

## ПРИМЕНЕНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ МЕТРИК ДЛЯ АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Д.Д. Куликов, Е.И. Яблочников

Предлагается методика оценки уровня автоматизации технологической подготовки производства с использованием «пространства автоматизации». Предложен комплекс метрик, включающий объемный коэффициент автоматизации, полный коэффициент автоматизации и коэффициент готовности. Приведены типы проектов и их оценка с помощью предложенных метрик.

**Ключевые слова:** технологическая подготовка производства, уровень автоматизации, метрики для оценки уровня автоматизации.

### Введение

Развитие информационных и производственных технологий требует постоянного совершенствования системы технологической подготовки производства (ТПП), что должно осуществляться одновременно с выполнением целевых функций ТПП. Таким образом, разработка стратегии развития ТПП является важнейшей задачей руководства промышленного предприятия. Совершенствование ТПП обычно осуществляется на основе методологии реинжиниринга [1]. Начальный этап реинжиниринга – это моделирование и создание функциональной, информационной и организационной моделей. На основе моделей оценивается существующий уровень автоматизации, определяются объекты автоматизации и перспективы совершенствования ТПП. Однако отсутствие интегральных критериев, определяющих уровень автоматизации, препятствует объективной оценке состояния дел и перспектив развития, что может привести к недопустимо большим затратам на автоматизацию ТПП и увеличению стоимости выпускаемых изделий.

Определение планов развития ТПП осложнено большим разнообразием структурных вариантов, которые можно реализовать при построении системы автоматизированной технологической подготовки производства (АСТПП). В связи с этим необходимо определить критерии (метрики), на основе которых целесообразно выполнять хотя бы приближенную оценку возможных вариантов автоматизации ТПП, выделять опасные риски и в процессе итераций последовательно их пересматривать и минимизировать в соответствии с идеологией разработки программной системы на основе унифицированного процесса [2].

### Оценочные метрики для анализа ТПП

В настоящее время существует достаточно много метрик, оценивающих программные продукты с различных точек зрения. Однако все они являются узкоспециализированными и не могут быть использованы для указанных выше целей. Наиболее общими являются метрики Лоренца–Кидда. Например, метрика NSUB (Number of SUBsystem) – количество подсистем, метрика NKC (Number of Key Classes) – количество ключевых классов, метрика NSS (Number of Scenario Scripts) – количество описаний сценариев. Эти метрики малопригодны для оценки проектов создания автоматизированных подсистем ТПП. На взгляд авторов, необходимо иметь метрики, позволяющие всесторонне оценивать проект какой либо системы, например, количество автоматизируемых задач, объемы видов обеспечения, сложность разработки этапов проекта и т.д.

На основе проведенных исследований в работе предлагается методика, которая может быть использована для такой оценки проектов. В основу этой методики положено понятие «пространство автоматизации», которое образовано путем рассмотрения ТПП в трех направлениях:

1. этапы разработки проекта;
2. виды обеспечения этапов разработки;
3. подсистемы и задачи ТПП.

Если каждое направление представить в виде ортогональной оси в трехмерной системе координат, то получим пространство автоматизации (ПА), охватывающее все элементы автоматизации (рис. 1).

Обозначим оси ПА.

Ось  $D$  – этапы проектирования (**D**esign stages):  $d_1$  – предпроектный анализ;  $d_2$  – разработка ТЗ;  $d_3$  – разработка технического проекта;  $d_4$  – разработка рабочего проекта;  $d_5$  – опытно-промышленное внедрение;  $d_6$  – эксплуатация подсистемы ТПП.

Ось  $K$  – виды обеспечения (**K**inds of maintenance):  $k_1$  – методическое;  $k_2$  – информационное;  $k_3$  – лингвистическое;  $k_4$  – программное;  $k_5$  – техническое;  $k_6$  – организационное;  $k_7$  – правовое.

Ось  $S$  – подсистемы (задачи) подготовок производства (**S**ubsystems of preparation of manufacture). Если при обозначении оси  $S$  необходимо отличать подсистемы от задач, то будем считать, что  $S^s$  – обозначение оси для подсистем, а  $S^t$  – для задач.

Каждый элемент ПА имеет 3 координаты, и, следовательно, можно его обозначить следующим образом:  $E(d_i, s_j, k_z)$  или  $E_{i,j,z}$ . Например,  $E(d_1, s_1, k_1)$  или  $E_{1,1,1}$  означает методическое обеспечение предпроектного анализа ТПП для задачи обеспечения технологичности конструкции изделия. Элемент  $E(d_i, s_j, k_z)$  считается пустым, если отсутствует вид обеспечения, который должен быть закреплен за этим элементом.

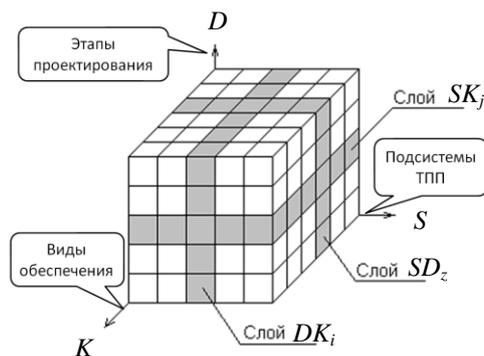


Рис. 1. Пространство автоматизации ТПП

ПА будем рассматривать как множество ПА его элементов мощностью  $n = |\text{ПА}|$ , которое характеризует объем пространства автоматизации.

В ПА целесообразно рассматривать лишь вектора, направленные вдоль осей координат. Каждый вектор может быть обозначен следующим образом:  $\mathbf{V}(E_n, E_k)$ , где  $E_n$  – начальная координата, а  $E_k$  – конечная координата вектора.

Аналогичным образом можно выделить для рассмотрения отдельные слои куба. Слои всегда считаются параллельными одной из координатных плоскостей, поэтому для их обозначения можно использовать лишь одну координату, показывающую, насколько отстоит слой от соответствующей координатной плоскости. Общее обозначение слоя –  $S(x)$ , где  $x$  – координата слоя. Для типовых слоев примем следующие обозначения:

- $SK(d_j)$  или  $SK_j$ , где  $d_j$  – координата слоя по оси  $D$ ;
- $SD(k_z)$  или  $SD_z$ , где  $k_z$  – координата слоя по оси  $K$ ;
- $DK(s_i)$  или  $DK_i$ , где  $s_i$  – координата слоя по оси  $S$ .

Например,  $SK(d_1)$  – слой, охватывающий предпроектный анализ для всех видов обеспечения и всех задач ТПП. Обозначение  $SD(k_1)$  означает слой, в который входит методическое обеспечение всех этапов проекта для всех задач ТПП, а  $DK(s_5)$  – слой для подсистемы проектирования технологических процессов. Слой охватывает все виды обеспечения этой подсистемы и все этапы ее разработки и внедрения. Тогда для соединения множества слоев можно использовать обозначение  $S = S_1 \cup \dots \cup S_n$ , означающее, что слой  $S$  составлен из слоев  $S_1, \dots, S_n$ . Таким образом, имеет место трехмерное пространство автоматизации, манипулируя которым, можно оценивать существующий уровень автоматизации ТПП и планировать стратегию создания и функционирования АСТПП.

Существующее состояние автоматизации ТПП характеризуется заполнением эксплуатационного слоя  $SK_6$ . Каждая  $j$ -ая подсистема, находящаяся в эксплуатации, характеризуется вектором  $\mathbf{V}(E_{6,j,1}, E_{6,j,7})$  в этом слое.

Для характеристики уровня автоматизации может быть предложен объемный коэффициент автоматизации  $K_a$ :

$$K_a = (n_f / n_s) \cdot 100\%,$$

где  $n_f$  – количество функционирующих автоматизированных подсистем (задач) ТПП;  $n_s$  – общее количество подсистем (задач) ТПП. В соответствии с [3; табл. 4 приложения 2]  $K_a < 25\%$  соответствует низкому,  $K_a$  от 25% до 50% – среднему, а  $K_a > 50\%$  – высокому уровню автоматизации ТПП [3].

Практика показывает, что в ТПП могут существовать автоматизированные подсистемы (задачи), находящиеся на различных стадиях проектирования и внедрения. На взгляд авторов, их также необходимо учесть при определении коэффициента автоматизации. По этой причине более точным является полный коэффициент автоматизации  $K_{pa}$ , определяемый исходя из всего пространства автоматизации:

$$K_{pa} = (n_z / n) \cdot 100\%,$$

где  $n_z$  – количество непустых элементов пространства автоматизации.

Анализ указанных коэффициентов показывает, что они могут сильно отличаться по величине. Например, если в ТПП конкретного предприятия нет автоматизированных задач, но в то же время спроектировано и готово к запуску в эксплуатацию большое количество автоматизированных подсистем ТПП, то  $K_a = 0\%$ , а  $K_{pa}$  может достигать 60–70%. Для согласования указанных коэффициентов введем коэффициент готовности  $G_a$ :

$$G_a = (n_p / n) \cdot 100\%,$$

где  $n_p$  – количество элементов ПА, входящих как компоненты автоматизированных подсистем (задач) ТПП, которые еще разрабатываются и не эксплуатируются.

Коэффициент  $G_a$  дает возможность оценить ближайшие перспективы автоматизации ТПП конкретного предприятия. Если отдельные этапы проекта или виды обеспечения имеют различную важность, то для элементов ПА можно назначать различные веса, которые учитываются при их суммировании.

### Применение метрик для оценки проектов по автоматизации ТПП

Рассмотрим способы использования пространства автоматизации. Можно выделить различные типы проектов при проведении работ по автоматизации ТПП, в том числе:

1. автоматизация решения отдельной задачи;
2. автоматизация группы задач для определенного этапа ТПП;
3. комплексная автоматизация ТПП.

Проект первого типа выполняется для автоматизации задачи, которая рассматривается как «узкое место» в технологической подготовке производства. В качестве примера можно привести разработку управляющих программ для изготовления сложных деталей на многокоординатном станке. В этом случае выполняется выбор САМ-системы, в наибольшей степени отвечающей специфике предприятия и изделиям, которые оно выпускает. В пространстве автоматизации этому типу проекта соответствует слой  $DK(s_i)$  или  $DK_i$ , где  $s_i$  – задача, подлежащая автоматизации. Проекция этого слоя на плоскости  $DS$  и  $SK$  показаны на рис. 2.

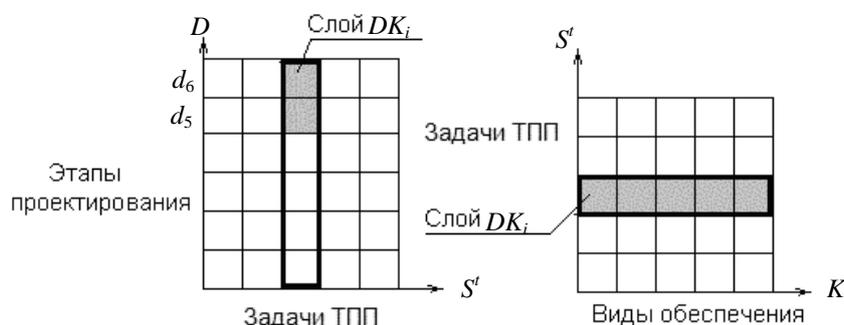


Рис. 2. Пространство автоматизация для проекта 1 типа

Как видно из рисунка, после приобретения готовой системы выполняется лишь внедрение ( $d_5$ ) с последующей эксплуатацией системы ( $d_6$ ). Такие проекты имеют относительно невысокую стоимость и могут выполняться для малых и средних предприятий. Однако в этом случае поддерживается традиция островной автоматизации ТПП со всеми присущими такому подходу недостатками, что в будущем может потребовать дополнительных усилий по информационной стыковке с другими задачами и подсистемами ТПП. Для таких проектов характерно относительно небольшое изменение коэффициентов  $K_a$  и  $K_{pa}$ .

Проекты второго типа предназначены для автоматизации подсистемы ТПП или комплекса задач, связанных с определенным этапом подготовки производства. В данном случае создается несколько автоматизированных рабочих мест, на которых решается комплекс взаимосвязанных задач. Характерный пример – САПР технологических процессов, включая расчеты режимов резания и норм времени, интегрированная с системой проектирования управляющих программ. В этом случае автоматизированные рабочие места руководителей и специалистов объединены вычислительной сетью. Согласованная параллельная работа позволяет обеспечить необходимое качество проектирования технологических процессов.

Такие проекты требуют тщательного предварительного анализа состава задач, их перераспределения по рабочим местам; после освоения и внедрения автоматизированная система возьмет на себя многие рутинные работы и приведет к изменениям организационной структуры. В связи с этим очень важен предпроектный анализ и анализ нормативно-справочной информации. Весьма трудоемким является процесс заполнения баз данных и знаний. Дополнительные затраты требует подготовка персонала и отработка методики коллективной работы над проектом.

В пространстве автоматизации этому типу проекта соответствует соединение слоев:

$$S = DK_1 \cup \dots \cup DK_j \cup \dots \cup DK_k,$$

где  $j$  – номера задач, которые автоматизируются в проекте. Проекция этого слоя на плоскость  $DS$  показана на рис. 3.

Проекты третьего типа направлены на комплексную автоматизацию ТПП. В компьютерную сеть объединяются задачи всех этапов ТПП, управление которыми выполняется с помощью PDM-системы.

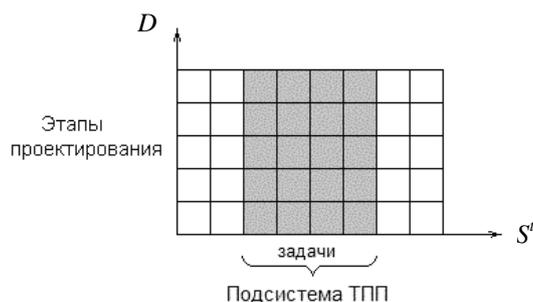


Рис. 3. Пространство автоматизация при проектировании подсистемы ТПП

Реализация третьего типа проекта требует весьма большого объема работ, при этом пространство автоматизации последовательно заполняется. Следовательно, этот тип проекта характеризуется весьма большими значениями вышеуказанных коэффициентов автоматизации. Так как требуются весьма значительные инвестиции в такие проекты, необходимо весьма серьезное обоснование экономической эффективности с планированием динамики изменения коэффициентов автоматизации.

### Заключение

Описанная методика апробирована авторами при разработке и внедрении автоматизированных подсистем технологической подготовки производства. На основании этого предложены дальнейшие направления ее развития. Так как процесс автоматизации ТПП разворачивается во времени, то, сопоставляя по годам коэффициенты  $K_a$ ,  $K_{pa}$  и  $G_a$  можно отслеживать текущее положение дел, динамику автоматизации и планировать стратегию дальнейшего развития ТПП. Однако многообразие вариантов совершенствования ТПП требует весьма трудоемкого анализа для выявления наиболее эффективных вариантов и определения допустимых рисков. Для системы автоматизированной технологической подготовки производства характерно наличие сильных информационных связей между подсистемами, поэтому даже при локальной автоматизации какой-либо задачи ТПП требуется проведение трассировки возможных изменений в задачах, связанных с заданной. Проведение трассировки может показать необходимость в более масштабных затратах, чем планировалось. В связи с этим дальнейшее развитие подхода к оценке уровня автоматизации ТПП авторы связывают с предложенной М.А. Курочкиным и Ю.М. Мадорской методикой формирования оценки изменений при эволюционном сопровождении автоматизированных систем управления предприятиями [4]. Методика предполагает коллективную работу проектировщиков над вновь возникающими требованиями и наличие функции трассировки этих требований.

### Литература

1. Зильбербург Л.И., Молочник В.И., Яблочников Е.И. Реинжиниринг и автоматизация технологической подготовки производства в машиностроении. – СПб: Политехника, 2004. – 152 с.
2. Буч Г., Рамбо Д., Джекобсон А. Язык UML. Руководство пользователя: Пер. с англ. – М.: ДМК, 2000. – 432 с.
3. ГОСТ 23501.108-85. Системы автоматизированного проектирования. Классификация и обозначения. – Введ. 01.01.1986. – М.: Госстандарт, 1986. – 15 с.
4. Курочкин М.А., Мадорская Ю.М. Проблема формирования оценки сложности изменений программного обеспечения при эволюционном сопровождении АСУП // Высокие интеллектуальные технологии и инновации в образовании и науке. XV Международная научно-методическая конференция. – СПб, 2008. – С. 90–92.

**Куликов Дмитрий Дмитриевич** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, ddkulikov@rambler.ru

**Яблочников Евгений Иванович** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой, eugeny@bee-pitron.spb.su