

УДК 681.3:721+622.692

Т.Н. Бормотова, П.Ю. СокольчикПермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия**АНАЛИЗ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ
О МОДУЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ
СБОРА, ПОДГОТОВКИ И ТРАНСПОРТА НЕФТИ**

Современные условия предъявляют к технологическим предприятиям высокие требования не только в области экономики и качества полученной продукции, но и в областях промышленной безопасности, мобильности, а также в скорости проектирования и внедрения технологии, возможностях импортозамещения всей установки или отдельных видов оборудования. Основная часть решений, обеспечивающих все требования, реализуется на стадии проектирования технологического процесса.

В настоящее время при проектировании технологических установок может использоваться модульный подход, позволяющий упрощать задачи проектирования и внедрения за счет высокой степени унификации и агрегатизации. При проектировании такой подход позволяет упростить и формализовать задачи, связанные с принятием решений по составу технологического оборудования. Например, можно ускорить задачи выбора отдельного оборудования, снизить требования к квалификации инженеров-проектировщиков, снизить вероятность принятия неправильных решений, производить сравнение альтернативных решений в режиме реального времени.

В статье рассматриваются возможности расширения систем автоматизированного проектирования (САПР) технологических установок систем сбора и подготовки нефти. Для этого приведены практические примеры технологических процессов подготовки нефти и состав технологических установок с применением модульного подхода, определены информационные модели, формализующие группы решений и описывающие отдельные решения по технологической установке. Для построения моделей применен объектно-ориентированный подход описания решений и подход, основанный на реляционных моделях. При рассмотрении

технологической установки с применением объектно-ориентированного подхода определена иерархия классов, используемых для дальнейшего проектирования, и свойства классов. Эти подходы приводят к построению баз данных (БД) и системы управления базами данных (СУБД), интегрированных в САПР или используемых отдельно, которые позволяют формализовать выбор аппаратурного оформления технологических установок. Приводится алгоритм использования БД при проектировании технологических установок.

***Ключевые слова:** технологическая установка подготовки нефти, модульный подход, объектно-ориентированный метод описания решений, реляционная база данных, СУБД, САПР.*

T.N. Bormotova, P.Yu. Sokolchik

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ANALYSIS AND DATA REPRESENTATION OF MODULAR TECHNOLOGICAL SYSTEMS FOR GATHERING, PROCESSING AND TRANSPORT OF OIL

Modern conditions impose high demands on technology companies not only in the economy and the quality of the products, but also in the areas of industrial safety, mobility and the speed of design and implementation of technology capabilities of import the entire plant or certain types of equipment. The main part of the solutions is to ensure all requirements implemented at the design stage of the process.

Currently, in the design process plants can be used a modular this approach can help to simplify the task of designing and implementing due to the high degree of standardization and unitization. In the design of such an approach to simplify and formalize the problems associated with the adoption of decisions on the composition of the process equipment. For example, you can speed up the problem of choosing an individual equipment to reduce the requirements for the qualification of design engineers to reduce the probability of making a wrong decision, to make a comparison of alternative solutions in real time.

The article discusses the possibility of expanding computer-aided design (CAD) systems, process plants collection and treatment system. In order to prove this we consider practical examples of technological processes for the preparation of oil, part of process units using a modular approach, defined information models that formalize the

group decisions and individual decisions by describing the process plant. To build the models we applied object-oriented approach and descriptions of the solutions approach based on the relational model. When considering the installation process using the object-oriented approach we defined the hierarchy of classes used for further design and the properties of classes. These approaches lead to the construction of databases (DB) and database management systems (DBMS) that are integrated into CAD or used separately, which allows to formalize the choice of hardware design of process plants. The algorithm of using the database in the design of process plants.

Keywords: *technological oil processing unit, a modular approach, an object-oriented method of describing solutions, a relational database, DBMS, CAD.*

Процессы сбора, транспорта и подготовки нефти должны быть обеспечены сложными технологическими схемами, которые проектируют, исходя из особенностей месторождения, требования безопасности, доступного оборудования и т.д. При этом промышленное обустройство требует большого объема капитальных вложений, значительную долю которых составляют сооружения систем сбора, подготовки и транспорта продукции скважин. Совершенствование и упрощение систем сбора, подготовки и транспорта нефти и газа имеет первостепенное значение как для снижения капитальных затрат и эксплуатационных расходов, так и для сокращения сроков обустройства и, следовательно, для ускорения ввода в действие новых скважин и нефтяных месторождений. В целом под системами сбора и подготовки нефти, попутного газа и пластовой воды на нефтяных месторождениях понимают все оборудование и систему трубопроводов, построенных для сбора продукции отдельных скважин и доставки ее до центрального пункта подготовки нефти, газа и воды [2, 3].

Система сбора и подготовки нефти, газа и воды должна обеспечить возможность осуществления следующих операций:

- измерение количества продукции каждой скважины;
- транспортировка продукции скважин до центрального пункта подготовки нефти, газа и воды за счет энергии пласта или насосов;
- отделение газа от нефти и транспортировка его до пункта подготовки или до потребителя;
- отделение свободной воды от продукции скважин до установок подготовки нефти (в случае добычи обводненной нефти);

- подготовка нефти (обессоливание, стабилизация) для сдачи в магистральный нефтепровод;
- подготовка воды (очистка от механических примесей и нефтепродуктов) для закачки в нагнетательную скважину и далее в пласт;
- подогрев продукции скважин, если невозможно ее собирать и транспортировать при обычных температурах.

Технологический процесс сбора, подготовки и транспорта нефти, газа и воды с целью получения товарной нефти, утилизации попутно добываемых газа и воды реализуется в технологической системе (комплексе) обустройства месторождения, представляющей собой совокупность технологических объектов (рис. 1). К основным технологическим объектам сбора и подготовки нефти относятся [4, 5]:

- дожимная насосная станция (ДНС), предназначенная для обеспечения транспорта продукции добывающих скважин на объекты подготовки нефти при невозможности или нецелесообразности осуществления этого процесса под давлением скважин;
- установка предварительного сброса воды (УПСВ), применяемая для частичного отделения попутно добываемой воды из продукции скважин и подготовки воды до требуемого содержания в ней механических примесей и нефтепродуктов;
- центральный пункт сбора (ЦПС), конечной продукцией которого является товарная нефть, поставляемая в соответствии с ГОСТ Р51858–2002.

В практике эксплуатации нефтяных и нефтегазовых месторождений встречаются и другие технологические объекты сбора и подготовки нефти:

- узел сепарации (УС), по функциональному назначению соответствующий ДНС;
- установка подготовки нефти (УПН), совпадающая по функциональному назначению с ЦПС; в ряде случаев под УПН понимается часть ЦПС, где реализуется процесс окончательного обезвоживания нефти;
- УПСВ с ДНС, ДНС с УПСВ, комплексный сборный пункт (КСП), установка предварительного сброса воды и газа (УПСВГ), выполняющие функции как ДНС, так и УПСВ; часто такие объекты называются УПСВ.

Нефтедобывающие предприятия могут быть обустроены приемосдаточными пунктами (ПСП), предназначенными для сдачи товарной нефти в систему магистрального трубопроводного или другого вида транспорта. На ПСП, располагаемом близко от точки подключения к объектам внешнего транспорта, может поступать товарная нефть от нескольких ЦПС.

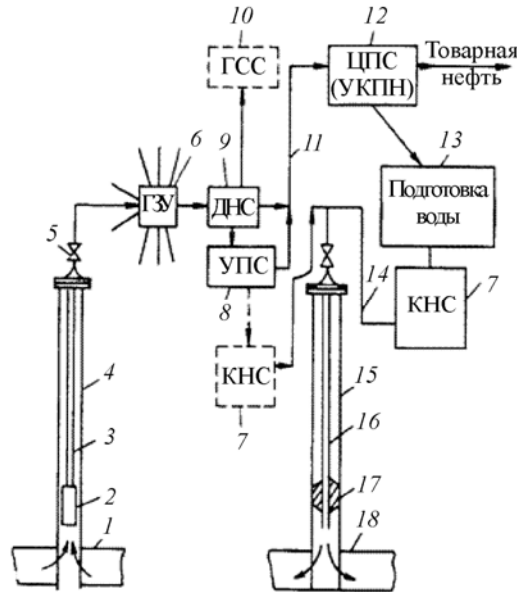


Рис. 1. Схема сбора и подготовки продукции на промысле: 1 – продуктивный пласт; 2 – насос; 3 – колонна насосно-компрессорных труб (НКТ); 4 – обсадная колонна; 5 – устье добывающей скважины; 6 – групповая замерная установка (ГЗУ); 7 – кустовая насосная станция (КНС); 8 – УПСВ; 9 – ДНС; 10 – газосборная сеть; 11 – нефтегазосборный трубопровод; 12 – ЦПС; 13 – узел подготовки воды; 14 – нагнетательный трубопровод; 15 – обсадная колонна нагнетательной скважины; 16 – НКТ; 17 – пакер; 18 – пласт

На основании обобщения опыта эксплуатации и научных исследований в отрасли разработаны унифицированные технологические схемы сбора и подготовки нефти, газа и воды [1]. В основу этих схем положено различное сочетание процессов герметизированного сбора и подготовки нефти, газа и воды для обеспечения требуемого качества продукции при минимальных эксплуатационных и капитальных затратах. Проектирование таких технологических схем имеет свою специфику, заключающуюся в возможности использования ограниченного количества унифицированных типовых решений, заданных в некото-

ром диапазоне требований [6]. Унифицированные технологические схемы допускают применение измененных технологических схем отдельных процессов сбора и подготовки нефти, газа и воды, так как каждое месторождение имеет свои особенности: размеры, формы, рельеф местности, природно-климатические условия, сетку размещения скважин, способы и объемы нефти, газа и воды, физико-химические свойства пластовых жидкостей и т.д.

При конечном выборе базовых процессов сбора и подготовки нефти их аппаратурное содержание можно оформить по-разному. Рассмотрим примеры компоновки ЦПС. Представленные на рис. 2 варианты компоновки ЦПС отличаются сочетанием технологических процессов (наличием в схеме модуля подогрева нефти), а также их аппаратурным оформлением (компоновкой модуля предварительного обезвоживания и модуля подготовки нефти).

При проектировании, внедрении и эксплуатации технологических систем необходимо учитывать, что с точки зрения заказчика технологического процесса (эксплуатирующей организации) будут учитываться такие показатели, характеризующие установку, как стоимость установки, затраты на монтаж и эксплуатацию, промышленная и экологическая безопасность ведения технологического процесса. С точки зрения потребителя продукции будут важны выходные показатели технологического процесса (расход, качество, состав потоков) и менее важно аппаратурное оформление технологического объекта (структура, содержание). Поэтому на стадии проектирования установки необходимо учитывать обе эти составляющие.

За счет применения модульного подхода, использующего современное аппаратурное оформление систем сбора и подготовки нефти, а также современных средств и методов проектирования этих систем можно существенно снизить временные затраты на проектные работы, уменьшить вероятность ошибки при проектировании.

Для выполнения технико-экономических расчетов конкретного технологического объекта могут использоваться унифицированные блочно-модульные технологические схемы с учетом физико-химических свойств нефти, газа, воды и рекомендуемых технологических параметров процессов. Модули различного функционального назначения типизированы по производительности, что обеспечивает их применение в зависимости от прогнозируемой (динамики) добычи нефти и газа по проектируемому или реконструируемому объекту.

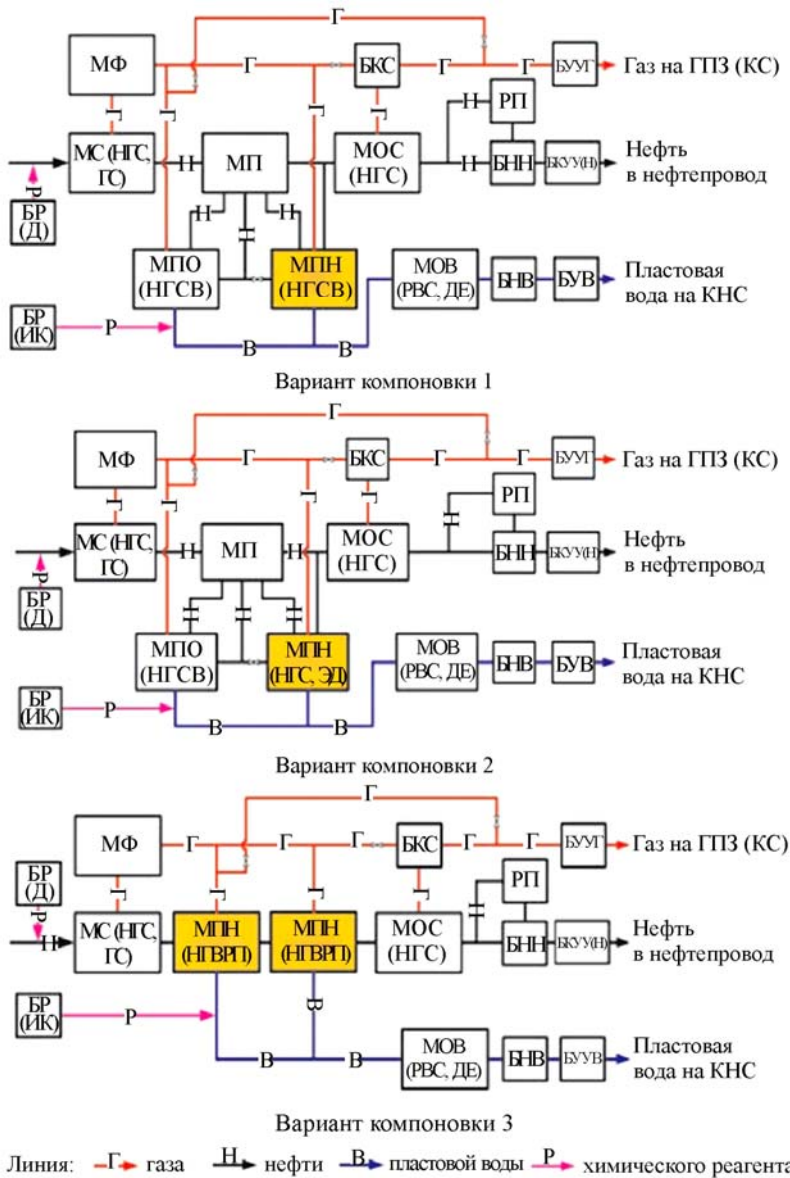


Рис. 2. Варианты компоновки ЦПС: МС – модуль сепарации; МПО – модуль предварительного обезвоживания; МПН – модуль подготовки нефти; МОВ – модуль очистки воды; МОС – модуль окончательной сепарации; БКС – блочная компрессорная станция; МФ – модуль факельный; РП – резервуарный парк; БНН, ВНВ – блок насосов соответственно нефти и воды; БР(Д), БР(ИК) – блок дозирования соответственно деэмульгатора и ингибитор коррозии; БКУУН – блок коммерческого узла учета нефти; БУУГ – блок узла учета газа; БУВ – блок узла учета воды; НГС – нефтегазовый сепаратор; ГС – газовый сепаратор; НГСВ – нефтегазовый сепаратор со сбросом воды; ЭД – электродегидратор; ДЕ – дренажная емкость

В процессе подбора технологической схемы из значительного, но конечного количества модулей необходимо решать следующие задачи:

1) обеспечение заданных свойств технологической структуры: требуемого объема подготовленной продукции, зависящего от суммарного ожидаемого дебита скважин, требуемого качества подготовки нефти, соответствия требованиям безопасности, т.е. решение задачи ограничений;

2) обеспечение снижения затрат на такие стадии жизненного цикла технологического объекта, как проектирование, закупка, строительство и монтаж, эксплуатация.

Как первую, так и вторую задачу можно решить за счет выбора необходимых технологических модулей, связей их между собой и соответствующего аппаратурного оформления каждого из этих модулей.

Для решения этих задач можно использовать современные средства проектирования и внедрения (в том числе PDM-системы, расширения для САПР). Так, например, целесообразно автоматизировать работу с типовыми технологическими блоками, в том числе выбор технологического модуля по заданным параметрам, сравнение технологических модулей и др. Для адаптации процесса проектирования технологических схем, основанных на использовании типовых технологических модулей и блоков, к применению современных средств проектирования необходимо разработать модели представления данных о самом процессе и его составных частях.

Технологическую установку (химико-технологическую систему), в которой протекает требуемый технологический процесс, можно рассматривать как черный ящик со своими входными и выходными показателями, параметрами и структурой (рис. 3).

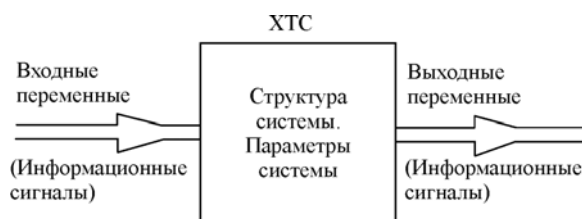


Рис. 3. Схема ХТС как объекта исследования

Для анализа состава, характеристик, способа взаимодействия элементов технологической установки можно применить объектно-ориентированный анализ с построением объектно-ориентированных моделей [7]. Для этих целей можно использовать стандартные нотации UML. В этом случае рассматривается класс «Технологическая уста-

новка», который включает в себя классы «Технологический модуль», затем «Технологический узел» и «Технологическое оборудование». Таким образом, можно провести декомпозицию технологического процесса, разбив его на технологические модули, каждый из которых характеризуется соответствующими входами, выходами и параметрами. Технологические модули, в свою очередь, состоят из технологических узлов, а технологические узлы – из оборудования. Модули, узлы, оборудование характеризуются соответствующими входами, выходами и параметрами. Описание технологической установки и ее декомпозиция на языке UML представлена на рис. 4, примеры экземпляров каждого класса приведены в таблице.



Рис. 4. Описание технологической установки на языке UML

Примеры экземпляров класса

№ п/п	Класс	Примеры экземпляров класса
1	Технологическая установка	Установка ЦПС
2	Технологический модуль	Модуль предварительного обезвоживания, модуль подготовки нефти
3	Технологический узел	Узел сепарационных емкостей, узел электродегидраторов, узел сепараторов со сбросом воды и др.
4	Технологическое оборудование	Сепарационная емкость, электродегидратор, газосепаратор, насос, фильтр, расходомер, уровнемер и т.д.

Каждый из классов характеризуется некоторым набором свойств. Так, например, для класса «Технологический узел» общими свойствами будут следующие параметры: технологические (расход, давление, температура и т.п.); технические (частота вращения, давление нагнетания и всасывания для компрессоров и насосов и др.); геометрические (диаметр, высота, объем и т.п.), экономические (стоимостные); параметры надежности и безопасности.

Выбор технологических схем объектов сбора и подготовки нефти и, следовательно, типа технологических модулей и их аппаратурное оформление включает в себя следующие этапы:

1) анализ исходных данных о физико-химических свойствах нефти, условиях эксплуатации месторождения, а также требований, предъявляемых к продукции;

2) разработка возможных вариантов технологических схем проектируемого объекта;

3) выбор типа модулей, блоков и технологических сооружений по вариантам;

4) технико-экономическое сравнение вариантов технологической схемы по изменяющейся части для окончательного выбора технико-технологического решения, при котором изменяющаяся часть включает в себя один либо несколько модулей (блоков).

Технологические схемы должны обеспечивать структурную и технологическую гибкость системы сбора, подготовки и транспорта нефти, газа и воды. Структурная гибкость характеризуется способностью видоизменения системы за счет использования модульного принципа, технологическая гибкость – способностью технологического объекта сохранять заданное функционирование при изменении технологических параметров (режимов) работы оборудования.

Можно упростить и формализовать процесс выбора состава и содержания технологических модулей, используя заранее заготовленные шаблоны, реализованные в виде соответствующей базы данных [8, 9].

При реализации автоматизированных систем анализа и выбора технологических модулей, узлов могут использоваться стандартные средства разработки, основанные на реляционных базах данных. Поэтому модель представления информации о технологической схеме можно выразить в виде взаимодействия отдельных информационных таблиц, т.е. информация о технологической установке может быть представлена в виде реляционной модели. Взаимосвязь таблиц являет-

ся важнейшим элементом реляционной модели данных, она поддерживается внешними ключами (рис. 5). Модель, в основе которой лежат как сущности, так и связи между ними, будет описывать понятие «Технологическая установка» и «Технологический модуль» через совокупность таблиц-сущностей «Технологический узел» и «Технологическое оборудование».

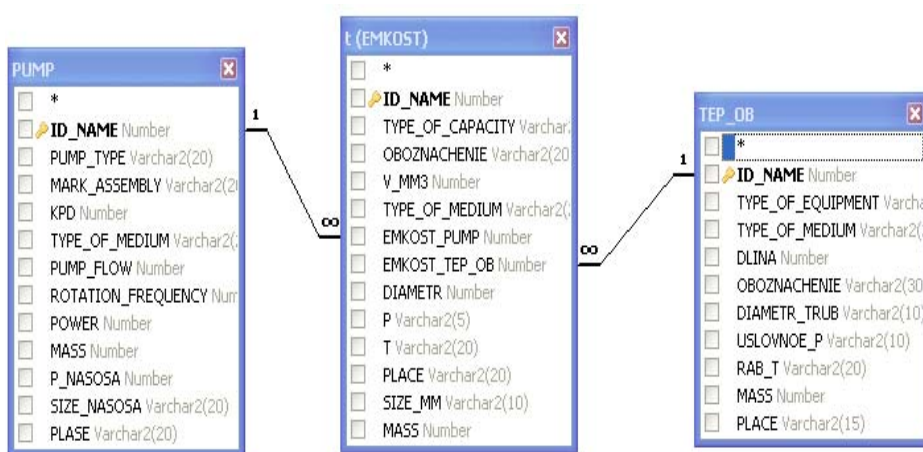


Рис. 5. Организация связей между таблицами

Реляционная информационная модель используется для формирования базы данных (БД), которую, в свою очередь, можно использовать как элемент САПР, позволяющий даже неопытному разработчику выполнять проектирование элементов технологической схемы. Использование такой БД позволяет [10]:

- уменьшить вероятность ошибки при проектировании;
- дать разработчику представление о всех актуальных вариантах состава и содержания технологических модулей;
- использовать в проектировании специалиста более низкой квалификации;
- осуществлять возможность оперативной оценки стоимости того или иного технологического решения.

Алгоритм работы с такой базой данных показан на рис. 6. Проектировщик посредством СУБД формирует ограничения, накладываемые на технологическую схему, после чего обращается к базе данных с запросом информации и получает варианты, возможные к применению. Основная работа в БД ведется на уровне понятия «Технологический узел».

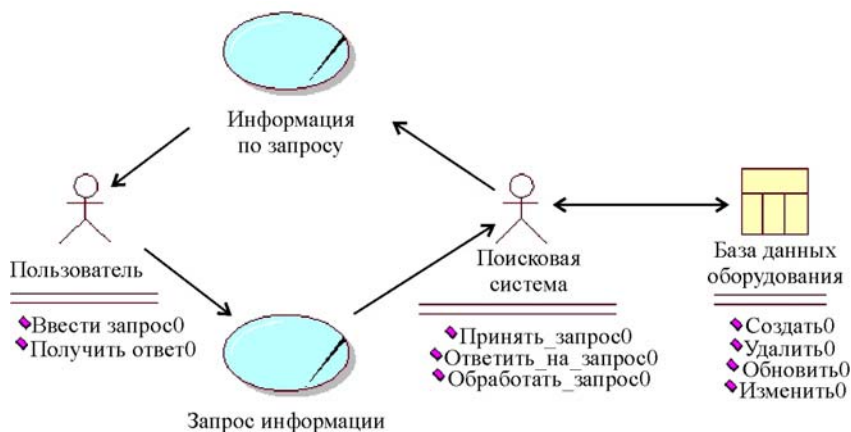


Рис. 6. Алгоритм работы с базой данных

При запросах ошибочные варианты технологической схемы отфильтровываются СУБД. Например, инженеру-проектировщику необходимо выбрать технологический модуль подготовки нефти. Пользователь задается следующими ограничениями: обводненность – 30–70 %, плотность нефтяной эмульсии – менее 850 кг/м³, минерализация пластовой воды – 10–30 г/л. В результате под эти ограничения подходят 4 варианта технологических модулей, отличающихся друг от друга составом и стоимостью технологических узлов. После их сравнения проектировщик выбирает оптимальный, возможный к применению вариант технологического модуля подготовки нефти.

Таким образом, при разработке проектных схем технологических систем сбора, подготовки и транспорта нефти актуальным является автоматизированный или алгоритмизированный процесс выбора состава технологических модулей.

Список литературы

1. РД 39-0148311-605–86. Унифицированные технологические схемы сбора, транспорта и подготовки нефти, газа и воды нефтедобывающих районов / Миннефтепром, Гипровостокнефть. – Куйбышев, 1986.
2. Справочник инженера по подготовке нефти / А.Е. Лебедевков, А.В. Кан, А.Е. Андреев, Л.В. Лушникова; ООО «РН-Юганскнефтегаз». – Нефтеюганск, 2007. – 299 с.

3. Ишмурзин А.А., Храмов Р.А. Процессы и оборудование системы сбора и подготовки нефти, газа и воды. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2003. – 145 с.
4. Каспарьянц К.С. Проектирование обустройства нефтяных месторождений. – Самара, 1994. – 415 с.
5. Тронов В.П. Промысловая подготовка нефти. – Казань: ФЭН, 2000. – 416 с.
6. ВНТП 3-85. Нормы технологического проектирования объектов сбора, транспорта, подготовки нефти, газа и воды нефтяных месторождений: утв. приказом Миннефтепрома СССР от 10.01.1986 № 32.
7. Леоненков А.В. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с использованием UML и IBM Rational Rose: учеб. пособие. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 320 с.
8. Карпова Т.С. Базы данных: модели, разработка, реализация. – СПб.: Питер, 2002. – 304 с.
9. Голицына О.Л., Максимов Н.В., Попов И.И. Базы данных: учеб. пособие. – М.: Форум: ИНФРА-М, 2009. – 400 с.
10. Голицына О.Л., Партыка Т.Л., Попов И.И. Системы управления базами данных: учеб. пособие. – М.: Форум: ИНФРА-М, 2006. – 432 с.

References

1. RD 39-0148311-605–86. Unifitsirovanye tekhnologicheskie skhemy sbora, transporta i podgotovki nefiti, gaza i vody neftedobyvayushchikh rajonov [Unified technological scheme of collection, transportation and preparation oil, gas and water of oil-producing areas]. Kuibyshev, 1986.
2. Lebedkov A.E., Kan A.V., Andreev A.E., Lushnikova L.V. Spravochnik inzhenera po podgotovke nefiti [Reference book of oil preparation]. Nefteyugansk, 2007. 299 p.
3. Ishmurzin A.A., Khramov R.A. Protsessy i oborudovanie sistemy sbora i podgotovki nefiti, gaza i vody [Processes and equipment of collection and preparation oil, gas and water system]. Ufa, 2003. 145 p.
4. Kaspariants K.S. Proektirovanie obustrojstva neftyanykh mestorozhdenij [Projecting of oil fields development]. Samara, 1994. 415 p.
5. Tronov V.P. Promyslovaia podgotovka nefiti [Oil field treatment]. Kazan: FAN, 2000. 416 p.
6. VNTP 3–85. Normy tekhnologicheskogo proektirovaniya ob'ektov sbora, transporta, podgotovki nefiti, gaza i vody neftyanykh mestorozhdenij [Technological projecting norms of objects collection, transportation and

preparation oil, gas and water oil fields]. The order of the USSR Ministry of oil industry from 10.01.1986, no. 32.

7. Leonenkov A.V. Obektno-orientirovannyj analiz i proektirovanie s ispolzovaniem UML i IBM Rational Rose [Object-oriented analysis and projection using UML and IBM Rational Rose]. Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2006. 320 p.

8. Karpova T.S. Bazy dannykh: modeli, razrabotka, realizatsiya [Databases: models, development, realization]. Saint Petersburg: Piter, 2002. 304 p.

9. Golitsina O.L., Maksimov N.V., Popov I.I. Bazy danykh [Databases]. Moscow: Forum: INFRA-M, 2009. 400 p.

10. Golitsina O.L., Partyka T.L., Popov I.I. Sistemy upravleniya bazami danykh [Database management systems]. Moscow: Forum: INFRA-M, 2006. 432 p.

Получено 25.06.2015

Об авторах

Бормотова Татьяна Николаевна (Пермь, Россия) – магистрант кафедры автоматизации технологических процессов Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: bormotova_tn@mail.ru).

Сокольчик Павел Юрьевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации технологических процессов, заместитель декана по заочному отделению химико-технологического факультета Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: htzf@pstu.ru).

About the authors

Tatiana N. Bormotova (Perm, Russian Federation) – Undergraduate Student, Department of Automation Technological Processes, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., 614990, Perm, Russian Federation; e-mail: bormotova_tn@mail.ru).

Pavel Y. Sokolchik (Perm, Russian Federation) – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Automation Technological Processes, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., 614990, Perm, Russian Federation; e-mail: htzf@pstu.ru).