

**АЗЕРБАЙДЖАНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
НЕФТЯНАЯ АКАДЕМИЯ**

---

*На правах рукописи*

**ГАСАНОВА НАИЛЯ АГА КЯЗИМ кызы**

**ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПЛАСТМАССОВЫХ  
ДЕТАЛЕЙ НЕФТЕПРОМЫСЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

3313.02 – Машины, оборудования и процессы

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации, представленной на соискание  
ученой степени доктора философии по технике

**Баку–2014**

Работа выполнена в Азербайджанской Государственной  
Нефтяной Академии

**Научный руководитель:** доктор технических наук  
профессор **Д.А.Керимов**

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук  
профессор **В.Т.Мамедов**

кандидат технических наук  
**И.И.Алиев**

Ведущее предприятие: АЗИНМАШ

Защита состоится «15» мая 2014 г. в «11<sup>00</sup>» часов  
на Заседании Диссертационного Совета D02.141 при  
Азербайджанской Государственной Нефтяной Академии  
по адресу: AZ1010, Баку, пр. Азадлыг, 34

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Азербай-  
джанской Государственной Нефтяной Академии

Автореферат разослан «    » апрель 2014 г.

Отзывы в 2-х экземплярах, заверенные гербовой печатью, про-  
сим направлять по указанному адресу Ученому Секретарю Дис-  
сертационного Совета

**Ученый секретарь Диссертационного  
Совета D02.141, д.т.н., профессор**

**А.М.Алиев**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Развитие нефтяной и газовой промышленности невозможно без радикального улучшения качества выпускаемых машин и оборудования для этой отрасли. Решение проблем нефтяной и газовой промышленности при создании качественно новых оборудований требует проведения углубленных исследований с использованием достижения передовых направлений науки и техники.

В настоящее время одним из важных направлений по повышению надежности, долговечности и эффективности нефтепромыслового оборудования является применение новых высокопрочных материалов, в частности пластических масс взамен цветных и черных металлов. Качественная особенность пластмасс по сравнению с другими конструкционными материалами свидетельствует о том, что они являются материалами с неограниченными возможностями как в смысле присущих им свойств, так и в смысле применения их в качестве конструкционного материала. Пластические массы нашли достаточно широкое применение и в нефтяной промышленности. Под руководством академика А.Х.Мирзаджанзаде более 30-лет начато применение полимерных материалов для вытеснения нефти из пласта, что способствует повышению нефтеотдачи пласта и в результате увеличивает нефтедобычу. Здесь даются научно обоснованные рекомендации по применению полимеров в различных процессах нефтедобычи. Показана высокая эффективность использования неравновесных растворов полимера при вытеснении нефти из пористой среды.

В этих работах исследована возможность применения полимерных материалов в качестве облегченных добавок к цементным растворам и разработана рецептура нового крепежного состава материала (полимерцемент), обладающего высокими технико-экономическими показателями. С определением механических и реологических характеристик полимерцемент был рекомендован как материал для крепления нефтяных и газовых скважин. На достаточно глубоком уровне проведено исследование в области качества и точности пластмассовых деталей, в общем и нефтяном машиностроении авторами И.Д.Кугушевым, Р.Г.Мирзоевым, Д.А.Керимовым, В.А.Брагинским, А.С.Якушевым и др. На кафед-

ре «Машиностроение и обработка материалов» АГНА разработаны конструкции и технологические процессы по изготовлению различных деталей из пластмасс как корпус и крышка отдушины, маслоотражатели, крышки подшипников, корпус клапана, статоры и ротор турбобура, поплавки дебитомеров нефтяных скважин, вентиляторы электромоторов, колпачки тарелок ректификационных колонн и другие детали оборудования нефтяной и газовой промышленности. Наши исследования производились с целью повышения производительности труда и замены цветных и черных металлов с пластическими массами. Детали для этой цели выбраны с определенной характеристикой, чтобы в дальнейшем разработанный технологический процесс можно было применять в оборудовании нефтяной и газовой промышленности.

Анализ конструктивных особенностей пластмассовых деталей в узлах нефтепромыслового оборудования и специфика условий эксплуатации показывает, что основными причинами их малого ресурса являются не только предъявляемые к ним тяжелые эксплуатационные и специфические требования, но и ограниченность научно-исследовательских разработок в области применения пластических масс в нефтяном машиностроении. В частности при выборе оптимальной технологии изготовления с учетом нестабильности состава пресс-материала и конструктивных особенностей изделия при расчете их элементов конструкций.

Из многочисленных научно-исследовательских разработок известно, что главным критерием качества деталей из пластмасс является усадочная деформация и доказано, что зная величины данного критерия-усадки, можно без разрушения деталей определить и другие показатели качества, прочность (при растяжении  $\sigma_p$  и сжатии  $\sigma_{сж}$ ), точность, шероховатость поверхности и твердость. В связи с изложенным, актуальным является разработка экспериментально-теоретического метода определения качества пластмассовых деталей нефтепромыслового оборудования с решением большого круга вопросов технологического характера, в частности, исследования влияния состава пресс-материала, технологического режима изготовления, конструкции и размеров деталей на качество пластмассовых деталей нефтепромыслового оборудования.

**Цель работы.** Разработка научно-практических методов обеспечения качества пластмассовых деталей нефтепромышленного оборудования на основе идентификации математических моделей процесса их изготовления, отражающих закономерности влияния режимов изготовления и конструкции деталей на показатели качества с целью оптимизации их режимов изготовления.

В работе поставлены и решены следующие **задачи**:

1. Анализ эксплуатационных условий работы пластмассовых деталей нефтепромышленного оборудования и определение основных задач направления исследования.
2. Изучение влияния состава материала на усадочную деформацию и математическое описание данной зависимости.
3. Установление количественной связи между усадочной деформацией и переменными факторами технологическую группы на деталях как типа – диск, колец, втулка и лопатки.
4. Решение задачи оптимизации процесса изготовления пластмассовых образцов деталей из различных материалов.
5. Разработаны оптимальные режимы для изготовления производственных деталей нефтепромышленного оборудования из марок конструкционных пластмасс.

**Методы решения поставленных задач:**

- использования оборудования и аппаратов для проведения эксперимента и измерения показателей качества пластмассовых деталей и образцов;
- разработана модель специальной экспериментальной конструкции деталей для изучения распределения нагрузки между витками резьбы пластмассовой детали.

**Научная новизна диссертационной работы:**

1. Впервые в области нефтяного машиностроения проведено комплексное исследование влияния конструкций деталей и режимов изготовления на усадочной деформации, шероховатости поверхности, твердости, плотности и точности пластмассовых деталей.
2. Установлена эмпирическая зависимость между элементами конструкции и основных показателей качества пластмассовых деталей, позволяющая осуществлять косвенный неразрушающий контроль качества в производственных условиях.

3. Проведена идентификация и оценка параметров математических моделей, отражающих основные показатели качества для терморезистивных и термопластичных материалов в зависимости от технологических режимов изготовления.

#### **Практическая ценность работы:**

1. Рекомендованы оптимальные режимы групп конструкционных пластмасс для изготовления из них нагруженных и ненагруженных деталей нефтепромыслового оборудования.
2. Предложен экспериментально-теоретический метод определения основных критериев качества (усадочной деформации и других показателей качества, прочность, твердость, шероховатость поверхности) пластмассовых деталей. Разработанная методика при конструировании деталей из пластмасс позволяет оценить ожидаемой ресурс деталей с учетом условий их эксплуатации.
3. Предложены оптимальные режимы для конкретной конструкции пластмассовых деталей с использованием метода планирования многофакторного эксперимента.
4. Рекомендованы пределы достижимых классов точности для гладких пластмассовых деталей размером от 1 до 500 мм из групп конструкционных пластмасс.

**Достоверность** полученных результатов обеспечивалась математической корректностью поставленных задач, и соответствие использованных методов к решению инженерных задач, необходимых для использования их результатов в производственных технологических процессах. Результаты численных расчетов не противоречат экспериментально полученным результатам по сравнению с результатами в частном случае известными в литературе.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы, опубликованные в научно-технических конференциях и семинарах:

1. Известие Высших Технических Учебных Заведений Азербайджана, АГНА, №3(55), г. Баку, 2008 г.
2. Молодежь и наука: реальность и будущее. Материалы II Международной научно-практической конференции. г.Невинномыск, 2009

3. Молодежь и наука: реальность и будущее. Материалы II Международной научно-практической конференции. г.Невинномыск, 2010 .

**Публикации.** Основное содержание диссертационной работы изложено в 12-ти опубликованных работах.

**Объем и структура работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 5-ти глав, основных выводов, списка использованной литературы, включающая 120 наименований и приложений. Работа содержит 159 страниц текста, включая 23 рисунка, 36 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **введении** обоснована актуальность выполненной работы, научная новизна, практическая ценность, а также сформулированы цель и задачи работы.

В **первой главе** приводится анализ особенностей работы нефтепромыслового оборудования, специфика условий эксплуатации, а также анализируется состояние и перспективы использования пластических масс в нефтепромысловом машиностроении. Здесь обосновано, что из многообразия показателей, определяющих качество пластмассовых деталей, основная роль принадлежит усадочной деформации, шероховатость поверхности, прочность при растяжении, твердость и плотность. В этой главе приводится анализ работы, посвященной современному состоянию вопроса изучения качества пластмассовых деталей и пути ее решения.

Во **второй главе** рассмотрены особенности исследуемого объекта и изложена методика проведения экспериментальных исследований. Объектом исследований явились пять марок пластмасс, широко применяемых в нефтяном машиностроении в качестве конструкционного материала:

- 1) Порошкового фенопласта марки 03-010-02, Э2-338-02;
- 2) АБС-пластика, полиамид и полипропилен.

Здесь обосновано конструкция и размеры экспериментальных образцов и производственных деталей, дан также подробный анализ теории планирования экспериментов в зависимости от количества переменных и характера изучаемого процесса. В этой главе даны влияние переменных факторов (входных параметров) на абсолютную расчетную усадку наружного ( $D$ ) и внутреннего ( $d$ )

диаметров деталей типа втулка из пресс материалов марок 03-010-02, Э2-338-02 и в результате получены нелинейные модели, описывающие изменения усадки размеров (D и d) втулки от состава материалов и технологических режимов изготовления. Все математико-статистические модели были проверены на адекватность и их коэффициенты на значимость. Из анализа полученных математико-статистических моделей следует, что полученные результаты по основному значимым эффектам не выступают в противоречие с общетеоретическими соображениями о влиянии исследуемых факторов на параметр оптимизации (усадка размеров) и подтверждают существующие качественные гипотезы об их знаках.

Установлено, что в соответствии апостериорной ранжировкой факторов наиболее сильное влияние на параметр оптимизации оказывает содержание смолы в материале и влажность материала, а также определены степень влияния режимных параметров на целевую функцию (усадки размеров). А также в этой главе рассматриваются методики для использования при определении прочности термореактивных пластмасс (03-010-02, Э2-338-02), применяемых в конструкциях нефтепромыслового оборудования.

В связи с этим сформирована феноменологическая теория прочности и соответствующие ей критерии прочности. В соответствии с поставленной задачей был использован специальный образец, где разрушающим элементом является прямоугольная стенка толщиной – 4мм, длина – 90 мм, высота – 15 мм. Анализируя напряженно-деформационный «характер» материала, определена применимость закона Гука для исследуемых материалов. При этом использована теория Ю.И.Ягна, являющаяся наиболее развитой и обобщающей теорией прочности. В данной главе, анализируя существующие методы, определены критерии прочности термореактивных материалов с учетом теории прочности Мора и в окончательном варианте предложено в следующем виде:

$$A(\sigma_{z1} + \sigma_{z2}) + B(\sigma_{z1}^2 + \sigma_{z2}^2) + c\sigma_{z1}\sigma_{z2} + D\sqrt{\sigma_{z1}^2 + \sigma_{z2}^2} + E\sqrt{(\sigma_{z1} - \sigma_{z2})^2 + \sigma_{z1}^2 + \sigma_{z2}^2} = 1$$

Здесь постоянные коэффициенты, входящие в уравнение, определены в зависимости от марок пластмассовых деталей и определены экспериментальным путем. В данной главе также экспериментально рассматривается изменение качества (усадка – Sb,



плотность –  $\rho$ , шероховатость поверхности –  $R_a$ , твердость –  $H_B$  и прочность при растяжении –  $\sigma_p$ ) термопластичных материалов (АБС-пластики, полиамид, капрон) в зависимости от режимов их изготовления. В результате определено структурное изменение деталей из каждого материала в зависимости от условий эксплуатации. Для изучения комплексного влияния режимных параметров на показатели качества в данной главе рассмотрено математическое описание процесса литья и определен его характер. Эти модели у исследованных материалов выбраны первого и второго порядка в следующем виде:

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_1 x_i + \sum_{i=j}^k b_y x_i y_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2$$

Используя экспериментальные результаты, определены постоянные коэффициенты выбранных зависимостей и их значения для групп термопластичных материалов и представлены в сводных таблицах 1 и 2. Анализ каждой зависимости (модели) дает возможность определять каждый показатель и его характер ( $S_b$ ,  $\rho$ ,  $R_a$ ,  $H_B$ ,  $\sigma_p$ ) от режимов изготовления, выявить характер влияния каждой переменной на качество деталей и различных термопластов. Здесь также определено, что в активном планируемом эксперименте все условия регрессионного анализа соблюдаются. Активный эксперимент лучше организован, отсеивание часть коэффициентов регрессии (для линейной модели) не влияет на интерпретацию, так как коэффициенты определяются друг от друга.

Анализ состояния вопроса, проведенный в данной работе, и результаты исследования на стандартных образцах и цилиндрах прессованных из терморезактивных пластмасс позволили получить априорные сведения о характере парных зависимостей  $Q = f_1(P)$ ,  $Q = f_2(t)$ ,  $Q = f_3(\tau)$ . Это дало возможность избежать крутого восхождения в планировании эксперимента в почти стационарной области. Здесь также определено, что поверхность отклика не может быть описана при помощи линейного приближения, так как эффекты взаимодействия становятся существенными. Почти стационарную область обычно удается описать полиномами второго порядка. Для этого нужно иметь такую систему планирования, в которой каждая переменная будет принимать хотя бы три разных значения.

Таблица 1

Коэффициенты для деталей из АБС

	$S_b=f(x_1)$	$\rho=f(x_2)$	$R_a=f(x_3)$	HB= $f(x_4)$	$\sigma_p=f(x_5)$
$b_0$	0,69925	1045,988	0,92221	80,52796	43,90526
$b_1$	-0,06219	0,31108	-0,05261	0,18909	0,36263
$b_2$	-0,01169	0,42508	-0,06912	0,12155	0,63627
$b_3$	-0,02277	0,36568	0,03124	0,14756	0,29185
$b_4$	0,09851	0,99839	-0,09470	0,29944	0,12441
$b_5$	-0,09814	0,14128	0,04856	0,55658	0,50570
$b_{11}$	0,05715	-0,19466	0,03911	0,03452*	-1,38076
$b_{22}$	0,00906	-0,17765	0,06201	0,81603	1,68989
$b_{33}$	0,01789	-0,56762	0,02929	0,82846	0,01356 <sup>x</sup>
$b_{44}$	0,01920	-0,17307	-0,00064*	0,02692*	-1,20802
$b_{55}$	0,01462	-0,46293	0,08491	0,35605	-0,45491
$b_{12}$	0,00463	0,45848	-0,03359	0,02715*	0,18223
$b_{13}$	-0,00963	0,71109	0,04609	-0,42020	-0,17078
$b_{14}$	0,00045*	0,21515	0,03567	0,03264*	0,02931*
$b_{15}$	0,00094	-0,07203	-0,03880	-0,20145	-0,01752*
$b_{23}$	0,00265	-0,28442	0,00078*	0,43197	0,01692*
$b_{24}$	-0,00723	-0,16432	0,02317	0,02692*	0,35546
$b_{25}$	0,00432	0,34578	0,01953	-0,39427	0,22140
$b_{34}$	-0,00869	0,03475*	0,00024*	0,22166	0,45348
$b_{35}$	0,00013*	0,24046	0,06380	0,01354	-0,21828
$b_{45}$	0,00442	0,02691	-0,01536	-0,33208	-0,16723

\* – незначимые коэффициенты

Таблица 2

Коэффициенты для деталей из ПА

	$S_b=f(x_1)$	$\rho=f(x_2)$	$R_a=f(x_3)$	$HB=f(x_4)$	$\sigma_p=f(x_5)$
$b_0$	2,27739	1014,468	0,96315	73,62517	41,41443
$b_1$	-0,05113	0,32810	-0,03589	0,61967	0,98978
$b_2$	-0,06516	0,91997	-0,02932	0,66126	0,98651
$b_3$	-0,01525	0,21737	0,06293	-0,21745	-0,64600
$b_4$	0,06133	1,13880	0,04668	0,23283	2,24282
$b_5$	0,07751	0,46695	0,06157	0,93679	0,93673
$b_{11}$	-0,00135*	-0,87771	-0,00096*	0,00369*	-0,37731
$b_{22}$	0,01311	0,01386*	0,04328	0,00781*	1,17895
$b_{33}$	0,08835	-0,13684	-0,09084	0,00693*	0,91624
$b_{44}$	0,00096*	0,34995	0,02529	-0,74614	-2,96607
$b_{55}$	0,06152	0,63850	-0,04177	0,38024	-2,06247
$b_{12}$	0,02520	-0,10250	0,00047*	0,26463	0,00341*
$b_{13}$	0,01343	0,05500*	-0,03359	-0,19151	0,64479
$b_{14}$	-0,09197	-0,31562	-0,02630	-0,18338	-1,32958
$b_{15}$	-0,01104	-0,30812	0,02005	0,00134*	-0,51510
$b_{23}$	0,02333	0,23500	0,04401	0,00542*	1,22395
$b_{24}$	0,03875	0,15937	0,00057*	0,00632*	-0,62958
$b_{25}$	-0,02760	-0,12812	-0,00096*	-0,35963	0,78364
$b_{34}$	-0,01260	-0,07687*	0,00014*	-0,17651	0,00752
$b_{35}$	0,03166	-0,28562	0,02057	0,00911*	0,54302
$b_{45}$	0,03000	0,47750	-0,01276	-0,00831*	-2,33010

\* – незначимые коэффициенты

В соответствии с общей идеей шагового эксперимента такое планирование может быть получено путем добавления некоторого количества расположенных точек к «ядру», образованному планированием для линейного приближения. Такие планы называются композиционными или последовательными (последовательно строящимися) планами и нами использованы на всех экспериментах. Для данного случая, когда число факторов  $K$  (при изготовлении деталей прямым исследованием) равно трем, центральное композиционное планирование, полученное Боксом и Уильсоном. Метод Бокса-Уильсона рассматривает случай, когда поверхность отклика имеет только одну экстремальную точку. В данном этапе нашего исследования требуется найти только одно экстремальное значение целевой функции – усадки ( $Q$ ). Поэтому нами метод Бокса-Уильсона полностью применен для процесса прессования гладких и резьбовых деталей из термореактивных пластмасс.

Теперь рассмотрим методику построения указанного метода: допустим, что вначале, в почти стационарной области, было поставлено пять опытов – четыре опыта образуют полуреплику типа  $2^{3-1}$ , пятая точка в центре эксперимента служит оценки кривизны поверхности. Если линейное приближение оказалось недостаточным, то добавляют: 1) четыре точки так, чтобы получить полный факторный эксперимент; восемь точек полного факторного эксперимента образуют вершины куба (в общем случае – гиперкуба); 2) шесть «звездных» точек с координатами  $(\pm\alpha, 0, 0)$ ,  $(0, \pm\alpha, 0)$ ,  $(0, 0, \pm\alpha)$ , образующих октаэдр; 3) увеличивают, если это будет признано нужным, число параллельных опытов  $n_0$  в центре эксперимента.

Общее число точек при  $K$  факторов будет  $2^k + 2k + n_0$ . Такое планирование требует значительно меньшего числа опытов, чем полный факторный эксперимент типа  $3^k$ . Выбор расстояния от нулевой точки до звездной определяемой плечом  $\alpha$  зависит от критерия оптимальности плана, который в значительной мере произведен. Нами для описания почти стационарной области, использовалось ортогональное планирование второго порядка. В общем случае в матрице для центрального композиционного планирования второго порядка не все вектор-столбцы ортогональны. Скалярные произведения

$$\sum_{u=1}^N X_{ou} X_{ou}^2 \neq 0; \quad \sum_{u=1}^N X_{iu}^2 X_{ju}^2 \neq 0$$

так как  $X_{ou}$  всегда равно единице, а неотрицательные величины  $X_{iu}^2$  не могут быть все равны нулю. Чтобы получить ортогональное планирование второго порядка нужно произвести некоторое преобразование квадратичных переменных и специальным образом выбрать величину звездного плеча  $\alpha$ . Введем преобразование

$$X'_i = X_i^2 - \frac{\sum X_{iu}^2}{N} = X_i^2 - \overline{X_{iu}^2}$$

Тогда будут равны нулю скалярные произведения

$$\sum_{u=1}^N X_{ou} X'_{ou} = \sum_{u=1}^N X_{iu}^2 - NX_i^2 = 0$$

Неортогональными останутся только вектор-столбцы для квадратичных членов:

$$\sum_{u=1}^N X'_{iu} X'_{ju} \neq 0$$

После такого преобразования матрица  $(X^* X)^{-1}$ , представленной в работе распадется на четыре подматрицы – диагональную матрицу, с помощью которой будут определяться коэффициенты регрессии  $b'_0, b'_i, b'_{ij}$ , диагональные элементы этой матрицы будут обратными для соответствующих элементов матрицы  $(X^* X)$ , две нулевые матрицы и недиагональную матрицу  $Q^{-1}$ , соответствующую квадратичным переменным.

Планирование построено одинаковым образом для всех независимых переменных, поэтому все диагональные элементы матрицы  $Q^{-1}$  будут равны между собой, и точно так же равны друг другу, все ее недиагональные элементы.

Если ортогональность принять за достаточный критерий оптимальности для планирования эксперимента, то на число нулевых точек не накладывается какого-либо ограничения, следовательно, принимаем, что  $n_0 = 1$ . Рассчитанные таким образом мат-

рица планирования для изделия в виде втулок из материалов 03-010-02 и Э2-338-02.

Для изучения влияния состава материала на качество изделия, нами применен ротатабельный план второго порядка, предложенный Боксом и Хантером. Достоинство заключается в том, что почти обеспечивается равенства дисперсий предсказанного значения регрессионной функции на равных расстояниях от центра эксперимента. Таким образом, для исследования процесса была реализована схема центрального композиционного ротатабельного планирования, состоящая из полуреплики факторного эксперимента типа  $2^6$ , 12 звездных точек и 9 центральных точек. Общее число экспериментов – 53. Величина плеча для звездных точек  $\alpha = 2,378$ .

Для изучения влияния конструкции и линейных размеров на усадку и точности изготовления деталей нами использован дробно-факторный эксперимент типа  $2^{4-1}$ . При этом 1/4 реплика указанного плана получается приравниванием  $X_5 = \pm X_1 X_2 X_3$  и  $X_5$  к одному из парных взаимодействий. Таким образом, нами выбрана 1/4 реплика с  $X_4 = X_1 X_2 X_3$ ,  $X_5 = X_1 X_2$ , определяющие контрасты равные  $J = X_1 X_2 X_3 X_4$ ,  $J = X_3 X_4 X_5$ .

Обобщающий определяющий контраст имеет вид

$$J = X_1 X_2 X_5 = X_3 X_4 X_5 = X_1 X_2 X_3 X_4$$

В **третьей главе** рассмотрены исследования влияния технологических режимов на показатели качества деталей из термопластичных и термореактивных материалов. В этой главе экспериментально установлено, что при повышении температуры цилиндра, усадка (Q) деталей, получаемых литьем под давлением в выбранном пределе режимов, увеличивается, а плотность ( $\rho$ ) снижается. Усадка деталей из материалов полиамида уменьшается с повышением температуры цилиндра, это и подтверждается тем, что снижается плотность деталей. Здесь определенно по-разному влияет повышение температуры цилиндра на качество поверхности шероховатости ( $R_z$ ) деталей из различных термопластов. Если шероховатость поверхности деталей из АБС-пластика увеличивается от 0,95 до 1,25 мкм, то у деталей из полиамида наблюдается ее снижение до  $0,55 \div 0,60$  мкм. Наибольшее влияние температуры пресс-формы оказывает на кристаллический полиамид. Здесь на всем интервале

повышения температуры пресс-формы плотность увеличивается. При повышении температуры пресс-формы очень сильно увеличивается усадка деталей из полиамида.

Таким образом, при повышении температуры формы на 50°C, усадка полиамида увеличивается на 0,4%. Увеличением температуры пресс-формы повышается шероховатость поверхности деталей из АБС-пластика и полиамида. Установлено также, что усадка исследованных термопластов уменьшается с повышением давления на расплав. Улучшение качества поверхности деталей из АБС-пластика и полиамида при повышении давления связано с улучшением способности расплава «копировать» поверхности формы. С увеличением времени выдержки под давлением увеличивается плотность деталей из АБС-пластика за счет равномерного уплотнения материала в пресс-форме. Определено, что плотность деталей из полиамида П-68 возрастает с увеличением времени выдержки под давлением.

В третьей главе также изучается влияние технологических параметров на показатели качества пластмассовых деталей. При этом обоснованы выборы основных технологических параметров, которые в производственных условиях контролируются и управляются в зависимости от марки отливаемых материалов, конструкции и толщины стенок изготавливаемых деталей. В основном для проведения экспериментов используются термопластичные материалы (АБС пластиков, полиамид-68, полипропилен), которые являются конструкционными и широко используются для изготовления нагруженных деталей в нефтяном машиностроении.

В качестве эксплуатационных показателей деталей выбраны прочность при растяжении ( $\sigma_p$ ), твердость ( $H_B$ ), шероховатость поверхности ( $R_a$ ), плотность ( $\rho$ ) и усадка ( $S_b$ , %), которые можно контролировать непосредственно в производственных условиях. В этой главе по результатам экспериментальных данных для каждого материала построены кривые зависимости, описывающие указанные критерии качества от технологических режимов изготовления. При этом в широком диапазоне экспериментов определен характер измерения каждого показателя качества ( $\sigma_p$ ,  $H_B$ ,  $R_a$ ,  $\rho$ ,  $S_b$ , %) в зависимости от марки материалов и технологических режимов изготовления. В дальнейшем эти результаты были использованы при

выборе и определении математических моделей, описывающих процесс изготовления конкретных производственных деталей из конкретных пластмассовых материалов.

В **четвертой главе** рассмотрены результаты исследований по установлению многокомпонентной связи показателей качества, групп пластмассовых деталей. Здесь впервые получены эмпирические зависимости показателей качества от величины шероховатости поверхностей, усадки и твердости.

Необходимо отметить, что данная проблема решена на основе больших лабораторных и производственных экспериментов с применением математических методов с использованием теории корреляции в нелинейных математических задачах. При этом решения данных задачи осуществлялось с применением математических методов на компьютере. А также в этой главе решены задачи оптимизации с применением «векторного» метода и в результате определены оптимальные режимы переработки для конкретных термореактивных и термопластичных материалов.

В результате рекомендуется конкретные технологические режимы, изготовление производственных деталей типа колец, цилиндров и крышек, состоящих из различных сочетаний геометрических конструкций (цилиндр с цилиндром, цилиндр с квадратом, квадрат с квадратом, квадрат с цилиндром, цилиндр с прямоугольником, прямоугольник с квадратом и т.д.).

Анализ результатов оптимизации показал следующее. Многокритериальная (векторная) оптимизация в сравнении с однокритериальной позволяет получать наилучшее сочетание комплекса показателей качества, значения которых максимально приближены к их идеальным значениям. В данной главе решается задача оптимизации для конкретно-выбранных конструкций деталей, являющихся представителями из множеств конструкций и сочетаний, часто встречающихся в машиностроении и приборостроении.

Для решения задачи оптимизации, все математические зависимости (статистические модели) деталей сложной конструкции из материалов АБС-пластика и ПА (полиамида), описывающие усадку и колебание размеров от режимов переработки, предварительно были исследованы и определены поверхности оптимизируемых функций и в результате этого установлены границы управляемых



переменных  $(P_n, T_l, T_c, \tau_g, \tau_\phi)$ . Зная, что в зависимости от размеров и конструкций исследуемых образцов поверхности оптимума–экстремум целевой функции находятся в оптимизируемой пространстве в разных областях. Это подтверждает, что для каждого конкретного изделия или определенных групп изделий из пластмасс необходимо установить свои оптимальные режимы, обеспечивающие высокие показатели качества деталей из различных пластмасс.

В этой главе для решения задачи оптимизации применен метод векторной оптимизации. Здесь топологическая структура объекта управления представлена векторами выходных, управляющих и входных переменных, составляющих координатное пространство объекта управления:

а) вектор выходных переменных  $\{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6\}$ :  $y_1$  – усадка;  $y_2$  – колебание усадки (точность);  $y_3$  – прочность при растяжении;  $y_4$  – твердость;  $y_5$  – шероховатость поверхности;  $y_6$  – плотность;

б) вектор управляющих переменных  $\{P_n, T_l, T_c, \tau_g, \tau_\phi\}$ ;

в) вектор входных переменных: материалы, конструкции экспериментальных образцов и деталей.

Таким образом, пространством, образованным управляющими переменными, является:

$$x = x_1^* \times x_2^* \times x_3^* \times x_4^* \times x_5^*$$

а пространством, образованным фазовыми переменными, являются – марки материалов и отдельные конструкции образцов и деталей

$$(u_1, u_2, u_3, \dots, u_n)$$

Здесь необходимо определить такие управляющие параметры

$$x^* = \{x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^*, x_5^*\}$$

при фиксированных конкретных конструкциях образцов и марки материалов

$$u^* = \{u_1^*, u_2^*, u_3^*, \dots, u_n^*\}$$

при которых выбранные функции цели (показатели качества) принимают наилучшие значения

$$y = (x, u) \rightarrow \text{opt}$$

Для задачи указанного характера применена векторная оптимизация. В основу решения данного метода оптимизации положен принцип равномерного приближения к идеальным решениям. При этом разработанный нами алгоритм векторной оптимизации состоит из следующих этапов:

1. Определение экстремумов целевых функций

$$y'_i = \max_{(u,x) \in D} y_i(x, u)$$

$$(x^i, u^i) = \arg \max_{(u,x) \in D} y_i(x, u) \quad (i = 1, 6)$$

найденные значения функций цели  $y'_1, y'_2, y'_3, y'_4, y'_5$ . Назовем идеальным решением, а координаты  $(x^1, u^1)$ ,  $(x^2, u^2)$ ,  $(x^3, u^3)$ ,  $(x^4, u^4)$  и  $(x^5, u^5)$  при которых достигаются эти значения – идеальными точками.

2. Выбор квадратичного функционала на нормированной поверхности функций цели:

$$R_{1,6}(x, u) = \left( \frac{y_i(x, u) - y'_i}{y'_i} \right)^2$$

который позволяет перейти от векторной задачи к скалярной выпуклой задаче нелинейного программирования.

3. Выбранный функционал позволяет определить такие управляющие параметры  $x^*$  при фиксированных значениях фазовых переменных  $u^*$ , при которых функции цели  $y_i(x, u)$  максимально приближены к идеальному решению ( $y'_i$ ). Минимизация выбранного квадратичного функционала позволяет получить оптимальное решение:

$$(x^*, u^*) = \arg \min_{(u,x) \in D} R_{1,6}(x, u)$$

Решение поставленной задачи проводилось для различных пластмасс при изготовлении отдельных конструкций образцов и деталей.

Результаты решения приведены в таблицах 1÷2 диссертации, в которой учтены требованиям к каждому показателю качества в отдельности (по максимизации – прочность, твердость и плотность;

по минимизации – усадка, колебание усадки (точность), шероховатость поверхности).

В пятой главе приведен годовой экономический эффект внедрения пластмассовых деталей в нефтепромысловых оборудовани-ях. Определено, что экономический эффект внедрения пластмассо-вых деталей в нефтепромысловых оборудовани-ях по расчету ВНИИПТНефтемаша составляет более 600 тыс.манат (шестьсот тысяч манат) в год.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Экспериментально и теоретически исследовано качество груп-пы пластмассовых деталей нефтепромыслового оборудования из терморепактивных материалов.
2. Определены основные показатели качества пластмассовых де-талей в производственных условиях, т.е. непосредственно на деталях, изготовленных в промышленных (производственных) условиях.
3. Выявлены основные показатели качества (прочность, твер-дость, шероховатость и усадочная деформация) пластмассовых деталей, работающих в нефтепромысловых оборудовани-ях.
4. С применением математического метода определены матема-тические модели процесса изготовления пластмассовых дета-лей, при этом за показателями качества принята усадочная де-формация, шероховатость поверхностей и твердости изготов-ленных деталей из терморепактивных пластмасс.
5. Не разрушая деталей, косвенным путем найдены эмпирические формулы, определяющие основные показатели качества – прочность и точность сложных производственных деталей (ци-линдр, цилиндр внутри квадрат, цилиндр внутри прямоуголь-ник, квадрат внутри цилиндр, прямоугольник внутри цилиндр и их сложные сочетания).
6. Решены задачи оптимизации процесса изготовления экспери-ментальных и промышленных пластмассовых деталей, широко применяемых в оборудовани-ях, работающих в нефтегазовой промышленности, а также определены оптимальные режимы для сложных деталей в зависимости от их сложности.

7. На основании полученных результатов в зависимости от марки материалов и конструкции деталей рекомендованы оптимальные режимы для изготовления пластмассовых деталей, работающих в узлах и конструкциях нефтепромыслового оборудования.
8. Техничко-экономический анализ, проведенный в данной работе показал, что применение пластмассовых материалов в деталях нефтегазового оборудования примерно 5-6 раз дешевле, чем деталей, изготовленных из традиционных материалов (например, стали и чугуна). Экономический эффект внедрения пластмассовых деталей в нефтепромысловых оборудованьях по расчету ВНИИПТНефтемаша составляет более 600 тыс.манат (шестьсот тысяч манат) в год.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ОТРАЖЕНО В РАБОТАХ:**

1. Аскеров Т.Х., Бадалова Т.А., Аббасов А.М., Гасанова Н.А. Изучение работоспособности пластмассовых сальниковых уплотнений. Известие Высших Технических Учебных Заведений Азербайджана, АГНА, №5(39), г. Баку, 2005 г., с.21-24
2. Гасанова Н.А., Керимов Д.А., Бадалова Т.А. Обеспечение точности изготовления деталей из терморепактивных материалов. Известие Высших Технических Учебных Заведений Азербайджана, АГНА, №3(49), г. Баку, 2007 г., с. 29-24
3. Гасанова Н.А., Керимов Д.А. Определение качества пластмассовых деталей без разрушений. Известие Высших Технических Учебных Заведений Азербайджана, АГНА, №3(55), г. Баку, 2008 г., с.25-28
4. Гасанова Н.А. Оптимизация процесса изготовления пластмассовых деталей с целью определения технологических режимов и качества. «Республиканская научно-техническая конференция аспирантов и молодых исследователей», АГНА, г. Баку, 2008 г., с. 95-99
5. Гасанова Н.А., Керимов Д.А. Определение критериев качества пластмассовых деталей и их математическое описание. “Neftin, Qazın Geotexnoloji Problemləri və Kimya” Elmi-tədqiqat institutu, Elmi əsərlər, IX cild, Bakı, 2008 г., с. 219-223

6. Гасанова Н.А., Курбанова С.К., Керимов Д.А. Влияние технологических параметров на показатели качества деталей из термопластичных материалов. Механика машиностроения, №1, Баку, 2009 г., с. 74–75
7. Bədəlova T.A., Kərimov C.Ə., Səmədov F.A., Nəsenova N.A. Termoplastik materiallardan hissələrin hazırlanmasında təzyiç altında tökmə prosesinin optimallaşdırılması. Elmi əsərlər, AzTU, №2, Bakı, 2009 г., с. 41–43
8. Гасанова Н.А., Керимов Д.А. Оптимизация процесса литья под давлением при изготовлении деталей их термопластичных материалов. Молодежь и наука: реальность и будущее. Материалы II Международной научно-практической конференции. г.Невинномыск, 2009 г., с. 426–428
9. Гасанова Н.А., Керимов Д.А., Гасанов Я.Г. Исследование прочности пластмассовых деталей без механических разрушений. Молодежь и наука: реальность и будущее. Материалы II Международной научно-практической конференции. г.Невинномыск, 2010 г., с. 531-534
10. Nəsenova N.A. Termoreaktiv materiallardan hazırlanmış detalların dəqiqliyinin təmin edilməsi. “Neftin, Qazın Geotexnoloji Problemləri və Kimya” Elmi-tədqiqat institutu, Elmi əsərlər, 12 cild, Bakı, 2011 il, s. 209–213
11. Гасанова Н.А. Обеспечение качества пластмассовых деталей нефтяного оборудования. “Neftin, Qazın Geotexnoloji Problemləri və Kimya” Elmi-tədqiqat institutu, Elmi əsərlər, XIII cild, Bakı, 2012 г., с. 146–150
12. Гасанова Н.А. Определение механических показателей пластмассовых деталей нефтепромыслового оборудования. Научно-технический журнал «Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса», ВНИИОЭНГ, Москва, №2, 2014

**Личный вклад, внесенный соискателем  
в совместно опубликованные работы**

Работы [4, 10, 10] – выполнены самостоятельно.

Работы [1–3, 5, 7–9, 11] – исследование, анализ моделирование, обработка результатов, оптимизация процессов.

**HƏSƏNOVA NAILƏ AĞAKAZIM QIZI**  
**NEFT-MƏDƏN AVADANLIQLARINDA PLASTMAS**  
**DETALLARIN KEYFİYYƏTİNİN TƏDQIQI**

**XÜLASƏ**

Dissertasiya işinin məqsədi müxtəlif plastmas materiallardan olan oymaq, disk və qapaq tipli neft-mədən avadanlığı hissələrinin materialın növündən və texnoloji rejimlərdən asılı olaraq keyfiyyət göstəriciləri olan “yığışma” deformasiyasının ( $S_b$ ), möhkəmliyin ( $\sigma_p$ ), təmizliyinin ( $R_a$ ), bərkliyin ( $H_B$ ) və sıxlığın ( $\rho$ ) eksperiment yolu ilə laboratoriya və istehsalat şəraitində öyrənilməsi. Bu tip hissələr üçün optimal rejimlərin işlənilməsidir.

Aparılan elmi-tədqiqatlarla bağlı müasir neft avadanlıqlarında işləyən plastmass detalların istismar zamanı məruz qaldığı mexaniki, fiziki və kimyəvi təsirlərin mexanizmi və təbiəti geniş analiz olunur və məsələnin qoyuluşu formalaşdırılır.

Alınan nəticələrə əsasən plastmas detalların hazırlanma prosesinin (presləmə və təzyiq altında tökmə) riyazi modelləri işlənilib müəyyən edilmişdir. Bu modellər əsasında istehsalat üçün vacib olan optimal rejimlər tapılaraq müxtəlif materiallar üçün (termoreaktiv və termoplastik) xüsusi tip detallara görə müəyyən edilmiş və istehsalatda tətbiqi üçün təklif edilmişdir.

Dissertasiyada alınan nəticələr əsasında iqtisadi səmərə hesablanmışdır və 600 min manat təşkil edir.

**GASANOVA NAILYA AGA KYAZIM**

**RESEARCH OF QUALITY OF PLASTIC DETAILS  
OF THE OIL-FIELD EQUIPMENT**

**SUMMARY**

The purpose of dissertation work is development scientific and practical methods of ensuring quality of plastic details (a disk, a ring, a thimble, a lid, tc.) the oil-field equipment on the basis of mathematical models, process of their production, reflecting objective laws of influence of modes of production and a design of details on quality indicators (durability at stretching ( $\sigma_p$ ), the hardness ( $H_B$ ), a roughness of a surface ( $R_a$ ), density ( $\rho$ ) and shrinkage ( $S_b$ , %)) with the purpose of optimization of their regimes of production.

Optimum modes are developed for groups of the details consisting of various geometrical combinations and the sizes of their various materials (a thermo reagent, thermoplastic).

Economic effect of introduction of plastic details in oil-field the equipment by calculation of VNIPTneftemash makes more than 600 thousand manat (six hundred thousand manat) in a year.

**AZƏRBAYCAN DÖVLƏT NEFT AKADEMİYASI**

**Əl yazmaları hüququnda**

**HƏSƏNOVA NAILƏ AĞAKAZIM QIZI**

**NEFT-MƏDƏN AVADANLIQLARINDA PLASTMAS  
DETALLARIN KEYFİYYƏTİNİN TƏDQIQI**

**İxtisas:** 3313.02 – Maşınlar, avadanlıqlar və proseslər

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi  
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

**AVTOREFERATI**

**Bakı–2014**