
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫХ ПРОЦЕССОВ

СУЖЕНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

А.М. Филановский;

А.Н. Иванов, кандидат технических наук, доцент;

**А.С. Поляков, доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ.**

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Представлены результаты анализа эффективности гидравлического аварийно-спасательного инструмента. Получены обобщенные комплексы для оценки эффективности комплектов и их экономическая эффективность.

Ключевые слова: гидравлический аварийно-спасательный инструмент, технические параметры, безразмерный комплекс, обобщенный комплекс, гидравлический цилиндр, гидравлические ножницы, комплект

NARROWING OF EXPERT ESTIMATES OF EFFICIENCY OF THE HYDRAULIC RESCUE TOOL BY NEOPREDELENNOSTYA

A.M. Filanovskiy; A.N. Ivanov; A.S. Poliakov.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

Results of the analysis of efficiency of the hydraulic rescue tool are presented. The generalized complexes for an assessment of efficiency of sets and their economic efficiency are received.

Keywords: the hydraulic rescue tool, technical parameters, the dimensionless complex, the generalized complex, the hydraulic cylinder, hydraulic scissors, set

При решении технических задач часто используют различные методы экспертных оценок, сущность которых состоит в использовании мультипликативной и аддитивной схем объединения единичных показателей с учетом весовых коэффициентов их значимости [1, 2]. Именно такая задача возникает при оценке совершенства гидравлического аварийно-спасательного инструмента, применяемого в подразделениях МЧС России.

Основным недостатком метода экспертных оценок является проявление субъективизма экспертов (в различных его формах: предвзятость, необъективность и т.д.), поэтому существует необходимость в иных способах получения весовых коэффициентов значимости. Одним из них является метод анализа размерностей [3]. Он позволяет

из m размерных величин X_i , описывающих исследуемое явление, сформировать $m-k$ безразмерных комплексов, где k равно числу основных единиц измерений, из которых образованы все размерности величин X_i .

В настоящее время основными техническими параметрами гидравлического аварийно-спасательного инструмента являются 33 размерные величины [4]. С учетом размерностей из них (по правилам π – теоремы [5]) образовано 15 безразмерных комплексов. В свою очередь, путем умножения получены новые комплексы [4]. Итоговым результатом упомянутых преобразований являются четыре обобщенных комплекса для каждого исполнительного механизма (табл. 1).

Таблица 1. Физическая сущность обобщенных безразмерных комплексов исполнительных механизмов

Исполнительный механизм	Комплексные показатели	Соотношения размерностей комплексных показателей	Физическая сущность комплексных показателей
Домкрат	$\pi_{\delta} = \frac{G \cdot H_1 \cdot g}{M_{\delta} \cdot h_1 \cdot g}$	$[\pi_{\delta}] = \frac{Дж}{Дж} = 1$	Удельная энергия домкрата
Разжим	$\pi_p = \frac{F_1 \cdot h_2}{P_p \cdot W_p}$	$[\pi_p] = \frac{Дж}{Дж} = 1$	Удельная энергия разжима
Ножницы	$\pi_n = \frac{(F_2 + F_3 + F_4) \cdot h_3}{P_n \cdot W_n}$	$[\pi_n] = \frac{Дж}{Дж} = 1$	Удельная энергия ножниц
Гидравлический цилиндр	$\pi_z = \frac{(F_5 + F_6) \cdot H_2}{P_c \cdot L_c^3}$	$[\pi_z] = \frac{Дж}{Дж} = 1$	Удельная энергия гидравлического цилиндра

Учитывая, что физической сущностью всех обобщенных комплексов исполнительных механизмов является удельная энергия, воспользуемся аддитивной сверткой для формирования обобщенного комплекса $\pi_{\text{обобщ}}$ комплекта гидравлического аварийно-спасательного оборудования:

$$\pi_{\text{обобщ}} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \pi_i, \quad (1)$$

где π_i – обобщенный комплекс i -го исполнительного механизма; α_i – вес i -го исполнительного механизма в комплекте; n – количество исполнительных механизмов в комплекте.

В уравнении (1) комплексные показатели π_i рассчитывают по зависимостям, приведенным в табл. 1 (2 столбец). Неизвестными являются коэффициенты α_i , численные значения которых, как отмечено ранее, находят методом экспертных оценок.

В связи с нецелесообразностью применения метода экспертных оценок, воспользуемся для этого статистическими данными (табл. 2) о видах работ, проводимых при ликвидации дорожно-транспортных происшествий в России [6].

Таблица 2. Характеристика работ, проводимых при ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий в России

Виды работ	2009 г.		2010 г.		2011 г.		2012 г.*	
	кол-во	%	кол-во	%	кол-во	%	кол-во	%
Оказание первой помощи	14071	18,9	27933	21,1	61824	28,4	122927	55,0
Стабилизация транспортного средства	5304	7,1	9504	7,2	18144	8,3	12746	5,7
Ликвидация вторичных поражающих факторов	7938	10,6	10189	7,7	11910	5,5	8357	3,7
Деблокирование тел погибших	3286	4,4	3572	2,7	4519	2,1	2942	1,3
Деблокирование пострадавших	11880	15,9	15285	11,5	16799	7,7	8297	3,7
Работы, не требующие применения АСИ	11604	15,5	5366	4,1	8533	3,9	10374	4,6
Иные работы	20547	27,5	33359	25,2	65165	29,9	45505	20,4
Работы не проводились	–	–	24261	18,3	26152	12,0	1093	0,5
Возврат на маршруте следования	–	–	2881	2,2	4736	2,2	11281	5,0
	74630	100	132350	100	217782	100	223522	100

* – данные с января по сентябрь 2012 г.

Учитывая, что деблокирование тел погибших и пострадавших выполняется одним и тем же инструментом, статистические данные можно объединить в одну группу.

Таким образом, основными видами работ при ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий с использованием гидравлического аварийно-спасательного инструмента (АСИ) являются операции по стабилизации транспортного средства и деблокирование пострадавших (табл. 3).

Таблица 3. Основные виды работ при дорожно-транспортных происшествиях с использованием гидравлического аварийно-спасательного инструмента

Виды работ	Используемый инструмент	2009 г.		2010 г.		2011 г.		2012 г.*		Среднее значение, %
		кол-во	%	кол-во	%	кол-во	%	кол-во	%	
Стабилизация транспортного средства	Домкрат, гидравлический цилиндр	5304	26	9504	34	18144	46	12746	53	39,75
Деблокирование погибших и пострадавших	Разжим, ножницы	15166	74	18857	66	21318	54	11239	47	60,25
ИТОГО		20470	100	28361	100	39462	100	23985	100	

Из данных табл. 3 следует, что частота использования домкрата и гидравлического цилиндра составляет около 40 %, разжимов и ножниц около 60 %. Полученные значения являются объективной статистической характеристикой весовой значимости этих видов инструмента в соответствующем комплекте.

Таким образом, обобщенный комплекс (1) для гидравлического аварийно-спасательного оборудования примет вид:

$$\pi_{\text{обобщ}} = 0,4 \cdot \pi_2 + 0,6 \cdot \pi_n. \quad (2)$$

Показатели домкратов и разжимов не вошли в этот комплекс, так как при проведении аварийно-спасательных работ на дорожно-транспортных происшествиях они практически не используются.

По зависимости (2) рассчитаны значения обобщенных безразмерных комплексов, представленные в табл. 4 (для гидравлических цилиндров) и табл. 5 (для ножниц-разжимов).

Таблица 4. Значения комплексных показателей для гидравлических цилиндров

Фирма изготовитель	Модель гидравлического цилиндра	Комплексный показатель $\pi_2 \cdot 10^3$	Стоимость цилиндра (С), тыс. руб.
Lukas	R 430	8,06	239,0
	R 420	10,30	163,4
	R 422	8,21	178,8
	R 424	6,39	186,6
	R 410	6,44	93,4
	R 412	3,11	108,2
	R 414	9,84	118,8
Holmatro	RA 4321 C	5,45	191,6
	RA 4331 C	4,46	127,0
	RA 4322 C	3,39	140,1
	RA 4332 C	2,22	148,3
	RA 4311 C	6,67	71,1
	RA 4313 C	4,86	77,8
	RA 4315 C	5,53	83,4

Примечание: ввиду неполноты достоверных данных о стоимости оборудования других производителей, они не включены в табл. 4.

Таблица 5. Значения комплексных показателей и стоимость ножниц-разжимов

Фирма изготовитель	Модель ножниц-разжимов	Обобщенный комплексный показатель $\pi_n \cdot 10^3$	Стоимость ножниц-разжимов (С), тыс. руб.
Lukas	SC 150	73,68	165,3
	SC 350	110,88	197,0
	SC 550	135,73	243,6
Weber	SPS 400	236,39	195,0
Holmatro	CT 4120 C	55,92	216,1
	CT 4150 C	47,57	253,7
Спрут	НКГС-80	79,90	114,8

Данные в табл. 4, 5 отражают эффективность отдельно взятого инструмента, а не совокупность совместного использования.

Поэтому из всего многообразия гидравлических цилиндров и ножниц-разжимов сформированы (по принципу простого перебора) условные (гипотетические) комплекты, которым присвоены условные номера с 1 по 98. Результаты группировки представлены в табл. 6.

Таблица 6. Условные варианты комплектов гидравлического аварийно-спасательного инструмента

		Модели ножниц-разжимов						НКГС-80
		SC 150	SC 350	SC 550	SPS 400	СТ 4120 С	СТ 4150 С	
Модели гидравлических цилиндров	R 430	1	15	29	43	57	71	85
	R 420	2	16	30	44	58	72	86
	R 422	3	17	31	45	59	73	87
	R 424	4	18	32	46	60	74	88
	R 410	5	19	33	47	61	75	89
	R 412	6	20	34	48	62	76	90
	R 414	7	21	35	49	63	77	91
	RA 4321 С	8	22	36	50	64	78	92
	RA 4331 С	9	23	37	51	65	79	93
	RA 4322 С	10	24	38	52	66	80	94
	RA 4332 С	11	25	39	53	67	81	95
	RA 4311 С	12	26	40	54	68	82	96
	RA 4313 С	13	27	41	55	69	83	97
	RA 4315 С	14	28	42	56	70	84	98

Далее, проведено их сравнение с комплектом «Спрут» (стоит на вооружении большинства пожарно-спасательных формирований). Рассчитанные (по данным табл. 4–6) удельные значения безразмерного комплекса и стоимости для некоторых образцов представлены в табл. 7.

Таблица 7. Характеристика комплектов по величине безразмерных комплексов и стоимости

Порядковый номер комплекта	Обобщенный безразмерный комплекс, $\pi_{\text{обобщ}} \cdot 10^3$	Стоимость, тыс. руб.	Удельное значение безразмерного комплекса $\frac{\pi_{(\text{обобщ})i}}{\pi_{\text{обобщ}}}$	Удельная стоимость $\frac{C_i}{C}$
1	47,43	404,3	0,72	1,20
2	48,33	328,7	0,73	0,98
...
6	45,45	273,5	0,69	0,82
...
9	46,00	292,3	0,70	0,87
...
53	142,72	343,3	2,17	1,02
54	144,50	266,1	2,19	0,79
...
58	37,67	379,5	0,57	1,13
...
60	36,11	402,7	0,55	1,20
61	36,13	309,5	0,55	0,92
62	34,80	324,3	0,53	0,97
...
94	49,30	254,9	0,75	0,76
...
96	50,61	185,9	0,77	0,55
...
98	50,15	198,1	0,76	0,59
Спрут	37,1	160,5	0,56	0,50
Ср. значение	65,86	335,6	–	–

В связи с неоднозначностью полученных результатов, для дальнейшего анализа использован метод Парето. Экономическая эффективность сравниваемых образцов отражена на рисунке, где штрихпунктирные линии обозначают условные границы зон эффективности комплектов (квадранты А, В, С, D).

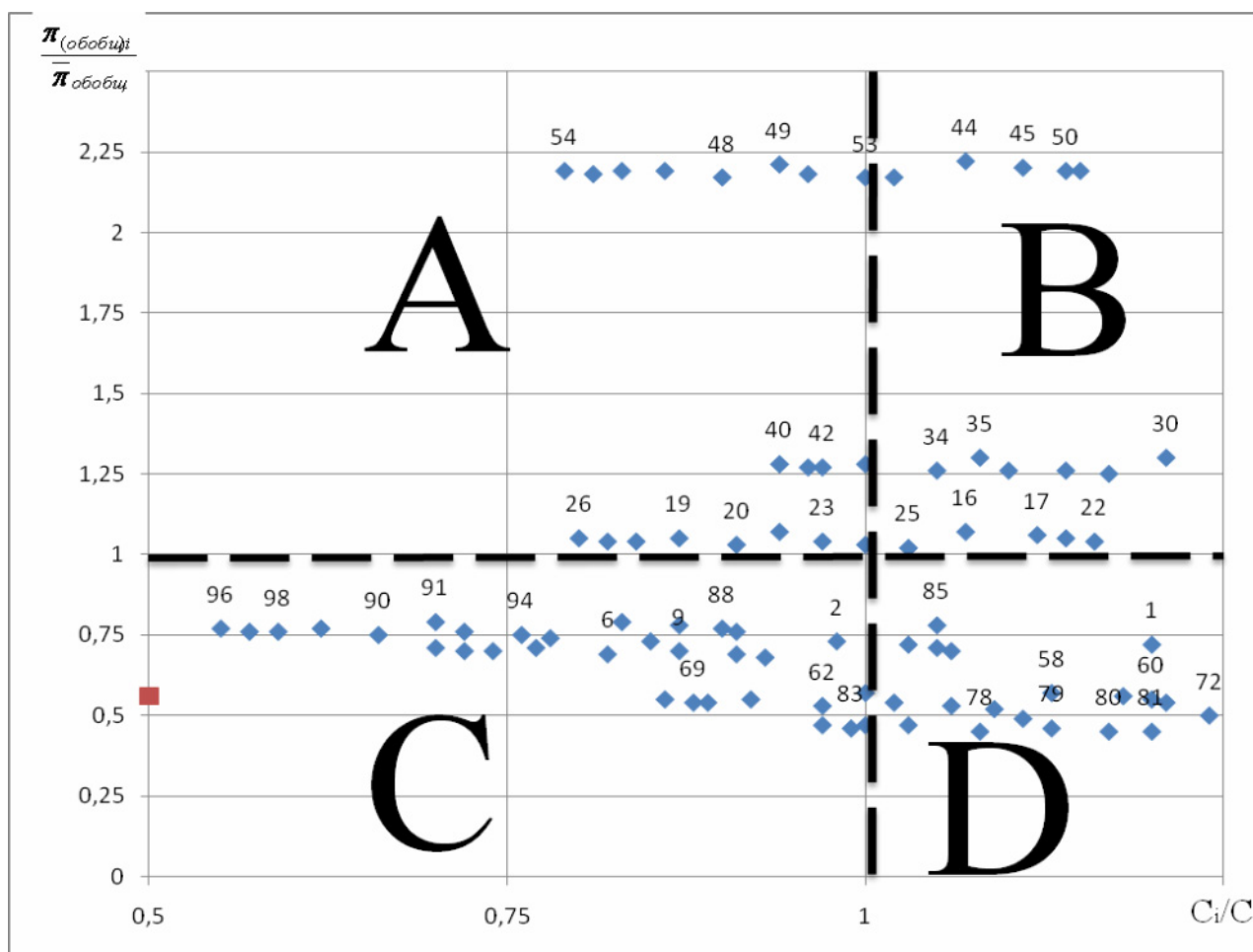


Рис. Оценка эффективности условных комплектов

(π_i – обобщенный показатель i -го комплекта; π_{cp} – среднее значение обобщенного показателя комплекта; C_i – цена i -го комплекта; C_{cp} – среднее значение комплекта)

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что наибольшей эффективностью и наименьшей стоимостью обладают образцы комплектов с номерами 48, 49, 51, 54, 55, 56. Во все эти образцы входят ножницы-разжимы SPS 400 (производитель – фирма «Weber»). Это обусловлено тем, что перечисленные ножницы-кусачки обладают наибольшей эффективностью, а гидравлические цилиндры не оказывают большего влияния на обобщенный комплекс комплекта гидравлического аварийно-спасательного инструмента, так как значения отдельно взятых обобщенных безразмерных комплексов гидравлических цилиндров на порядок меньше, чем у ножниц-кусачек. Также все комплекты можно сравнить с базовым образцом (комплект «Спрут»). Базовый комплект оказался самым дешевым, но и одним из самых неэффективных (точка на графике с координатами представленными по оси абсцисс 0,5 и ординат 0,56).

Однако условно сформированные комплекты в настоящее время не могут использоваться, так как работают на разных номинальных давлениях, что уже было отмечено ранее [7]. Поэтому для эффективной работы комплектов, составленных из инструментов различных производителей, требуется унификация этих соединений, что должно быть отражено в нормативных документах.

Литература

1. ГОСТ 22851–77. Номенклатура групп показателей качества продукции и их характеристика. Общие понятия.
2. Математико-статистические методы экспертных оценок. 2-е изд. М.: Статистика, 1980.
3. Бриджмен П. Анализ размерностей. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 148 с.
4. Филановский А.М., Поляков А.С. Оценка параметров гидравлического аварийно-спасательного инструмента на основе метода анализа размерностей // Проблемы управления рисками в техносфере. 2012. № 2 (22).
5. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1967.
6. Информационно-образовательный портал по современным формам, методам и приемам спасения пострадавших в дорожно-транспортных происшествиях: [сайт]. URL: <http://www.dtprescue.ru> (дата обращения: 14.02.2013).
7. Филановский А.М., Поляков А.С. Плюрализм номенклатуры гидравлического аварийно-спасательного инструмента: плюсы и минусы при выборе лучших образцов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2012. № 1 (21).