

## АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ СВАРОЧНОГО УЧАСТКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ДЕРЕВА ОТКАЗОВ

**Беспалова А.В.**, к.т.н., доцент,  
**Кныш А.И.**, к.т.н., доцент,  
**Дашковская О.П.**, к.т.н., доцент,  
**Файзулина О.А.**, к.т.н., доцент,

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*  
corsarh@soborka.net

**Аннотация.** Динамика несчастных случаев в строительстве тесно связана со сложной экономической ситуацией в Украине. Решение проблем промышленной безопасности осложняется спецификой строительного производства, высокой степенью организации объектов, которую невозможно обеспечить существующими методами. Большинство отраслевых работ, например, газосварочные, требуют анализа с поправкой на реальную программу выработки и оперативную отчетность на основе современного программного обеспечения. Атомная энергетика располагает инструментами учета типовых процессов. В качестве примера рассмотрим модуль «IRRAS». Он успешно реализован в военно-промышленном и энергетическом производствах.

**Ключевые слова:** производственный риск, дерево событий, дерево отказов, технический надзор производственной деятельности, планирование системы производств, частный анализ системы, влияние производственных факторов.

## АНАЛІЗ ОРГАНІЗАЦІЇ РОБІТ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ДІЛЯНКИ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДА ДЕРЕВА ВІДМОВ

**Беспалова А.В.**, к.т.н., доцент,  
**Кныш О.И.**, к.т.н., доцент,  
**Дашковська О.П.**, к.т.н., доцент,  
**Файзулина О.А.**, к.т.н., доцент,

*Одеська державна академія будівництва та архітектури*  
corsarh@soborka.net

**Анотація.** Динаміка нещасних випадків у будівництві тісно пов'язана зі складною економічною ситуацією в Україні. Рішення проблем промислової безпеки ускладнюється специфікою будівельного виробництва, високим ступенем організації об'єктів, яку неможливо забезпечити існуючими методами. Більшість галузевих робіт, наприклад газозварювальні, вимагають аналізу з поправкою на реальну програму виготовлення та оперативну звітність на підставі сучасного програмного забезпечення. Атомне виробництво має на власному озброєнні інструменти обліку для типових процесів. Розглянемо модуль «IRRAS». Він успішно реалізований у військово-промисловому і енергетичному виробництвах.

**Ключові слова:** виробничий ризик, дерево подій, дерево відмов, технічний нагляд виробничої діяльності, планування системи виробництв, частковий аналіз системи, вплив виробничих факторів.

## THE PLANNING OF ENTERPRISE PRODUCTION ACTIVITY ON THE BASIS OF DISCRETE INDICATORS OF PRODUCTION RISK

**Bespalova A.V., PhD.**, Assistant Professor,

**Knuish A.I., PhD.**, Assistant Professor,

**Dashkovskaya O.P., PhD.**, Assistant Professor,

**Faizulyna O.A., PhD.**, Assistant Professor

*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*

*corsarh@soborka.net*

**Abstract.** The dynamics of accidents in the construction are closely linked to the difficulties of the economic situation in Ukraine. Using Integrated Reliability and Risk Analysis System (IRRAS) on a PC, an analyst can perform a risk management for any complex system, facility, or process. Regarding construction plants, IRRAS can be used to model a working process with initiating events, and to determine quantity associated line damage frequencies and identify important contributors of the project damage (level 1 risk management). It can also be used to evaluate containment failure and release models for severe accident conditions, provided that the calendar project has not been carried out (level 2 risk management). It can be used for a risk analysis assuming that the working zone is at full regime, at low power, or at damage conditions. Furthermore, it can be used to analyze both internal and external initiating events, and it has special features for transforming models built for internal event analysis to models for external event analysis. It can also indicate the financial risk for release consequences for the builder and the investor (level 3 risk management). For all of these models, IRRAS can evaluate the uncertainty inherent in the probabilistic models.

**Keywords:** the risk of production, the event tree, tree failures, technical supervision of productive activities, planning system of production, the discrete system analysis, the impact of the factors of production.

**Введение.** Организация строительного производства базируется на системе технологических операций основного характера, но невозможна без сочетания дополнительных функций из обеспечивающего ряда. К числу обеспечивающих функций строительного производства относятся: транспортные, энергетические, складские, и организационно-технические. Организационно-технический ряд представлен проблемами охраны труда и промышленной безопасности. В силу своего «второстепенного» характера промбезопасность анализировалась исключительно на стратегических объектах. Однако, доля влияния на ход производственного процесса «обычных» объектов более чем значима и предполагает создание специальных учетных баз, объединенных в объектовый расчетный модуль. Система управления охраной труда (СУОТ) оправдывает себя на стадии проектирования и плохо применима в оперативных условиях. Система рисков (АЛЛАРА) работает в производственных условиях, но конечный результат можно получить после того как «событие имело место быть». Возникает острая проблема в создании комплексной прогнозной системы на базе существующего опыта работы и коррекция существующих проектов.

**Цели и задачи.** Подготовка нового поколения менеджеров, построение методологии перспективного развития предприятий с прогнозируемыми промышленными рисками на рабочих местах, обеспечивающих отраслевое развитие промышленных предприятий, основанной на планировании безопасности труда.

**Объекты и методы исследования.** Реальные строительные процессы, применение системного анализа условий для локального рабочего процесса. Методология, методы, управления строительным производством на основе действующих зависимостей «прибыль–риск».

**Результаты исследований.** На основе имитационной системы «IRRAS» проанализировано влияние факторов производственной деятельности для рабочего места

газосварщика, сформированы сравнительные базы данных, включая частные производственные условия. Предложены модели снижения локального производственного риска и обобщающая схема управления на примере одного рабочего участка.

Несчастный случай на производстве является прямым следствием нарушения организации как локального рабочего места, так и всего проекта в итоге. Наибольшее количество несчастных случаев в строительстве связаны с организационными причинами и составляют 65 %, 26 % – технические и только 9 % вызванные психологическими причинами [1]. Вероятность травмироваться существует в небольших вновь созданных организациях малого предпринимательства и в тех строительных организациях, где пренебрегают правилами безопасности. При общей тенденции к снижению объемов строительных работ независимо от форм собственности строительных организаций уровень производственного травматизма остается высоким [2]. Помимо локального нарушения безопасности, ощутим общенациональный убыток – 100 до 300 тыс. грн. средств, затраченных на подготовку одного специалиста [3].

Приведенные базовые данные не способны по факту составить описание производственной обстановки. Необходима модель чрезвычайных ситуации на основе тщательного анализа тех событий, которые уже случились, для того чтобы ими умело управлять. Существующие научные наработки скрыты грифами доступа в силу своего особого значения. Работы Ф. Мелкера (ФРГ) послужили стартом исследований. Институт Капицы (СССР, РФ) «преломил» всю направленность исследований в сторону оборонных целей. В Украине первопроходцем теории рисков исследований считается В.В. Бегун (ЧАЭС, Академия гражданской защиты, НТУ «КПИ»). Консолидированная теория производственных рисков предложена В.Д. Гогунским (НТУ «ОПИ») и усовершенствована Г.С. Ратушняком (НТУ «Вин.ПИ»). Все предложенные варианты исключительно «ручные» и трудоемкие. В Лос-Аламосе (США) непрерывно разрабатывались автоматизированные программы рисков. В приоритете остался стабильный «IRRAS», который в «гражданской роли» потребовал значительных переработок. Это относится к «Библиотекам событий» и алгоритмам счета в виде деревьев отказа (ДО).

Для оценки безопасности, анализа и выявления причин аварий в строительстве можно использовать эффективный и наглядный метод ДО [4], который позволяет одновременно с установлением причин проявления неблагоприятных событий обосновать применение и определить экономическую эффективность для их предупреждения. Сущность метода сводится к разложению (анализу) или построению (синтезу) головного неблагоприятного события на ряд первичных, вторичных и т.п. событий в виде дерева отказов, построенного с учетом причинно-следственных связей. Каждое из этих событий выражается логическими операциями «И» и «ИЛИ». Для количественной оценки головного события каждой ветки (связи) дерева отказов присваивается вычисленная заранее вероятность (вес события) его появления.

Анализ начинается, например, для ДО головного события «Термическая травма газосварочным аппаратом» (рис.1). Устанавливаются первичные события, которыми являются занятые или незанятые в выполнении операции люди. Как правило, с рабочими, не занятыми операциями, несчастные случаи очень редки. Такое редкое событие имеет собственный маркировочный индекс и в дальнейшем анализе не участвует. Наибольшая часть событий происходит с действующими рабочими (прямоугольник). Для появления этого события необходимо одно из двух событий (кружки), стоящих под оператором «ИЛИ».

Таким образом, ДО строится на всех уровнях. Количественный анализ ДО предусматривает вероятностную оценку мероприятий по устранению причин травматизма согласно соотношению «затраты-прибыль». Количественный анализ предусматривает:

- 1) нахождение убытка в случае появления головного события (ГС) «TRAUMA»;
- 2) нахождение вероятности появления ГС;
- 3) вычисление критичности данного ГС;
- 4) повторение шагов (2), (3) для других альтернатив низшего учета данных;

- 5) Определение снижения критичности, оцененной на шаге (4);
- 6) Нахождения отношения затрат (прибыли, найденной путем деления затрат (4) на снижение критичности (5));
- 7) повторение шагов (2)-(6) для всех альтернатив ДО;
- 8) повторение шагов (1)-(7) для всех элементов ДО;
- 9) Сведение данных расчета в листинг (рис.2), в котором отражены путь расчета, альтернативы, критические элементы частных базовых событий (головная позиция 1-3 листинга).

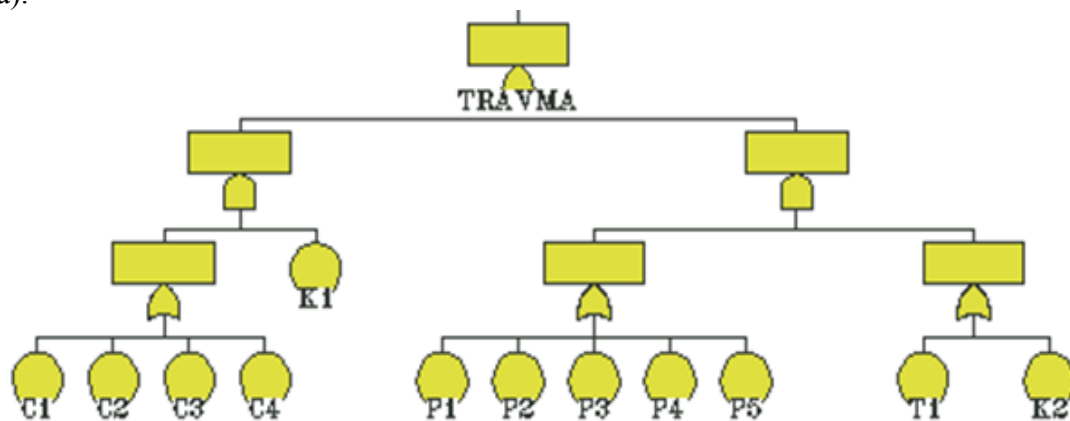


Рис. 1. Дерево отказов для рабочего «Газосварщик»

Для демонстрации методики задействованы исходные данные объекта Порт Южный «Администрация портов Украины» в период проведения технической модернизации системы отопления сооружений Административно-бытового комплекса и производственного участка. В качестве частного рабочего места использовалась статистическая информация по рабочему месту «Газосварщик» на протяжении действия проекта. Для количественной оценки ГС каждой ветке (связи) ДО присваивается вычисленная заранее вероятность (вес события) его появления на объекте (относительная заявленных расходных средств по смете).

Устанавливаем первичные события.

Техническое состояние.

K1 – не проведено ТО газосварочного инструмента-----0,01

C1 – протечка машинного масла при контакте с кислородом -----0,01

C2 – падение баллона при транспортировке или установки -----0,1

C3 – некондиционная пропановая смесь -----0,1

C4 – перегрев газовой горелки мундштука при контакте с подставкой  
или деревянным настилом -----0,01

Нарушение техники безопасности.

Организация работ.

P1– отсутствие огнетушителя-----0,1

P2 – использование при огневых работах одежды со следами масла,  
жиров, бензина, керосина и других горючих жидкостей-----0,0001

P3 – хранение в сварочных кабинах горючих жидкостей и материалов-----0,001

P4 – нарушение герметичности соединения рукавов и аппаратуры-----0,0001

P5 – проведение газосварочных работ неочищенных конструкций-----0,001

Человеческий фактор.

T1 – низкая квалификация обслуживающего персонала-----0,01

K2 – плохое состояние здоровья рабочего-----0,001

Нежелательное событие – пожар, взрыв.

Начальное событие – эксплуатация газосварочного инструмента в неисправном состоянии.

Проведение расчетов  
Partition Cut Set Report

Analysis: RANDOM                      Case: ALTERNATE  
Fault Tree Name ->TRAVMA

Mincut Upper Bound 9.295E-003    This Partition                      9.295E-003

No.	Total Set	Cut %	Frequency	% Cut	Cut Sets
1	32.2	32.2	3.000E-003	C3, K1	
2	64.5	32.2	3.000E-003	C4, K1	
3	96.8	32.2	3.000E-003	C2, K1	
4	100.0	3.2	3.000E-004	C1, K1	
5	100.0	0.1	1.000E-005	P5, T1	
6	100.0	0.1	1.000E-005	P3, T1	
7	100.0	0.0	1.000E-006	K2, P5	
8	100.0	0.0	1.000E-006	K2, P3	
9	100.0	0.0	1.000E-006	P4, T1	
10	100.0	0.0	1.000E-006	P2, T1	
11	100.0	0.0	1.000E-006	P1, T1	
12	100.0	0.0	1.000E-007	K2, P1	
13	100.0	0.0	1.000E-007	K2, P2	
14	100.0	0.0	1.000E-007	K2, P4	

IMPORTANCE MEASURES REPORT (Alternate Cut Sets)

Analysis : RANDOM

System : TRAVMA                      Case : ALTERNATE  
(Sorted by Fussell-Vesely Importance)

Event Name	Occ.	Failure	Importance	Risk	Risk
				of	of
				Fussell-	Fussell-
				Vesely	Vesely
				Increase	Reduction
				Ratio	Ratio
K1	4	3.000E-002	9.973E-001	3.674E+002	2.994E+001
C4	1	1.000E-001	3.207E-001	1.472E+000	3.886E+000
C3	1	1.000E-001	3.207E-001	1.472E+000	3.886E+000
C2	1	1.000E-001	3.207E-001	1.472E+000	3.886E+000
C1	1	1.000E-002	3.198E-002	1.033E+000	4.166E+000
T1	5	1.000E-002	2.451E-003	1.002E+000	1.243E+000
P5	2	1.000E-003	1.172E-003	1.001E+000	2.170E+000
P3	2	1.000E-003	1.172E-003	1.001E+000	2.170E+000
K2	5	1.000E-003	2.451E-004	1.000E+000	1.245E+000
P1	2	1.000E-004	1.172E-004	1.000E+000	2.171E+000
P2	2	1.000E-004	1.172E-004	1.000E+000	2.171E+000
P4	2	1.000E-004	1.172E-004	1.000E+000	2.171E+000

Рис. 2. Листинг расчета ДО

При проведении расчетов реализовано ограничение по цикличности. Следовательно, события 2-3 уровня в листинге (рис. 2.) игнорируются. По коммерческим соображениям финансовая составляющая проекта временно не приводится.

В результате проведенных расчетов видно, что наибольшее вероятное событие – получение травмы будет при использовании некондиционной пропановой смеси (C3) и

отсутствии ТО газосварочной установки (К1). Недостаточный контроль со стороны мастера является базовым событием программы риска. Некачественная пропановая смесь и нарушение правил ТО может привести к получению травмы и является примером недостаточного уровня управления. Таким образом, кроме физического вреда травматизм наносит еще и психологический вред.

Этот пример показывает влияние модификаций системы на ДО. Если на повышение безопасности затрачиваются финансовые ресурсы, то это должно приводить или к снижению вероятностей основных событий, или к серьезности последствий. Это указывает на ложные связи в среде базовых событий и неправильную конфигурацию ДО.

Снижение вероятности ГС связано со снижением вероятности основных событий, а значит и со снижением критичности этого события. Изменение критичности служит мерой прибылей от вносимых в систему изменений. Мера прибылей может быть оценена по затратам на безопасность. Метод ДО позволяет не только качественно представить проблему, но и оценить количественно экономическую эффективность применения мероприятий в составе проекта. По объекту «Порт Южный» усматривается положительная динамика снижения риска блок 2 листинга (рис. 2) уже по четвертому ряду  $3,207 \cdot 10^{-1}$  против  $9,973 \cdot 10^{-1}$ . Что составляет снижение травмонагрузки на 310 % для локального рабочего места «Газосварщик».

**Выводы.** Автоматизированная информационно-аналитическая система обеспечения [5] безопасных условий труда позволяет обоснованно оценить состояние промышленной безопасности на объекте, накапливать всю необходимую информацию, прогнозировать, анализировать варианты (блок 2, рис. 2) и принимать решения уже на этапе проектирования графика работ. Базы данных «Библиотеки безопасности» (блок 1, рис. 2) снабжены комплексами, что повышает уровень безопасности рабочего места, снижает дополнительные затраты на реорганизацию площадок, повышает эффективность всего рабочего процесса. «Библиотеки безопасности IRRAS» снабжены модулями синхронизации, и при установлении двустороннего режима переходят в автоматический режим. Следует первичная числовая (рис. 2) и вторичная (рис. 1) логическая коррекция производственных событий. При формировании циклических проектов данное обстоятельство способствует снижению накладных расходов проекта уже на стадии составления технического задания.

Опыт применения пакета «IRRAS» в Порту Южный распространен на других транспортных коммуникациях Украины [6]. В сочетании с информационными возможностями Государственной геодезической системы возможен в дальнейшем анализ производственных рисков на региональном уровне.

## Литература

1. Хохотва О.І. Про стан промислової небезпеки та охорони праці / О.І.Хохотва // Науково-виробничий щомісячний журнал «ОХОРОНА ПРАЦІ» – 2010. – №12. – С. 7-8.
2. ДБН А.3.1-5:2016 Організація будівельного виробництва. – [Чинний від 2017-01-01]. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2016. – (Проект)
3. Бегун В.В. Вероятностный анализ безопасности атомных станций (ВАБ) / В.В. Бегун, О.В. Горбунов, И.Н. Каденко и др. – К.: НТУУ «КПИ», 2000. – 568 с.
4. Integrated Reliability and Risk Analysis System (IRRAS). Basic Training Course. NRC. – Washington, 1995. – 720 p.
5. Serebrovsky A.N. Models and algorithms of probabilistic safety assessment of potentially hazardous objects / A.N.Serebrovsky // Вісник НТУ "ХПИ".Збірник наукових праць. Серія: Промислова безпека. Х.:НТУ "ХПИ",2007. – № 6. – С. 127-134.
6. Дашковская О.П. Техническая реновация промышленного объекта с применением георесурсного планирования / О.П. Дашковская, А.И. Кныш, В.В. Липский // Вісник ОДАБА, 2016. – Вип. №64. – С. 245-251.