

Локализация в машино- и станкостроении: концептуальные и системные принципы методов оценки

А. П. Кузнецов

Проведен методологический анализ существующей системы оценки уровня локализации. Сформулированы предложения по совершенствованию модели системы оценок характеристик и показателей локализации на базе системного подхода.

Ключевые слова:

машиностроение, станкостроение, уровень локализации производства, эффективность, технологическая независимость и безопасность

УДК 621.9 | ВАК 2.5.2

DOI: 10.22184/2499-9407.2022.27.2.38.45

Под методом я разумею достоверные и легкие правила, строго соблюдая которые человек никогда не примет ничего ложного за истинное, и шаг за шагом приумножая знание, придет к истинному познанию всего того, что он будет способен познать.

Р.Декарт

Машиностроение – основа технологической, экономической и оборонной независимости любого государства. Станкоинструментальная промышленность является важнейшей системообразующей и фондообразующей отраслью, состояние которой во многом определяет уровень развития российского машиностроения и всей экономики. Уровень зависимости отечественной промышленности от импорта металлообрабатывающего оборудования давно перешагнул все мыслимые пределы и представляет угрозу государственной безопасности.

Так, например, количество станкостроительных заводов в России составляло: 1870 г. – 8; 1896 г. – 21; 1912–1914 гг. – 40; (удельный вес отечественных станков в промышленности составлял около 25%), 1940 г. – 37 специализированных станкозаводов; 1960 г. – 136; 1980 г. – 398; 1991 г. – 428 предприятий и организаций Минстанкопрома СССР; 2020 г. – 42 станкозавода. Производство металлорежущих станков составляло: в 1913 г. – около 1,7 тыс. шт.; 1932 г. – 4,3 тыс. шт.; 1940 г. – около 60 тыс. шт.; 1960 г. – 150 тыс. шт. (с ЧПУ 16 шт.); 1970 г. – 202 тыс. шт. (с ЧПУ 1,6 тыс. шт.) 1980 г. – 216 тыс. шт. (с ЧПУ 8,9 тыс. шт.); 1990 г. – 157 тыс. шт. (с ЧПУ 25 тыс. шт.); 2010 г. – 2,8 тыс. шт. (с ЧПУ 280 шт.);

2020 г. – 4,7 тыс. шт. (с ЧПУ 713 шт.); 2021 г. – 5,48 тыс. шт. (с ЧПУ 732 шт.).

В период индустриализации в СССР политика «импортозамещения» была чрезвычайно успешной. Если в 1930 году только 34% установленных станков было отечественного производства, то уже в 1937 году этот показатель увеличился до 91%.

Содержание понятий «технологическая независимость» и «технологическая безопасность» подробно рассмотрено в работе [1]. Таким образом, если принять определения понятий технологическая независимость и безопасность как системные, то в таких системах, кроме показателей качества как абсолютных величин, имеющих размерность, очевидно имеются и относительные показатели качества, например эффективность системы и ее относительная пространственная ориентация и принадлежность расположения объектов и элементов системы, как состояния развития их производства. Следовательно, могут быть введены такие относительные показатели как эффективность и локализация размещения производства.

Понятием «элемент» будем определять наименьший и далее неделимый компонент в рамках системы. неделимым

он является лишь по отношению к данной системе, в других же отношениях он сам может быть системой. Бинарные отношения между элементами формируют и определяют свойства. Следовательно, состояние характеризуется устойчивыми отношениями, а изменение отношений влечет за собой изменение состояний. Тогда, структура системы – совокупность элементов системы и связей между ними. Относительно структуры системы элементы делят на внешние и внутренние, а связи и отношения определяются только между элементами и системами.

Процессы описывают поведение системы и изменение ее свойств и состояний при взаимодействии элементов и под воздействиями на саму систему, то есть последовательность изменений состояния и пространственно-временное изменение свойств объекта. Тогда функции системы определяют виды, формы, параметры и характеристики свойств системы, а рассмотрение с позиции системного единства позволит найти объективные методы их описания и оценки значимости свойств как системы, так и показателей ее качества.

Отметим, что, как и физические величины, показатели качества системы имеют размерность или могут быть безразмерными. Количественной характеристикой показателей качества, как и физических величин, является их размер, который нужно отличать от значения – выражения размера в определенных единицах.

Физические величины используются для описания свойств, в совокупности определяющих качество, но понятия «физическая величина» и «показатель качества» не тождественны. Физические величины отражают объективные свойства природы, а показатели качества – общественную потребность в конкретных условиях (например, масса – физическая величина, а масса изделия – показатель его транспортабельности и допустимости нагрузки на объект применения; скорость – физическая величина, а скорость автомобиля – показатель его назначения и т. п.).

Единый подход к оценке *эффективности* процессов, обслуживания и производств, с точки зрения общности методологической оценки, позволяет рассматривать их, как модель, в которой происходит преобразование любых форм и видов энергии, материи и информации. Данный подход позволяет рассматривать понятие «эффективность» как относительный *КПД* совокупности всех видов преобразующих элементов системы [13]. Тогда **эффективность** – это степень использования какого-либо ресурса.

Локализация – состояние и способ организации и функционирования экономики (отраслей), способные удовлетворить и обеспечить общественные потребности в течение заданного периода времени. Тогда целью локализации производства является обеспечение технологической независимости и безопасности, а *уровень локализации определяет вероятность успешного достижения этой цели*.

Очевидно, что в обоих случаях оценок имеем отношение двух множеств элементов системы – множества

N_{P_i} элементов положительной реализации события к общему количеству множества N_{n_i} элементов возможных событий.

$$U_{i_p} = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} N_{P_i}}{\sum_{i=1}^{i=m} N_{n_i}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} N_{P_i}}{\sum_{i=1}^{i=k} N_{P_i} + \sum_{i=k}^{i=m} N_{n_i}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} N_{P_i}}{\sum_{i=1}^{i=k} N_{P_i} + \sum_{i=k}^{i=k+q} N_{n_i}} = \frac{1}{1 + \left(\frac{\sum_{i=k}^{i=k+q} N_{n_i}}{\sum_{i=1}^{i=k} N_{P_i}} \right)}, \quad (1)$$

где $i = m$; $m = k + q$.

Элементы множеств m , k , q (элементы системы) и их значения могут быть функциональными (принимать значения физических или абсолютных величин (например масса, время, скорость...) и относительными (условная единица, штуки, номер, значимость «1» или «0», удельное значение...). Принцип формирования свойств и характеристик множеств(а) и следовательно форма проведения операций над ними:

- Да / Нет;
- выделение набора характеристик одного веса «1» или «0»;
- оценка трудоемкости;
- оценка стоимости;
- присвоение весовых коэффициентов значимости;
- комбинация перечисленных операций.

При этом сами показатели эффективности и уровня локализации являются всегда безразмерной величиной, и, как математический показатель вероятности, всегда стремятся к единице. Поэтому для практических целей применения требуется определить нормированное значение уровней значений эффективности или локализации для обоснования их классов (видов) и их значений, но в любом случае диапазон изменения внутри любого класса будет находиться в диапазоне $[0;1]$. В зависимости от величин и целей нормирование может быть равномерным, например, $[0;0,2; 0,2;0,4; 0,4;0,6...]$, геометрической прогрессией с коэффициентом $\varphi = \sqrt[10]{10}$ (в частности, при $r = 10$ получим ряд диапазонов из десяти членов с $\varphi = 1,26$ $[0;0,126; 0,126;0,159; 0,159;0,2; 0,2;0,252; 0,252;0,318; 0,318;0,40; 0,40; 0,504; 0,504;0,635; 0,636;0,80; 0,80;1,0]$), при необходимости можно объединять диапазоны по два, три и т. д.

Тогда и локализация, рассмотренная с позиции системы, также должна установить элементы ее множеств рассмотрения, в качестве которых можно выбрать элементы, которые определяют ограничения и описывают площади, пространства, время и иные границы геометрических элементов, физических полей или состояний. Следовательно, в зависимости от цели и задач можно выделить следующие виды локализации: глобальная (ограничена, например, площадью Земли или континента), относительная

(ограничена площадью страны, области), абсолютная (ограничена площадью предприятия). Принцип необходимости локализации объекта как системы определяется применимостью и/или потребностью в нем. Виды применимости в разнообразных изделиях, объектах зависят и определяют объемами, количеством и величиной охвата, например, народнохозяйственного применения, широкого применения, общемашиностроительного применения, общестанкостроительного применения и т.п. Следовательно производство таких деталей, изделий экономически и технологически целесообразно осуществлять на соответствующих специализированных предприятиях.

С системной методологической точки зрения показатели эффективности и уровня локализации производства любого вида изделия (объекта деятельности) не должны зависеть от его назначения, вида, формы, объема, состояния, структуры, так как во всех случаях речи идет об организации и способах изменения и взаимосвязанного преобразования (технологии) материала (материи), энергии и информации. Как было отмечено выше, уровень рассмотрения определяется только элементами системы (степенью детализации и структурирования), принятыми ограничениями и допущениями. Иногда для наглядности можно использовать и иную зависимость оценки эффективности и уровня локализации производства любого вида изделия, выраженную абсолютным или относительным значением вероятности успеха, найдя из зависимости (1) значения числителя при заданном уровне U_{i_p} , то есть

$$\sum_{i=1}^{i=k} N_{p_i} = U_{i_p} \cdot \sum_{i=1}^{i=m} N_{n_i} = U_{i_p} \cdot \left(\sum_{i=1}^{i=k} N_{p_i} + \sum_{i=k}^{i=k+q} N_{n_i} \right). \quad (2)$$

В случае, когда значения элементов N выражены физическими величинами, например время, стоимость, то выражение (2) может быть преобразовано к относительным значениям следующим образом:

$$\begin{aligned} a_N \cdot \left(\frac{a_1}{a_N} + \dots + \frac{a_k}{a_N} \right) &= U_{i_p} \cdot a_N \cdot \left(\frac{a_1}{a_N} + \dots + \frac{a_k}{a_N} + \dots + \frac{a_m}{a_N} \right) = \\ &= a_N \cdot (b_1 + \dots + b_k) = U_{i_p} \cdot a_N \cdot (b_1 + \dots + b_k + \dots + b_m), \end{aligned} \quad (3)$$

где a_N – нормируемое значение физической величины и для удобства должно быть не более минимального значения и требует отдельного обоснования; $b_i = a_i / a_N$ – относительная величина значения пропорциональности физической нормированной величины, выражающая в условных единицах (например «балл» или «рейтинг»). Например, если a_i – это себестоимость или стоимость детали, узла, процесса, а нормируемое значение a_N принято как минимальная стоимость оплаты труда, то независимо от объекта одинаковые элементы должны иметь и одинаковые значения b_i . Очевидно, что в таком случае показатель уровня локализации, выраженный как $(b_1 + \dots + b_k)$, не является самостоя-

тельной величиной, а только формой представления значения U_{i_p} .

Присвоение баллов не может быть умозрительным, а определяется конечной или искомой величиной. При переменном числе составляющих должен быть общий принцип назначения, а дальше масштабный фактор определяет значение этой величины.

Например, определение условной единицы или балла или значимости весовых коэффициентов может быть найдено экспертным методом в соответствии с ГОСТ 23554.1-79 «Экспертные методы оценки качества промышленной продукции». Организация и проведение экспертной оценки качества продукции» и ГОСТ 23554.2-81 «Экспертные методы оценки качества промышленной продукции». Обработка значений экспертных оценок качества продукции».

Нормированная величина значений уровней эффективности или локализации в этом случае по форме будет величиной больше единицы, а ее диапазон должен соответствовать диапазону U_{i_p} с коэффициентом пропорциональности, равным $(b_1 + \dots + b_k + \dots + b_m)$. Возможны иные оценки пропорциональности, но их необходимость и достоверность должны быть обоснованы, как качественно, так и количественно, и получена взаимосвязь преобразований в них.

Достоверность определяется тем, что элементы множества должны быть объективной (объективно воспроизводимой), физической, измеряемой, неизменяемой, однозначной, независимой величиной, параметром, характеристикой, свойством.

Применительно к продукции машиностроения для метода оценки уровня локализации рассмотрим системные положения понятий для них. Отличительной чертой является то, что материальное производство как система состоит из двух элементов: предмета, с присущими ему свойствами, и технологии его изготовления, с присущими ей параметрами и характеристиками.

Существующие наиболее разработанные классификации видов технологических процессов [2, 3, 4] производства деталей и изделий приведены в табл. 1, а также дана характеристика их особенностей, принципов и отличий.

Технологические процессы, их наименования, понятия и определения разной степени детализации в зависимости от целей применения в отечественных научных изданиях приведены, например, в ГОСТ 3.1109-82 «ЕСТД. Термины и определения основных понятий», а более детальные и подробные – в «Классификаторе технологических операций машиностроения и приборостроения I 85 151», где рассмотрено 19 групп технологий, для каждой из которых даны соответствующие им выполняемые операции. Таким образом, из всего вышесказанного можно сформировать (табл. 2) для практического применения оценок уровня локализации обобщенный перечень видов технологий, применяемых в производстве машиностроительной продукции. В правой колонке табл. 2 предусмотрена графа для

Таблица 1. Характеристики и принципы классификация технологий и технологических процессов

Классификация	Принцип классификации	Критерии классификации
Национальный исследовательский совет (США)	5 групп физических процессов: <ul style="list-style-type: none"> • изменение массы; • фазовые изменения; • структурные изменения; • деформирования; • объединения 	Физическое изменение
Тодд (R. H. Todd) и др. (США)	6 групп процессов формообразования: <ul style="list-style-type: none"> • уменьшение массы; • тепловое уменьшение массы; • химическое уменьшение массы; • сохранение массы; • объединение, соединение 	Форма: изменяется
	4 группы процессов обработки: <ul style="list-style-type: none"> • упрочнение; • размягчение; • подготовка поверхности; • нанесение покрытий 	не изменяется
Стандарт DIN 8580-2003-09 (Германия)	6 групп процессов (154 технологии или метода) обработки*: <ul style="list-style-type: none"> • первичное формообразование (27 методов); • пластическое формообразование (20 методов); • отделение материала (39 методов); • соединение (31 метод); • нанесение покрытий и финишная обработка (19 методов); • изменение свойств материала (18 методов) 	Формообразование; изменение свойства материалов
Пол ДеГармо (E. Paul DeGarmo) (США)	7 групп процессов (технологий) обработки: <ul style="list-style-type: none"> • литье или прессование; • формоизменение или резка; • обработка (съем материала); • термообработка; • финишная обработка; • сборка; • контроль 	Литье; формоизменение; свойства материала
Эшби (M. F. Ashby) (Великобритания)	4 группы процессов (технологий) обработки: <ul style="list-style-type: none"> • процессы первичного формообразования; • процессы вторичного формообразования; • соединение; • финишная обработка 	Первичные и вторичные процессы
Кузнецов А.П., Кориат Г-И. (Koriath H.-J.) (Россия, Германия)	Структура и физические процессы взаимодействия видов и форм материи, энергии и информации: <ul style="list-style-type: none"> • классы (группы) технологий – 8; • виды возможных технологических процессов (методов) – 142 980 	Изменение размеров, формы, свойств, структуры и состояний материалов

* В последнем издании добавлены группы: вспомогательное производство (5 видов процессов, включающие 7 методов); измерение и моделирование (3 вида процессов, включающие 3 метода); производство / планирование процесса.

присвоения или значимости (количество баллов), веса технологии (число) или его наличие / отсутствие («1» / «0»), что определяется принятым методом оценки этого уровня и должно быть обосновано и соотноситься с представленной методологией.

Технологические операции, как виды методов и способа обработки, формируют организационно-производственные цепочки предприятия и при его проектировании обуславливают содержание технологической части проекта завода (цеха) [6], а также являются основой для выполнения других частей проекта: электротехнической, сантехнической, архитектурно-строительной и т. д., то есть определяют возможность производства машины или ее частей.

Представим машину [9, 14], производимую предприятием как систему, структура которой описывается элементами множества N_n , совокупность которых обеспечивает выполнение машиной основного назначения, достижение функциональных технических параметров и характеристик. Такие элементы будем называть критически важными или значимыми, без производства которых не будет обеспечено основное свойство машины. Эти элементы должны быть инвариантны и определяться общими для машин конструктивно-технологическими характеристиками исходя из приведенных видов классификации машин.

Следовательно, принцип выделения множеств элементов и количество уровней, их соподчиненность должны базироваться на следующей последовательности [9, 14]:

- функциональность;
- структурность;
- физическая неделимость или достаточность.

Например, можно принять во внимание появившийся в последние годы метод FMA [5]. Тогда можно выделить признаки таких элементов множеств, обеспечивающие выполнение главной функции (назначения) и формирование следующих групп (классов):

Таблица 2. Виды технологических процессов производства элементов машин

Код или № п. п.	Вид технологического процесса по методу выполнения	Значение, у. е.
1	Операции общего назначения	
2	Литье металлов, сплавов, материалов	
3	Формообразование из полимерных, керамических и иных не металлических материалов	
4	Порошковая металлургия	
5	Сварка	
6	Обработка давлением	
7	Аддитивные и гибридные процессы обработки	
8	Обработка резанием	
9	Электрофизическая, электрохимическая обработка	
10	Фотохимикофизическая обработка	
11	Термообработка	
12	Получение металлических и неметаллических неорганических покрытий	
13	Получение лакокрасочных органических покрытий	
14	Электромонтажный	
15	Сборка	
16	Испытания и технический контроль	

Двигатели (преобразуют любой вид энергии в механическую):

- преобразующие;
- передающие;
- информационные;
- управляющие;
- функциональные;
- функционально-дополняющие;
- вспомогательные и обеспечивающие.

Элемент каждой группы состоит из элементов множеств:

- детали (элемент конструкции, не имеющий в своем составе внутренних связей, то есть состоящий из одного твердого тела): базовые, корпусные, оригинальные, функциональные, специальные, присоединительные, стандартные, нормализованные (унифицированные);
- сборочные изделия, узлы, механизмы, устройства (несколько деталей, связанных между собой функционально, конструктивно или каким-либо другим образом), которые по способам преобразования энергии и информации могут быть механическими, электромеханическими, мехатронными, адаптронными.

Каждый из элементов этих двух групп множеств также может рассматриваться как система, состоящая из элементов, формирование которых определяется необходимой разумностью и допустимой степенью детализации. Наименование элементов зависит от устоявшихся и принятых понятий,

терминов и определений в соответствующей области применения рассматриваемых изделий, объектов машиностроения.

В предельном случае и только для одного из методов оценки уровня локализации может быть использована в качестве базы информация, преобразованная из КД, например из Ведомостей спецификаций. Однако это потребует создания специализированной системы и дополнительных сведений и данных.

В табл. 3 для ряда отраслей машиностроения приведено обобщение методов оценки уровня локализации, отраженных в документах [7, 8] по состоянию на 1 января 2022 года, а также в постановлении Правительства РФ от 1 апреля 2022 года № 533, в котором п. 3 содержит условия применения и особенности для ряда отраслей промышленности.

Отметим, что величина балла за технологическую операцию (и ее определение) варьируется в широких пределах, как и принцип определения результирующего значения в баллах для разных изделий машиностроения. Переход к большей дифференциации оценок привел к отходу, как видится, от понимания оценки в долевым или процентном исчислении, как это определялось в 2015 году.

Например, для станкостроения сначала рассматривался показатель локализации в соответствии с приведенной зависимостью (1). Количество принимаемых в рассмотрение элементов составляло 42. В работах [10–12] рассмотрены вопросы применения, особенности, принципы формирования элементов множеств, предложено понятие «критически

Таблица 3. Методы оценки уровня локализации

Наименование продукции по постановлению Правительства № 719	Методология определения локализации в настоящее время	Диапазон значений величины показателя локализации в настоящее время, баллы	Метод оценки показателя локализации до 2022 г.	Диапазон значений показателя до 2022 г.
Станкоинструментальная	Балльная по технологическим операциям элементов	30÷110	Удельный, % техноопераций, кол-во (4)	0÷1
Автомобилестроения	Балльная по технологическим операциям, или обработке, или изготовлению элементов	1200÷4500	Удельный, % техноопераций, кол-во (11)	0÷1
Специального машиностроения	Балльная и / или по технологическим операциям (от 6 до 17), по изготовлению элементов	1–16 (поэлементно)	Удельный, % техноопераций, кол-во (7–15)	0÷1
Энергетического машиностроения	Цена технологических операций	0÷100% от цены технологических операций	Удельный, % техноопераций, кол-во (3–9), или комплектующих, или стоимости	0÷1
Тяжелого машиностроения	Цена элементов изготовления изделия	0÷100% отношение цены импорта к цене всего изделия	Удельный, % стоимости, техноопераций, кол-во (5–9)	0÷1

значимые элементы». Также в этих работах приведено обоснование эффективности локализации применительно к металлорежущим станкам, расширены границы и количество показателей локализации для более полного и всестороннего анализа, что помогло бы решать задачи выбора решений.

В методе оценки уровня локализации металлорежущих станков, действующей в настоящее время, количество элементов множества принято равным 33, а общее количество присвоенных баллов по всем элементам равно 349. В табл. 4 в качестве примера дан фрагмент обобщения данных на основании приложения I к постановлению Правительства № 533 от 1 апреля 2022 года. Приведем несколько позиций с указанием значений, рекомендуемых баллов для элементов структуры станка.

При этом, необходимое количество баллов для признания продукции, произведенной на территории РФ для разных видов станков, принимает значение от 40 (резьбошлифовальные, радиально-сверлильные), до 100 (горизонтальные 5-осевые обрабатывающие центры), а до 110 (плоскошлифовальные с прямоугольным или круглым столом универсальные, с УЦИ, с ЧПУ) с ростом 10% каждые два года начиная с 2021 года. Не вдаваясь в подробности, даже беглая оценка говорит о наличии какого-то системного сбоя в таком обосновании и принятии указанных величин. Например, отсутствует само понятие объекта – станка.

Кроме этого, очевидны некоторые упущения, например, одинаковый балл присвоен направляющим и качения, и скольжения не исходя из сложности и трудоемкости, а мотор-шпиндель и механический также имеют практически равные баллы. Отметим также, что в каждой группе элементов должны быть определены критически значимые детали и узлы, обуславливающие и определяющие реализацию

главной функции и главного назначения станка – получение детали с заданной производительностью, требуемых размеров и формы. Представляется более правильным, что КД и ТД должно быть одно на станок и нет смысла в них для каждого элемента, так как наличие КД еще не значит качественный и конкурентоспособный станок, а ТД не значит технологичность производства.

В качестве самостоятельных элементов отсутствуют:

- поворотные и поворотнo-делительные узлы;
- приводы линейных перемещений следующих видов:
 - рейка-шестерня,
 - винт-гайка скольжения,
 - винт-гайка качения,
 - линейные электромагнитные,
 - гидропривод,
 - пневмопривод,
 - интеллектуальный привод;
- направляющие:
 - линейные, круговые (как неотъемлемая часть базовой или корпусной детали);
 - накладные – скольжения;
 - качения;
 - гидростатические (динамические);
 - аэростатические (динамические);
- базовая деталь типа Vox-in-Vox;
- системы информационные (аналоговые и цифровые) и управления:
 - кулачковые,
 - копии,
 - аналоговые,
 - цифровые,
 - числовые и ряд других.

Таблица 4. Составляющие исходных данных оценки уровня локализации металлорежущих станков

Наименование	Кол-во пунктов	КД	ТД	Заготовительное производство (Собственное / РФ)	Технолог. Операции (мехо-работка + термообработка) (Собственная / РФ)	Сборка + испытания	Баллы всего
Станок	–	–		–	–	Нет	–
1. Основные корпусные детали:							
1.1. Станины, основания, рамы	4	1	1	3 / 3	5 / 3		10 / 8
1.2. Колонны, стойки	4	1	1	2 / 2	5 / 3		9 / 7
1.12. Мотор-шпиндель	7	1	1	1 / 1	3 / 2	5 + 5 + 3	19 / 18
1.14. Узел механического шпинделя	6	1	1	0 / 0	3 + 3 / 0	5 + 5	18 / 0
1.32. Направляющие качения, скольжения или комбинированного типа	6	1	1		10 + 10 + 2 / 5 + 5 + 1	2	24 / 15
2.2. Пневмосистемы	5	1	1		2	2 + 2	8
2.3. Элементы измерительных систем	2	1	1			2 + 1	3
ИТОГО по станку	177	33	33	25		86	349

Для удобства и наглядности представления исходных данных для оценок показателей и уровня локализации целесообразно было бы исходные материалы представлять в единой форме и формате, например, как это приведено в табл. 5.

Иными словами, если принять изложенные системные принципы, то целесообразно обосновать формирование элементов множеств, учитывая организацию производства, серийность, точность и иные особенности или в виде обоснованных коэффициентов увеличения / снижения величин значений элементов множеств, или конечного результата уровня локализации.

Это обусловлено и определяется на основании анализа свойств выражений (1), (2), (3) и степени детализации входящих в него параметров. Запишем (1) и (3) в следующем виде:

$$U_{lp}^B = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} N_{p_i}}{\sum_{i=1}^{i=m} N_{n_i}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} N_{p_i}}{\sum_{i=1}^{i=k} N_{p_i} + \sum_{i=k}^{i=m} N_{n_i}} = \frac{N_R}{N_R + N_F} = \frac{N_R}{N} \quad (4)$$

$$a_N \cdot (b_1 + \dots + b_k) = a_N \cdot (1 + B_1 + \dots + 1 + B_k) = a_N \cdot (N_R + B_1 + \dots + B_k) = a_N \cdot (N_R + B_R)$$

$$a_N \cdot (b_k + \dots + b_m) = a_N \cdot (N_F + B_F) \quad (5)$$

Тогда выражение (3) будет:

$$U_{lp}^B = \frac{N_R + B_R}{N_R + B_R + N_F + B_F} = \frac{N_R + B_R}{N + B_R + B_F} \quad (6)$$

Необходимо отметить, что $\lim_{B_R \rightarrow \infty} U_{lp}^B = 1$ и при определен-

ных условиях не зависит от количества элементов множества деталей и узлов изделия. Иными словами, это еще раз подтверждает необходимость соблюдения системных принципов оценок для обеспечения объективности и достоверности результата, а следовательно, и решения других, объективно связанных и обусловленных методов управления.

Найдем отношение $K_{lp}^B = \frac{U_{lp}^B}{U_{lp}^B}$ и разность $\tilde{K}_{lp}^B = U_{lp}^B - U_{lp}^B$ выражений (4) и (6):

$$K_{lp}^B = \frac{U_{lp}^B}{U_{lp}^B} = 1 - \frac{\left[1 - \left(\frac{N}{N_R} - 1 \right) \cdot \frac{B_R}{B_F} \right]}{1 + \frac{N}{B_F} + \frac{B_R}{B_F}} \quad (7)$$

$$\tilde{K}_{lp}^B = U_{lp}^B - U_{lp}^B = \frac{\left(1 - \frac{N_R}{N} \right) - \frac{N_R}{N} \cdot \frac{B_F}{B_R}}{1 + \frac{N}{B_R} + \frac{B_F}{B_R}} = \frac{1 - \frac{N_R}{N} \left(1 + \frac{B_F}{B_R} \right)}{1 + \frac{N}{B_R} + \frac{B_F}{B_R}} \quad (8)$$

Не вдаваясь в подробности всего объема анализа (7)–(8), отметим, что оценка уровня локализации по выражению (3) и (6) в K_{lp}^B раз больше значения уровня локализации по методу выражения (1) и (4), а при $B_F = 0$ и $B_R = 0$ имеем $K_{lp}^B = 1$ и $\tilde{K}_{lp}^B = 0$, следовательно значение оценок уровня локализации одинаково. Например:

Таблица 5. Форма представления исходных данных для оценки уровня локализации

Номер п/п	Наименование эл-тов (множества и подмножеств)	РФ	РФ + импорт. детали	Импорт	Св-ва множества, КД, ТД, патент	Хар-ки процесса, технологии или операций	Всего	Коэф. сложности	Коэф. патенто-и науко-емкости	Коэф. массы / размера	Коэф. точности	Коэф. серийности	Трудоемкость
1					1 0 1	1 1 0 k	5						
2													
n													
Всего													
Итого					n x m	n x k							

при $N = 100, N_R = 30, N_F = 70, B_R = 80, B_F = 240$ имеем:
 $U_{i_p}^B = 0,3; U_{i_p}^B = 0,262;$

$$K_{i_p}^B = \frac{U_{i_p}^B}{U_{i_p}^B} = 1 - \left[\frac{1 - \left(\frac{100}{30} - 1 \right) \cdot \frac{80}{240}}{1 + \frac{100}{30} + \frac{80}{240}} \right] = 0,87;$$

$$\tilde{K}_{i_p}^B = U_{i_p}^B - U_{i_p}^B = \frac{1 - \frac{30}{100} \left(1 + \frac{240}{80} \right)}{1 + \frac{100}{80} + \frac{240}{80}} = -\frac{0,2}{5,25} = -0,038.$$

Очевидно, что для обоснования метода или совокупности методов оценок, обоснования выбора или назначения множества элементов структуры изделия, применения обоснованных ограничений, определения значений рассматриваемых величин значимости элементов множеств, обоснования их критичности, а также создания обоснованной системы управления процессом локализации и производством потребуются проведение более глубокого и всестороннего анализа выражений (1)–(8), как модели системы оценок характера и показателей локализации. Такой системный подход позволит разработать единые, достоверные и обоснованные принципы оценок целесообразного обеспечения и направлений достижения технологической независимости и безопасности для различных изделий машиностроения, технологических и металлообрабатывающих систем, машин и комплексов.

Литература

- Кузнецов А. П. Основные задачи формирования импорто-независимой станкоинструментальной отрасли в России // СТАНКОИНСТРУМЕНТ. 2016. № 2. С. 16–25.
- Kuznetsov A. P., Koriath H.-J. A new systematic approach to the description of processes and their classification. Procedia CIRP 14th Global Conference on Sustainable Manufacturing. Published by Elsevier B.V. 2017. V. 8. PP. 199–206.
- Kuznetsov A. P., Koriath H.-J. Development of a Classification and Generation Approach For Innovative Technologies. Procedia CIRP 15th Global Conference on Sustainable Manufacturing. Published by Elsevier B.V. 2018. V. 21. PP. 798–805.
- Крайнев А. Ф. Словарь-справочник по механизмам. М.: Машиностроение, 1981.
- Zhang G. B., Lou J. Y., Peng L. Fault diagnosis study of complex mechanism based on FMA function decomposition model. Procedia CIRP. 2015. V. 27. PP. 176–180.
- ОНТП 14–93. Нормы технологического проектирования предприятий машиностроения и приборостроения. М.: АО «Гипростанок», 1993. С. 270.
- <http://ivo.garant.ru/#/document/71139412/paragraph/1363:0>
- http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_183175/
- Кузнецов А. П. Структуры процессов и оборудования обработки резанием. Ч. 4. Структуры оборудования обработки резанием // Вестник Машиностроения. 2015. № 5. С. 63–77.
- Кузнецов А. П. Локализация в Российском станкостроении – фактор достижения технологической независимости. Методологические аспекты // СТАНКОИНСТРУМЕНТ. 2016. № 3. С. 41–54.
- Кузнецов А. П. От состояния локализации к развитию станкостроения // СТАНКОИНСТРУМЕНТ. 2018. № 4. С. 1–12.
- Кузнецов А. П. Эффективность локализации в станкостроении // СТАНКОИНСТРУМЕНТ. 2019. № 3. С. 46–54.
- Putz M., Koriath H.-J., Kuznetsov A. P. Resource consumption classes of machine tools. Special Issue | HSM 2019 15th International Conference on High Speed Machining October 8–9, 2019, Prague, Czech Republic. MM Science Journal. PP. 3301–3309.
- Yto Y. Modular design for machine tools. McGrawHill, 2008. 504 p.

Автор

Александр Павлович Кузнецов –

доктор технических наук, профессор кафедры станков МГТУ «СТАНКИН»