

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ

ТОЙГОЖИНОВА А.Ж., ШУЛЬЦ В.А., КУРИШБАЙ Н.А.

*Казахская Академия транспорта и коммуникаций имени М. Тынышпаева, 050000,
Алматы, Казахстан*

Аннотация. В данной статье рассматривается управление автоматизированной системой нефтеперекачивающей станции и отслеживание неисправностей их технических показателей. Также рассмотрены основные математические формулы для безопасной транспортировки и подачи нефти. Управление основными действиями системы с помощью логического контроллера считается одной из основных ролей в нефтяной отрасли. Был сделан вывод о том, что формирование оптимального режима работы в автоматизированной системе управления агрегатами нефтеперекачивающей станции, а также минимизация неисправностей позволят снизить экономические издержки.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, нефтеперекачивающая станция, магистральный нефтепровод, насосный агрегат, дискретный и аналоговый модуль

МҰНАЙ СОРҒЫ СТАНЦИЯСЫНЫҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІН ҚҰРУ

ТОЙГОЖИНОВА А.Ж., ШУЛЬЦ В.А., КУРИШБАЙ Н.А.

М.Тынышпаев атындағы Қазақ көлік және коммуникация академиясы, 050000, Алматы, Қазақстан

Аңдатпа. Бұл мақалада мұнай айдау станциясының автоматтандырылған жүйесін басқару және олардың техникалық көрсеткіштерінің ақауларын бақылау қарастырылған. Сондай-ақ мұнайды қауіпсіз тасымалдау мен жеткізудің негізгі математикалық формулалары сарапталған. Жүйенің негізгі әрекеттерін логикалық контроллермен басқару мұнай саласындағы негізгі рөлдердің бірі болып саналады. Мұнай айдау станциясының автоматтандырылған басқару жүйесінде оңтайлы жұмыс режимін қалыптастыру, сондай-ақ ақауларды азайту экономикалық шығындарды кемітеді деген қорытынды жасалды.

Түйінді сөздер: автоматтандырылған басқару жүйесі, мұнай айдау станциясы, магистральды мұнай құбыры, сорғы агрегаты, дискретті және аналогты модулі.

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR AN OIL PUMPING STATION

TOYGOZHINOVA A.Zh., SHULTS V.A., KURISHBAY N.A.

*Kazakh Academy of transport and communications named after M. Tynyshpayev, 050000,
Almaty, Kazakhstan*

Annotation: This article discusses the management of the automated system of the oil pumping station and the monitoring of malfunctions of their technical indicators. The basic mathematical formulas for the safe transportation and supply of oil are also considered. Controlling the main actions of the system using a logic controller is considered one of the main roles in the oil industry. It was concluded that the formation of an optimal operating mode in the automated control system of the oil pumping station units, as well as the minimization of malfunctions, will reduce economic costs.

Key words: automated control system, oil pumping station, main oil pipeline, pumping unit, discrete and analog module

Введение

В настоящее время функционирует и постоянно развивается сеть нефтепроводов различного ранга и назначения. Управление нефтяными потоками на ближайшее время чаще всего выполнялось через арматуру, фиксирующую производительность насосных установок на нефтетранспортных постах, что приводило к значительным потерям в регулирующих элементах, значительным потерям энергии в их результате.

Применение регулируемого электропривода в режиме регулирования производительности насосного агрегата создает условия для эффективного поддержания частоты вращения агрегата в соответствии с заданным давлением и отпуском. Имеется возможность подключения системы управления производительностью нефтетранспортного поста к системе автоматического управления всей магистралью.

Под современным нефтепроводом подразумевается комплекс сооружений, включающий линейную часть, главные и промежуточные насосные станции и конечные пункты. Самым сложным звеном магистрального нефтепровода является головная насосная станция, включающая промежуточную станцию и резервуарный парк.

Изменение объема нефти в результате периодических и годовых колебаний добычи нефти, появление нестационарных процессов в нефтепроводах, которые зависят от различных технологических операций и колебаний физических параметров перекачиваемой нефти, а также аварийные и ремонтные работы приводят к изменению режимов работы станций. В некоторых случаях эти изменения приводят к аварийной остановке нефтеперекачивающих станций и другим негативным ситуациям, которые в конечном итоге несут многочисленные экономические потери. Поэтому на всех участках транспортировки необходимо обеспечить соответствующую бесперебойность работы станций, а также защиту нефтепровода и устройств [1].

Вместе с тем необходимо обосновать и

проанализировать стохастические модели технологического процесса транспортировки нефти по магистральному нефтепроводу в смысле неполной информации о взаимосвязи и взаимодействии, что все параметры модели неизвестны и все условия среды не могут быть реализованы. Такой анализ полезен для определения работы многих нестационарных технологических объектов с магистральными нефтепроводными подстанциями.

Повышение эффективности транспортировки и перекачки нефти, повышение безаварийности работы и надежности технологических устройств, надежность обработки информации и оперативное решение являются одними из главных вопросов в народном хозяйстве. Для создания таких автоматических систем необходимо внедрение централизованной структуры.

Актуальность работы заключается в повышении безопасности технологического процесса нефтеперекачивающей станции.

Разработка нефтяных месторождений характеризуется безводным извлечением нефти из скважин. Однако в каждом нефтяном месторождении начинается период выхода воды в малых, а затем и в увеличивающихся количествах. 60-75% нефти перерабатывается в увлажненном виде.

Пластовые воды, выходящие из скважин на различных месторождениях, могут существенно отличаться по концентрации и составу растворенных в них минеральных солей, по количеству газа и наличию микроорганизмов. При увеличении пластовой смеси нефти с водой образуется эмульсия, которую следует рассматривать как механическую смесь нефти и воды двух нерастворимых жидкостей, формирующихся в виде капель, одна на территории другой которых имеет разные формы.

Наличие воды в нефти приводит к удорожанию транспортировки, что связано с ростом объемов транспортируемой жидкости и увеличением ее вязкости. Даже при наличии в нефти 0,1% воды приводит к вспениванию нефти в ректификационных колоннах нефтеперерабатывающих заво-

дов, что нарушает технологические режимы переработки, а также загрязняет конденсационную аппаратуру.

Качество обрабатываемой продукции в большей степени зависит от качества сырья, то есть нефти. Если раньше на технологических установках нефтеперерабатывающих заводов использовалось 100 500 миллиграммов нефти с минеральными солями в литре, то сейчас требуется более глубокая обессоленная нефть, и зачастую перед переработкой нефти приходится полностью отделять от нее соли [2].

Наличие в нефти песчаных и иловых частиц механических примесей приводит к абразивному износу трубопроводов, нефте-транспортного оборудования, затрудняет нефтепереработку, повышает зольность мазутов и гудронов, приводит к образованию заломов в холодильниках, печах и теплообменниках, что приводит к снижению коэффициента теплоотдачи и скорейшему выходу их из строя. Механические примеси приводят к образованию форсированных эмульсий.

Наличие минеральных солей в нефти в виде кристаллов и в виде растворов в воде приводит к усиленной коррозии металлов на нефтеперерабатывающем и нефтетранспортном оборудовании и трубопроводах, повышает стабильность эмульсий, затрудняет переработку нефти.

Вышеперечисленные причины объясняют необходимость подготовки нефти к транспортировке. В основном подготовка нефти включает в себя ее обезвоживание и обессоливание и полную или частичную дегазацию.

Гидравлическая машина, которая при подаче энергии на насосы начинает перемещать жидкость под давлением в другое место, называется насосом. Комплект насоса с электроприводом и передаточным механизмом (муфтой, редуктором, шкивом) образует насосный агрегат. Комплекс оборудования, обеспечивающий функционирование насосов в нужном порядке и состоящий из одного или более насосных агрегатов, трубопроводов, запорной и регулирующей арматуры, контрольно-измерительной аппаратуры и

аппаратуры управления и защиты, составляет насосную установку. Здание, в состав которого входят одно или более насосных установок, вспомогательные системы и оборудование, бытовые и производственные помещения, обеспечивающие работоспособность объекта в целом, называется насосным постом.

Современная наука о насосах делит их по принципу действия на три основные группы: лопаточные, или лопатообразные (циркуляционные насосы), вихревые (тяговые насосы) и объемные (вытеснительные насосы).

В лопастных насосах преобразование энергии осуществляется в процессе циркуляции лопастей колес и их силового воздействия на поток.

Лопастные насосы делятся на центробежные (гребные), диагональные и осевые (пропеллерные). Центробежные насосы перемещают жидкость в рабочем колесе в направлении от центральной части наружу, т.е. в потоке жидких частиц отсутствуют осевые составляющие абсолютной скорости. Центробежные насосы имеют меньшую всасывающую способность. Поэтому при их включении во всасывающую трубу и поверх рабочего колеса наливается жидкость с помощью различных методов. Лопастные насосы удобны для прямого подключения с современными электромоторами, паровые и газовые турбины с двигателями внутреннего сгорания. Лопастные насосы отличаются компактностью и легкостью.

КПД лопастных насосов достигает значений 0,95-0,98, и в зоне средних давлений КПД поршневых насосов оказывается не ниже. Поэтому при низких и средних давлениях применяются только лопастные насосы. Так как в настоящее время усовершенствованы методы проектирования и производства лопастных насосов, лопастные насосы стали использоваться и при высоких давлениях. Центробежные насосы, в том числе лопастные, находят широкое применение в нефтехимии для подачи высокоагрессивных и токсичных жидкостей при подаче нефти и нефтепродуктов по трубопроводам, для

подачи воды в нефтепластик при добыче нефти [3,4].

Основная часть

Основные параметры насосов. Основными параметрами насосов являются подача, давление, мощность и коэффициент скорости.

Отправление. Фактическим расходом насоса называется количество жидкости, проходящей через напорный патрубок в единицу времени. Пересылка может подаваться в единицах объемного или весового потребления. Объемное потребление измеряется Q м³/с или л/с, а весовое потребление G кг/с. Весовое потребление G должно быть связано с объемным потреблением $G = \rho Q$, где ρ – плотность перекачиваемой жидкости, кг/м³.

Теоретическая подача насоса (Q_T, GT) называется количеством жидкости, перекачиваемой рабочими органами насоса во внутренних его каналах в единицу времени. Отношение фактического отпуска Q насоса к теоретическому отпуску Q_T определяет объемный КПД насоса, то есть:

$$\eta_0 = \frac{Q}{Q_T}. \quad (1)$$

Q измеряет отпавку фактического объема измерителями, объемными счетчиками.

Давление насоса. Под давлением насоса H понимается приращение механической энергии, которое несет жидкость, проходящая через насос; давление насоса представляет собой разность давлений на входе и выходе насоса, и измеряется в метрах от колонны транспортируемой жидкости. Таким образом, давление насоса можно записать по следующей формуле:

$$H = H_H - H_B = \frac{P_H - P_B}{\rho g} + (z_H - z_B) + \frac{v_H^2 - v_B^2}{2g}, \quad (2)$$

где P_H, z_H, v_H – давление, обозначение и скорость потока на стороне нагнетания; P_B, z_B, v_B – параметры на входе насоса.

Мощность. Потребляемая мощность P насоса измеряется в ваттах и киловаттах. Для его определения необходимо, чтобы была известна полезная мощность P_m :

$$P_m = \frac{Q \rho g H}{102}. \quad (3)$$

Отношение полезной мощности P_m к

потребляемой мощности P определяет общий коэффициент полезного действия насоса η :

$$\eta = \frac{P_m}{P}. \quad (4)$$

Потребляемая мощность P определяется по формуле:

$$P = \frac{Q \rho g H}{102 \eta}. \quad (5)$$

Коэффициент скорости. Коэффициент скорости считается относительной характеристикой лопастного насоса. Он описывает конструктивные особенности серии аналогичных насосов, и позволяет выбирать насосы для работы в заданных условиях, используя уравнения подобия. Под коэффициентом скорости n_s или относительной частотой вращения понимается частота вращения насоса, потребляющего мощность 0,736 кВт при достижении давления 1 метр. Используя уравнения теории подобия, можно получить следующую формулу:

$$n_s = 3.65 n \frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}}, \quad (6)$$

При заданной частоте вращения n коэффициент скорости n_s увеличивается по мере увеличения производительности Q и давления H .

На нефтяных месторождениях для транспортировки нефти и нефтяных эмульсий применяются в основном центробежные и поршневые насосы.

В центробежных насосах движение жидкости осуществляется в результате действия центробежных сил, возникающих при вращении жидкости рабочими колесами. Рабочее колесо с лопастями, установленными на валу, вращается внутри корпуса, вместе с жидким колесом, поступающим в центр колеса с всасывающим патрубком, с центробежной силой выбрасывается наружу, и нагнетатель выходит через патрубок. Центробежные насосы подразделяются на одноступенчатые и многоступенчатые насосы. В многоступенчатых насосах каждая из предстоящих ступеней работает на приемную последующей ступени, за счет чего давление насоса увеличивается.

В нефтяной промышленности часто используются одноступенчатые и много-

ступенчатые центробежные насосы секционного типа НД и НК.

Если один насос не может обеспечить необходимую подачу или давление, применяется параллельное или последовательное соединение нескольких насосов. Очень распространено параллельное соединение нескольких центробежных насосов, которые вытягивают нефть в одну трубу.

Центробежные насосы имеют следующие преимущества: малые габариты, относительно низкая цена, отсутствие клапанов и дублирующих форсированных деталей, возможность прямого подключения к высокоскоростным двигателям, возможность перекачки нефти с механическими примесями, удобство автоматизации насосных станций, оборудованных центробежными насосами.

При выборе двигателя для центробежного насоса следует обращать внимание на частоту вращения двигателя, так как в центробежных насосах мощность, давление, производительность и частота вращения связаны следующими уравнениями:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{n_1^3}{n_2^3} \quad (7)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^2}{n_2^2}, \quad (8)$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}, \quad (9)$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{n_1^2}{n_2^2}, \quad (10)$$

где М - крутящий момент двигателя.

Насосы для трубопроводной транспортировки нефти и нефтепродуктов могут работать под давлением 6-7 МН/м². Величина давления определяется допуском труб. В зависимости от диаметра трубопровода пропуск насосов составляет 0,0278-1,15 м³/с (100-4000 м³/ч). Расстояние подачи одного насосного поста составляет 100 км и более. Для транспортировки сырой нефти среди предприятий применяются насосы с малой подачей [5].

Наиболее экономной установкой для магистральных нефтепроводов является агрегат, состоящий из двух или трех насосов.

Основные технические данные наиболее распространенных центробежных насосов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Технические данные центробежных насосов

Марка насоса	Отпуск м ³ /ч	Давление, м	Электрическая мощность, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹	Масса, кг
Одноступенчатые регулирующие насосы					
1,5-К	6-14	20	2,2	2900	60,5
2К-6	10-30	34	4	2900	78
3К-6	45	54	20	2900	301
3К-9	30-54	34	7	2900	141
4К-6	90	87	55	2900	496
Насосы типа НК					
НК-	65-35	7	13	3000	200
НК-	200-	7	35	3000	100
НК-	560-	7	10	3000	200
Многоступенчатые секционные насосы типа МС					
ЗМС-	34	46	7	1950	185
ЗМС-	34	69	10	2950	213
ЗМС-	34	92	14	2950	241
ЗМС-	34	115	17	2950	269
4МС-	60	66	17	2950	220
4МС-	60	99	25	2950	254
4МС-	60	132	33	2950	280
4МС-	60	165	42	2950	324
Многоступенчатые нефтяные насосы					
8НД-	150	95	29	1500	1837
8НД-	200	210	45	1500	3370

8НД-	300	420	50	2950	3492
8МБ-	400	300	40	3000	1875
14Н-	1100	370	54	3000	4900

В настоящее время использование регулируемого электропривода для оперативного управления режимами работы центробежных насосов из центра нефтетранспортных постов растет день ото дня. Внедрение регулируемого по частоте вращения насосного электропривода позволяет снизить расходную мощность до половины заданной мощности в зависимости от технологических параметров нефтетранспортных станций. Применение регулируемого электропривода в порядке регулирования производительности насосного агрегата создает условия для эффективного поддержания частоты вращения агрегата в соответствии с подаваемым давлением и отпуском [6]. Имеется возможность подключения системы управления производительностью нефтепроводного поста к системе автоматического управления всей магистрали. В нефтяной промышленности чаще всего применяются центробежные насосы одно и многоступенчатые, а также секционные центробежные насосы типа НК.

Насосная станция характеризуется как сложный электрогидравлический технический комплекс зданий и оборудования, включающий процесс преобразования электрической энергии потока жидкости в механическую и, соответственно, управление параметрами транспортируемой жидкости [7].

Насосные станции находят масштабное применение в хозяйстве, производстве. Они характеризуют большое разнообразие функций, схему подключения насосов при совместной работе, регулируемые параметры, группы надежности и другие показатели.

По способу подключения насосов насосная станция выражается в индивидуальной работе насосов и совместной работе насосов. Первый способ характеризуется малой мощностью насоса для насосной станции и низкими требованиями к надежности работы, например для дренажного насоса.

И насосы, работающие вместе, насосная

станция широко используется для всех типов. Также для обеспечения необходимых технологических показателей используется параллельное, последовательное и комбинированное соединение устройств. Особенно при параллельном соединении насосов используется большое количество насосных станций теплоснабжения.

Последовательное соединение производится только в том случае, если требуется высокое давление. Насосную станцию по регулируемым параметрам можно разделить на станцию регулирования давления и станцию регулирования подачи.

Насосная станция используется для параллельного соединения насосов с приоритетным использованием, а также водозащиты в системах водоснабжения и зон размещения людей, систем наружного водоснабжения технологических комплексов промышленных предприятий, производственных объектов, в том числе на предприятиях цветной металлургии и нефтеперерабатывающих заводах.

Важным элементом насосной станции является насосная установка с одним или несколькими насосами, система всасывания и нагнетания труб, запорный инструмент, ходовая линия, а также измерительные технологические параметры других установок.

В качестве основного силового оборудования на насосной станции используются объемные или динамические насосы.

Насосная станция после первичной перегонки нефти обеспечивает ее приток в установки дальнейшего технологического цикла и поддержание в ней необходимого давления [8,9].

Перекачка нефти в насосы производится через фильтры, устанавливаемые на всасывающей и вытяжной магистралях этой системы. Станция всегда оборудована рабочими и резервными насосами. Включение в работу каждого из насосов или одного из фильтров в вытяжной магистрали производится с помощью устройств, управляемых системой

автоматики. Система автоматизации управления работой насосной станции давления воды не только обеспечивает поддержание заданного давления масла в выпускной магистрали, но и в случае выхода рабочего

насоса из строя или засорения одного из рабочих фильтров производит своевременную замену рабочей линии на резервную систему [10].

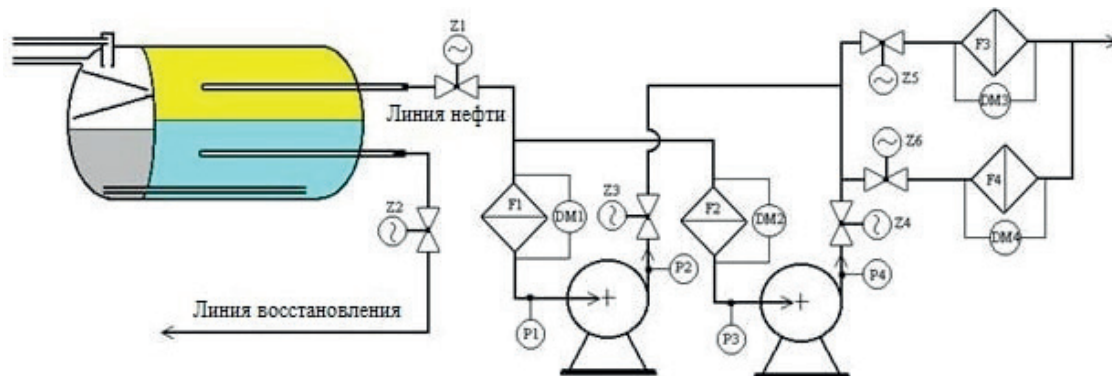


Рис. 1 – Технологическая схема работы насосной станции

Для контроля рабочих параметров в технологической цепи насосной станции используют следующие технические средства:

- DM1-DM4 – дифференциальные манометры;
- P1, P3 – датчики давления на входе насосов;

- P2, P4 – датчики давления на выходе насосов;
- Z1-Z6 – приводы задвижек и датчики их положения;
- F1-F4 – фильтры нефтяной сети.

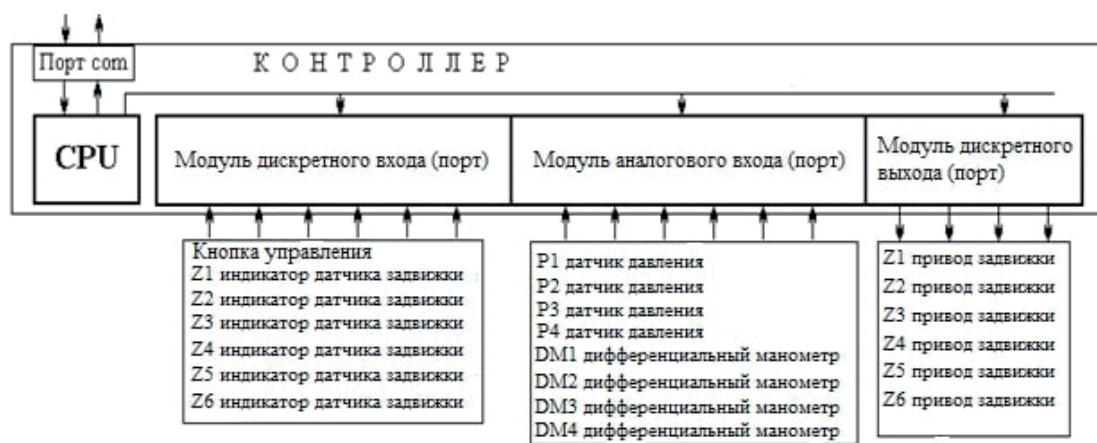


Рис. 2 – Структура системы управления насосной станцией низкого давления

Данная аппаратура подключается к соответствующим портам контроллера системы управления вытяжной насосной станцией (рис. 2).

К дискретному модулю (порту) ввода данного контроллера подключены датчики положения кнопок управления и защелок, как и в предыдущем случае. К входу аналогового

модуля ввода (порта) подключены аналоговые датчики давления и дифференциальные манометры. Двигатели всех задвижек и приводы насосов подключены к дискретному выходному модулю (порту).

Выводы

В настоящее время значительная доля нефти и нефтепродуктов транспортируется

по магистральным трубопроводам. В связи с этим особое внимание было уделено повышению эффективности перевозок.

Транспортировка нефти и нефтепродуктов, природных или искусственных газов из начальной точки трубопровода в конечную

точку по магистральному нефтепроводу, т. е. доставка от места переработки к потребителю.

Основные пусковые источники транспортируемого продукта находятся в начальной и конечной точках трубопровода и находятся там, где находятся потребители.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б.С. Лезнов. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. – М: Энергatomиздат, 2006. – 361 с.
2. В.З. Ковалев, Е.Г. Бородацкий. Эффективное использование энергии насосных установках нефтеперекачивающих станций. Промышленная энергетика. – 2000. – № 1. – 2-3 с.
3. О.В. Крюков, А.В. Серебряков. Метод и система принятия решений по прогнозированию технического состояния электроприводных газоперекачивающих агрегатов. // Электротехнические системы и комплексы. – 2015. – №4 (29). – С. 35-38.
4. Г.Е. Васильев, А.А. Коробков. Трубопроводный транспорт нефти./ Под редакцией С.М. Вайнштока: Учебник для вузов: В 2т. – М.: ООО «Недра – Бизнесцентр», 2002. – Т.1. – 407 с.
5. А.А. Прокопов, Т.Т. Тигист. Математические модели сложных неоднородных распределенных систем перекачки жидкости. //С.-Петербург. гос. электротехн. ун-т ЛЭТИ. – СПб, 2003. – 13 с.
6. Б.Т. Жумагулов, Ш.С. Смагулов, А.У. Евсеева, Л.А. Нестеренкова. Трубопроводный транспорт высоковязких и высокозастывающих нефтей. – Алматы: НИЦ «Галым», 2002.
7. О.П. Шишкин. Автоматизированные системы управления предприятия нефтяной промышленности. – М: Энергоиздат, 1990.
8. В.Б. Яковлев. Теория автоматического управления: Учеб. для вузов/ Душин С.Е., Зотов Н.С., Имаев Д.Х. Под редакцией Яковлева В.Б. – М.: Высш. шк., 2005. – 567 с.
9. А.А. Ерофеев. Теория автоматического управления: Учебник для вузов. – СПб.: Политехника, – 2005. – 302 с.
10. Альбратрос. Настоящая промышленная автоматизация. Каталог продукции, 2015. – 314 с.

REFERENCES

1. B.S. Leznov. Energoberezheniye i reguliruyemyy privod v nasosnykh i vozdukhoduvnykh ustanovkakh. – M.Energatomizdat. 2006. – 361 s.
2. V. Z. Kovalev. E. G. Borodatskiy. Effektivnoye ispolzovaniye energii nasosnykh ustanovkakh neftepererekachivayushchikh stantsiy. Promyshlennaya energetika. 2000. № 1. – 2-3 s.
3. Kryukov O.V., A.V. Serebryakov. Metod i sistema prinyatiya resheniy po prognozirovaniyu tekhnicheskogo sostoyaniya elektroprivodnykh gazoperekachivayushchikh agregatov. // Elektrotekhnicheskiye sistemy i komplekсы. 2015. №4 (29). S. 35-38.
4. G.E. Vasilyev, A.A. Korobkov. Truboprovodnyy transport nefiti./ Pod redaktsiyey S.M. Vaynshtoka: Uchebnik dlya vuzov: V 2t. – M.: ООО «Nedra – Biznestsentr». 2002. – T.1. – 407 s.
5. A.A. Prokopov, T.T. Tigist. Matematicheskiye modeli slozhnykh neodnorodnykh raspredelennykh sistem perekachki zhidkosti. //S.-Peterburg. gos. elektrotekhn. un-t LETI. – SPb. 2003. – 13 s.
6. B.T. Zhumagulov. Sh.S. Smagulov. A.U. Evseyeva. L.A. Nesterenkova Truboprovodnyy transport vysokov'yazkikh i vysokozastyvayushchikh neftey. – Almaty: NITs «Galym». 2002.
7. O.P. Shishkin. Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya predpriyatiya neftyanoy promyshlennosti. - M: Energoizdat. 1990.

8. V.B. Yakovlev. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya: Ucheb. dlya vuzov/ S.E. Dushin, N.S. Zotov, D.Kh. Imayev; Pod redaktsiyey V.B. Yakovleva. - M.: Vyssh. shk.. 2005. 567 s.
9. A.A. Brofeyev. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya: Uchebnik dlya vuzov. - Spb.: Politekhnik. 2005. 302 s.
10. Albratros. Nastoyashchaya promyshlennaya avtomatizatsiya. Katalog produktsii 2015. – 314 s.

Information about authors:

1. Toygozhinova A.Zh. – Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpayev
Email: nurbol.algabek@mail.ru
2. Shults V.A. – Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpayev
3. Kurishbay N.A. – Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpayev