

МОДЕЛЬ И МЕТРИЧНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА НАУЧНЫХ РАБОТ

д.т.н., проф. В.С. Харченко, к.т.н. О.М. Тарасюк, Л.Д. Харченко

Проведен анализ существующих подходов к оценке качества научных работ. Предложена обобщенная модель качества, ориентированная на оценку диссертационных работ. Описан метричный метод оценки качества, базирующийся на операциях свертки значений метрик, определяющих степень выполнения требований и критериев.

Введение. Проблема оценки качества научных работ. Успешное развитие науки характеризуется объемом и качеством публикуемых научных работ. Только после публикации научной статьи, получения патента, защиты диссертации, научный результат становится общим достоянием и фиксирует конкретный вклад автора. В условиях тщательного роста числа издаваемых научных журналов, сборников, трудов конференций, научно-технических средств особую важность приобретает качество публикаций.

Это касается, в первую очередь, диссертационных работ, к уровню которых сейчас обращено пристальное внимание государственных органов и научной общественности. Требования к ним детально описаны в документах ВАК и многих работах, которые разъясняют их конкретные положения [1, 2]. В тоже время важно, на наш взгляд, обратиться к проблеме оценки качества диссертации и научных работ в целом, учитывая отечественный и зарубежный опыт в этой области. Объективная и полная оценка качества должна на наш взгляд, опираться на четкие хорошо формируемые и легко верифицируемые критерии, которые могут быть детализированны иерархией более детальных субкритериев и требований.

Решение данной задачи может быть выполнено путем создания модели качества научных работ, которая бы задавала некоторый обобщенный профиль оценки, детализируемый для различных видов публикаций. При этом может использоваться подход к оценке, основанный на применении метрик, значения которых задаются в нечетной или булевой шкале (например, соответствует полностью СП, частично СЧ, не соответствует НС), а затем «сворачиваются» в соответствии с иерархией критериев и требований и правилами предикативных сверток. Такой подход показал свою эффективность при решении ряда задач, связанных с оценкой качества программируемого обеспечения [3], динамическим мониторингом результатов деятельности научных работников [4] и др.

Цель статьи – разработка модели и метода метричной оценки качества научных работ. Для получения обобщенного профиля оценки выбран наиболее сложный их вид – диссертации. При написании статьи учтен опыт оценки качества диссертаций в ряде европейских стран и практика рецензирования научных работ (статей-докладов) в международных журналах и при подготовке трудов конференций. Речь далее идет о работах научно-технического профиля, хотя, на наш взгляд, некоторые положения могут носить и более общий характер.

Структура модели качества. В основу методики оценки качества предлагается положить совокупность базовых критериев $\{K_i\}_i^7 = 1$, определяющих верхний уровень ее иерархии. Далее каждый из критериев K_i декомпозируется на подмножества субкритериев $\{C_{ij}\}_{j=1}^{N_i}$, которые, в свою очередь, могут представляться набором требований $\{T_{ijk}\}_{k=1}^{R_{ij}}$. В рамках данной статьи ограничимся двух-трехуровневой иерархией и покажем ее соответствие современным требованиям ВАК Украины. Дальнейшее развитие модели качества может быть осуществлено путем детализации требований (субкритериев) нижнего уровня.

При формировании множества критериев (как и множеств субкритериев и требований – нижних уровней иерархии) учитывались следующие требования, которым они должны соответствовать [5]: полнота, равнозначность, верифицируемость, непротиворечивость. Требования непротиворечивости заключаются в данном случае в том, что критерии должны быть максимально ортогональными, т.е. непересекающимися по «зоне действия».

Множество базовых критериев включает нижеперечисленные.

1. **Критерий мотивированности** (K_1) определяет, насколько необходимой в практическом и научном контексте является работа, как она связана с другими более масштабными работами такого направления и насколько четко и аргументированно поставлена задача. С учетом этого критерий K_1 объединяет *субкритерии актуальности* (C_{11}), *спланированности* (C_{12}) и *постановочности* (C_{13}). В свою очередь, субкритерий C_{12} содержит требования практической потребности (T_{111}) теоретической необходимости (T_{112}), субкритериев C_{12} – требования к работе как части государственных или иных научно-технических программ, НИР, хозяйственных работ и д.т. (T_{121}), а также требования к непосредственному участию автора в выполнении этих работ (T_{122}), субкритерий C_{13} – требования к формулировке темы (T_{131}), задач (общих и частных) (T_{132}), определению объекта и предмета исследований (T_{133}).

2. **Критерий новизны** (K_2) определяет, насколько весомыми и достаточными по объему (*субкритерий весомости* K_{21}), отличающимися от

известных (*субкритерий отличительности* C_{22}), ценными в теоретическом плане (*субкритерий научной ценности* C_{23}), существенными по степени новизны (*субкритерий новизны* C_{24}) и вклада в теорию (*субкритерий значимости* C_{25}) являются полученные результаты. Весомость (C_{21}) определяется исходя из полученного множества результатов (методов, моделей, аналитических зависимостей и т.д.). При этом для из результатов должны быть определены их сущность и отличительные признаки («метод оценки надежности программного обеспечения, отличающийся от известных тем, что базируется на метрико-вероятностных процедурах ...») в соответствии с субкритерием C_{22} , достигаемый эффект («метод ..., отличающийся тем, что базируется ... и позволяет учесть дополнительные характеристики и таким образом повысить достоверность оценки») в соответствии с субкритерием C_{23} . Кроме того, для каждого из результатов должна быть степень их новизны (впервые, усовершенствован, получил дальнейшее развитие – субкритерий C_{24}) и сформулирован вывод о вкладе в соответствующую область теоретических знаний («метод ... развивает теорию надежности компьютерных систем и их программного обеспечения в части ...») – субкритерий C_{25} .

3. **Критерий доказательности** (K_3) определяет насколько обоснованными (*субкритерий обоснованности* C_{31}) и достоверными (*субкритерий достоверности* C_{32}) являются результаты. Первый из субкритериев включает требования к методике исследования, ее обоснованности, логичности (T_{311}), корректности используемого математического аппарата (T_{312}), трассируемости (соответственно) поставленных задач и полученных результатов (T_{313}). Субкритерий достоверности C_{32} базируется на требованиях к сводимости полученных результатов к общеизвестным и общепризнанным (например, при граничных значениях новых ранее не учитывавшихся параметров) – T_{321} , экспериментальной или практической подтверждаемости научных результатов – T_{322} , сходимости результатов при использовании различных (диверсных) методиках моделирования, расчета и т.д. – T_{323} .

4. **Критерий практичности** (K_4) определяет практическую значимость полученных результатов. Он включает: *субкритерий готовности* к практическому использованию результатов (C_{41}), т.е. доведенности их до уровня инженерных методик, алгоритмов, программных продуктов; *субкритерий практической ценности* (C_{42}), указывающий конкретный эффект от их возможного внедрения; *субкритерий степени внедрения результатов* (C_{43}), определяющий объем и реальный эффект от их критического использования; *субкритерий наличия и обоснованности рекомендаций по расширенному внедрению результатов* (C_{44}).

5. **Критерий известности** (K_5) указывает, насколько известными и самостоятельными являются полученные результаты. Этот критерий

включает *субкритерии опубликованности* (C_{51}), *апробированности* (C_{52}) и личного вклада – *самостоятельности* (C_{53}). Субкритерий C_{51} и C_{52} базируются на идентичных по структуре требованиях к объему – количеству публикаций T_{511} (докладов T_{521}); уровню публикаций T_{512} (апробаций T_{521}), исходя из рейтинга журналов, сборников, научных работ (конференций); полноте публикаций T_{513} (апробаций T_{523}), т.е. степени «покрытия» результатов публикациями (докладами на конференциях).

6. Критерий согласованности (K_6) определяет, насколько соответствует диссертационная работа паспорту *специальности* (*субкритерий согласованности специальности* C_{61} ; если оценивается научная статья, доклад он определяет степень соответствия профилю журнала, конференции), содержание автореферата диссертации (или реферата, аннотации статьи, доклада их содержанию) (*субкритерий согласованности автореферата* C_{62}), полученные результаты – поставленным задачам (*субкритерий согласованности результатов* C_{63}), ключевые слова и УДК – содержанию работы (*субкритерий классификации* C_{64}).

7. Критерий документированности (K_7) определяет, насколько качественно оформлена работа. Он включает субкритерии, учитывающие требования к структуре – *субкритерий структуры* C_{71} (включая требования к наличию и содержанию основных элементов T_{711} , последовательности T_{712} , структурированности T_{713}), *субкритерий стиля изложения* C_{72} (включая требования к лаконичности T_{721} , языку грамотности T_{722} , терминологии T_{723}), *субкритерий текстового оформления* C_{73} (включая требования к шрифтам и интервалам T_{731} , заголовкам T_{732} и др.), *субкритерий оформления графической части* C_{74} (включая требования к рисункам T_{741} и таблицам T_{742} , в частности, к их наглядности, правильному оформлению, достаточности и т.д.), *субкритерий оформления литературы* – C_{75} (включая требования к достаточности списка источников и ссылок на них T_{751} , наличию необходимых современных T_{752} и англоязычных T_{753} ссылок, полноте информации по каждому источнику T_{754} , правильности оформления T_{755}).

Анализ соответствия модели качества и требований к диссертациям. Результаты анализа соответствия рассмотренной модели и требований ВАК Украины [1] представлены в табл. 1. В левой части таблицы даны элементы модели качества, в правой части – указаны пункты инструкции по требованиям к диссертациям и автореферату. Звездочкой отмечены те субкритерии, выполнение которых в большей степени оценивается экспертом работы.

Таблица 1

Соответствие модели качества требованиям к диссертациям

Критерии	Модель качества		Требования к диссертациям (пункты [1])
	Субкритерии	Требования	
К ₁	С ₁₁	T ₁₁₁	3.4
		T ₁₁₂	3.4
	С ₁₂	T ₁₂₁	3.4
		T ₁₂₂	3.4
	С ₁₃ [*]	T ₁₃₁	1.2, 3.4
		T ₁₃₂	3.4
T ₁₃₃		3.4	
К ₂	C ₂₁ [*]		3.4
	C ₂₂		3.4
	C ₂₃		3.4
	C ₂₄		3.4
	C ₂₅ [*]		3.4
К ₃	С ₃₁	T ₃₁₁	3.4
		T ₃₁₂	3.4
		T ₃₁₃	3.4
	С ₃₂	T ₃₂₁	3.4
		T ₃₂₂	3.4
		T ₃₂₃	3.4
К ₄	C ₄₁		3.4
	C ₄₂		3.4
	C ₄₃ [*]		3.4
	C ₄₄ [*]		3.4
К ₅	С ₅₁	T ₅₁₁	3.4
		T ₅₁₂	3.4
		T ₅₁₃	3.4
	С ₅₂	T ₅₂₁	3.4
		T ₅₂₂	3.4
		T ₅₂₃	3.4
	C ₅₃ [*]		1.3, 3.4
К ₆	C ₆₁ [*]		3.1
	C ₆₂ [*]		5
	C ₆₃ [*]		3.6
	C ₆₄ [*]		3.1
К ₇	С ₇₁	T ₇₁₁	2, 3
		T ₇₁₂	2
		T ₇₁₃	4.1
	С ₇₂	T ₇₂₁	1.4
		T ₇₂₂	1.4
		T ₇₂₃	1.4, 3.3

Окончание таблицы 1

	C ₇₃	T ₇₃₁	1.1, 1.5, 4.1, 4.2, 4.5, 4.8
--	-----------------	------------------	------------------------------

	C ₇₄	T ₇₃₂	1.1, 1.5, 4.1, 4.2, 4.5, 4.8
		T ₇₄₁	1.1, 4.1, 4.2, 4.3
		T ₇₄₂	1.1, 4.1, 4.2, 4.4
	C ₇₅ *	T ₇₅₁	1.3, 4.6
		T ₇₅₂	4.6
		T ₇₅₃	4.6
		T ₇₅₄	4.6
		T ₇₅₅	1.1, 3.7, 4.7

Метричная оценка качества. В результате оценки диссертационной работы (научной статьи, доклада) должен быть сделан вывод о ее соответствии предъявляемым требованиям (рассмотренной выше модели качества). Результат оценки работы может быть следующим: соответствует полностью (СП): соответствует частично, замечания могут быть устранены автором без повторного рассмотрения (рецензирования) (C₄₁); соответствует частично, требуется существенная доработка и повторная оценка (C₄₂); не соответствует (НС). Такая шкала оценок согласуется с практикой экспертизы диссертационных работ, рецензированием научных работ и докладов.

Метод метричной оценки качества при наличии ее модели включает две основные процедуры – оценку выполнения субкритериев (требований – П_т и получение общей оценки П_о).

Для реализации процедуры П_т каждому требованию должна быть поставлена в соответствие метрика, определена шкала и методика измерения. Метрика M_{ijl} (M_{ij}, M_i) – это количественная или качественная мера выполнения требования T_{ijl} (субкритерия C_{ij}, критерия K_i). Она может вычисляться: как отношение позитивно выполненных элементов требования A_{ijl} к общему числу таких элементов B_{ijl} (порядковая шкала значений от 0 до 1. При этом метрика может вычисляться также как взвешенная сумма позитивно оцененных элементов); булева функция, принимающая как и переменные (значения выполнения элементов требований) два значения 0 («да» – требование выполнено) и 1 («нет» – требование не выполнено); нечетная или предикативная функция, принимающая несколько значений (например, СП, C₄₁, C₄₂, НС) в зависимости от ее документов, имеющих тоже или иное множество значений.

Кроме того, оценочные значения элементов требований могут выражаться и в абсолютных единицах (например, число публикаций – для требования T₅₄), которые соотносятся к установленным порогам (существующим сейчас для этого требования по кандидатским диссертациям – 3, докторским – 20).

Процедура П_о выполняется путем пошаговой свертки значений метрик (аддитивной, булевой, предикативной и др. [6]). В данном случае наи-

более предпочтительной является предикативная свертка. Если метрики принимают значения СП, C_{41} , C_{42} , НС, то для каждого субкритерия, критерия и оценки в целом должны быть определены соответствующие предикаты. Они могут задаваться на основе операций маскируемых или немаскируемых конъюнкций под нечеткими переменными [7]. Для общей оценки Σ на основе оценок по критериям $K_1 - \Sigma_i$ возможно следующее выражение

$$\Sigma = \begin{cases} \text{СП, если } \forall i : \Sigma_i = \text{СП} ; \\ C_{41}, \text{ если } (\exists i : \Sigma_i < \text{СП}) \& (\forall j : \Sigma_j \geq C_{41}) ; \\ C_{42}, \text{ если } (\exists i : \Sigma_i < C_{41}) \& (\forall j : \Sigma_j \geq C_{42}) ; \\ \text{НС, если } \exists i : \Sigma_i = \text{НС} . \end{cases}$$

Таким образом, результаты метричной оценки могут быть представлены в виде табл. 2.

Таблица 2

Результаты метричной оценки

Итоговая оценка	Критерии		Субкритерии		Требования	
	формулировка	оценка	формулировка	оценка	формулировка	оценка
Σ	K_i	Σ_i	C_{il}	Σ_{il}	T_{il1}	Σ_{il1}
					\vdots	
					T_{ilm_i}	Σ_{ilm}
			\vdots	\vdots	\vdots	
			C_{in_i}	Σ_{in}	T_{in_1l}	Σ_{in1}
					\vdots	
					$T_{in_im_i}$	Σ_{inm}
			\vdots	\vdots	\vdots	

Выводы. Предложенная модель и метричный метод оценки качества диссертационных и иных научных работ позволяет формализовать и сделать более компактными результаты оценки. Они могут быть представлены значениями метрик в соответствии с табл. 1, к которой даются короткие комментарии по частично выполненным или невыполненным требованиям, аргументирующим сделанные оценки.

Модель качества дает также укрупненную схему оценки промежуточных результатов подготовки научной работы. При этом в процессе ее подготовки могут даваться промежуточные оценки (для контроля или самоконтроля), которые удобно иллюстрировать с использованием динамических радиальных метрических диаграмм [8].

Кроме того, описанную модель и метод целесообразно развить для оценки циклов научных работ и динамического рейтингования деятель-

ности научных сотрудников или коллективов [9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Довідник здобувача наукового ступеня // Збірник нормативних документів та інформаційних матеріалів з питань атестації наукових кадрів вищої кваліфікації. Редакція ВАК України. – К.: Толока. – 2003. – С. 14 – 35.
2. Бажал Ю.М. Кількісний аналіз наукового апарату джерельної бази публікації (на матеріалі статей у фахових виданнях з економіки). // Бюлетень ВАК України. – 2003. – № 4 – С. 19 – 28.
3. Харченко В.С., Скляр В.В., Тарасюк О.М. Методы моделирования и оценки качества и надежности программного обеспечения: Учебное пособие. – Х.: НАКУ «ХАИ», 2004. – 188 с.
4. Харченко Л.Д. Элементы методологии и систем динамического рейтингования в управлении персоналом // Системы обработки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2003. – Вып. 6 – С. 143 – 147.
5. Ларин А.А. Теоретические основы управления. Автоматизация управленческой деятельности: Учебн. пос. Ч. 4. – М.: РВСН, 2000. – 351 с.
6. Харченко В.С., Тарасюк О.М. Использование радиальных метрических диаграмм для оценки характеристик программного обеспечения // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. науч. трудов. – Х.: Нац. аэрокосмич. ун-т «ХАИ». – 2003. – Вып. 18. – С. 123 – 133.
7. Применение методов искусственного интеллекта в управлении проектами / Под. ред. А.Ю. Соколова – Х.: Нац. аэрокосмич. ун-т «ХАИ», 2002. – 474 с.
8. Тарасюк О.М., Харченко В.С. Динамические радиальные метрические диаграммы в задачах управления качеством программного обеспечения // Зб. наук. праць. ін-ту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова. – К.: НАНУ, ІПМЕ. – 2003. – Вып. 22. – С. 202 – 205.
9. Харченко Л.Д. Модели динамического рейтингования на основе многофазного представления результатов деятельности // Системы обработки інформації. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вып. 2. – С. 112 – 116.

Поступила 19.01.2005

ХАРЧЕНКО Вячеслав Сергеевич, доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой компьютерных систем и сетей Национального аэрокосмического университета «ХАИ», эксперт Государственного научно-технического центра (ГНТЦ) ядерной и радиационной безопасности (ЯРБ). Область научных исследований – надежность, живучесть и безопасность компьютерных систем для критического применения.

ТАРАСЮК Ольга Михайловна, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры компьютерных систем и сетей Национального аэрокосмического университета «ХАИ». Область научных исследований – методы и средства моделирования и оценки качества и надежности программного обеспечения и сложных организационно-технических систем.

ХАРЧЕНКО Людмила Дмитриевна, научный сотрудник научно-исследовательского отдела Харьковского университета Воздушных Сил. Область научных исследований – информационные технологии в системах управления, оценки качества и эффективности образования.
