

УДК 623:004.89

О. И. Бочкарев, кандидат экономических наук, заместитель председателя коллегии  
Военно-промышленной комиссии Российской Федерации  
В. А. Тененев, доктор физико-математических наук, профессор  
Б. А. Якимович, доктор технических наук, профессор  
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

## МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ГОТОВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ОПК К РАЗРАБОТКЕ ОБРАЗЦОВ НОВОЙ ТЕХНИКИ

*Для повышения объективности экспертных оценок и более полного использования информации о предприятиях в статье рассмотрена возможность применения методов интеллектуальной обработки данных. Определены комплексные показатели готовности с учетом наиболее «узких» мест в технологиях, производстве и испытательной базе. Предлагаемая методика может быть применима для оценки готовности предприятий к разработке и выпуску изделий машиностроительной промышленности.*

**Ключевые слова:** уровень технологической и производственной готовности, нечеткие множества, система нечеткого логического вывода.

При разработке новой техники важным является вопрос о выборе предприятий для выполнения государственного оборонного заказа. Поэтому перед открытием опытно-конструкторских работ при разработке перспективных образцов вооружений и военной техники требуется провести оценку технологической готовности предприятий и испытательных стендов.

На первом этапе оценки результатов мероприятий государственной программы развития ОПК назначается уполномоченная организация для проведения оценочных действий и определяются потенциальные разработчики образцов новой техники. Затем должен быть определен уровень технологической и производственной готовности, обеспечивающий своевременное выполнение заказа с выполнением тактико-технического задания. В «Методике оценки мероприятий государственной программы развития оборонно-промышленного комплекса» [1] представлено формализованное (математическое) описание решаемой задачи. Для повышения объективности экспертных оценок и более полного использования информации о предприятиях целесообразно рассмотреть возможность применения некоторых методов интеллектуальной обработки данных.

В соответствии с «Методикой» рассмотрим этапы оценки результатов.

**Этап 1.** Оценка технологического уровня готовности каждой технологии, учитываемой в структурно-функциональной схеме образца военной техники. Для оценки используется следующая вербально-числовая шкала (табл. 1).

Для перспективного образца формируется набор технологий, планируемых к применению. Каждую технологию в «Методике» предлагается оценить по табл. 1, либо по среднему значению из интервала, либо эксперт выбирает любое значение из интервала. Уже на первом этапе появляется неопределенность в оценках, которая полностью перекладывается на эксперта. Чтобы повысить объективность эксперта, ему нужно предоставить возможность оценки некоторых элементов, составляющих и определяющих каждый уровень.

Например, для первого уровня «Выявлены и изложены основные принципы разработки технологии» можно ввести какие-либо показатели. Для представления о возможной технологии требуется про-

вести информационный поиск. Степень патентного поиска оценить: «высокая» – Н, средняя – М, низкая – Л. Оценка Н может соответствовать найденным описаниям (более двух), которые могут подойти на роль прототипа при оформлении собственного изобретения. Средняя оценка подойдет при одном найденном описании. В информационный поиск также следует включить литературный обзор публикаций в научных периодических изданиях. Разрабатываемые технологии должны обладать новизной, и эту новизну необходимо изложить в публикациях в *специальных* журналах. На предприятии должен быть выпущен технический или научно-технический отчет с конкретным указанием в выводах показателей по информационному поиску.

Таблица 1. Шкала оценки технологического уровня готовности технологии

№ уровня	Интервал значения	Описание готовности уровня технологии
1	[0.00–0.10)	Выявлены и изложены основные принципы разработки технологии
2	[0.10–0.21)	Определены аналитические и экспериментальные критерии функции (свойства) или/и характеристики технологии
3	[0.21–0.32)	Сформулирована концепция технологии и область ее применения
4	[0.32–0.43)	Проверена работоспособность технологии подсистемы на математической модели или в лабораторных условиях
5	[0.43–0.54)	Проверена работоспособность технологии в прототипе подсистемы в лабораторных условиях
6	[0.54–0.65)	Проведены испытания технологии в экспериментальном образце подсистемы в лабораторных условиях
7	[0.65–0.76)	Проведены испытания технологии в экспериментальном образце подсистемы на испытательной базе ОПК
8	[0.76–0.87)	Определен окончательный образ подсистемы, в которой применяется новая технология, проведены полигонные испытания
9	[0.87–1.00)	Подтверждение эффективности действующей подсистемы, в которой применяется новая технология, во время решения функциональных задач

Для получения интегральной оценки следует применить элементы нечеткой логики. Преимущество нечеткого подхода в экспертных системах состоит в том, что эксперты сначала формулируют набор логических (продукционных) правил, покрывающих решаемую проблему. Эти правила соответствуют здравому смыслу и имеющемуся в каждой отрасли опыту и традициям. Последующее применение алгоритмов нечеткого логического вывода позволяет установить количественные связи между составляющими нечеткую систему элементами [2].

Рассмотрим первый уровень готовности технологии. Структурная схема представлена на рис. 1. Здесь элементами системы являются:

- 1 – патентный поиск (*PS*);
- 2 – литературный обзор (*LR*);
- 3 – информационный поиск (*IS*);
- 4 – публикации (*P*);
- 5 – уровень готовности технологии (*LPT*).

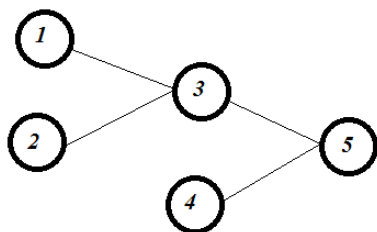


Рис. 1. Структура первого уровня готовности технологии

Данную систему опишем продукционными правилами. Для элементов 1, 2, 3 можно записать:

- 1 – if  $PS=L$  and  $LR=L$  then  $IS=L$ ;
- 2 – if  $PS=L$  and  $LR=M$  then  $IS=L$ ;
- 3 – if  $PS=L$  and  $LR=H$  then  $IS=M$ ;
- 4 – if  $PS=M$  and  $LR=L$  then  $IS=L$ ;
- 5 – if  $PS=M$  and  $LR=M$  then  $IS=M$ ;
- 6 – if  $PS=M$  and  $LR=H$  then  $IS=M$ ;
- 7 – if  $PS=H$  and  $LR=L$  then  $IS=M$ ;
- 8 – if  $PS=H$  and  $LR=M$  then  $IS=M$ ;
- 9 – if  $PS=H$  and  $LR=H$  then  $IS=H$ .

Аналогичные правила связывают элементы *IS*, *P*, *LPT*. Каждое правило должно содержать описание функций принадлежности для лингвистических переменных *PS*, *LR*, *IS*, *P*, *LPT*. Выберем из класса ортогональных функций [3] функции принадлежности параболического вида:

$$\mu_i^l(x) = 1 - a_i^l(x - c_i)^2,$$

где  $a_i^l = \frac{2}{(c_i - c_{i-1})^2}$ ,  $a_i^r = \frac{2}{(c_i - c_{i+1})^2}$ ;  $l = L, R$ ;  $i = \overline{1, m}$ ;

$m$  – мощность терм-множества лингвистической переменной (множества названий лингвистических значений переменной, например  $\{L, M, H\}$ );  $c_i$  – центр интервала значений переменной  $x$ . Условие ортогональности позволяет описать функции принадлежности только значениями  $c_i$  и для определенности условиями:  $c_0 = 2c_1 - c_2$ ,  $c_{m+1} = 2c_m - c_{m-1}$ . Для лингвистической переменной 2 – *LR* функции при-

надлежности показаны на рис. 2, где  $x$  – количество литературных источников в обзоре.

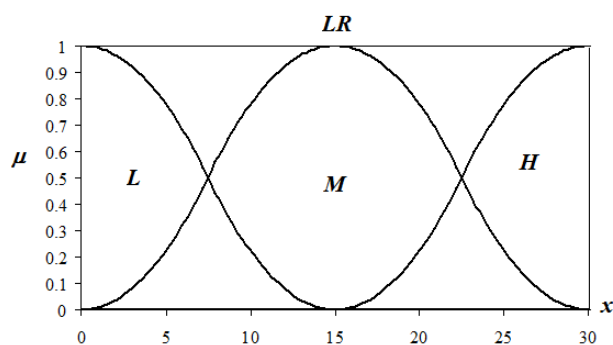


Рис. 2. Функции принадлежности для переменной *LR*

Если патентный поиск дал один прототип и найдено 23 публикации по теме, то уровень информационного поиска составляет 0,317; 2 и 23 дают значение 0,642. Продолжая движение по схеме рис. 1 при числе собственных публикаций 2 ( $P = M$ ), получим значение оценки для первого уровня готовности технологии 0,037 и 0,054 соответственно.

**Этап 2.** По подобному подходу определяются влияющие показатели на всех уровнях готовности технологий и производственной готовности. Шкала производственных уровней готовности технологий берется в соответствии с «Методикой». Для учета технико-экономических показателей предприятий при оценке уровня производственной готовности вводятся дополнительные количественные показатели.

Показатель стабильности кадров  $k_1$  представляет собой отношение общего количества работающих, за вычетом вновь принятых на работу, к общему количеству работающих:

$$k_1 = \frac{N - n}{N},$$

где  $n$  – количество работников, принятых на работу в течение последнего календарного года;  $N$  – общее количество работающих.

Показатель квалификации исполнителей  $k_2$  показывает степень близости среднего разряда всех работающих к высшему (шестому) разряду:

$$k_2 = \frac{\sum_{i=1}^6 (i \times j)}{6N},$$

где  $j$  – количество рабочих  $i$ -го разряда;  $N$  – общее количество работающих.

Показатель уровня технической оснащенности  $k_3$  есть отношение количества единиц автоматизированного оборудования к общему количеству единиц оборудования:

$$k_3 = \frac{n_{NC}}{N},$$

где  $n_{NC}$  – количество станков, оснащенных системами ЧПУ;  $N$  – количество единиц оборудования.

Показатель срока эксплуатации оборудования  $k_4$  есть отношение количества оборудования со сроком

эксплуатации менее десяти лет к общему количеству оборудования:

$$k_4 = \frac{n_{10}}{N}$$

где  $n_{10}$  – количество единиц оборудования со сроком эксплуатации менее десяти лет.

Показатель уровня брака  $k_5$  берется на основе статистических данных.

Для этих показателей вводятся соответствующие лингвистические переменные. Для уровня производственной готовности по шкале из табл. 2 вводится переменная  $LPO$  и, как показано на рис. 3, определяется структура влияния этих факторов на конечное значение уровня производственной готовности.

Вид функций принадлежности и базовое термножество остается прежним.

На 1-м и 2-м этапах для каждой  $i$ -й подсистемы изделия и  $j$ -й технологии определяются вектора готовности технологий и производства:

$$LPT^i = (LPT_j^i)^i, LPR^i = (LPR_j^i)^i, i = \overline{1, K}; j = \overline{1, N_i}$$

где  $K$  – количество подсистем;  $N_i$  – количество технологий в подсистеме.

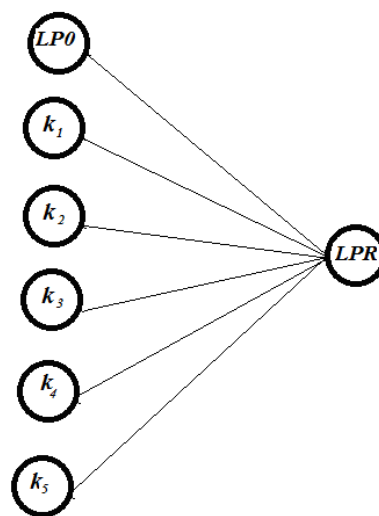


Рис. 3. Структура уровня производственной готовности

Таблица 2. Шкала производственных уровней готовности технологий

№ уровня	Интервал значения	Описание уровня производственной готовности технологии
1	[0.0–0.1)	Определены теоретические принципы производства технологии, сделаны выводы относительно основных производственных возможностей, установлены недостающие производственные мощности
2	[0.1–0.2)	Разработана концепция организации производства технологии, описано использование новых производственных мощностей, проанализированы и технически обоснованы необходимые материалы и технологические процедуры
3	[0.2–0.3)	Проведены расчеты работоспособности концепции производства технологии, разработаны опытные модели оборудования
4	[0.3–0.4)	Технологии производства апробированы в лабораторных условиях (готовность производства к разработке соответствующих технологий)
5	[0.4–0.5)	Подтверждена возможность производить отдельные компоненты технологии на экспериментальном производстве. Более 50 % технологических процессов и оборудования остаются в процессе разработки
6	[0.5–0.6)	Подтверждена возможность производить технологии на экспериментальном производстве, начато проектирование оснастки и оборудования для серийного производства
7	[0.6–0.7)	Подтверждена возможность серийного производства технологии на предприятиях промышленности
8	[0.7–0.8)	Испытания экспериментальной производственной линии, начало опытного тестового производства с низкой скоростью, ресурсы аттестованы
9	[0.8–0.9)	Экспериментальная линия с низкой скоростью показала возможность перехода к полноценному серийному производству технологии
10	[0.9–1.0)	Освоен полный цикл серийного производства технологии

**Этап 3.** На этом этапе определяются уровни готовности технологий каждой подсистемы  $LPTS = (LPTS_i)$ ,  $i = \overline{1, K}$ . В «Методике» для этого предлагается формула:

$$LPTS_i = \frac{\sum_{j=1}^{N_i} LPT_j^i \cdot LPR_j^i}{N_i}, \quad (1)$$

по которой для каждой технологии вычисляется произведение показателей готовности технологий и производства, а затем вычисляется их среднееарифметическое значение. Алгебраическое произведение в данной формуле занижает уровень готовности подсистемы. Например, при одинаковых значениях

$LPT = 0,5, LPR = 0,5$ , что соответствует среднему пятому уровню, произведение дает 0,25 и переводит готовность на несколько уровней вниз. Среднеарифметическое значение по подсистеме также не совсем оправдано, т. к. сроки выполнения работ определяются наиболее критическими и напряженными технологическими процессами. Поэтому целесообразно алгебраическое произведение заменить системой нечеткого логического вывода. Близкие результаты дает применение среднего геометрического. Критические сроки выполнения работ определяются худшими показателями по готовности технологий. Вместо формулы (1) запишем другую, учитывающую сделанные замечания:

$$LPTS_i = \min_{j=1, N_i} \left[ \frac{2 \cdot LPT_j^i \cdot LPR_j^i}{LPT_j^i + LPR_j^i} \right]. \quad (2)$$

**Этап 4.** Получение комплексного значения технологического и производственного уровней готовности изделия (*ITPL*). В «Методике» это значение определяется как среднеарифметическое по всем подсистемам изделия:

$$ITPL = \frac{\sum_{i=1}^K LPTS_i}{K}. \quad (3)$$

Как уже отмечалось, среднее арифметическое не позволяет полностью учесть «слабое звено» в производстве. Этот учет можно провести с помощью обратного среднего обратных величин:

$$ITPL = \frac{K}{\sum_{i=1}^K \frac{1}{LPTS_i}}. \quad (4)$$

Формулы такого типа желательно применить и на следующих этапах.

**Этап 5.** Оценка уровня готовности полигонной и испытательной базы (*LPB*).

Шкала уровней готовности функциональных комплексов полигонной и испытательной базы взята в соответствии с «Методикой» (табл. 3).

**Таблица 3. Шкала уровней готовности функциональных комплексов полигонной и испытательной базы**

№ уровня	Интервал значения	Описание уровня готовности полигонной и испытательной базы
1	[0.00–0.14)	Определены требования к функциональному комплексу полигонной и испытательной базы
2	[0.14–0.28)	Сформированы мероприятия усовершенствования функционального комплекса
3	[0.28–0.42)	Сформированы предложения по развитию средств функционального комплекса
4	[0.42–0.57)	Проведена НИР по обоснованию облика средств функционального комплекса
5	[0.57–0.71)	Проведена ОКР по созданию новых средств функционального комплекса
6	[0.71–0.85)	Разработана программа по переоснащению средствами функционального комплекса
7	[0.85–1.00)	Функциональный комплекс вводится или введен в эксплуатацию

В «Методике» уровень готовности испытательного и полигонного комплекса определяется средним значением по функциональным комплексам:

$$LPB = \frac{\sum_{i=1}^m LPB_i}{m}, \quad m = 5. \quad (5)$$

Для учета критических мест в испытательном и полигонном комплексе применим формулу:

$$LPB = \frac{m}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{LPB_i}}, \quad m = 5. \quad (6)$$

**Этап 6.** Получение комплексной оценки готовности технологий, планируемых к применению в перспективном изделии, и полигонно-испытательной базы (*ILP*).

В «Методике» комплексная оценка *ILP* вычисляется как произведение значений технологического и производственного уровней готовности изделия (*ITPL*) и уровня готовности испытательного и полигонного комплекса (*LPB*):

$$ILP = ITPL \cdot LPB. \quad (7)$$

Для комплексной оценки более подходит формула:

$$ILP = \frac{2ITPL \cdot LPB}{ITPL + LPB}. \quad (8)$$

Очевидность предпочтения этой формулы можно показать на простом примере. Пусть имеется одна технология и одна подсистема и  $LPT = 0,7$ ,  $LPR = 0,7$ ,  $LPB = 0,7$ , что соответствует 7-му уровню табл. 1 (проведены испытания технологии в экспериментальном образце подсистемы на испытательной базе ОКР), 8-му уровню табл. 2 (испытания экспериментальной производственной линии, начало опытного тестового производства с низкой скоростью, ресурсы аттестованы), 5-му уровню табл. 3 (проведена ОКР по созданию новых средств функционального комплекса). По формулам «Методики» (1), (3), (7) значение комплексной оценки  $ILP = 0,34$  соответствует высокому риску, хотя имеется достаточно высокая готовность технологии, производства и испытательной базы. По формулам (2), (4), (8) комплексная оценка остается высокой  $ILP = 0,7$ .

Разные технологии имеют разные уровни готовности, но могут иметь разное время подготовки. Поэтому технология, имеющая низкий уровень готовности на текущий момент времени и небольшое время для доведения до высокого уровня готовности, может повысить готовность в процессе выполнения работы. Для этого учета введем в рассмотрение такие показатели, как длительность разработки технологии ( $Tt_j^i$ ), длительность подготовки производства ( $Tp_j^i$ ),  $i = \overline{1, K}$ ;  $j = \overline{1, N_i}$ . Время доведения от текущего уровня готовности ( $LPT_j^i$ ) до полной готовности ( $LPT_j^i = 1$ ) будем считать пропорциональным  $1 - (LPT_j^i)$  и рассмотрим показатели:

$$ZT_j^i = (1 - LPT_j^i) \frac{Tt_j^i}{Tt^{\max}}, \quad ZP_j^i = (1 - LPR_j^i) \frac{Tp_j^i}{Tp^{\max}},$$

где  $Tt^{\max} = \max_{i,j} (Tt_j^i)$ ,  $Tp^{\max} = \max_{i,j} (Tp_j^i)$ .

Вместо формулы (2) получим:

$$LPTS_i = 1 - \max_{j=1, N_i} \left[ \frac{2 \cdot ZT_j^i \cdot ZP_j^i}{ZT_j^i + ZP_j^i} \right]. \quad (9)$$

Примеры расчета

Вариант 1. Данные для расчетов по 4 подсистемам и 8 технологиям приведены в табл.4–6.

Таблица 4. Показатели производственно-технологического уровня

$LPT_j^i$				$LPR_j^i$			
0,379	0,518	0,467	0,462	0,611	0,062	0,113	0,127
0,698	0,803	0,814	0,958	0,033	0,553	0,172	0,340
0,014	0,288	0,774	0,698	0,881	0,003	0,551	0,112
0,660	0,849	0,736	0,329	0,137	0,262	0,554	0,527
0,400	0,575	0,904	0,291	0,803	0,875	0,227	0,697
0,449	0,143	0,720	0,109	0,794	0,548	0,980	0,461
0,428	0,555	0,672	0,811	0,678	0,239	0,229	0,692
0,805	0,111	0,504	0,589	0,020	0,855	0,072	0,218

Таблица 5. Относительная длительность подготовки технологий и производства

$Tr_j^i$				$Tr_j^i$			
0,720	1,000	0,884	0,897	0,851	0,713	0,522	0,394
0,425	0,622	0,576	0,697	0,940	0,540	0,911	0,844
0,528	0,558	0,867	0,702	0,759	0,736	0,192	0,478
0,944	0,958	0,828	0,207	0,555	0,434	0,697	0,460
0,235	0,607	0,624	0,901	0,401	0,484	0,682	0,804
0,400	0,824	0,240	0,624	0,884	0,600	0,298	0,563
0,266	0,765	0,471	0,920	0,222	0,601	0,160	0,668
0,339	0,737	0,299	0,373	1,000	0,815	0,783	0,402

Таблица 6. Показатели испытательно-полигонного уровня

$LPB_i$				
0,568	0,802	0,882	0,014427	0,404

Результаты расчетов по формулам (1), (3), (5), (7):

$$ITPL = 0,205; LPB = 0,534; ILP = 0,109.$$

Результаты расчетов по формулам (2), (4), (6), (8):

$$ITPL = 0,018; LPB = 0,064; ILP = 0,028.$$

В табл. 4, 6 выделены наиболее критичные показатели. Видно, что формулы (1), (3), (5), (7) усредняют эти слабые места; формулы (2), (4), (6), (8) эту критичность учитывают. Применение формулы (9) существенно повышает значение производственно-технологического уровня  $ITPL = 0,537$ , но «узкое» место испытательной базы  $LPB = 0,064$  по-прежнему снижает комплексный показатель  $ILP = 0,114$ .

Вариант 2. Данные для расчетов по 4 подсистемам и 8 технологиям приведены в табл. 7, 8. Длительности подготовки технологий и производства такие же, как в первом варианте (табл. 5).

Во втором варианте показатели несколько выше, чем в первом варианте, и комплексные оценки также получились выше.

Результаты расчетов по формулам (1), (3), (5), (7):

$$ITPL = 0,339; LPB = 0,654; ILP = 0,222.$$

Результаты расчетов по формулам (2), (4), (6), (8):

$$ITPL = 0,228; LPB = 0,547; ILP = 0,322.$$

Результаты расчетов по формулам (4), (6), (8), (9):

$$ITPL = 0,484; LPB = 0,547; ILP = 0,513.$$

Таблица 7. Показатели производственно-технологического уровня

$LPT_j^i$				$LPR_j^i$			
0,717	0,199	0,267	0,793	0,998	0,154	0,534	0,849
0,387	0,490	0,728	0,864	0,632	0,531	0,773	0,570
0,574	0,422	0,681	0,180	0,436	0,531	0,152	0,737
0,763	0,478	0,358	0,660	0,968	0,454	0,914	0,580
0,637	0,243	0,838	0,351	0,451	0,877	0,934	0,416
0,301	0,830	0,763	0,906	0,932	0,351	0,287	0,560
0,265	0,357	0,715	0,843	0,208	0,659	0,751	0,341
0,976	0,285	0,626	0,622	0,614	0,763	0,472	0,652

Таблица 8. Показатели испытательно-полигонного уровня

$LPB_i$				
0,787	0,985	0,711	0,291	0,496

Самое низкое значение имеет уровень готовности  $LPR_3^3 = 0,152$  (табл. 7), но благодаря тому, что время на подготовку этого производства наименьшее  $Tr_3^3 = 0,192$  (табл. 5), комплексные показатели  $ITPL = 0,484$ ,  $ILP = 0,513$  значимо увеличились.

При оценке производственно-технологического уровня сложного изделия может возникнуть вопрос об области применимости как формул (1), (3), (5), (7), так и (2), (4), (6), (8). При большом количестве технологий формулы (1), (3), (5), (7) усредняют все показатели, а формулы (2), (4), (6), (8) ориентируются на худший результат, что с увеличением количества технологий приводит к лишнему занижению уровня готовности. Это иллюстрирует рис. 4, на котором показано изменение показателя  $LTPS_i$  в зависимости от количества технологий в предположении о равномерном распределении уровней готовности  $LTP_j^i, LPR_j^i$ .

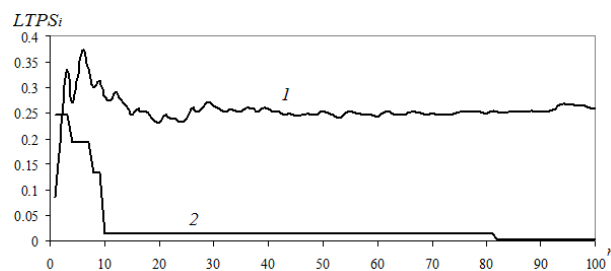


Рис. 4. Зависимость значения производственно-технологического уровня от количества технологий

Зависимость (1) получена по формуле (1), а зависимость (2) по формуле (2). Из рис. 4 следует, что показатель  $LTPS_i$ , рассчитанный по формуле (1), выходит на некоторое среднее значение, слабо изменяющееся при росте количества технологий  $n$ , что свидетельствует о его плохой информативности.

Оценку допустимого количества рассматриваемых технологий попытаемся провести с использованием

меры информации. Будем считать, что значение уровня готовности технологии, находящееся в интервале  $[0; 1]$ , представляет собой возможность исполнения этой технологии. Изменение количества информации определим с применением возможностной меры нечеткости [4]. Возможностная мера нечеткости представляет собой функцию  $U: \Pi \rightarrow [0, \infty]$ . Для любого распределения возможностей  $f = (\varphi_i | i \in N_{|X|}) \in \Pi$  и для любого действительного  $l \in [0, 1]$  функция  $c: \Pi \times [0, 1] \rightarrow P(N)$  называется функцией уровня, а множество  $c(f, l) = \{i \in N_{|X|} | \varphi_i \geq l\}$  называется множеством  $l$ -го уровня от  $f$ . Обозначим через  $L_f = \{l_1, \dots, l_q\}$  уровневое множество для  $f$ , где  $l_1 = 0, q = |L_f|; l_i < l_j | i < j; l_f = \max_i \varphi_i, l_f = l_q \in L_f$ .

Функция  $U$  -нечеткости имеет вид:

$$U(f) = \frac{1}{l_f} \int_0^{l_f} \log_2 |c(f, l)| dl$$

или в дискретном случае:

$$U(f) = \frac{1}{l_f} \sum_{k=1}^{q-1} (l_{k+1} - l_k) \log_2 |c(f, l_{k+1})|.$$

Изменение меры нечеткости в зависимости от количества технологий представлено на рис. 5 (зависимость (1)).

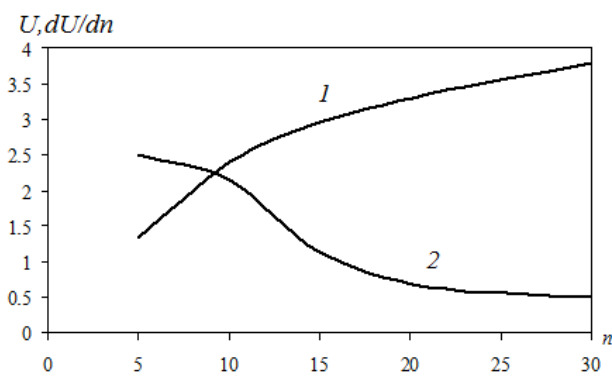


Рис. 5. Поведение возможностной меры нечеткости

На графике зависимостей  $U(n)$  (кривая 1) и производной  $dU/dn$  (кривая 2) прослеживается резкое изменение темпа прироста информации в интервале

$n \in (10; 20)$ . Дальнейшее увеличение  $n$  является малоинформативным. Поэтому допустимое количество одновременно рассматриваемых технологий должно находиться в этом диапазоне. Более сложные технологические и производственные процессы следует агрегировать исходя из этого ограничения.

Отметим, что приведенные в статье результаты моделирования и примеры расчетов проведены с применением разработанной в ИжГТУ имени М. Т. Калашникова экспертно-аналитической системы, основанной на структурном представлении рассматриваемого процесса в виде нечетких логических правил [5–6].

#### Выводы:

1. Для повышения объективности экспертов необходима количественная оценка элементов (факторов), составляющих и определяющих каждый уровень готовности на основе структурного представления рассматриваемого процесса в виде нечетких логических правил.
2. Определение комплексных показателей готовности необходимо проводить с учетом наиболее «узких» мест в технологиях, производстве и испытательной базе.
3. Учет времени на подготовку технологий и производства может существенно увеличивать уровень готовности предприятий.
4. Предлагаемая методика может быть применима для оценки готовности предприятий к разработке и выпуску изделий машиностроительной промышленности. Сложные технологические и производственные процессы следует агрегировать при количестве технологий более 15–20.

#### Библиографические ссылки

1. Методика оценки мероприятий государственной программы развития оборонно-промышленного комплекса. – М., 2014. – 15 с.
2. Тенев В. А., Якимович Б. А. Генетические алгоритмы в моделировании систем. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2010. – 308 с.
3. Рыжов А. П. Элементы теории нечетких множеств и измерения нечеткости. – М. : Диалог-МГУ, 2000. – 116 с.
4. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач. – М. : Радио и связь, 1990. – 544 с.
5. Тенев В. А., Якимович Б. А. Генетические алгоритмы в моделировании систем. Ижевск, 2010. 308 с.
6. Якимович Б. А., Тенев В. А. Методы анализа и моделирования систем. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2001. – 152 с.

\*\*\*

O. I. Bochkarev, PhD in Economics, Kalashnikov ISTU

V. A. Tenenev, DSc (Physics and Mathematics), Professor, Kalashnikov ISTU

B. A. Yakimovich, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU

#### Methods for assessing the readiness of defense enterprises to development of new equipment

To increase the objectivity of expert assessments and better use of information on companies, the paper considers the possibility of applying the intellectual data processing techniques. Integrated indicators of readiness to meet the most "narrow" places in technology, production and test facility are identified. The proposed method can be applied to assess the readiness of enterprises to develop and produce mechanical engineering items

**Keywords:** level of technological and production readiness, fuzzy sets, fuzzy inference system.