



Институт нефти и газа

СФУ, Красноярск.

**«Обеспечение безотказной работы
технологических установок НПЗ
с учетом управления качеством
профессиональной подготовки
персонала»**

Цель работы:

Разработка научно-методических основ для обеспечения безотказной работы технологических установок НПЗ с учетом управления качеством профессиональной подготовки персонала.



Задачи:

- Выявление профессионально важных качеств операторов;
- Определение методов оценки профессионально важных качеств;
- Экспериментальные исследования по определению уровня профессионально важных качеств у персонала;
- Построение математической модели профессиональной пригодности операторов, позволяющей выявлять «успешно пригодных» и «условно пригодных»;
- Оценка безошибочного выполнения производственных функций;
- Анализ риска возникновения аварий с учетом ошибочных действий «успешно пригодных» и «условно пригодных» операторов.



Научная новизна

1. Впервые выдвинута концепция снижения риска аварийности в нефтегазовой отрасли на основе человеческого фактора, формализованная в виде модели профессиональной пригодности операторов.
2. Обоснован алгоритм оценки профессиональной пригодности операторских профессий в нефтегазовой промышленности: установлены профессионально важные качества, подобраны методики для оценки указанных качеств, выполнено тестирование 105 операторов, обработано более 700 тестов.
3. Расчитана математическая модель профессиональной пригодности операторов в нефтегазовой промышленности с применением знакового статического метода анализа данных.
4. Оценка профессиональной пригодности операторов с использованием разработанной модели позволяет разделять операторов на две группы «успешно пригодные» и «условно пригодные».
5. Впервые в нефтегазовой отрасли выполнен анализ ошибочных действий «условно пригодных» и «успешно пригодных» операторов.



Уровень аварийности и травматизма в нефтегазовой промышленности остаётся высоким.

Значительное (более 70%) количество инцидентов, аварий и несчастных случаев происходит по организационным причинам, так или иначе связанным с человеческим фактором.



Причины возникновения опасных ситуаций:

1.Нарушение мотивационной части действий.

Проявляется в нежелании выполнять определенные действия.

2.Нарушение ориентировочной части действий.

Проявляется в незнании правил эксплуатации технических систем.

3.Нарушение исполнительной части.

Проявляется в невыполнении правил, инструкций, предписаний и норм вследствие несоответствия психофизиологических возможностей человека требованиям работы.

Профессиональный отбор - система мероприятий, направленных на выделение из имеющихся кандидатов профессионально пригодных людей.



Определение профессионально важных качеств операторов установок НПЗ

Независимо от конкретной профессии для операторской деятельности характерны 4 основные производственные функции:

- Контроль параметров на соответствие технологическому регламенту.
- Регулирование параметров технологического процесса.
- Прогнозирование развитие аварийной ситуации.
- Принятие решений о коррекции технологического процесса в объеме своих полномочий и знаний.



Методики оценки профессионально важных качеств операторов

Осн. проф. важные качества	Свойства	Психодиагностические методики
Психофизиологические		
1. Внимание	Распределение, переключение, концентрация, устойчивость внимания	Тест «Расстановка чисел» тест Кольца Ландольта тест «Перепутанные линии»
2. Память	Объём кратковременной и долговременной памяти	Тест «Воспроизведение фигур» Тест «Память на числа»
3. Технический интеллект	Уровень технического интеллекта	Тест «Механической понятливости Беннета»
4. Восприятие размеров (газомер)	Точность газомера	Тест «Деление отрезка пополам» Тест «Сравнение длины отрезков»
5. Вероятностное прогнозирование	Логичность мышления, способность установления закономерностей	Тест «Сложные аналогии», Тест «исключение лишнего»
Личностные		
6. Эмоциональная устойчивость	Выдержанность, отсутствие нервного утомления	Тест «Кэггелла» - фактор «С»
7. Ответственность	Высокая нормативность поведения, точность, деловая направленность	Тест «Кэггелла» - фактор «В»

Построение математической модели для оценки профессиональной пригодности операторов

Модель профессиональной пригодности предоставляет собой математическую зависимость показателя профессиональной пригодности от уровня развития профессионально важных психофизиологических и личностных качеств, определяемых по результатам тестирования.

С помощью *знакового статического метода* анализа данных построим модели профессиональной пригодности операторов, включающие все выделенные профессионально значимые качества.



Профессиональная пригодность операторов оценивалась экспертами по пяти-балльной шкале с единичным шагом.

Значение 5 по балльной шкале соответствует наилучшей, максимальной оценке профессиональной пригодности, значение 3 является нижней границей профессиональной пригодности оператора.

Усредненная экспертная оценка $У$ - округленное до целого числа среднее арифметическое оценок экспертов.

Таким образом:

При $У > 3$ оператор считается «успешно пригодным».

При $У \leq 3$ оператор считается «условно пригодным».



Результаты экспериментальных исследований и построение модели профессиональной пригодности для операторов по добыче нефти

В исследовании принимали 70 операторов.

Максимально возможное количество верных ответов по тестам

№ теста	1	2	3	4	5	6	7	8
В max	180	10	10	70	6	20	12	12

1-Тест «Кольца Ландольта»,

2-Тест «Воспроизведение фигур»(кратковременная память),

3-Тест «Воспроизведение фигур»(долговременная память),

4-Тест «Механическая понятливость»,

5-Тест «Деление отрезка пополам»,

6-Тест «Исключение лишнего»,

7-Тест Р. Кеттелла «С»,

8-Тест Р. Кеттелла «G»



Результаты тестирования, приведенные к нормализованному виду (отношение правильных ответов к максимально возможному количеству ответов по тесту)

Номер оператора	Профессионально значимые качества								Усредненная экспертная оценка
	Психофизиологические качества						Личностные качества		
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	
1	0,922	0,700	0,500	0,943	1,000	0,850	0,667	0,750	5
2	0,856	0,300	0,200	0,786	0,500	0,450	0,750	0,917	3
3	0,506	0,900	0,100	0,557	0,833	0,450	0,667	1,000	3
4	0,489	1,000	0,800	0,786	1,000	0,950	0,417	0,750	4
5	0,994	0,800	0,200	0,943	1,000	0,600	0,667	0,833	5
6	0,839	1,000	0,400	0,943	0,667	0,500	0,917	0,833	5
7	0,678	0,900	0,100	0,871	1,000	0,750	0,583	0,833	4



При расчете принимаем:

U_i - экспертная оценка профессиональной пригодности i -го оператора;
 X_i - нормализованные оценки тестов.

Компьютерная обработка данных тестирования операторов позволила получить модель профессиональной пригодности, имеющую вид:

$$U = - 3,656 + 1,167X_1 + 0,856X_2 + 1,693X_3 + 1,492X_4 + 1,415X_5 + 1,4X_6 + 2,039X_7 + 1,126X_8$$

Из результатов расчета профессиональной пригодности с помощью знакового метода вытекает что:

51 (73%) - «успешно пригодные»

19 (27%) - «условно пригодные»



Построение модели профессиональной пригодности для операторов цеха налива нефтепродуктов в автоцистерны

В исследовании принимали 35 операторов.

Максимально возможное количество верных ответов по тестам

№ теста	1	2	3	4	5	6	7
В max	25	25	12	70	20	12	12

1-Тест «Расстановка чисел»,

2-Тест «Перепутанные линии»

3-Тест «Память на числа» (Кратковременная память),

4-Тест «Механическая понятливость»,

5-Тест «Исключение лишнего»,

6-Тест Р. Кеттелла «В»,

7-Тест Р. Кеттелла «С»



Результаты тестирования, приведенные к нормализованному виду (отношение правильных ответов к максимально возможному количеству ответов по тесту)

Номер опера тора	Профессионально значимые качества							Усреднен ная экспертн ая оценка
	Психофизиологические качества					Личностные качества		
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	
1	0,400	0,840	0,833	0,900	0,600	0,850	0,667	5
2	0,640	0,320	0,500	0,543	0,750	0,450	0,750	3
3	0,600	0,800	0,583	0,786	0,850	0,450	0,667	5
4	0,440	0,480	0,250	0,400	0,500	0,950	0,417	3
5	0,520	0,840	0,583	0,657	0,550	0,600	0,667	4



При расчете принимаем:

U_i - экспертная оценка профессиональной пригодности i -го оператора;
 X_i - нормализованные оценки тестов.

Компьютерная обработка данных тестирования операторов позволила получить модель профессиональной пригодности, имеющую вид:

$$U = - 3,586 + 1,807X_1 + 1,727X_2 + 1,575X_3 + 1,775X_4 + 1,774X_5 + 2,030X_6 + 1,338X_7$$

Из результатов расчета профессиональной пригодности с помощью знакового метода вытекает что:

24 (69%) - «успешно пригодные»

11 (31%) - «условно пригодные»



Общий вид модели профессиональной пригодности операторов в нефтегазовой промышленности

$$Y = -K + aX_1 + bX_2 + cX_3 + dX_4 + eX_5 + fX_6 + gX_7 + jX_8 + iX_9,$$

Где Y - показатель профессиональной пригодности оператора, K - свободный член уравнения $a, b, c, g, e, f, g, j, i$ - коэффициент регрессии $X_1 - X_9$ приведенные к нормализованному виду результаты тестирования,
 X_1 - распределение и переключение внимания,
 X_2 - концентрация и устойчивость внимания,
 X_3 - кратковременная память
 X_4 - долговременная память
 X_5 - технический интеллект
 X_6 - восприятие размеров
 X_7 - вероятностное прогнозирование
 X_8 - эмоциональная устойчивость
 X_9 - ответственность



Результаты расчета профессиональной пригодности операторов

№ п/п	Вид операторской деятельности	«Успешно пригодные», операторы, %	«Условно пригодные» операторы, %
1	Операторы по добыче нефти	73	27
2	Оператор цеха налива нефтепродуктов в автоцистерны	69	31
3	Усредненный показатель по всем видам операторской деятельности	71	29

На основании полученных моделей профессиональной пригодности было установлено, что **69-73%** протестированных операторов следует отнести к категории **«успешно пригодные»**, а **27-31%** **«условно пригодные»** для выполнения производственной деятельности.



Оценка риска возникновения аварии

Риск - вероятность реализации негативного воздействия в зоне пребывания человека;

Анализ риска - процесс выявления (идентификации) и оценки опасностей.

Анализ риска включает в себя:

- идентификация опасностей;
- изучение условий реализации опасностей;
- анализ последствий;
- получение вероятностных оценок риска;
- получение количественных оценок уровней риска, связанных с реализацией основных опасностей.



Преимущества метода «Дерево отказов» для оценки рисков:

- анализ ориентируется на нахождение отказов;
- позволяет показать в явном виде ненадежные места;
- обеспечивается графикой и предоставляет наглядный материал;
- дает возможность выполнять качественный и количественный анализ надежности системы;
- обеспечивает глубокое представление о поведении технологической системы и проникновение в процесс ее работы.



Разрушение нефтепровода



Шифр	Описание первичных событий	Вероят. события
1	Несоответствие оборудования условиям эксплуатации	$6,6 \cdot 10^{-5}$
2	Некачественное изготовление оборудования	$1,2 \cdot 10^{-4}$
3	Прочие причины	$7 \cdot 10^{-5}$
4	Механические повреждения в результате строительства	$8,8 \cdot 10^{-5}$
5	Разрушения природного характера	$1 \cdot 10^{-8}$
6	Авиакатастрофа	$1 \cdot 10^{-8}$
7	Ошибочное открытие задвижки	$3 \cdot 10^{-3}$
8	Ошибочное закрытие пневмоприводного отсекателя, установленного на выходе	$1 \cdot 10^{-3}$
9	Отказ предохранительного клапана	$2,6 \cdot 10^{-2}$
10	Ошибка оператора при регистрации давления на выходе	$3,3 \cdot 10^{-3}$
11	Ошибка оператора при сравнении значения давления с нормами технологического режима	$2 \cdot 10^{-2} / 7 \cdot 10^{-2}$
12	Ошибка при принятии решения	$2 \cdot 10^{-2} / 7 \cdot 10^{-2}$
13	Ошибка оператора при регистрации давления на выходе из сепаратора	$5,1 \cdot 10^{-3}$
14	Ошибка оператора при сравнении значения давления с нормами технологического режима	$2 \cdot 10^{-2} / 7 \cdot 10^{-2}$
15	Ошибка при принятии решения	$2 \cdot 10^{-2} / 7 \cdot 10^{-2}$
16	Ошибка оператора при регистрации расхода на выходе	$3,3 \cdot 10^{-3}$



При расчете вероятности наступления конечного нежелательного события используются следующие зависимости для логических связей «И» и «ИЛИ»:

$$P = \prod_{i=1}^n q_i$$

$$P = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - q_i)$$

Где **P**-вероятность наступления конечного события;

n-число событий;

q_i-вероятность *i*-го исходного события.



Результаты расчета «дерева отказов»

Описание событий	Вероятность события	
	При работе «успешно пригодного» оператора	При работе «условно пригодного оператора»
Промежуточные события		
Внешнее разрушение	$8,8 \cdot 10^{-5}$	
Повышение давления	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$
Уменьшение скорости оттока нефтепродуктов	$3,7 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Увеличение скорости поступления нефтепродуктов	$1,34 \cdot 10^{-7}$	$4,2 \cdot 10^{-7}$
Ошибка оператора при контроле давления на выходе	$4,45 \cdot 10^{-2}$	$1,40 \cdot 10^{-1}$
Ошибка оператора при контроле расхода на выходе из сепаратора	$4,28 \cdot 10^{-2}$	$1,38 \cdot 10^{-1}$
Нежелательное конечное событие		
Разрушение нефтепровода	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$5,3 \cdot 10^{-4}$

Таким образом, вероятность разрушения нефтепровода:

- При работе «успешно пригодных» операторов = $4,5 \cdot 10^{-4}$*
- При работе «условно пригодных» операторов = $5,3 \cdot 10^{-4}$*

Что на 15 % ниже!



Расчет экономической эффективности внедрения моделей оценки профессиональной пригодности на примере аварии на нефтепроводе

Общий ущерб после аварии складывается из:

- **Социально-экономический ущерб** (расходы по выплате пособий на погребение погибших, расходы на медицинскую, социальную и профессиональную реабилитацию пострадавших от аварии, расходы по выплате пособий по временной нетрудоспособности)
- **Имущественный ущерб** включает имущественные (прямые) потери предприятия от аварии: уничтожение и повреждение основных производственных фондов и оборотных средств, а также потери, вызванные компенсацией ущерба третьим лицам, затраты на восстановление разрушенного оборудования.
- **Экологический ущерб** при авариях связанных в основном, с выплатами за загрязнение атмосферы.
- **Косвенный ущерб** определяется длительностью простоя предприятия и размерами недополученной выручки



Средние временные и финансовые затраты

Параметр	Содержание	Величина
Время	Изучение материала специалистом	3 ч
	Подготовка к проведению тестированию: распечатывание/ксерокс 28 бланков (из них 1 резервный набор) и 14 листов с инструкциями и ответами; раскладка бланков по файлам; подготовка помещения для тестирования и т.д.	40 мин
	Встреча, усаживание, проводы кандидата	20 мин
	Время тестирования (объяснение задания, смена материала, выполнение задания)	1 ч 20 мин
	Обработка результатов тестирования	45 мин
	Определение профессиональной пригодности кандидата по модели в программе (Excel)	5 мин
Всего 6 ч 10 мин		
Материал	Ручки (из них 1 резервная)	7 руб.
	Распечатка/ксерокопии бланков	40 руб.
	Файлы для бланков (из них 1 резервный и 1 для материалов специалиста)	2 руб.
Всего 49 руб.		
Заработная плата	Оплата труда специалиста	250 руб./ч
Итого 1 591 руб.		



- Затраты на проведение профотбора на человека $\approx 1,6$ тыс. руб.;
- Ущерб от аварии на нефтепроводе ≈ 24500 тыс.руб.;
- Вероятность аварии при работе «успешно пригодных» ниже на 15%, чем «условно пригодных».

Метод сравнения двух денежных потоков:

$$ДП_{\Delta} = ДП_2 - ДП_1 ,$$

Где $ДП_{\Delta}$ -добавочный денежный поток;

$ДП_1$ -поток ущерба от аварии, до проведения профотбора;

$ДП_2$ - поток ущерба от аварии после проведения профотбора (учитывая затраты на проведение профотбора)

$$ДП_{\Delta} = (1,6n + (-24500)(1 - 0,15)) - (-24500) = 4410 - 1,6n \text{ (тыс.руб.)}$$

n -количество обучающихся специалистов



- *Впервые в нефтегазовой отрасли выполнен анализ риска возникновения аварийной ситуации с учетом профессиональной пригодности операторов на примере аварии в нефтепроводе во Владимирской области.*
- *Выяснено, что при работе «успешно пригодных» операторов вероятность разрушения газопровода на 15% ниже, чем при работе «условно пригодных»*
- *Экономическая эффективность внедрения моделей оценки профессиональной пригодности операторов, согласно расчету, многократно превышает затраты на проведения тестирования.*

