

**НЕФТЕГАЗОВЫЙ ИНЖИНИРИНГ**

**ДЖОН МИТЧЕЛЛ**

# **БЕЗАВАРИЙНОЕ БУРЕНИЕ**



# Оглавление

<b>От редакционного совета серии</b> . . . . .	xvii
<b>Предисловие</b> . . . . .	xix
<b>ГЛАВА 1. Прихваты и другие незапланированные события</b> . . . . .	1
Цепочка факторов, ведущая к незапланированному событию . . . . .	1
Безрассудный риск . . . . .	2
Передача информации «снизу» . . . . .	2
Главные уроки . . . . .	2
<b>ГЛАВА 2. Экономия денег — источник всех бед</b> . . . . .	3
Источник всех бед . . . . .	3
Экономия денег . . . . .	4
Решения и здравый смысл . . . . .	5
Примеры . . . . .	5
Главные уроки . . . . .	9
<b>ГЛАВА 3. Общение и моральная атмосфера</b> . . . . .	11
Моральная атмосфера . . . . .	11
Передача информации «снизу» . . . . .	13
Грубые шутки и образ мышления «крабов в банке» . . . . .	14
Главные уроки . . . . .	15
<b>ГЛАВА 4. Решение проблем</b> . . . . .	17
Научный подход . . . . .	17
Научный метод . . . . .	18
Процесс решения проблем . . . . .	18
Пятиэтапный процесс решения проблем . . . . .	19
Этап 1: определение проблемы . . . . .	19
Этап 2: выявление причин . . . . .	19
Этап 3: формулирование решения . . . . .	20
Этап 4: реализация решения . . . . .	20
Этап 5: оценка решения и процесса . . . . .	20
Будьте готовы к сопротивлению . . . . .	21
Главные уроки . . . . .	21

---

<b>ГЛАВА 5. Проектирование скважин</b> . . . . .	23
Вопросы обмена информацией . . . . .	23
Основные принципы проектирования скважин . . . . .	25
Траектория скважины . . . . .	26
Конструкция скважины . . . . .	29
Диаметр ствола . . . . .	31
Долота . . . . .	31
КНБК и бурильная колонна . . . . .	32
Очистка ствола и гидравлика бурения . . . . .	34
Буровой раствор . . . . .	35
Регулирование содержания твердой фазы в буровом растворе . . . . .	36
Заключение . . . . .	36
<b>ГЛАВА 6. Механизмы прихватов</b> . . . . .	39
Определение прихвата . . . . .	39
Категории прихватов . . . . .	39
Прихват шламом или обвалившейся породой . . . . .	40
Дифференциальный прихват . . . . .	40
Прихваты бурового инструмента на участках со сложной геометрией ствола . . . . .	41
Другие типы прихватов . . . . .	41
Таблица для определения типа прихвата . . . . .	42
Начальные действия по освобождению прихваченной колонны . . . . .	44
<b>ГЛАВА 7. Очистка скважины</b> . . . . .	47
Качество очистки вертикальных скважин . . . . .	48
Факторы, влияющие на качество очистки вертикальных скважин . . . . .	49
Плотность бурового раствора (факторы, влияющие на качество очистки вертикальных скважин) . . . . .	49
Скорость потока в кольцевом пространстве (факторы, влияющие на качество очистки вертикальных скважин) . . . . .	52
Реологические свойства и режимы течения бурового раствора (факторы, влияющие на качество очистки вертикальных скважин) . . . . .	54
Размер, форма и количество шлама (факторы, влияющие на качество очистки вертикальных скважин) . . . . .	62
Скорость проходки (факторы, влияющие на качество очистки вертикальных скважин) . . . . .	63
Вращение и эксцентричное расположение бурильной колонны в скважине (факторы, влияющие на качество очистки вертикальных скважин) . . . . .	64

---

Время (факторы, влияющие на качество очистки вертикальных скважин) . . . . .	65
Качество очистки наклонных скважин . . . . .	65
Факторы, влияющие на качество очистки наклонных скважин . . . . .	66
Зенитный угол (факторы, влияющие на качество очистки наклонных скважин) . . . . .	67
Эффект Бойкотта . . . . .	68
Механизмы транспортирования шлама . . . . .	69
Характеристики бурового раствора (факторы, влияющие на качество очистки наклонных скважин) . . . . .	72
Расход бурового раствора (факторы, влияющие на качество очистки наклонных скважин) . . . . .	80
Шлам и отложения шлама (факторы, влияющие на качество очистки наклонных скважин) . . . . .	83
Оценка толщины отложения шлама по его объему . . . . .	87
Три области формирования слоев шлама . . . . .	88
Скорость проходки (факторы, влияющие на качество очистки наклонных скважин) . . . . .	94
Эксцентричное расположение бурильной колонны (факторы, влияющие на качество очистки наклонных скважин) . . . . .	94
Вращение колонны бурильных труб (факторы, влияющие на качество очистки наклонных скважин) . . . . .	96
Время (факторы, влияющие на качество очистки наклонных скважин) . . . . .	103
Вязкие, утяжеленные пачки и пачки с волокнистым материалом (факторы, влияющие на качество очистки наклонных скважин) . . . . .	104
Бурение с очисткой скважины воздухом и пеной . . . . .	109
Сжимаемость . . . . .	109
Забойное давление . . . . .	110
Качество очистки ствола при бурении с продувкой воздухом . . . . .	112
Толстая фильтрационная корка . . . . .	115
Туман . . . . .	116
Устойчивая пена . . . . .	117
Приток пластовых флюидов . . . . .	122
Пена с твердой фазой . . . . .	122
Аэрированные буровые растворы . . . . .	123
Краткое содержание главы . . . . .	123
Когда следует ожидать осложнений, связанных с некачественной очисткой скважины . . . . .	123
Предупредительные меры . . . . .	124
Признаки некачественной очистки скважины . . . . .	127

Освобождение колонны . . . . .	130
Контрольные вопросы к главе 7 . . . . .	133
<b>ГЛАВА 8. Неустойчивость стенок скважины . . . . .</b>	<b>139</b>
Неустойчивость глинистых пород . . . . .	140
Терминология механики горных пород . . . . .	146
Напряжение . . . . .	147
Эффективное напряжение . . . . .	147
Деформация . . . . .	149
Хрупкость в сравнении с пластичностью . . . . .	150
Коэффициент Пуассона . . . . .	150
Трехосное напряженное состояние и главные напряжения . . . . .	152
Компоненты напряжений . . . . .	153
Напряжения в естественных условиях залегания . . . . .	153
Напряжения на стенке скважины . . . . .	154
Кольцевые напряжения . . . . .	154
Силовые линии поля напряжений . . . . .	158
Изолинии напряжений . . . . .	159
Радиальные напряжения . . . . .	162
Осевые напряжения . . . . .	163
Круги напряжений (теория двойного угла) . . . . .	165
Огибающая предельных кругов напряжений . . . . .	167
Факторы, влияющие на устойчивость стенок скважины . . . . .	168
Плотность бурового раствора (факторы, влияющие на устойчи- вость стенок скважины) . . . . .	168
Прочностные свойства породы (факторы, влияющие на устойчи- вость стенок скважины) . . . . .	172
Температура (факторы, влияющие на устойчивость стенок сква- жины) . . . . .	173
Напряженные состояния в естественных условиях залегания и ани- зотропия напряжений (факторы, влияющие на устойчи- вость стенок скважины) . . . . .	176
Плоскости напластования (факторы, влияющие на устойчивость стенок скважины) . . . . .	182
Фильтрат бурового раствора (факторы, влияющие на устойчивость стенок скважины) . . . . .	185
Вибрация буровой колонны (факторы, влияющие на устойчи- вость стенок скважины) . . . . .	193
Геометрия ствола (факторы, влияющие на устойчивость стенок скважины) . . . . .	196
Типы обрушения . . . . .	196
Разрушение по причине чрезмерных напряжений . . . . .	197

---

Ползучесть . . . . .	199
Обрушение, оползание и отслаивание . . . . .	201
Поглощения и временные поглощения бурового раствора . . . . .	202
Определение напряжений . . . . .	203
Набухание и диспергирование . . . . .	203
Катионный обмен . . . . .	203
Механизмы набухания . . . . .	204
Краткое содержание главы . . . . .	207
Когда следует ожидать осложнений, связанных с неустойчивостью стенки скважины . . . . .	207
Предупредительные меры . . . . .	209
Признаки начинающегося прихвата . . . . .	212
Освобождение колонны . . . . .	215
Другие проявления неустойчивости стенок скважины . . . . .	217
Неконсолидированные породы и конгломераты . . . . .	217
Пласты с наличием естественной трещиноватости или нарушений . . . . .	221
Металл, упавший в скважину . . . . .	222
Контрольные вопросы к главе 8 . . . . .	224
<b>ГЛАВА 9. Дифференциальный прихват . . . . .</b>	<b>229</b>
Механизмы возникновения дифференциальных прихватов . . . . .	230
Факторы, способствующие возникновению дифференциального прихвата . . . . .	233
Проницаемые пласты (факторы, способствующие возникновению дифференциального прихвата) . . . . .	233
Репрессия/перепад давления (факторы, способствующие возникновению дифференциального прихвата) . . . . .	234
Фильтрационная корка (факторы, способствующие возникновению дифференциального прихвата) . . . . .	235
Контакт колонны со стенкой скважины (факторы, способствующие возникновению дифференциального прихвата) . . . . .	245
Неподвижное состояние буровой колонны (факторы, способствующие возникновению дифференциального прихвата) . . . . .	248
Время (факторы, способствующие возникновению дифференциального прихвата) . . . . .	249
Поперечные нагрузки (факторы, способствующие возникновению дифференциального прихвата) . . . . .	250
Сила трения . . . . .	251
Удерживающая сила, обусловленная липкостью фильтрационной корки . . . . .	252
Краткое содержание главы . . . . .	253
Когда следует ожидать дифференциального прихвата . . . . .	253
Предупредительные меры . . . . .	254

Признаки осложнений . . . . .	257
Освобождение прихваченной колонны . . . . .	258
Контрольные вопросы к главе 9 . . . . .	264
<b>ГЛАВА 10. Прихваты инструмента на участках со сложной геометрией</b>	<b>267</b>
Места резкого искривления ствола . . . . .	268
Желобные выработки . . . . .	268
Факторы, влияющие на образование желоба . . . . .	269
Когда следует ожидать образования желобов . . . . .	271
Признаки наличия желобов . . . . .	271
Предупреждение прихватов в желобных выработках . . . . .	273
Освобождение бурильной колонны, прихваченной в желобной вы-	
работке . . . . .	274
Жесткая КНБК . . . . .	275
Когда следует ожидать прихвата жесткой КНБК . . . . .	276
Признаки прихвата жесткой КНБК . . . . .	276
Предотвращение прихватов жесткой КНБК . . . . .	277
Освобождение прихваченной жесткой КНБК . . . . .	278
Мелкие искривления . . . . .	279
Когда следует ожидать прихвата в мелких искривлениях . . . . .	282
Признаки прихвата в мелких искривлениях . . . . .	282
Предотвращение прихватов в мелких искривлениях . . . . .	283
Освобождение колонны, прихваченной в мелких искривлениях . . . . .	283
Уступы . . . . .	284
Когда следует ожидать образования уступов . . . . .	285
Признаки наличия уступов . . . . .	285
Предотвращение осложнений, связанных с наличием уступов . . . . .	285
Освобождение колонны, прихваченной в уступах . . . . .	286
Породы, склонные к пластическому течению . . . . .	286
Факторы, влияющие на деформацию или текучесть соли . . . . .	288
Признаки прихвата бурильной колонны текучими породами . . . . .	289
Предотвращение прихвата колонны текучими породами . . . . .	290
Освобождение колонны, прихваченной в интервале текучих пород . . . . .	291
Диаметр ствола меньше номинального . . . . .	292
Когда следует ожидать сужения ствола до диаметра меньше номи-	
нального . . . . .	292
Признаки сужения ствола до диаметра меньше номинального . . . . .	293
Предотвращение прихвата колонны на участке ствола меньше но-	
минального . . . . .	293
Освобождение колонны, прихваченной на участке ствола меньше	
номинального . . . . .	293

---

<b>ГЛАВА 11. Динамика параметров бурения и регистрирующие приборы</b>	<b>295</b>
Тенденции . . . . .	295
Сравнение диаграмм механических и электронных регистрирующих приборов . . . . .	299
Центры дистанционной поддержки бурения . . . . .	301
Анализ тенденций и распознавание графических образов . . . . .	301
<b>ГЛАВА 12. Осложнения, связанные с прихватами</b>	<b>303</b>
Аспекты контроля над скважиной . . . . .	303
Дифференциальный прихват и контроль над скважиной . . . . .	305
Поглощение . . . . .	306
Разрушение буровой колонны и оборудования . . . . .	307
Травмы персонала . . . . .	308
<b>ГЛАВА 13. Практика спуско-подъемных операций</b>	<b>309</b>
Планирование СПО . . . . .	309
Подготовка к СПО . . . . .	310
Контроль над скважиной . . . . .	314
Планы СПО . . . . .	314
Доливочные емкости . . . . .	314
Вынужденная миграция газа в скважине . . . . .	315
Предотвращение потерь и учет бурового раствора . . . . .	316
Противовыбросовое оборудование . . . . .	316
Очистка и проработка ствола . . . . .	321
Неустойчивость стенок скважины . . . . .	322
Дифференциальный прихват . . . . .	323
Промывка после СПО . . . . .	324
<b>Заключение</b>	<b>325</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А. Номограммы для определения параметров очистки скважины (для скважин, в которых возможно свободное вращение колонны)</b>	<b>327</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В. Уравнения</b>	<b>330</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ С. Объем жидкости в горизонтальном резервуаре</b>	<b>333</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ D. Пересчетные коэффициенты</b>	<b>334</b>
<b>Предметный указатель</b>	<b>337</b>



## Предисловие

Данная книга предназначена помочь буровикам в понимании скважинной механики бурения. **Ее основное внимание уделено физике прихватов.** Очень подробно описывается механика причин прихватов. Также обсуждаются признаки прихватов, меры по их предотвращению и различные регламенты освобождения. Часть этого материала основана на личных наблюдениях и экспериментах и ранее никогда не освещалась. Однако большая часть информации базируется на сотнях технических статей, изученных мною при написании книги.

Научные учреждения буровой отрасли по всему миру проделали большую работу, посвященную проблеме прихватов. Первая техническая статья на эту тему была написана в 1937 году. На сегодняшний день тема прихватов рассматривается более чем в 8000 технических статей и книг. К сожалению, большинство мужчин и женщин, работающих на буровых, даже не знают о проведении подобных исследований. Но такая информация не имеет смысла, если она не доходит до людей, работающих на месторождениях. **Основная цель данной книги — донести эту информацию в доступном для понимания формате до инженеров и супервайзеров, работающих на буровых.**

Скважину бурят люди, работающие на буровой. Именно им необходимо понимание принципов предотвращения прихватов. Оно должно быть, в частности, у бурильщиков и буровых супервайзеров. Добиться полного понимания этого не легко. Большинство технических статей уделяют внимание лишь небольшой части всей картины, и написаны так, что их трудно понять даже инженеру.

Я попытался собрать наиболее полезную для бурильщика информацию и изложить ее ясно и просто, с наглядной иллюстрацией рисунками и графиками. К сожалению, некоторый материал, в особенности касающийся очистки ствола скважины и нестабильности ее стенок, все равно покажется сложным для понимания людям без технической подготовки. Бурение является инженерной дисциплиной. Эту тематику просто нельзя понять без языка физики и математики. Я постарался сделать математику и физику как можно проще, но чем образованнее читатель, тем проще понять эту книгу.

**Образование — инструмент, помогающий нам интерпретировать свой опыт.** Опыт и образование работают вместе; одно бессмысленно без другого. Чем лучше образование мы получили изначально, тем эффективнее можем интерпретировать свой опыт. Однако нельзя извлечь пользу из опыта без тщательных наблюдений и анализа. Необходимо анализировать связь причин и следствий

во всем, что мы видим и делаем. Мы учимся на анализе своего опыта. Поэтому опыт — это образование, а образование — часть нашего опыта.

Инженерное образование дает значительное преимущество в интерпретации и понимании опыта, получаемого на буровой. Важно передать это понимание другим сотрудникам. Скважину бурят люди, работающие на буровой. Именно им для качественного выполнения своей работы требуется понимание науки и искусства бурения.

К сожалению, существует мнение, что работники буровых не способны понять изложенный в этой книге материал. Я с ним категорически не согласен. Семнадцать лет у роторного стола научили меня, что люди, с которыми я работал плечом к плечу, разумны так же, как и офисные инженеры.

Для большинства людей, работающих на буровых, эта книга окажется нелегкой. Однако они смогут ее понять. Как и мне, им, наверное, необходимо будет прочитать ее много раз. Не все в полной мере поймут любую из изложенных в ней концепций, но каждый читатель улучшит свое понимание механики скважинных процессов.

Основная обязанность любого инженера или ученого заключается в строительстве моста для тех, кто идет за ними. Именно для этого писалась книга. Она является мостом, построенным для желающих углубить понимание проблем бурения, которым я посвятил большую часть своей профессиональной карьеры.

## ГЛАВА 1

# Прихваты и другие незапланированные события

### Введение

В последнее время специалисты буровой отрасли стали уделять большое внимание «незапланированным событиям». Незапланированное событие — это непредусмотренное происшествие, приводящее к потере времени и денег. Прихват — типичное незапланированное событие. *Приблизительно 25–35 % стоимости бурения средней скважины приходится на незапланированные события.*

В этой главе рассматривается цепочка факторов, приводящих к незапланированному событию, и два ее звена, которые прослеживаются в любом происшествии.

### Цепочка факторов, ведущая к незапланированному событию

Создается впечатление, что при возникновении происшествия наподобие прихвата колонны труб первое, что хочет знать руководство, — его причину. После расследования ряда незапланированных событий вроде прихвата колонны труб, выброса или травмы персонала, я обнаружил, что они редко вызваны какой-то одной причиной. Обычно имеется некая последовательность или цепочка факторов, которая и ведет к аварии (рис. 1.1). Одной причины недостаточно: для возникновения аварии их должно быть несколько. Например, буровая не может сгореть по причине неисправности превентора, если не спровоцировать достаточно сильный выброс, способный вызвать депрессию на пласт. Обычно,

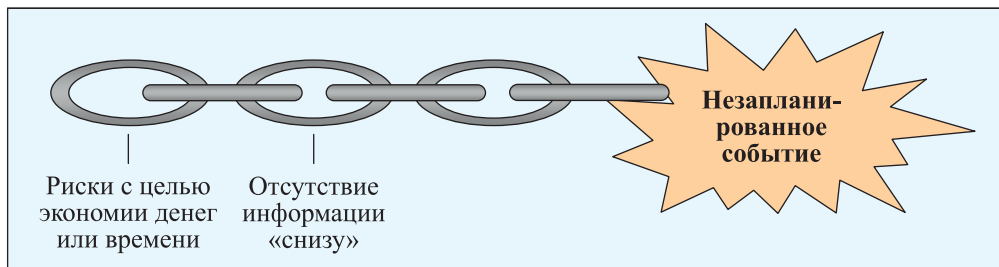


Рис. 1.1. Цепочка факторов, ведущая к незапланированному событию

если не потеряна бдительность и не использовались порочные методы в работе, больших выбросов не допускают.

Анализ незапланированных событий приводит меня к выводу, что два звена прослеживаются практически в каждом из них: **безрассудный риск с целью экономии денег и отсутствие информации «снизу»**. Каждая трагедия прошлого столетия, начиная со взрыва дирижабля «Гинденбург» и заканчивая несчастьем с космическим кораблем «Челленджер», подтверждает этот вывод.

## **Безрассудный риск**

Дирижабль «Гинденбург» собирались наполнить гелием. Однако нацисты сочли этот газ слишком дорогим после того, как США прекратили его продажу Германии, и стали наполнять дирижабли газообразным водородом. Реакцию конструкторов дирижаблей цитировали следующим образом: «Мы испытываем судьбу». Мы испытываем судьбу всякий раз, когда идем на риск.

В самом по себе риске ничего плохого нет, но отсутствие тщательного анализа его последствий и результатов — безрассудство.

## **Передача информации «снизу»**

Передача информации «снизу» означает, что процесс начинается по инициативе подчиненных. Такая информация может носить форму вопросов, замечаний или даже критики. Это процесс, противоположный передаче информации «сверху», при котором информация передается по инициативе начальства.

Некоторые руководители интересуются лишь собственным мнением и стараются пресечь любые попытки рабочих высказать свою точку зрения или «тратить время начальства», задавая вопросы. Таким руководителям нередко приходится испытывать последствия своей недалекости в виде дорогостоящих незапланированных событий.

В следующих двух главах мы более подробно рассмотрим вопросы риска и передачи информации.

## **Главные уроки**

У незапланированного события никогда не бывает только одной «коренной причины». Всегда существует цепочка факторов, ведущих к нему. Чтобы избежать аварии, нужно разорвать эту цепочку, выявив и удалив одно из ее звеньев.

*Два таких звена прослеживаются в любом незапланированном событии: **безрассудный риск и отсутствие информации «снизу»**.*

## **Литература**

- [1] Компания *BP Атосо*. Учебный курс «Методы предотвращения незапланированных событий».

## ГЛАВА 2

# Экономия денег — источник всех бед

### Введение

Эта глава о безрассудном риске, предпринимаемом с целью отличиться. Особое внимание уделяется причинам, почему мы рискуем, и как корпоративная культура невольно поощряет безрассудный риск. Говорится о трезвом расчете перед принятием рискованного решения, и почему безрассудный риск требует порицания, а не молчания «в знак согласия». В развитие этих мыслей предлагаются несколько забавных примеров.

*Самый быстрый и дешевый способ бурения — бурение без осложнений.*

### Источник всех бед

**Экономия денег — коренная причина всех аварий, обходящихся «в копейку».** Прихват — не исключение. Проводя расследование прихватов, да и любых других незапланированных событий, я почти всегда обнаруживаю в цепочке ведущих к аварии факторов безрассудное урезание расходов (рис. 2.1).

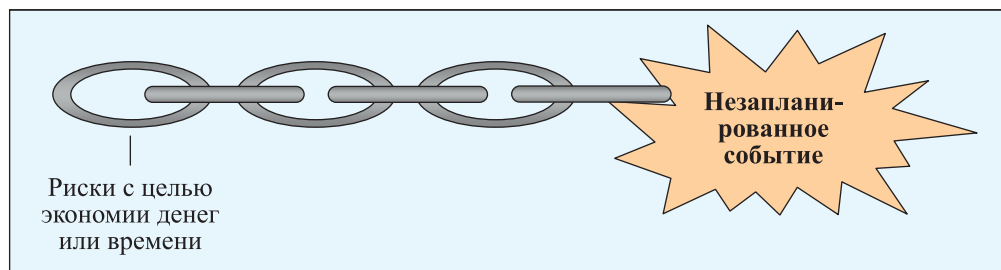


Рис. 2.1. Безрассудный риск

Я начал изучать способы предотвращения прихватов с целью оптимизации скорости проходки. На раннем этапе своей карьеры в буровой компании, принадлежавшей моей семье, я пытался добиться признания максимальными скоростями бурения. Мы бурили по контрактам с оплатой за проходку, да и сам я временами обнаруживал, что моя работа оплачивалась не на повременной основе, а исходя из скорости бурения. Ясно, что чем большей проходки я достигал, тем больше зарабатывал и для компании, и для себя.

Скорость бурения была также предметом гордости. Самолюбие требовало, чтобы меня признавали самым быстрым бурильщиком на каждом участке бурения. Я превратил работу в гонку к проектной глубине.

Однако вскоре я понял: чтобы оказаться на плановой глубине быстрее других, нужно сначала достичь ее! В случае прихвата инструмента терялось драгоценное время. До устранения прихвата и возобновления бурения ни моя компания, ни я не получали никакого дохода. Более того, мы также рисковали потерять принадлежавший нам инструмент и только что пробуренную скважину. В глубоких скважинах такая потеря могла разорить компанию! В подобных ситуациях прихват инструмента мог стать причиной эмоциональной травмы. Я научился сочетать свое безрассудное желание как можно быстрее достичь плановой глубины с осторожностью и благоразумием.

Уже работая в других компаниях и углубляя свое понимание методов бурения, я в самых разных ситуациях сталкивался с повторением тех же уроков. Похоже, что каждый стремится достичь признания выдающимися производственными показателями. В большинстве компаний они измеряются в долларах: полученным доходом и сэкономленными средствами. Признанием награждают тех, кто преуспел в экономии или производстве. Те, у кого это не получилось, остаются без признания, либо зарабатывают негативную репутацию.

*Ради репутации мы готовы на любой риск!*

## Экономия денег

По моим наблюдениям, одной из главных причин почти всех прихватов является попытка сэкономить деньги или время. На самом деле, *в любой отрасли промышленности экономия средств — одна из главных причин практически всех аварий и катастроф, которые мы называем незапланированными событиями!*

В 1989 году меня настолько рассердило безрассудное стремление экономить деньги, что я начал писать сатирическое эссе под названием «101 способ экономии денег путем снижения стандартов качества и техники безопасности». В эссе приводились примеры потери миллионов долларов по причине больших рисков ради экономии нескольких долларов. По-видимому, чтобы чему-то научиться, мы должны пережить катастрофу. Однако и после нее ограничиваются лишь перетасовкой сотрудников. Одних повышают в должности, других увольняют ради того, чтобы забыть полученный урок и вернуться к безрассудной погоне за экономией денег.

Сама по себе экономия денег не является злом. В самом деле, один из «принципов Дрилберта» формулируется следующим образом: «Финансовую состоятельность в конечном счете определяет не то, сколько заработаешь, а сколько сэкономишь». Предметом анализа является именно *неоправданный и безрассудный риск*, на который идут ради экономии или заработка. Моя цель в данной главе — подвигнуть читателя к трезвому анализу риска с целью экономии денег.

## Решения и здравый смысл

Как вынести правильное решение при принятии риска с целью экономии денег?

Ответ прост: *взвешенные решения требуют здравого смысла.*

Как обрести здравый смысл, необходимый для принятия решений?

*Здравый смысл приходит с опытом.*

Как получить опыт?

Недальновидностью! *Наиболее ценный опыт достигается ценой ошибок, совершаемых с пренебрежением здравого смысла.* По-видимому, необходимо обжечься, чтобы понять, как близко можно подойти к огню.

## Примеры

Приведу несколько интересных историй для аргументации своей точки зрения. Чтобы не смущать тех, кто, возможно, этого заслуживает, не буду упоминать названий буровых установок или компаний, время и место событий.

### Большая железнодорожная авария

«Большая авария» произошла с наземной буровой установкой на северо-западе США. С целью экономии времени эту установку обычно транспортировали в виде крупных узлов вместо того, чтобы разобрать на детали, подходящие по размерам для транспортировки по скоростным шоссе. Вышку перевозили целиком, при этом верхняя часть опиралась на платформу одного грузовика, а основание на платформу другого. Один грузовик двигался передним, а другой задним ходом. Это распространенный способ перемещения наземных буровых установок.

(При этом следует иметь в виду, что, хотя описанная практика и приемлема, она приводит к затратам по причине чрезмерного износа крепежных болтов. Напряжения, действующие на болты при изгибе вышки в горизонтальном положении, превышают напряжения, вызванные нагрузкой на крюке в вертикальном положении.)

К сожалению, очередной маршрут этой буровой проходил по федеральной автостраде, где перевозка подобных крупногабаритных грузов запрещена. Перемещение установки было запланировано на выходные дни, и буровой мастер думал, что сможет выйти из положения, транспортируя крупные узлы буровой между 2 и 3 часами утра воскресенья. Если автомашины и будут на шоссе, то мало. Для оповещения о приближении патрулей дорожной полиции по маршруту можно расставить караульных с портативными рациями любительского диапазона.

В одном месте шоссе проходило под железнодорожным мостом, высота которого не позволяла провезти крупные узлы. Буровикам необходимо было

сехать с шоссе, пересечь железнодорожные пути, и затем снова заехать на него. Все шло хорошо, пока вышка длиной 38 метров не легла на железнодорожные пути, и ведущий грузовик не выехал из-под нее.

Бригада торопилась стащить вышку с путей, пока их не обнаружил дорожный патруль, и тут они услышали приближающийся поезд. Он шел с очень большой скоростью, поэтому не смог вовремя остановиться, ударил вышку и протащил ее несколько десятков метров по рельсам! Железнодорожный состав был поврежден, вышка разрушена, а несколько человек получили легкие травмы. Буровая установка стала непригодна для работы. Кроме того, пришлось оплатить штрафы, погасить судебные иски и выполнить значительные ремонтные работы. Говорят, это событие почти обанкротило крупного бурового подрядчика.

На такой риск пошли с целью экономии времени, отказавшись от демонтажа и последующего монтажа вышки. Я сомневаюсь, что суммарное время, сэкономленное при перемещениях всех буровых установок этого подрядчика, могло компенсировать ущерб, понесенный им той ночью.

### **Злосчастная полупогружная буровая установка**

А вот еще один прекрасный пример закона Мэрфи: «Если какая-либо неприятность может произойти, то она обязательно случится».

Полупогружная буровая установка (ППБУ), на которой я когда-то работал, находилась на судоремонтном заводе в Европе, где проходила периодический технический осмотр. Персонал собирался обследовать балластные отсеки понтонов и решил снять крышки люков на всех 12 отсеках одновременно. Крышки люков выступали над палубой понтонов на несколько сантиметров и были почти вровень с поверхностью воды, так как палуба находилась в нескольких сантиметрах над уровнем моря.

Руководство по эксплуатации этого судна допускало одновременное открывание только двух люков, потому что нештатное затопление двух отсеков не вызовет переворота ППБУ. Однако команда решила снять все крышки одновременно, чтобы сэкономить время на перенос инструментов с главной палубы на понтонную и обратно. Кроме того, это позволяло провентилировать все отсеки сразу, чтобы инспекторы быстрее могли выполнить осмотр.

Команда хотела сэкономить время и упростить работу, причем считала риск незначительным, так как ППБУ находилась на территории судоремонтного завода. Хотя открытые люки огромных балластных отсеков были всего в нескольких сантиметрах над уровнем моря, опасность затопления не казалась угрожающей. В конце концов, судно находилось в защищенной гавани, день был ясным, а на корпус платформы набегали волны высотой не более 8 см.

Чтобы лучше рассмотреть странное судно, вдоль борта ППБУ промчался быстроходный катер. Высота его носовой волны была около 0,6 м, чего вполне хватило для попадания воды в открытые люки. После того, как несколько волн



пролились в балластные отсеки, ППБУ стала крениться в сторону их набега-ния. Из-за этого восьмисантиметровые волны тоже смогли заливать балластные отсеки. Вскоре люки оказались под водой, и затопление балластных отсеков продолжалось!

Мелководье было единственным, что спасло ППБУ от переворачивания. Левый борт судна лег на дно, при этом подруливающие устройства получили сильные повреждения. Их необходимо было демонтировать и выполнить другой ремонт, вследствие чего ППБУ пришлось надолго задержаться на заводе. До устранения повреждений буровая установка не могла приносить доход. А затем ей пришлось работать по более низким тарифным ставкам. Кроме того, в течение нескольких лет владельцам приходилось выплачивать повышенную страховую премию, поскольку ППБУ уже не имела подруливающих устройств.

Когда были приобретены новые подруливающие устройства, ППБУ доставили на другой судоремонтный завод для их установки. Повышение суточной тарифной ставки буровой установки и снижение страховых премий оправдывало установку новых подруливающих устройств с экономической точки зрения.

ППБУ завели в акваторию завода, наняв лоцмана (в соответствии с требованием законодательства). Он же выводил судно с завода. После установки четырех новых подруливающих устройств осадка ППБУ увеличилась на 4,6 м по сравнению с той, которую она имела при заходе на завод. Лоцмана, по-видимому, должным образом об этом не уведомили. Совершенно новые подруливающие устройства были сорваны на песчаной косе при буксировке! Установку немедленно вернули обратно, чтобы снять поврежденные подруливающие устройства и отремонтировать корпус.

После этого ППБУ проработала несколько лет с пониженной тарифной ставкой и высокими страховыми премиями, поскольку она по-прежнему не считалась «самоходной».

Наконец появилась возможность установить третий комплект подруливающих устройств. К сожалению, во время их установки начался шторм и сорвал соседнее судно с якорей. Это блуждающее судно налегло на ППБУ и пробило отверстие в ее корпусе. К тому моменту подруливающие устройства были установлены, но еще не приварены. По всему периметру лаза (диаметром 0,9 м), соединявшего большой открытый корпус и подруливающее устройство, был зазор 20 мм. По мере затопления поврежденного балластного отсека стало очевидно, что подруливающие устройства скоро окажутся под водой, а открытый участок корпуса будет затоплен. Быстрые расчеты устойчивости показали, что это приведет к опрокидыванию судна, причем на сей раз глубина была достаточно большой, чтобы позволить это!

К счастью, находчивый мастер ночной смены втиснул дюймовый шланг в щель вокруг лаза и подал по нему воздух. Это обеспечило достаточный зазор для работы небольших трюмных откачивающих насосов и вооруженной ведрами бригады и позволило удержать судно на плаву. К сегодняшнему дню эта ППБУ

имеет четыре работающих подруливающих устройства, но потеряла восемь, претерпела три неоправданных заводских ремонта и дважды чуть не перевернулась! И все это из-за одновременного открытия 12 люков вместо двух (как рекомендовано в руководстве по эксплуатации) с целью сэкономить немного времени и усилий.

### Динамитные фабрики

Я хочу закончить эту главу историей о динамите, компании *Dupont* и возникновении движения за промышленную безопасность.

Компания *Dupont* известна как основатель движения за промышленную безопасность в эпоху промышленной революции. Заинтересованность компании в промышленной безопасности появилась в связи с началом производства взрывчатых веществ, таких как дымный порох и динамит.

Компания *Dupont* разбогатела на изготовлении дымного пороха. Поскольку технология изготовления этого вещества сама по себе опасна, для успешной работы компания вынуждена была принять беспрецедентные меры безопасности. Размалывание дымного пороха могло вызвать искрение и привести к последующей серии взрывов по всей фабрике. В компании быстро поняли необходимость изоляции помольных установок от остальных цехов фабрики, чтобы ограничить ущерб от возможного взрыва на мельнице.

Также были предприняты беспрецедентные шаги по повышению ответственности руководящего звена за промышленную безопасность на фабрике. Ей приписывают первую письменную инструкцию по промышленной безопасности. Эта инструкция требовала, чтобы руководители старшего звена сами опробовали все оборудование в работе до начала его эксплуатации другими людьми. Такая практика позволила резко уменьшить количество несчастных случаев и разрушенных фабрик.

А теперь еще более интересная история о производстве динамита. Хотя эту историю невозможно полностью подтвердить документально, у меня нет оснований сомневаться в ее правдивости.

Альфред Нобель изобрел динамит в 1866 году и продал права на его изготовление компании *Dupont*. В то время компания *Dupont* была одной из немногих в мире, производивших динамит. Технология его изготовления была относительно недорогой, а сам он пользовался огромным спросом. Компании могли продавать столько динамита, сколько были в состоянии изготовить, и практически по любой цене. Но вот заработать на динамите у них не получалось. Более того, они теряли деньги, так как динамитные фабрики все время взрывались. Потери от взрывов фабрик превосходили прибыль от продажи динамита.

Руководство компании *Dupont* умоляло своих менеджеров найти более безопасный способ производства динамита (не забывайте, что компания *Dupont* уже считалась мировым лидером по промышленной безопасности). Однако в то вре-

мя наука управления все внимание уделяла оптимизации эффективности производства. Обычно специалисты по управлению изучали размещение производственных объектов на фабрике и маршруты перемещения по ее территории, и старались найти способы выжать максимальную производительность при минимальных затратах труда и средств. Региональные менеджеры настаивали на том, что безопасные способы производства динамита просто не существуют. Если кто-либо споткнется и уронит ящик с динамитом, вся фабрика взлетит на воздух в цепной реакции взрывов!

Согласно легенде, сам Дюпон был на грани отказа от изготовления динамита и рассматривал возможность продажи прав на его производство, чтобы компенсировать часть потерь компании. Но прежде чем сдаться, был предпринят последний, отчаянный шаг: руководителей стали подталкивать к переселению вместе с семьями на территорию динамитных фабрик!

Производство динамита запрещалось, пока руководитель с семьей не переехал на территорию фабрики! Если семья по какой-либо причине хотела покинуть фабрику, все производство приостанавливалось, и рабочие также должны были покинуть ее. Высшее руководство компании говорило, что не возражает, если за неделю будет изготовлена лишь одна шашка динамита, только бы это делалось безопасно. И фабрики перестали взрываться!

Компания *Dupont* разбогатела на продаже динамита. Усвоенный урок по оптимизации производства и обеспечению промышленной безопасности был распространен на все ее технологические операции. Стало ясно, что *предотвращение катастроф гораздо важнее оптимизации производства*.

Сегодня компания *Dupont* по-прежнему лидирует в продвижении мер промышленной безопасности. Безоговорочно признается, что ее производство — самое безопасное в мире. Она продолжает изготавливать опасные химические вещества, но при этом не идет на неоправданные риски. Это и обеспечивает доходность ее производства.

Вот еще один интересный факт. Альфреда Нобеля очень тревожило использование динамита в целях разрушения. Перед смертью он учредил Нобелевскую премию за содействие по установлению мира и научные открытия. Денежные средства для премий по большей части были заработаны на динамите.

## Главные уроки

Образно говоря, большинство крупных компаний виновны во «взрывах своих фабрик» по причине стремления к повышению эффективности производства.

Буровые установки — фабрики по изготовлению скважин.

*Чтобы достичь успеха, нужно больше думать не об оптимизации бурения, а о предотвращении аварий, таких как прихваты и выбросы. Самый быстрый способ бурения — бурение без осложнений.*

Если руководство поощряет стремление к экономии денег, игнорируя при этом безрассудный риск, то по существу оно поощряет именно безрассудный риск.

**Молчание — знак согласия!** *Восхваление успеха без критического отношения к беспечности — это сигнал опасности.*