

УДК 658.512

¹И. А. Горобец, канд. техн. наук, проф. ¹Н. В. Голубов, ст. преподаватель,
²М. Е. Толпекина, ст. преподаватель
ГОУ ВПО Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ДНР
ГОУ ВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР, г. Донецк, ДНР
E-mail: gorobets.ascon@gmail.com

ВЫБОР СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Рассмотрена актуальность использования САПР-ТП в технической подготовке производства. Разработаны критерии выбора рациональной САПР. Предложена методика выбора рациональной САПР-ТП для промышленных предприятий. Указаны мероприятия при внедрении САПР/PDM/PLM. Приведен перечень изменений бизнес-процедур инженерного подразделения.

Ключевые слова: диджитализация, производство, критерии, методика, выбор, алгоритм, граф

I. A. Gorobets, M. V. Goloobov, M. E. Tolpekina

SELECTION OF THE SYSTEM OF AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL PREPARATION OF MACHINE-BUILDING PRODUCTION

The relevance of using CAD-TP in the technical preparation of production is considered. Criteria for the selection of a rational CAD system are developed. A method of selecting a rational CAD-TP for industrial enterprises is offered. The measures for the implementation of CAPP / PDM / PLM are indicated. A list of changes in business procedures engineering unit is given.

Keywords: digitalization, production, criteria, method, selection, algorithm, graph

1. Постановка проблемы

Особенностью машиностроительного производства является длительный цикл технической подготовки производства (ТПП), составляющей 60-90% от общего цикла.

Для уменьшения затрат времени на техническую подготовку производства в середине XX века стартовали проекты создания автоматизированных системы технологической подготовки производства (АСТПП). Однако та вычислительная база, на которой строились АСТПП до начала 90-х годов, не позволяла обеспечить необходимую эффективность и реальную комплексность процессов автоматизации машиностроительных производств. В тех условиях развития компьютерной техники и технологий были выработаны базовые принципы построения АСТПП, выразившиеся в концепции CALS (Continuous Acquisition and Lifecycle Support), родившейся в США в конце XX века [1]. Однако, и в настоящее время, вопросы построения АСТПП в современных динамичных условиях существования бизнеса, с учетом глобализации промышленного производства, использующего различные формы кооперации, является актуальным.

2. Анализ состояния проблемы

Реализация CALS предполагает обмен технической информацией между службами предприятий, поставщиками и субподрядчиками в цифровом формате на всем протяжении жизненного цикла изделий (в последнее время эта идея имеет название «диджитализация производства»). Таким образом, назначением CALS-технологий является обеспечение представления необходимой электронной информации в нужное время, в нужном виде, в конкретном месте любому пользователю на всех этапах жизненного цикла изделия. Концепция «диджитализации»

производства в настоящее время распространилась повсюду и стала мировым бизнес-стандартом предприятий. Основные элементы такой технологии связаны с использованием распределенной информации и совместной работой в условиях существенно более тесного сотрудничества. В совместной работе могут участвовать как люди, работающие в разных подразделениях одной организации, так и сотрудники разных организаций, которые нуждаются в совместной работе и использовании распределенной в разных базах данных информации о предшествующих фазах жизненного цикла изделий. Во всех случаях эти люди могут завязывать отношения в рамках так называемых виртуальных предприятий.

Ключевой идеей концепции является «многократное использование заинтересованными пользователями цифровой информации, предварительно созданной в системе». Это означает, что техническая и деловая информация должна собираться из баз данных множества организаций - поставщиков, подрядчиков, субподрядчиков. Любое лицо, уполномоченное на это, может получить и использовать необходимую ему информацию, объем которой возрастает по мере продвижения к концу жизненного цикла изделия. Существенную часть информации, хранящейся в базах данных, составляют данные о промышленной продукции. Обычно эта информация формируется и управляется на основе процесса, называемого управлением данными о продукции (PDM) и включает данные, относящиеся ко всем этапам жизненного цикла изделий - разработке, прототипу, производству, техническому обслуживанию и утилизации. Эта информация обновляется по мере необходимости.

Рассматривая производственную сферу деятельности машиностроительного предприятия, с характерным существенным циклом ТПП (от 60 до 90%) актуальным является снижение затрат на ТПП. Инструментами реализации этой задачи являются CAD/CAPP/CAM/CAE системы.

Одним из существенных и мало автоматизированных этапов в большинстве машиностроительных предприятий является технологическая подготовка производства, включающая в себя: 1) подготовку обширной технологической документации (маршрутных, операционных карт, карт эскизов, технологического процесса, массу ведомостей и спецификаций, согласно ГОСТ 3.1102-2011 «Единая система технологической документации. Стадии разработки и виды документов», МН, СТП и пр.); 2) управляющих программ станков с ЧПУ, обрабатывающих центров и промышленных 3-D принтеров. Первую задачу реализуют САПР технологических процессов (САПР-ТП), получившие аббревиатуру CAPP (Computer-Aided Process Planning). Вторую задачу реализуют САМ системы (Computer-Aided Manufacturing). Выпадение или существенное замедление выполнения технологического этапа ТПП препятствует сквозному течению потока цифровой информации и не позволяет существовать цифровой модели производства [2].

Таким образом, автоматизация технологической подготовки производства машиностроительных предприятий является актуальной современной задачей создания цифрового производства и «диджитализации» экономики.

3. Цель работы

Целью работы является формирования критериев и методики рационального выбора САПР-ТП для различных машиностроительных предприятий.

4. Критерии выбора рациональной САПР-ТП

В настоящее время существует множество современных САПР-ТП известных

производителей, но задача выбора и внедрения таких систем является и сегодня актуальной для большинства машиностроительных предприятий СНГ.

Из известных САПР-систем в настоящее время интерес представляют САПР ТП: TECHCARD, ВЕРТИКАЛЬ, ADEM САПР, T-FLEX Технология, TechnologiCS, СПРТУТ-ТП, ТехноПро, Timeline, Arpius-Технология, NATTA, Teamcenter Manufacturing Access. Большинство из них имеет архитектуру, состоящую из информационного модуля - базы данных (технологической оснастки, режимов обработки, нормативно-справочной информации и пр.) и модулей, реализующих проектирование технологий, планирование производства (маршрутизации и расцеховки), нормирования материалов и труда, формирования технологической документации, интеграции с САД/PDM/PLM системами. Несмотря на схожесть специализированного программного обеспечения САПР имеет и некоторые различия.

Выбор предприятием систем проектирования изделия первоначально сопровождается определением соответствующих критериев (см. рис.1):



Рисунок 1. Критерии выбора САПР

1. *Функциональность.* В зависимости от характера решаемых задач и типов предприятий [1,2]. При рассмотрении функциональности систем необходимо уделить внимание на:

- Наличие, возможности и наполнение модулей нормативно-справочной информации (НСИ);
- Возможности коллективной работы над разрабатываемым технологическим процессом, с целью уменьшения времени проектирования;
- Возможность работы с управляющими программами (УП);
- Возможности системы по контролю корректности и полноты информации в формируемом документе для реализации самоконтроля и нормоконтроля;
- Наличие и возможности средств автоматизации разработки технологического процесса;
- Возможности администрирования системы;
- Возможности управления изменениями системы;
- Возможности расширения функционала системы;
- Возможность поддержания актуального состояния технологической документации;
- Защита информации;
- Возможность интеграции с CAD/CAM/CAE/PDM системами.

2. *Удобство использования.* Критерий определяет удобство интерфейса системы, возможность работы в доминирующей операционной системе Microsoft – Windows последних версий.

3. *Соответствие стандартам.* Возможность выпуска документации в соответствии с требованиями ЕСТД, а также стандартами ISO, ANSI, DIN, в случае работы предприятий с зарубежными партнерами. Наличие русского, украинского, английского, немецкого интерфейса и документации.

4 *Наличие специализированных приложений.* Наличие приложений, библиотек, модулей для расширения гаммы задач, решаемых на предприятии.

5. *Системные требования и совместимость с периферийным оборудованием.* Включают требования к аппаратным и программным средствам и СУБД (системы управления базами данных). Здесь и возможность работы в доминирующей операционной системе (Microsoft – Windows) последних версий, в некоторых случаях – возможность работы в среде Android, IOS, а также требования к выбору СУБД (например, Oracle Database, MS SQL Server, PostgreSQL, Firebird и др.). В настоящее время появляются специфические запросы пользователей - возможность работы на планшете в системах Android, IOS.

6. *Стоимость владения лицензиями.* Существенный критерий при выборе системы (владения лицензией САПР-ТП, возможность лизинга, годовой подписки и пр.), хотя зависящая от предоставляемого набора функций и сервиса.

7. *Сервис поставщика.* Критерий является показателем сервиса, на который может рассчитывать заказчик в случае приобретения ПО. Название фирмы, размер команды разработчиков и службы технической поддержки, наличие представительской сети в районе нахождения предприятия-потребителя, планы выхода новых версий продукта, перечень и описание новых возможностей новой версии системы.

Процесс внедрения САПР-ТП на предприятии, как правило, должен инициироваться инженерами-технологами и активно поддерживаться руководством отдела, департамента инжиниринга, службой ИТ и менеджментом предприятия.

Процесс внедрения САПР-ТП является Проектом, часто в составе внедрения PDM/PLM систем, управление которым возлагается на руководителя департамента (главного инженера, технического директора). Руководитель Проекта должен обладать необходимыми для реализации проекта компетенциями, мотивацией, полномочиями и ресурсами для старта, реализации и дальнейшего завершения в заданный срок проекта внедрения. Для этого, приказом (или распоряжением) руководителя предприятия создается команда внедрения Проекта с указанием полномочий по группам команды.

Многообразие и количество факторов, можно выразить в виде зависимости:

$$M = \{A_i, B_j, C_n, D_m, E_l, F_o, G_p, H_q, K_r\} \quad (1)$$

где A_i – факторы, учитывающие тип производства (единичное, мелко-серийное, средне-серийное, крупно-серийное, массовое);

B_j – факторы, учитывающие вид производства, исходя из численности инженеров-технологов (малое, среднее, крупное);

C_n – факторы, учитывающие функционал САПР-ТП;

D_m – факторы, учитывающие удобство пользования САПР-ТП;

E_l – факторы, учитывающие соответствие стандартам (ГОСТ, ОСТ, МН, СТП и пр);

F_o – факторы, учитывающие наличие специализированных приложений;

G_p – факторы, учитывающие системные требования;

H_q – факторы, учитывающие стоимость владения лицензией САПР-ТП;

K_r – факторы, учитывающие сервис поставщика.

Множество факторов, влияющих на выбор рациональной для данного машиностроительного предприятия САПР-ТП можно представить в виде матрицы:

$$M = \begin{vmatrix} A_1, A_2 \dots A_{i-1}, A_i \\ B_1, B_2 \dots B_{j-1}, B_j \\ C_1, C_2 \dots C_{n-1}, C_n \\ D_1, D_2 \dots D_{m-1}, D_m \\ E_1, E_2 \dots E_{l-1}, E_l \\ F_1, F_2 \dots F_{o-1}, F_o \\ G_1, G_2 \dots G_{p-1}, G_p \\ H_1, H_2 \dots H_{q-1}, H_q \\ K_1, K_2 \dots K_{r-1}, K_r \end{vmatrix} \quad (2)$$

5. Методика выбора рациональной САПР-ТП

Для визуализации методики выбора рациональной САПР-ТП воспользуемся теорией графов. Граф выбора рациональной САПР-ТП приведен на рисунке 2.

Для поиска рационального САПР-ТП воспользуемся алгоритмом Дейкстры [3], который позволяет найти кратчайшие пути от одной из вершин взвешенного ориентированного графа до всех остальных вершин этого графа.

За основу принимаем граф, рис. 2, состоящий из 9 рядов элементов, включающих в себя до 11 элементов в ряду. Элементы соединены дугами, имеющими

направление и вес. В качестве веса каждого элемента задается числовым параметром (от 0 до 100) характеризующим влияние конкретного элемента в ряду на формирование суммарного критерия. Задачей использования этого алгоритма является отыскание маршрута с минимальным весом пути, за счет пошагового перебора всех вершин графа.

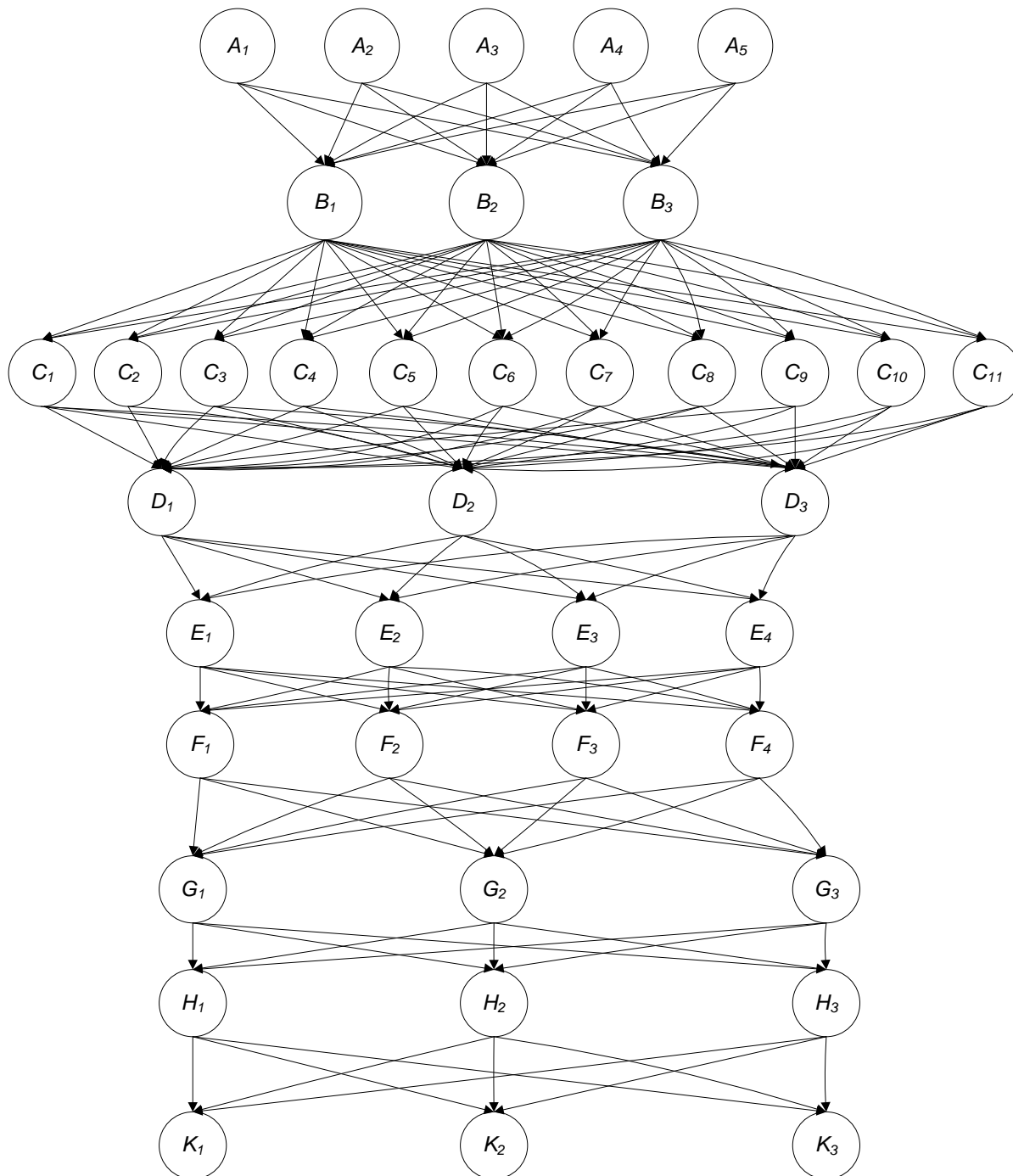


Рисунок 2. Граф выбора рациональной САПР-ТП

Маршрут выбора САПР-ТП в условиях единичного производства, например, с малым количеством инженерно-технических работников, ограниченными оборотными средствами будет иметь следующий вид:

$$A_1 \rightarrow B_1 \rightarrow C_1 \rightarrow D_1 \rightarrow E_4 \rightarrow F_1 \rightarrow G_1 \rightarrow H_1 \rightarrow K_1 \quad (3)$$

Вес маршрута восстановления можно определить по формуле:

$$\sum M = M_{A_i} + M_{B_j} + M_{C_n} + M_{D_m} + M_{E_l} + M_{F_o} + M_{G_p} + M_{H_q} + M_{K_r} \dots (4)$$

Составляя несколько маршрутов выбора САПР-ТП и сравнивая вес маршрутов, можно определить рациональную конфигурацию САПР-ТП.

При внедрении выбранного САПР-ТП для автоматизации технологической подготовки производства, необходимо понимание о необходимых изменениях в сложившейся организации работы инженерной службы. К изменениям процедур будут относиться:

- Выдача, согласование технической документации (в PDM/PLM системе появится история согласований с запросами и изменениями), изменений и хранения (завершённой и незавершённой) работы, позволяющие сократить от 10 до 50% времени на эти процедуры.
- Обмен цифровыми данными между специалистами на этапе ТПП, поиска в архиве необходимой цифровой технической документации, что позволит сократить 30-90% времени на эти процедуры.
- Создания Единого Информационного Пространства (ЕИП) для всех участников ТПП и далее, - Жизненного Цикла изделия (ЖЦИ).
- Администрирование САПР, PDM/PLM систем, созданного на предприятии электронного архива, корпоративных баз данных.
- Появление новых регламентов работы и Корпоративной культуры.

Рисками внедрения комплекса средств автоматизации являются, рис. 3 :

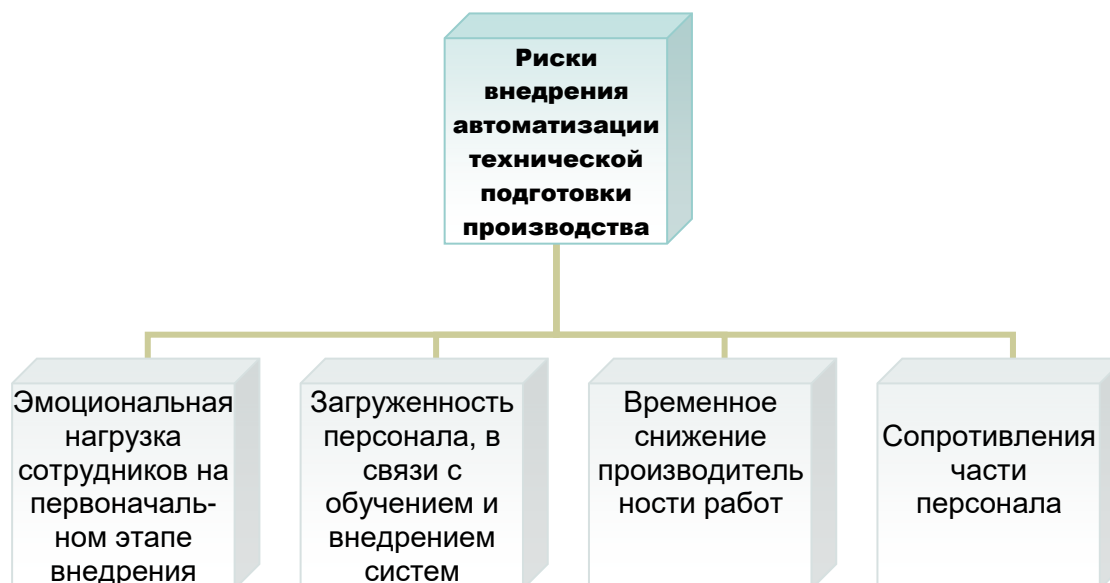


Рисунок 3. Риски бизнеса при внедрении САПР-ТП.

- 1) Первоначальная завышенная эмоциональная нагрузка персонала в связи с наличием переходного периода внедрения системы, когда будут действовать и старые и новые регламенты работ,
- 2) Загрузка персонала, связанная с обучением и внедрением системы.
- 3) Временное снижение производительности работ в связи с выполнением пп.1 и 2.
- 4) Сопrotивления некоторой части персонала, в связи с необходимостью ломки старых и перехода на новые регламенты работ, обучением и приобретением новых навыков работ (как правило, у некоторых пожилых ИТР).

6. Заключение

В настоящее время большинство машиностроительных предприятий нуждается в САПР-ТП, существенно повышающих производительность труда инженерного корпуса. Для осуществления осознанного выбора САПР-ТП для разных категорий промышленных предприятий разработаны критерии выбора системы. Поиск рационального САПР-ТП предложено реализовать алгоритмом Дейкстры с использованием теории графов. Приведенная методика выбора рациональной САПР-ТП, алгоритм внедрения систем, позволит сократить сроки и оптимизировать затраты при диджитализации бизнес-процессов технической подготовки производства. Приведенный перечень организационных изменений в бизнес-процессе инженерного департамента промышленного предприятия позволит уменьшить производственные риски, связанные с внедрением цифровых технологий в бизнесе.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Горобец, И. А. Классификация и критерии выбора автоматизированных систем технической подготовки производства / И.А. Горобец, И. Н. Грищенко // Материалы пятнадцатой научно-практической конференции «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы». В 3-х кн., Кн. 3. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2014. – №14. – С. 47-53.
2. Горобец, И.А. Критерии выбора средств САПР технологической подготовки производства / И. А. Горобец, Н. В. Голубов, А. И. Мишенин // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. трудов XXV межд. конференции в г. Севастополе 10-16 сентября 2018г. – Донецк: ДонНТУ, 2018. – Том 1. – С. 99-102.
3. Томас, Х. Кормен. Алгоритмы: построение и анализ – Introduction to Algorithms., 2-е изд. / Томас Х. Кормен, Чарльз И. Лейзерсон, Рональд Л. Ривест, Клиффорд Штайн – М.: [«Вильямс»](#), 2006. – С. 1296.
4. Горобец, И. А. Методика внедрения систем автоматизации технической подготовки производства / И. А. Горобец, И. Н. Грищенко // Сборник трудов XXII международной научно-технической конференции в г. Севастополе 14-21 сентября 2015 г. В 2-х томах. – Донецк: МСМ, 2015. – Т. 1. – С. 68-72.

Поступила в редколлегию 13.05.2019 г.