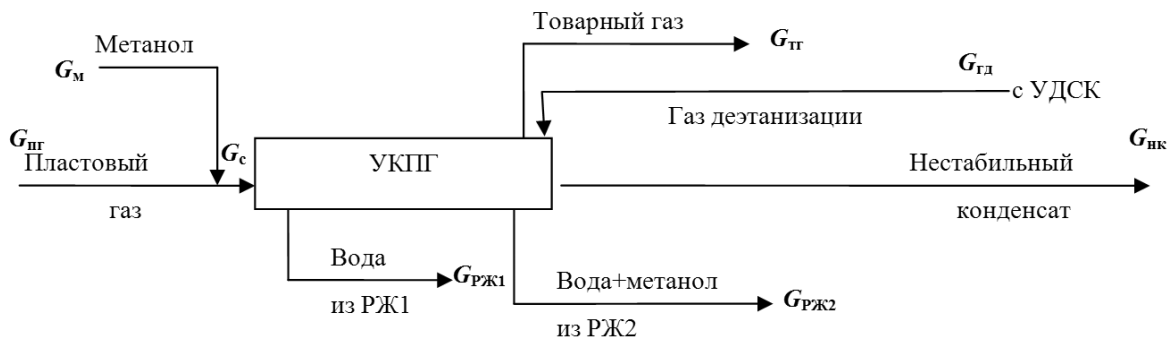


Рис. 1. Схема потоков установки комплексной подготовки газа (УКПГ)

Данные о расходах уходящих потоков и их составах берутся из режимных листов и журнала аналитического контроля промышленной установки. В качестве дополнительной информации вводятся дата отбора проб и соответствующий технологический режим работы УКПГ.

По данным о расходах и составах уходящих с УКПГ потоков выполнен расчёт состава пластового газа (табл. 1). Расчеты были проведены на основании данных, полученных с промышленной установки комплексной подготовки газа Мыльджинского газоконденсатного месторождения Томской области.

В модуле расчёта материального баланса установки комплексной подготовки газового конденсата приведена технологическая схема, которая включает несколько модулей подготовки газа (МПП).

Алгоритм расчета материального баланса базируется на схеме распределения технологических потоков установки, нумерация которых приведена на рис. 2:

Таблица 1. Результаты расчета состава пластового газа

Состав потока	Концентрация, моль %					Результаты расчета
	Составы потоков (исходные данные)					
	Товарный газ	Нестабильный конденсат	Газ деэтаннизации	Вода из РЖ1	Вода+метанол из РЖ2	
CO <sub>2</sub>	0,41	0,14	6,59	0	0	0,35
N <sub>2</sub>	3,34	3,96	0,02	0	0	3,36
CH <sub>4</sub>	90,08	21,73	47,57	0	0	87,78
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	3,52	5,46	28,23	0	0	3,38
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1,96	12,26	12,33	0	0	2,18
и-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,29	8,20	2,31	0	0	0,51
н-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,28	8,20	2,27	0	0	0,50
и-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,07	5,60	0,40	0	0	0,23
н-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,05	5,60	0,28	0	0	0,21
C <sub>6</sub> +	0	28,85	0	0	0	0,87
H <sub>2</sub> O	0	0	0	100	54,00	0,63
CH <sub>3</sub> OH	0	0	0	0	46,00	0

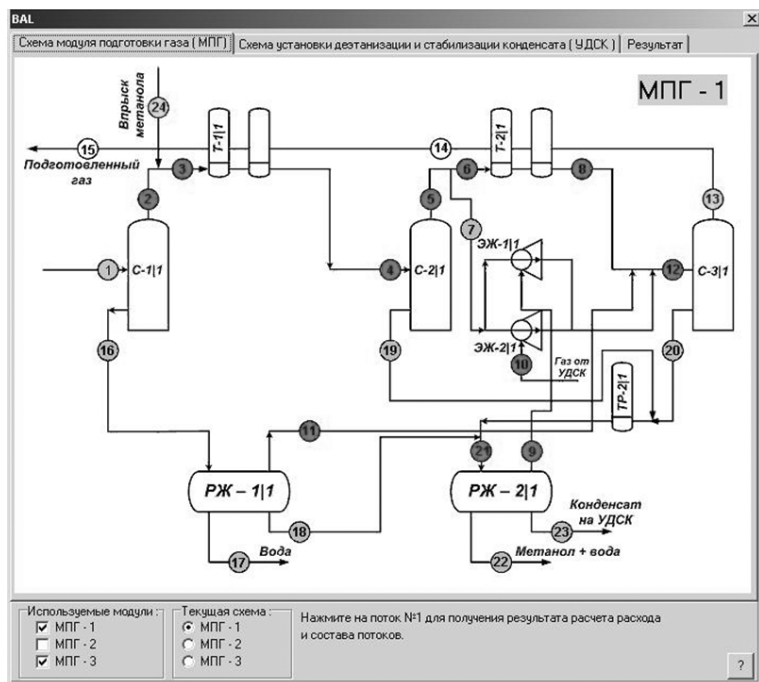


Рис. 2. Схема модуля подготовки газового конденсата

$$G_1 = G_2 + G_{16}, \quad G_2 = G_3 - G_{24}, \quad G_3 = G_4,$$

$$G_4 = G_5 + G_{19}, \quad G_5 = G_{12} - G_{11} - G_9, \quad G_6 = G_5 - G_7,$$

$$G_8 = G_6, \quad G_9 = G_{21} - G_{22} - G_{23},$$

$$G_{11} = G_{16} - G_{17} - G_{18}, \quad G_{12} = G_{13} + G_{20},$$

$$G_{14} = G_{13}, \quad G_{15} = G_{13}, \quad G_{21} = G_{18} + G_{19} + G_{20}.$$

Для потока 1 МПП задаются термобарические условия, для потоков 7, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23 – расход и термобарические данные (рис. 2), для потоков товарного газа (13) и водометанольного раствора (24) – полная информация, которая включает кроме расхода и термобарических данных компонентный состав потока.

Данный модуль ИМС позволяет рассчитать материальные потоки промышленной установки, для которых не предусмотрено их экспериментальное измерение и в целом материальный баланс УКПП.

Основным модулем ИМС является модуль расчета процессов промысловой подготовки газового конденсата, структура которого приведена на рис. 3.

Математическое описание моделей процессов разработано на основе теоретических закономерностей первичной подготовки газов и газовых конденсатов, что обеспечивает высокую точность расчетов и их прогнозирующую способность.

Проверка адекватности математического описания проводилась по экспериментальным данным, полученным с УКПП Мыльджинского и Северо-Васюганского газоконденсатного месторождений [2, 3].

Основные уравнения для расчета процесса сепарации многокомпонентной системы:

$$x_i = \frac{c_i}{1 + e(K_i - 1)}, \quad y_i = \frac{c_i K_i}{1 + e(K_i - 1)},$$

где  $e$  – молярная доля пара (доля отгона) в конце процесса однократного испарения;  $c_i, x_i, y_i$  – мольные доли  $i$ -го компонента в исходном сырье и полученных жидкой и паровой фазах соответственно;  $K_i$  – константа фазового равновесия  $i$ -го компонента.

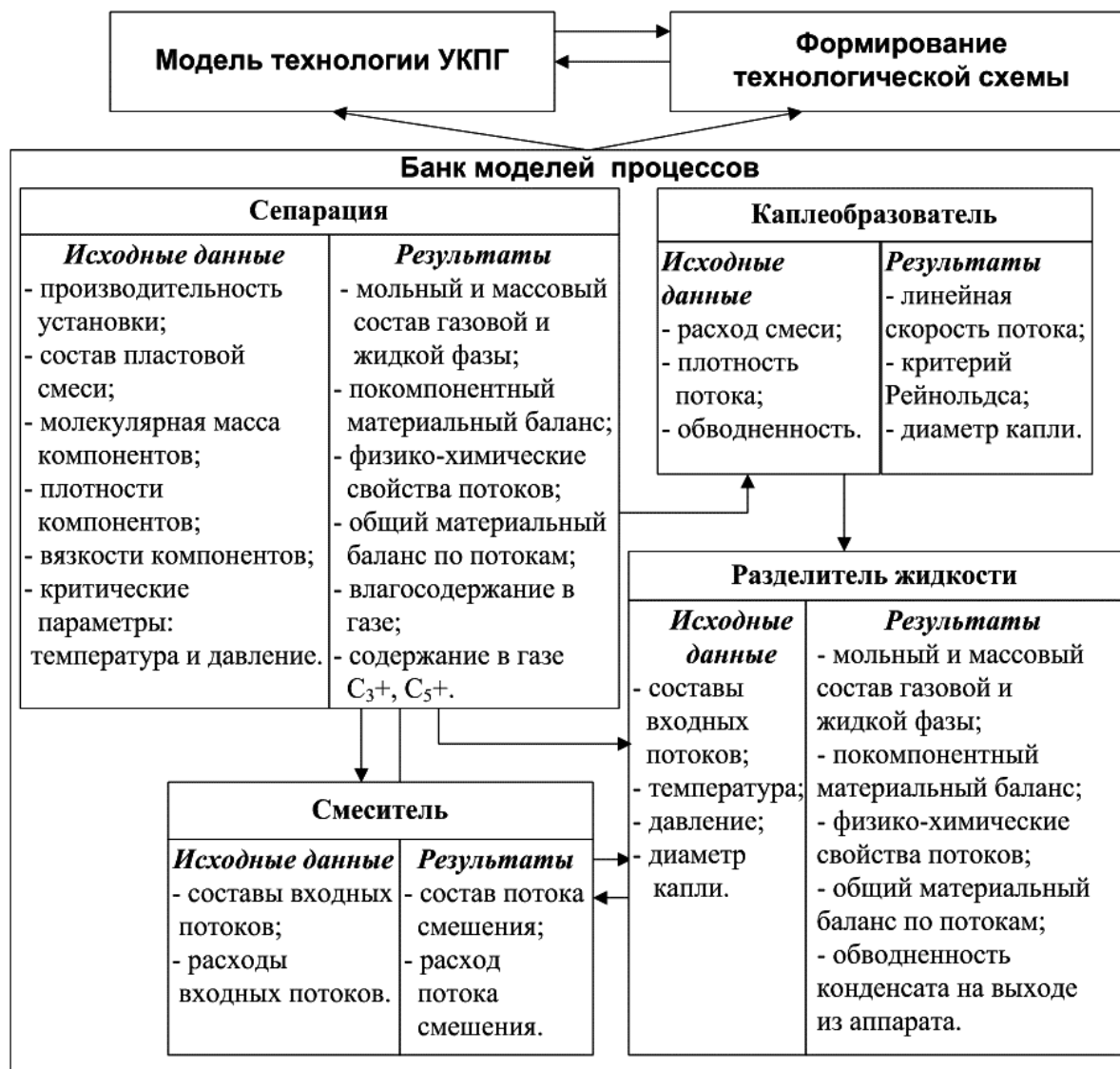


Рис. 3. Структура модуля расчета процессов промысловой подготовки газового конденсата

Контролем правильности решения является выполнение условий  $\sum x_i = \sum y_i = 1$ .

Для расчета констант фазового равновесия нами была принята методика [4], в основе которой лежит уравнение Гофмана–Крампса.

При первичной подготовке газового конденсата в состав потоков входят такие компоненты, как вода и метанол – ингибитор гидратообразования. Для расчетов констант фазового равновесия метанола и воды выбрано уравнение Тека–Стила [5], которое позволяет с большей точностью определить давление насыщенных паров полярных веществ и веществ с водородными связями при низких температурах.

Основное уравнение для расчета диаметра капле [6] в модуле процесса каплеобразования:

$$d = 0,18D \left( \frac{\rho_{гк}}{\rho_{ж}} \right)^{1/7} \left( \frac{1}{u} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_{ж} D / 2}} \right),$$

где  $d$  – диаметр капле, м;  $\sigma$  – поверхностное натяжение, Н/м;  $\rho_{гк}$  – плотность газоконденсатной смеси, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{ж}$  – плотность водометанольного раствора, кг/м<sup>3</sup>;  $u$  – линейная скорость, м/с;  $D$  – диаметр трубопровода, м.

Математическое описание процесса отстаивания основывается на известных законах осаждения капле воды под действием сил тяжести, а также различного ряда эмпирических и полуэмпирических уравнениях, описывающих физико-химические свойства материальных потоков как функции технологических параметров процесса обезвоживания газового конденсата.

Относительная обводненность газового конденсата после процесса отстаивания определялась по уравнению [7]:

$$\frac{\omega_{ст} 18 \mu_{гк} (1 - B)^2}{d^2 (\rho_{ж} - \rho_{гк}) g \left[ (1 - B)^2 - \left( 1 - \frac{B}{B_0} \right)^2 \right]} = (1 - B)^{4,7},$$

где  $\mu_{гк}$  – вязкость газового конденсата, мПа·с;  $\omega_{ст}$  – скорость стесненного осаждения капли размером  $d$ , м/с;  $B_0$  – обводненность жидкой фазы в разделителе жидкости;  $B$  – обводненность конденсата на выходе из разделителя жидкости;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Особенностью расчета процесса обезвоживания нестабильного конденсата является использование модели, в основе которой лежит разделение водометанольного раствора в процессе отстаивания с учетом каплеобразования, а не в результате расчета фазовых равновесий в системе углеводороды-метанол-вода, что более точно отражает физическую сущность протекающих в разделителях жидкости процессов.

Выполненные ранее исследования [8] по анализу параметрической чувствительности процесса при варьировании технологических параметров, таких как давление и температура, показали, что наибольшее влияние на выход товарного газа и его качество оказывает изменение технологических параметров на третьей ступени сепарации.

В табл. 2 приведен пример расчета состава продуктовых потоков УКПГ при заданном составе пластовой смеси с применением ИМС.

**Таблица 2.** Составы сырьевого и расчетных продуктовых потоков УКПГ

Компонент	Содержание, моль %		
	Пластовый газ	Технологический режим:	
		Температура, °С T1=24,7 T2=11,0 T3=-29,0	Давление, МПа P1=7,8 P2=7,7 P3=4,1
	Товарный газ	Нестабильный конденсат	
CO <sub>2</sub>	0,500	0,518	0,240
N <sub>2</sub>	3,930	4,061	0,089
CH <sub>4</sub>	85,180	88,186	9,950
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	3,923	3,988	5,574
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	2,459	2,226	10,859
i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,733	0,450	8,771
n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,851	0,446	12,181
i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,381	0,063	9,034
n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,400	0,039	10,162
C <sub>6</sub> +	1,190	0,004	32,994
H <sub>2</sub> O	0,479	0,003	0,107
CH <sub>3</sub> OH	0,025	0,016	0,039

Исследования по влиянию термобарических условий на процессы промышленной подготовки газового конденсата (табл. 3) показали, что увеличение давления на первой ступени сепарации приводит к незначительному повышению выхода товарного газа при сохранении качества его подготовки. В исследованных интервалах варьирования давления на различных ступенях сепарации можно достичь увеличения выхода товарного газа. Так, например, при снижении давления в третьем сепараторе можно повысить выход товарного газа, однако уменьшать давление следует только до значения 4 МПа, т. к. при дальнейшем понижении давления точка росы по воде не соответствует требованиям ОСТ 51.40–93. Для расчёта точки росы влаги аппроксимированы данные таблиц 1, 2 приложения ГОСТ 20060–83 по влажосодержанию и точке росы при различных давлениях. Расчёт точки росы по углеводородам и воде проведён для давления в трубопроводе 4,1 МПа.

ИМС рассчитывает следующие показатели качества подготовки товарного газа: влажосодержание, содержание C<sub>3</sub>+ – C<sub>5</sub>+, точку росы по углеводородам и воде. Как показали исследования, повысить качество подготовки товарного газа возможно в результате повышения давления или снижения температуры (табл. 4) на третьей ступени сепарации. Наиболее сильное влияние на выход товарного газа оказывает изменение температуры на третьей ступени сепарации. Повышение температуры до –26 °С увеличивает выход товарного газа на 654 кг/ч. При этом наблюдается некоторое снижение качества подготовки газа, однако точка росы по углеводородам и воде соответствует ОСТ в летний период времени.

**Таблица 3.** Исследование влияния давления и температуры на показатели работы в первом сепараторе

Параметры	Технологические режимы					
	Давление в сепараторе С1, МПа			Температура в сепараторе С1, °С		
	Р1			Т1		
	8,8	7,8 (исходный)	8,2	20,0	24,7 (исходный)	30
Расход газа, кг/ч	132405,7	132394,2	132396,3	132409,2	132394,2	132365,5
Расход конденсата, кг/ч	18963,4	18975,5	18973,1	18961,3	18975,5	19003,7
Количество отделившегося водометанольного раствора, кг/ч	757,2	756,6	757,0	755,6	756,6	757,2
Влагосодержание товарного газа, г/м <sup>3</sup>	0,0299	0,0343	0,0325	0,0294	0,0343	0,0398
Содержание, г/м <sup>3</sup> :						
С <sub>3</sub> +	65,83	65,74	65,78	65,81	65,74	65,64
С <sub>5</sub> +	3,28	3,25	3,26	3,26	3,25	3,22
Точка росы по углеводородам, °С	-23,9	-23,9	-23,9	-23,9	-23,9	-24,0
Точка росы по воде, °С	-22,3	-20,5	-21,2	-22,5	-20,5	-18,6

**Таблица 4.** Исследование влияния давления и температуры на показатели работы в третьем сепараторе

Параметры	Технологические режимы							
	Давление в сепараторе С3, МПа				Температура в сепараторе С3, °С			
	Р3				Т3			
	3,6	4,6	5,1	5,6	-26	-32	-35	-38
Расход газа, кг/ч	132768,3	132067,7	131783,3	131524,4	133048,3	131727,9	131063,2	130395,9
Расход конденсата, кг/ч	18608,1	19296,7	19576,9	19832,5	18331,4	19634,0	20293,2	20957,0
Количество отделившегося водометанольного раствора, кг/ч	749,9	762,0	766,1	772,6	746,6	764,5	770,0	773,5
Влагосодержание товарного газа, г/м <sup>3</sup>	0,0433	0,0277	0,0228	0,0189	0,0492	0,0238	0,0164	0,0113
Содержание, г/м <sup>3</sup> :								
С <sub>3</sub> +	67,55	64,18	62,81	61,55	69,02	62,40	59,05	55,07
С <sub>5</sub> +	3,05	3,05	2,89	2,75	3,93	2,67	2,18	1,78
Точка росы по углеводородам, °С	-22,4	-25,3	-26,5	-27,7	-21,3	-26,8	-29,8	-33,2
Точка росы по воде, °С	-17,5	-23,3	-25,8	-28,2	-15,9	-25,3	-30,0	-34,9

В целом, ИМС предназначена для прогнозирования влияния термобарических условий, состава пластовой смеси, расходов и конструктивных особенностей аппаратов, применяемых в данной технологической схеме на процессы промышленной подготовки газового конденсата, в том числе, и процессы отделения водометанольных растворов. Исследование влияния технологических параметров позволяет выбрать оптимальные режимы эксплуатации установок комплексной подготовки газового конденсата.

Разработанная ИМС имеет открытую архитектуру, предоставляющую возможность накапливать базы данных, пополнять и обновлять методики и модели, а также добавлять новые, не изменяя внутренней архитектуры комплекса. В моделирующем комплексе заложена объектно-ориентированная архитектура, которая дает возможность новым модулям программы наследовать свойства суще-

ствующих объектов, что обеспечивает более гибкий подход к их проектированию. Разработанный моделирующий комплекс может работать с базами исходных параметров и получаемых результатов, хранить большой объем информации, структурировать ее и пополнять новыми данными с целью включения их в качестве исходного набора.

Информационно-моделирующая система достаточно просто адаптируется к условиям и особенностям работы конкретной промышленной установки, позволяет проводить расчеты, на основе которых в режиме эксплуатации объекта могут быть выбраны оптимальные технологические режимы, которые повысят выход товарной продукции и помогут оценить показатели её качества. Подобные расчеты целесообразно проводить в технологических отделах предприятий, а полученную информацию в виде рекомендаций передавать на конкретные установки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология переработки природного газа и конденсата. Справочник / под ред. В.И. Мурина. – М.: ООО «Недра Бизнес-центр», 2002. – Ч. 1. – 517 с.
2. Иванов В.Г., Маслов А.С., Кравцов А.В., Ушева Н.В., Гавриков А.А. Повышение эффективности технологии промышленной подготовки газового конденсата // Газовая промышленность. – 2003. – № 7. – С. 54–57.
3. Сергеев О.А., Князев А.С., Кравцов А.В., Ушева Н.В., Мойзес О.Е., Кузьменко Е.А., Рыжакина А.Н. Моделирование процессов отделения водометанольных растворов при промышленной подготовке газового конденсата // Газовая промышленность. – 2008. – № 4. – С. 24–27.
4. Шилов В.И., Крикунов В.В. Прогнозирование фазового состояния природных нефтегазовых систем // Нефтяное хозяйство. – 2002. – № 8. – С. 100–103.
5. Рид Р.С., Праусниц Д.М., Шервуд Т.К. Свойства газов и жидкостей. – Л.: Химия, 1982. – 592 с.
6. Пергушев Л.П., Деникаев Р.Т. Расчет скорости транспортирования высокообводненной эмульсии по трубопроводу без её расслоения // Нефтепромысловое дело. – 2001. – № 12. – С. 23–31.
7. Лутошкин Г.С., Дуношкин И.И. Сборник задач по сбору, подготовке нефти, газа и воды на промыслах. – М.: ООО ИД «АЛЪЯНС», 2007. – 132 с.
8. Кравцов А.В., Ушева Н.В., Мойзес О.Е., Кузьменко Е.А., Ануфриева О.В. Анализ влияния технологических параметров и оптимизация процессов низкотемпературной сепарации // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315 – № 3. – С. 57–60.

Поступила 14.02.2011 г.

УДК 669.162.28

## РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАБОТЫ ДОМЕННОГО ЦЕХА

В.В. Лавров\*, Н.А. Спирин\*, А.А. Бурыкин\*, А.В. Краснобаев\*\*, Н.В. Новикова\*

\*ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург

\*\*ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск

E-mail: lv@tim.ustu.ru

Отражены технологические особенности применения методологии функционального моделирования IDEF0, использованные авторами в ходе создания автоматизированной информационной системы анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

### Ключевые слова:

Функциональное моделирование, стандарт IDEF0, методология SADT, компьютерные системы поддержки принятия решений, доменное производство.

### Key words:

Functional modeling, Integrated computer aided manufacturing DEfinition, Structural Analysis and Design Technique, Software engineering decision support systems, blast furnace.

Одними из основных показателей качества программного обеспечения автоматизированных информационных систем, как известно, являются его функциональность и надежность [1]. Важнейшим этапом разработки, во многом определяющим требуемый уровень этих показателей, является этап анализа и проектирования функций, процессов взаимодействия в информационных системах.

В основу метода, использованного при проектировании функций автоматизированной информационной системы анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», положены идеи и нотации стандарта IDEF0 (*Integrated computer aided manufacturing DEfinition*), который является развитием методики SADT (*Structural Analysis and Design Technique*) [2]. Использование методики IDEF0 позволило создать функциональную структуру программного комплекса, выявить производимые им действия и связи между этими действиями, управляющие воздействия и механизмы выполнения каждой функции, что, в конечном

итоге, позволило на ранней стадии проектирования предотвратить возможные ошибки. Внешний вид контекстной диаграммы функциональной модели автоматизированной информационной системы анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха (АИС АППС ДЦ) представлен на рис. 1.

На первом уровне функциональной модели выделены два основных потока *входной информации* в систему (*Input*): данные из систем АСУ ТП и корпоративной информационной системы (КИС), а также отчетные документы по производству. Конкретизация входных данных представлена на последующих этапах декомпозиции системы. *Интерфейс управления (Control)* разбит на четыре логических блока: совокупность документов (технологических инструкций, руководств пользователей); нормативно-справочной информации (НСИ); требований пользователей; описание математических моделей и алгоритмов анализа и прогнозирования работы доменных печей и цеха. Заметим, что под документами понимаются инструкции ведения