

УДК 65.014.12

ББК 34.42-05

СИСТЕМА КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ КОНСТРУКТОРСКО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ МЕЛКОСЕРИЙНОГО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Денисов А. Р.¹, Белянкин М. В.²

*(Костромской государственной университет имени Н.А.
Некрасова, Кострома)*

Рассмотрены вопросы построения системы календарного планирования процессов конструкторско-технологической подготовки мелкосерийного машиностроительного производства.

Ключевые слова: конструкторско-технологическая подготовка, календарное планирование, управление конфигурацией, мелкосерийное производство.

1. Введение

Одной из основных заявленных целей внешней политики РФ является вступление во Всемирную торговую организацию. При этом Россия будет вынуждена открыть свои собственные рынки для иностранных компаний, что неизбежно приведет к усилению внутренней конкуренции [5]. При этом в ряде отраслей промышленности, например в машиностроении, для отечественных предприятий внешние рынки останутся закрытыми. Одной из причин этого является низкая степень автоматизации систем управления предприятием и его производственными

¹ *Артем Руфимович Денисов, кандидат технических наук, доцент (inf_service@ksu.edu.ru).*

² *Михаил Вячеславович Белянкин, аспирант (inf_service@ksu.edu.ru).*

процессами, без чего невозможно решать задачи управления качеством продукции, повышения эффективности и прозрачности документооборота на всех этапах жизненного цикла выпускаемой продукции, внедрения принципов интегрированной логистической поддержки потребителей.

Повысить конкурентоспособность отечественных предприятий можно через внедрение современных производственных и управленческих технологий, основанных на процессном подходе. Данный подход является необходимым условием с точки зрения большинства международных стандартов, в том числе стандартов управления качеством ISO 9000, и должен быть внедрен на всех этапах жизненного цикла продукции, включая и конструкторско-технологическую подготовку производства (КТПП). Важной задачей при реализации процессного подхода является календарное планирование производственных процессов. В частности, необходимость планирования на этапе КТПП регламентируется [3 п. 5.2.5, 6.1.2, 7.2.2, 7.3.4, 7.4.4.].

Для решения задачи календарного планирования процессов КТПП принято использовать PDM-системы. Для этого в данные системы включены специальные модули, которые позволяют представить процессы КТПП в виде совокупности WorkFlow-диаграмм [4, 8]. Подобная функция есть в большинстве представленных на рынке PDM-систем, включая SmarTeam, WindChill, T-Flex DOCs, Аскон Лоцман:PLM и др.

При этом следует заметить, что WorkFlow-моделирование является очень трудоемким процессом и, соответственно, его применение при планировании процессов КТПП целесообразно только в случае устоявшейся номенклатуры выпускаемых изделий, то есть на предприятиях с крупно- и среднесерийным производством. В мелкосерийном же машиностроении, которое характеризуется постоянными изменениями в номенклатуре изготавливаемых изделий, использование данного механизма либо будет высокочрезвычайно затратным, либо будет носить общий характер (работы будут соответствовать этапам КТПП [2]). В любом случае это сделает календарное планирование процессов КТПП неэффективным.

2. Формальная модель подсистемы календарного планирования процессов КТПП

Повысить эффективность календарного планирования через автоматизацию синтеза Workflow-диаграмм. Для этого целесообразно использовать принципы управления конфигурацией изделия [6,7,9]. В этом случае в проектируемом изделии выделяются объекты конфигурации, которые обычно являются типовыми для предприятия, что позволяет осуществлять планирование процессов КТПП с достаточной степенью точности. Тогда проектируемое изделие можно представить:

$$(1) \quad P_i = \langle O_{k_i}, S_{v_i}, D_{oc_i}, T_i, R_i, T_{v_i} \rangle \mid i=1, \dots, |P_i|,$$

где P_i – множество всех проектируемых на предприятии изделий; O_{k_i} – множество объектов конфигурации i -го изделия; S_{v_i} – множество всех связей между объектами конфигурации (ОК) в архитектуре i -го изделия; D_{oc_i} – множество всех документов, создаваемых в процессе проектирования i -го изделия; T_i – трудоемкость проектирования i -го изделия; R_i – другие виды расходов на проектирование i -го изделия; T_{v_i} – время проектирования i -го изделия.

При этом каждый объект конфигурации имеет вид:

$$(2) \quad O_{k_{ij}} = \langle ПГ_{ij}, DO_{k_{ij}}, TO_{k_{ij}}, RO_{k_{ij}}, T_{n_{ij}}, T_{k_{ij}} \rangle \mid i=1, \dots, |P_i|, j=1, \dots, |O_{k_i}|,$$

где $ПГ_{ij}$ – проектная группа, ответственная за проектирование $O_{k_{ij}}$; $DO_{k_{ij}}$ – множество всех документов, создаваемых в процессе проектирования $O_{k_{ij}}$:

$$(3) \quad \forall i: D_{oc_i} = \left(\bigcup_{j=1}^{|O_{k_i}|} DO_{k_{ij}} \right) \cup D_{и_i};$$

$TO_{k_{ij}}$ – трудоемкость изготовления объекта конфигурации $O_{k_{ij}}$:

$$(4) \quad \forall i: T_i = T_{и_i} + \sum_{j=1}^{|O_{k_i}|} TO_{k_{ij}};$$

$RO_{k_{ij}}$ – множество других видов расходов на проектирование $O_{k_{ij}}$:

$$(5) \quad \forall i: R_i = R_{и_i} + \sum_{j=1}^{|O_{k_i}|} RO_{k_{ij}};$$

$T_{нij}$, $T_{кij}$ – время начала и окончания проектирования $O_{кij}$; D_{i} – множество всех документов, непосредственно связанных с проектированием i -го изделия; T_{i} и R_{i} – трудоемкость и другие виды расходов, непосредственно связанные с проектированием i -го изделия.

Пример конфигурации станка класса ШЛПС, выпускаемого на одном из предприятий Костромской области, приведен на рисунке 1.

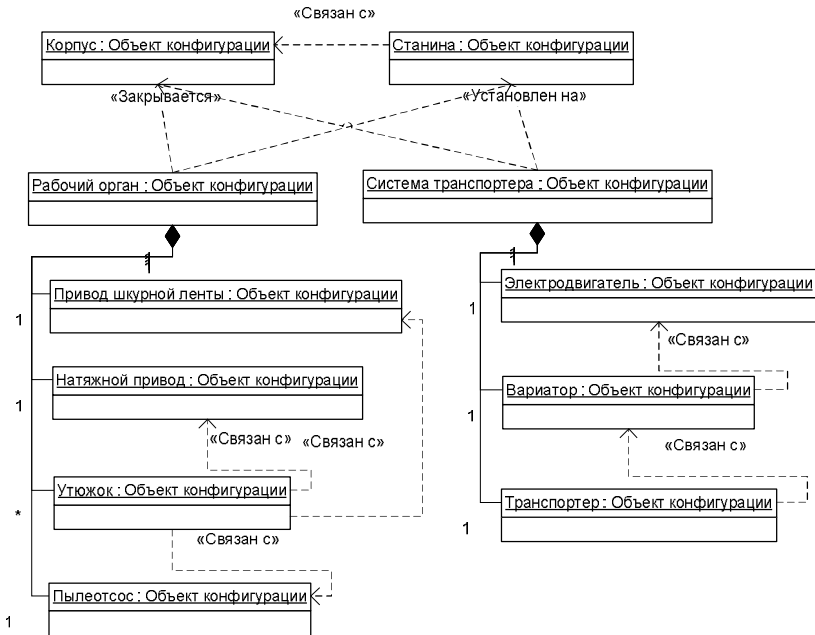


Рис. 1. Конфигурация станка класса ШЛПС

Таким образом, становится возможным определение времени проектирования i -го изделия:

$$(6) \quad \forall i: T_{вi} = \sup_{\substack{x=1, |O_{кi}| \\ y=1, |O_{кi}|}} (T_{кix} - T_{нiy}).$$

Для этого необходимо определить количество специалистов различного профиля, входящих в проектные группы:

$$(7) \text{ ПГ}_{ij} = \langle \text{РГ}_{ij}, \text{Мс}_{ij} \rangle \mid i=1, \dots, |\text{Ри}|, j=1, \dots, |\text{Ок}_i|,$$

где РГ_{ij} – руководитель проектной группы ПГ_{ij} ; Мс_{ij} – множество специалистов различного профиля, входящих в проектную группу ПГ_{ij} :

$$(8) \text{ Мс}_{ij} = \{ \langle \text{Пс}_{ijk}, \text{Кс}_{ijk}, \text{Тс}_{ijk} \rangle \mid k=1, \dots, |\text{Мс}_{ij}| \} \mid i=1, \dots, |\text{Ри}|, j=1, \dots, |\text{Ок}_i|,$$

где Пс_{ijk} – профиль соответствующих специалистов; Кс_{ijk} – количество специалистов соответствующего профиля, входящих в проектную группу; Тс_{ijk} – время выполнения k -го вида проектных работ для Ок_{ij} :

$$(9) \quad \forall i, \forall j: \text{Ток}_{ij} \approx \sum_{k=1, |\text{Мс}_{ij}|} (\text{Тс}_{ijk} \cdot \text{Кс}_{ijk});$$

$$\forall i, \forall j: \text{Тк}_{ij} \approx \text{Тн}_{ij} + \sum_{k=1, |\text{Мс}_{ij}|} \text{Тс}_{ijk}.$$

Таким образом, целью календарного планирования является определение для каждого ОК числа проектировщиков, необходимого для достижения максимального сокращения сроков проектирования всего i -го изделия, а именно:

$$(10) \forall i=1, \dots, |\text{Ри}|: \text{Тв}_i \rightarrow \min.$$

При решении данной задачи необходимо учитывать:

– для проектирования любого ОК может быть задействовано только ограниченное число проектировщиков:

$$(11) \forall i, \forall j, \forall k: \text{Мн}(\text{Ок}_{ij}, \text{Пс}_{ijk}) \leq \text{Кс}_{ijk} \leq \text{Мх}(\text{Ок}_{ij}, \text{Пс}_{ijk}),$$

где $\text{Мн}(\text{Ок}_{ij}, \text{Пс}_{ijk})$, $\text{Мх}(\text{Ок}_{ij}, \text{Пс}_{ijk})$ – минимальное и максимальное количество специалистов профиля Пс_{ijk} , необходимое для проектирования Ок_{ij} ;

– штатное расписание предприятия также ограничивает число одновременно задействованных специалистов:

$$(12) \forall i, \forall j, \forall k: \sum_{\substack{x=1, |\text{Ок}_i|, \\ y=1, |\text{Мс}_{ij}|, \\ \text{Тн}_{ij} = \text{Тн}_{ix} \vee \text{Тн}_{ij} = \text{Тн}_{ix}, \\ \text{Пс}_{ijk} = \text{Пс}_{ixy}}} \text{Кс}_{ixy} \leq \text{Кол}(\text{Пс}_{ijk}),$$

где $\text{Кол}(\text{Пс}_{ijk})$ – количество специалистов профиля Пс_{ijk} на предприятии.

– при планировании процессов проектирования необходимо учитывать связи, ранее определенные при построении архитектуры изделия:

$$(13) \quad \left. \begin{aligned} &C_{в_{ij}} = \left\langle \overline{ОКб_{ij}}, \overline{ОКo_{ij}}, \overline{Тсв_{ij}} \right\rangle \left| i = \overline{1, |Ри|}, j = \overline{1, |Св_i|} \right. \\ &\forall i, \forall j, \exists x, y = \overline{1, |ОК_i|} : \left(\begin{aligned} &\overline{ОКб_{ij}} = \overline{ОК_{ix}} \wedge \overline{ОКo_{ij}} \subseteq \overline{ОК_{iy}} \wedge \\ &\wedge \overline{Тк_{ix}} \leq \overline{Тн_{iy}} \end{aligned} \right), \end{aligned}$$

где $\overline{ОКб_{ij}}$ – образующий элемент связи $\overline{Св_{ij}}$; $\overline{ОКo_{ij}}$ – второй элемент связи $\overline{Св_{ij}}$; $\overline{Тсв_{ij}}$ – тип образуемой связи $\overline{Св_{ij}}$.

3. Информационное и алгоритмическое обеспечение подсистемы календарного планирования процессов КТПП

В соответствии с представленной формальной моделью были разработаны алгоритмическое и информационное обеспечение процессов КТПП.

Обобщенный алгоритм планирования процессов КТПП имеет вид:

1. Оценка важности каждого ОК в изделии, выбор формы контроля качества проектных работ при его разработке, определение максимального количества итераций цикла его проектирования.

2. Определение «внешних» (по отношению к ОК) контрольных точек и формирование «внешних» итерационных циклов проектирования через:

– формирование квазиоптимального плана выполнения проектных работ при заданном количестве специалистов, для чего был использован «жадный» (GRASP) алгоритм с применением FFD (*первоначально располагают в убывающем порядке*) эвристики;

– определение квазиоптимального распределения проектировщиков для разработки ОК изделия, решаемая методом пошагового улучшения (рис. 2) первоначального плана, в котором для каждого ОК каждый вид работ выполняет только один проектировщик.

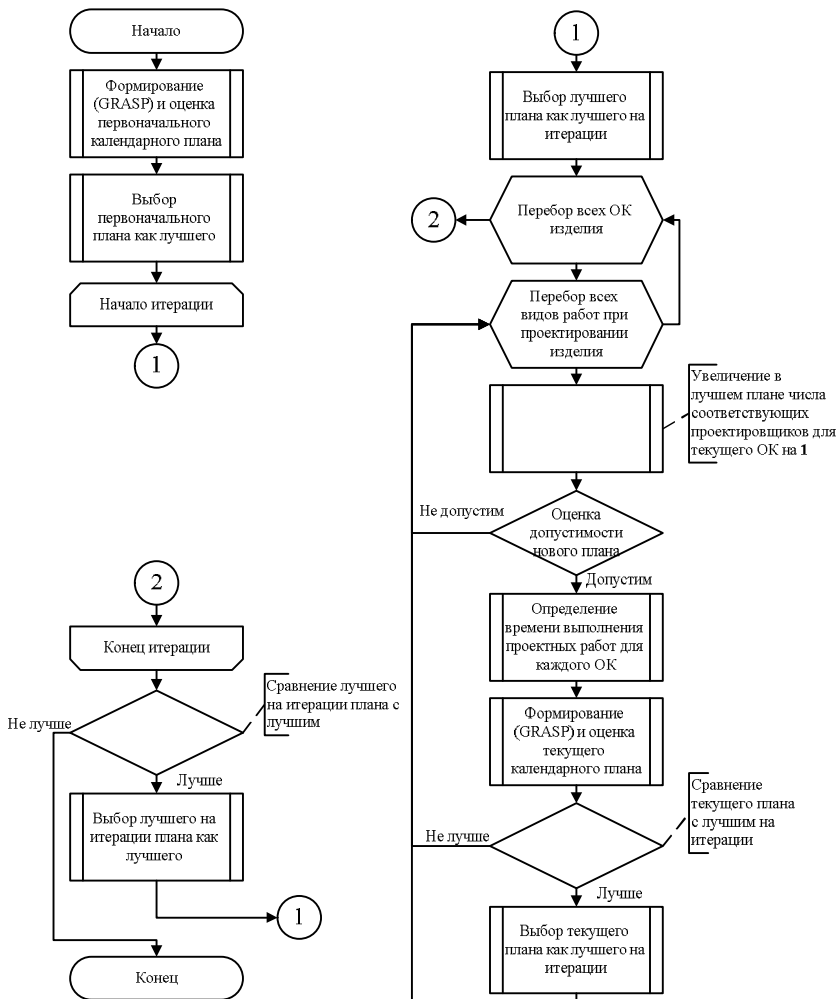


Рис. 2. Схема алгоритма формирования сетевого плана проектных работ

3. Определение количества задействованных проектировщиков.

4. Назначение непосредственных исполнителей проектирования ОК изделия, формирование проектных групп.

Информационное обеспечение подсистемы приведено на рисунке 3.

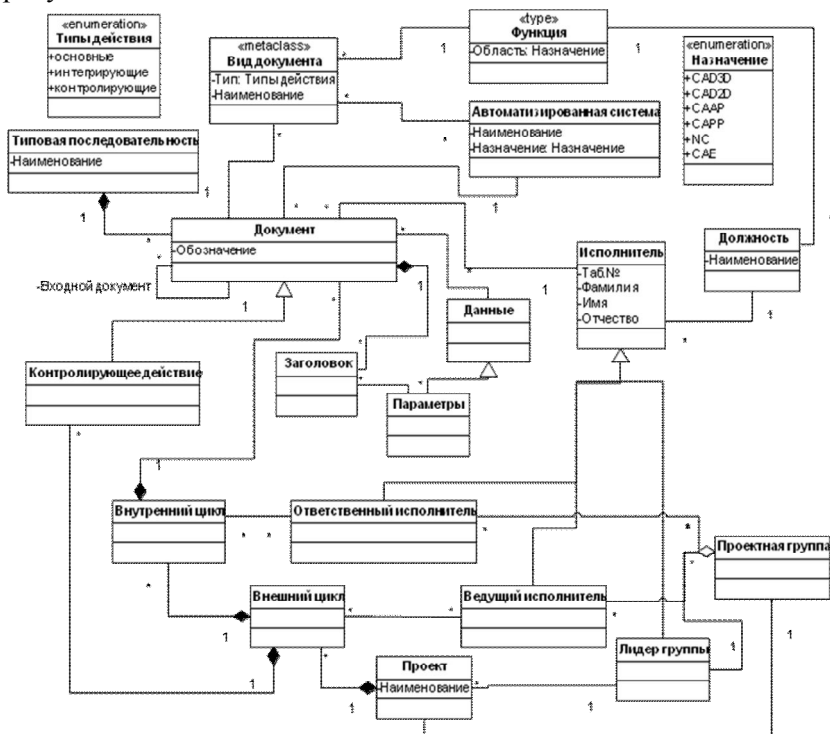


Рис. 3. Информационное обеспечение подсистемы календарного планирования процессов КТПП

4. Апробация подсистемы календарного планирования процессов КТПП

Предлагаемый алгоритм был опробован при планировании проектных работ для станка ШЛПС-9 (рис. 1), в результате чего был сформирован сетевой план, представленный на рисунке 4. Workflow-диаграмма проектирования данного станка приведена на рисунке 5.

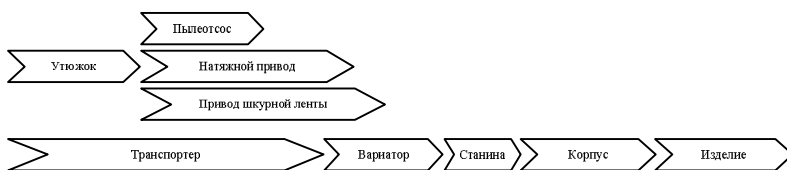


Рис. 4. Схема расчета критического пути проектирования станка ШЛПС-9

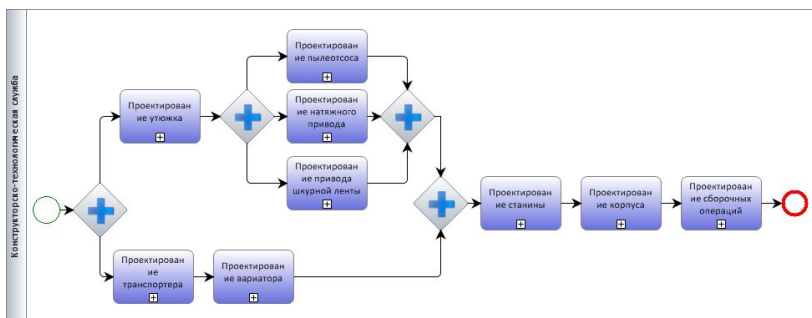


Рис. 5. WorkFlow диаграмма проектирования станка ШЛПС-9

Проведенный экспертный анализ полученных результатов показал высокую эффективность предлагаемой системы, что позволяет рекомендовать ее для внедрения в условия мелкосерийных машиностроительных предприятий.

5. Применение подсистемы для выбора компонентов автоматизированной системы КТПП

Предложенные модели можно использовать при выборе для внедрения компонентов автоматизированных систем КТПП (АСКТПП). Для этого необходимо провести анализ различных подсистем на возможность достижения максимальной эффективности их использования именно для тех работ, которые наи-

более значимы (требуют максимального количества ресурсов) для предприятия.

Таблица 1. Планируемые результаты внедрения интегрированных САПР

Показатель		Dassault Systems	РТС	Топ системы	АСКОН
I	П1 – Сокращение сроков КТПП	48,3%	36,7%	40,0%	40,0%
	П2 – Затраты на проектирование 1 изделия, руб.	224664	112025	83836	84080
	П3 – Удельная доля ценности	30,9%	31,6%	31,4%	31,4%
II	Сокращение количества проектировщиков	81,8%	72,7%	72,7%	72,7%
	П1 – Сокращение сроков КТПП	0,7%	0,8%	14,2%	14,2%
	П2 – Затраты на проектирование 1 изделия, руб.	78128	66960	36132	35322
	П3 – Удельная доля ценности	57,4%	64,8%	76,3%	76,3%
П4 – Удобство интерфейса (экспертная оценка)		9,5	7,2	8,7	9,3
П5 – Возможность работы с любыми сборками (экспертная оценка)		10	10	7	7

При выборе компонентов АСКТПП для внедрения в условия конкретного машиностроительного предприятия были проанализированы популярные и наиболее рекламируемые автоматизированные системы, таких производителей как Dassault Systems, РТС, Топ Системы и АСКОН. Сводные данные о планируемых результатах проектирования в сравниваемых интег-

рированных САПР для двух возможных вариантов внедрения (I – сокращение сроков КТПП при существующей численности проектировщиков; II – сокращение численности проектировщиков при существующих сроках КТПП) для предприятия приведены в таблице 1.

Полученные результаты были проанализированы методом ELECTRE [1], в результате чего было выявлено, что с точки зрения критерия согласия лучшей альтернативой является САТИА при максимально-возможном сокращении сроков КТПП. В то же время, данная альтернатива имеет максимальные значения критерия несогласия, что обусловлено высокой ее стоимостью. Анализ также показал, что хорошим вариантом по обоим критериям для предприятия с мелко и среднесерийным типов производства является внедрение комплекса систем «среднего» класса, например продуктов АСКОН и «Топ системы», который бы обеспечивал достаточный уровень автоматизации всех этапов КТПП и при этом характеризовался минимальными затратами на автоматизацию.

Литература

1. АНДРЕЙЧИКОВА О.Н., АНДРЕЙЧИКОВ А.В., ДЕКАТОВ Д.Е. *Многокритериальная оценка конкурентоспособности инновационных организаций автоматизированными методами семейства ELECTRE // Менеджмент инноваций.* – 2008. – №3. – С. 180–186.
2. ГОСТ 2.103–68. ЕСКД. Стадии разработки. – М., 1971.
3. ГОСТ Р ИСО 10006–2005. Системы менеджмента качества. Руководство по менеджменту качества при проектировании. – М., 2005.
4. КОСТРОВ А.В. *Основы информационного менеджмента: учеб. для вузов.* – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2008. – 512 с.
5. *Народнохозяйственные последствия присоединения России к ВТО: доклад национального инвестиционного совета и Российской академии наук.* – 2002. – URL:

<http://www.wto.ru/ru/content/documents/docs/NIC1.doc> (дата обращения: 08.05.11).

6. СТАРОДУБОВ В. *Управление конфигурацией: задачи, стандарты и реализация* // CAD/CAM/CAE Observer. – 2006. – №4 (28).– С. 30–33.
7. *Теория и методы управления конфигурацией.* – URL: <http://www.cals.ru/material/mater/UK.pdf> (дата обращения: 08.05.11).
8. ЯБЛОЧНИКОВ Е.И., МОЛОЧНИК В.И., ФОМИНА Ю.Н. *Реинжиниринг бизнес-процессов проектирования и производства: учеб. пособие.* – СПб.: СПбГУИТМО, 2008. – 152 с.
9. MIL-HDBK-61. Military handbook. Configuration management guidance. – 1997. – 205 p.

SYSTEM OF DESIGN PROCESSES SCHEDULING FOR SMALL-SCALE MACHINE-BUILDING MANUFACTURE

Artem Denisov, Kostroma State University, named after N.A. Nekrasov, Kostroma, Cand.Sc., assistant professor (inf_service@ksu.edu.ru).

Mikhail Belyankin, Kostroma State University, named after N.A. Nekrasov, Kostroma, post graduate student (inf_service@ksu.edu.ru).

Abstract: Construction questions of Design processes scheduling System for small-scale machine-building manufacture are considered.

Keywords: Design processes, scheduling, configuration management, small-scale machine-building manufacture.