

УДК 658.5, 62-529

DOI: 10.18698/0536-1044-2018-9-18-27

Российские технологии создания систем класса «Индустрия 4.0». Часть 2

Г.Б. Евгеньев

МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

Russian Technologies for Creation of Industry 4.0 Systems. Part 2

G.B. EvgenevBMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1

e-mail: g.evgenev@mail.ru



В настоящее время в мире происходит четвертая промышленная революция, получившая название «Индустрия 4.0». Цель этой революции заключается в создании цифровых производств, призванных кардинально повысить эффективность и качество производства. Низкий уровень этих показателей является вызовом для нашего государства. Рассмотрены примеры применения цифровых промышленных технологий в отечественных системах: программирования обработки с помощью роботов, аддитивной технологии выращивания деталей, программирования двухсторонней токарно-фрезерной обработки, 3D-моделирования технологических процессов. Описаны интеллектуальная отечественная система проектирования технологических процессов СПРУТ-ТП, а также система оперативно-календарного планирования и диспетчирования производства СПРУТ-ОКП, построенная на основе отечественных стандартов и методов управления.

Ключевые слова: Индустрия 4.0, цифровые промышленные технологии, развитая робототехника, аддитивные технологии, дополнительная реальность, моделирование технологических процессов



The fourth industrial revolution, named Industry 4.0, is taking place in the world now. The objective of this revolution is to create digital industries that would dramatically increase efficiency and quality of production, the current low level of which is a challenge for Russia. In this paper, examples of application of digital industrial technologies in domestic systems are considered: programming of processing using robots, additive technology for parts production, programming of bilateral turning and milling processing, 3D modeling of technological processes. The article describes an intelligent domestic system for designing technological processes SPRUT-TP, as well as a system for operational planning and scheduling of production SPRUT-OKP, built on the basis of domestic standards and management methods.

Keywords: Industry 4.0, digital industrial technologies, advanced robotics, additive technologies, augmented reality, modeling of technological processes

В первой части работы описаны три из девяти цифровых промышленных технологий, с помощью которых создаются системы класса «Индустрия 4.0» [1–7]: облачные техноло-

гии, горизонтальная и вертикальная интеграции. Продолжим рассмотрение применения цифровых промышленных технологий в России.

Интеллектуальная система программирования технологических процессов (ТП). Фундаментом для построения цифровых производств является оборудование с ЧПУ. Эксплуатация такого оборудования в условиях четвертой промышленной революции невозможна без высокоэффективных систем класса САМ.

В России создана одна из лучших в мире систем такого класса — SprutCAM [8–10]. В настоящее время продано более 7000 лицензий по эксплуатации этой системы крупнейшим ведомствам и мировым компаниям США, Германии, Японии, Швейцарии, Италии, Великобритании, Франции и Австралии: Apple Inc., Aerospace, NASA, General Electric, Hewlett-Packard, Intel, Hitachi, Philips, BMW, Toyota и др.

Система SprutCAM обеспечивает программирование всех стадий и видов ТП для любых станков и роботов с ЧПУ. Из девяти цифровых промышленных технологий, с использованием которых создаются системы класса «Индустрия 4.0», в SprutCAM в полной мере реализованы четыре: развитая робототехника, аддитивные технологии, дополненная реальность и моделирование ТП.

На рис. 1, *a–г* показаны примеры применения первой–четвертой цифровых промышленных технологий в системе SprutCAM соответственно: *a* — часть технологического комплекса обработки панелей обшивки с помощью роботов; *b* — аддитивная технология выращивания лопаток; *в* — схема программирования двухсторонней обработки на токарно-фрезерном двухшпиндельном обрабатывающем центре; *г* — моделирование с обнаружением столкновения шпинделя с патроном.

Для сокращения трудоемкости программирования обработки детали при незначительном изменении ее конструкции в системе SprutCAM введены интеллектуальные функции реимпорта ее модели из систем трехмерного моделирования [10, 11]. Если файл 3D-модели, который ранее импортировался в систему, был изменен конструктором, то это будет обнаружено, и система SprutCAM предложит обновить деталь для обработки, а вместе с этим пересчитает всю ранее созданную технологию обработки, адаптировав ее к новой конструкции модели. Таким образом, подготовка управляющей программы для запуска нового изделия в производство сводится

к минимальному количеству действий пользователя.

Система SprutCAM способна проанализировать 3D-модель для обработки и построить дерево конструкторско-технологических элементов (FBM) [10, 11]. Для формирования траектории обработки пользователю достаточно указать элемент или группу элементов и выбрать переход из списка, предложенного системой. Список формируется системой автоматически с учетом имеющегося набора инструментов в библиотеке и ранее созданных пользователем типовых переходов обработки.

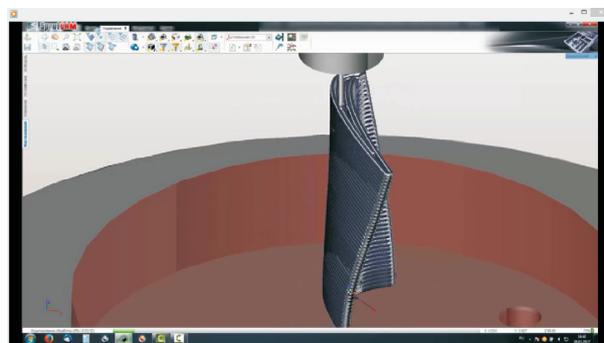
Операции обработки на оборудовании с ЧПУ составляют лишь часть маршрутного ТП, разрабатываемого в системе класса САМ Sprut-ТП, и должны быть интегрированы в этот процесс [12–14]. На рис. 2 приведена диаграмма классов проектирования и программирования ТП. Набор атрибутов ТП, операции и установка регламентированы стандартами ЕСТД.

ТП состоит из операций, в число которых могут входить и те, которые выполняются на станках с ЧПУ. Согласно ЕСТД (ГОСТ 3.1118–82), операции описываются строками разных типов, основными из которых являются А и Б. Строки типа А описывают операцию, строки типа Б — оборудование, на котором реализуется операция. В состав атрибутов агента «Операция» включены все компоненты обеих строк, а также строк типа О с описанием действий и типа Т с данными технологической оснастки операции. Проектирование операций осуществляется в системе Sprut-ТП [15–17]. Код и наименование оборудования экспортируются в систему SprutCAM.

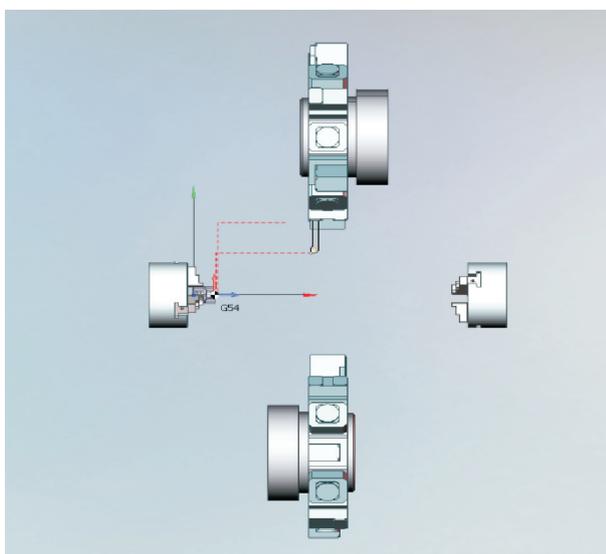
В состав операции могут быть включены описания установов, рассматриваемые как отдельные вспомогательные переходы. Установы определяют способ размещения детали на станке и описывают содержание перехода и норму времени на его выполнение. Атрибуты установка формируются в системе Sprut-ТП (см. рис. 2). На каждом установе выполняется один или несколько основных переходов обработки детали, проектируемых в системе SprutCAM, где выбирается наименование перехода и задание для обработки. При формировании задания динамически определяется обрабатываемый объект, представляющий собой часть геометрической модели детали, и выбирается из библиотеки ресурсов режущий инструмент.



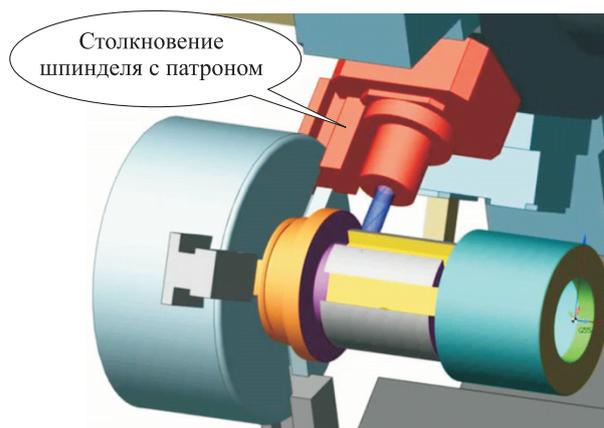
а



б



в



г

Рис. 1. Применение в SprutCAM развитой робототехники (а), аддитивных технологий (б), дополненной реальности (в) и моделирования ТП (г)

Чтобы определить норму основного времени на переход, надо рассчитать траекторию обработки, что осуществляется системой SprutCAM, а также припуски и режимы резания, которые определяются базой знаний системы Спрут-ТП и экспортируются в SprutCAM (см. рис. 2). Для полного нормирования обработки в системе Спрут-ТП необходимо вычисляется норма вспомогательного времени на переход.

Вся описанная информация передается в XML-модель операционной карты, откуда ее можно вывести в качестве стандартного документа системой Спрут-ТП.

Планирование и диспетчирование производства. Планирование производства осуществляется подсистемой «Плановик», которую используют сотрудники планово-диспетчерского отдела (ПДО) или аналогичной службы [14, 15, 18–20]. Функциональная диаграмма работы подсистемы «Плановик» и смежных с ней подсистем приведена на рис. 3. Планирование проводится на основе специфицированных заявок, а также спецификации договоров с внешними клиентами. Заявки создаются в подсистеме «Сбыт».

В зависимости от горизонта планирования плановик ПДО формирует различные виды

производственной программы (ПП) — годовую, квартальную, месячную или недельную. Годовая и квартальная ПП формируются в текущем году (квартале) на плановый год (квартал), следующий за текущим, как правило, заданием позиций

плана с точностью до месяца. При этом обычно в качестве даты выпуска позиции плана задается дата по договору с заказчиком.

Месячная ПП, относящаяся к текущему планированию и составляемая на основании годово-

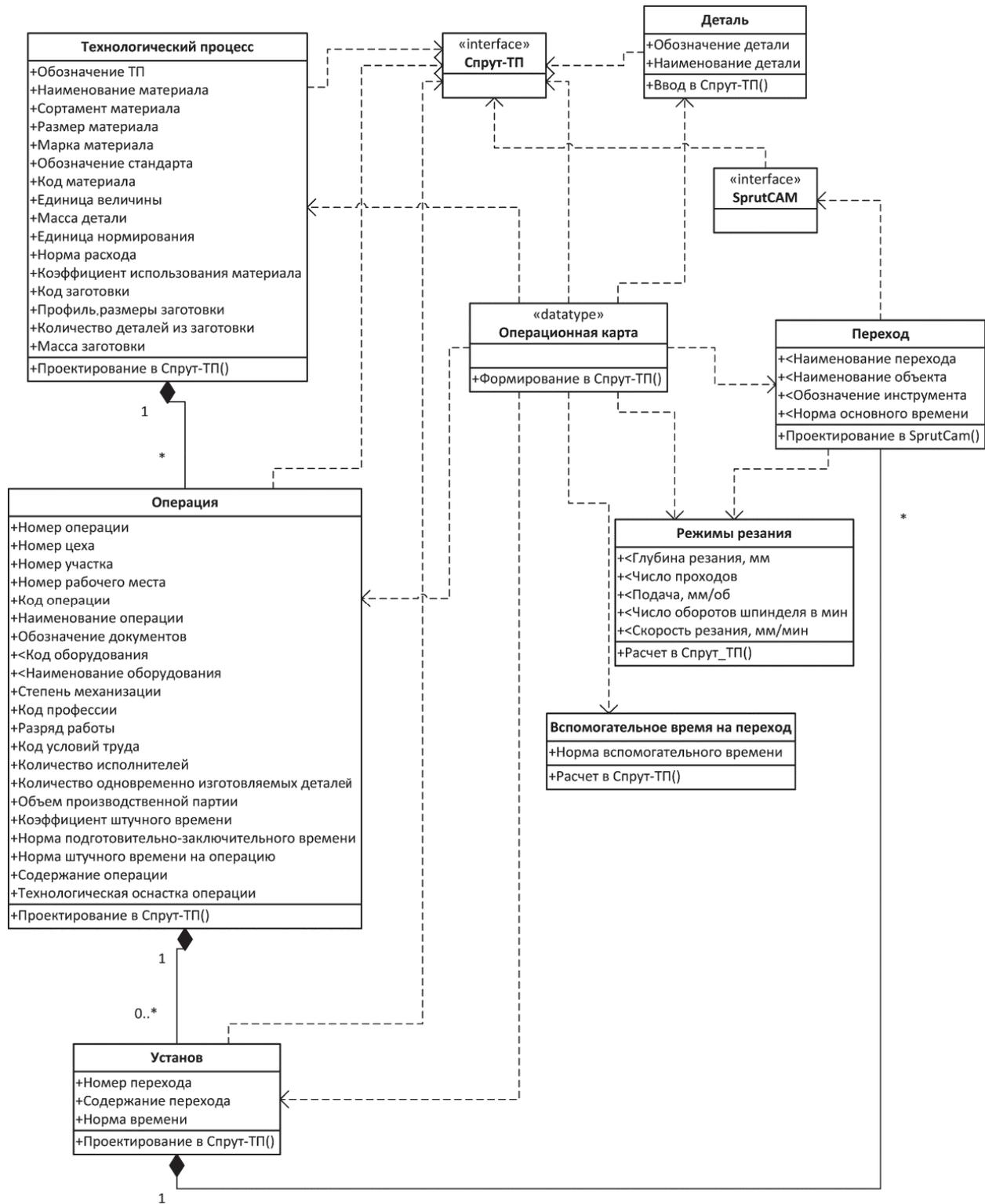


Рис. 2. Диаграмма классов проектирования и программирования ТП

вой ПП, включает в себя планируемый месяц и период времени после него, равный максимальному циклу изготовления плановой позиции. Для планируемого месяца позиции плана задаются с точностью не меньше дня, а датой выпуска позиции плана, как правило, является дата последнего рабочего дня месяца.

В общем случае система позволяет использовать любую точность задания дат выпуска позиций плана. Плановик ПДО может сформировать несколько вариантов ПП и оценить каждый из них по ресурсам, материало- и машиноёмкости, по видам оборудования в разрезе цехов и участков. По результатам оценки вариантов ПП выбирается наиболее приемлемый вариант, который распечатывается и утверждается руководством предприятия в качестве плана выпуска готовой продукции цехам-изготовителям. На основе месячной ПП вычисляется календарный производственный график, задающий очередность работ цехам-изготовителям.

Для месячной ПП рассчитывается и выдается на печать специфицированная потребность производства в комплектующих и материалах или потребность в них по всем заказам за заданный период с указанием дат запуска партий. На основе производственного графика формируется и выдается на печать план запуска изделий, который определяет сроки подготовки со-

проводительной документации диспетчерской службой, а также передается плановиком ПДО инженеру по металлу заготовительного цеха для обеспечения запуска заготовок. Также создается план выпуска на следующий планируемый период. Планы выпуска и запуска оцениваются по загрузке оборудования и общей трудоемкости изготовления.

Данные о выполнении ПП использует плановик для принятия соответствующих мер, влияющих на ход производства, а в случае невозможности устранения отклонений производства от плана он принимает решение о корректировке плана на текущий период. Отчет о состоянии производства на конец планового периода учитывается при планировании производства в следующем плановом периоде.

Для функционирования данной подсистемы необходимо наличие актуальных нормативных данных о планировании предметов производства, маршрута и норм времени по ним (подготовительно-заключительного, штучного и межоперационного).

Горизонт планирования (составления ПП) обычно охватывает остаток текущего года, следующий год плюс продолжительность самого длительного цикла изготовления изделия (с тем, чтобы обеспечить подготовку производства). Горизонт планирования задает пользователь при выполнении функции.

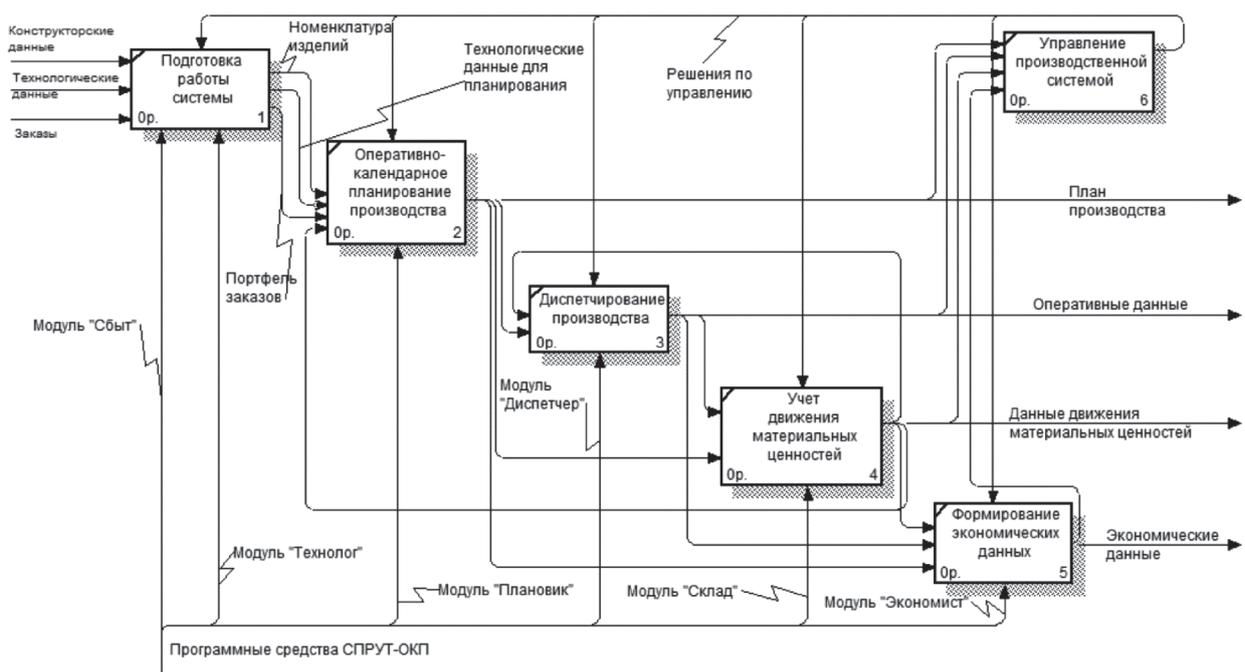


Рис. 3. Функциональная схема подсистемы «Плановик» и смежных с ней подсистем

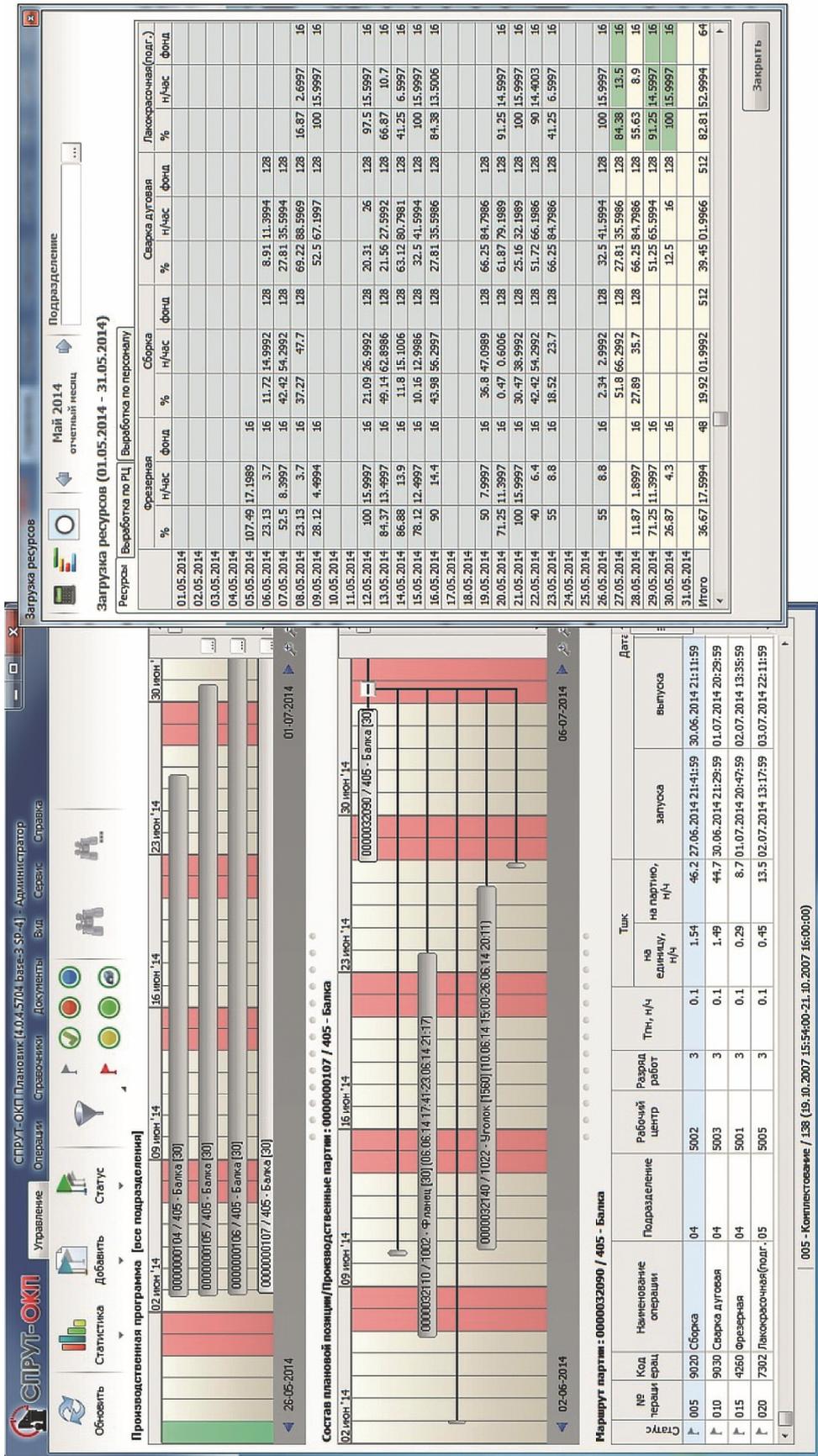


Рис. 4. Интерфейс системы ОКП

Для разработки ПП на следующий год плановик в большинстве случаев должен апробировать и оценить достаточно большое количество вариантов плана. Составление варианта ПП обычно основано на прогнозе спроса на продукцию предприятия, на заключенных долгосрочных контрактах с потребителями продукции и текущих заявках потребителей. При разработке различных вариантов ПП пользователю предоставляются следующие возможности:

- вводить все позиции варианта ПП в режиме диалога с системой;
- корректировать существующий вариант.

Варианты ПП оцениваются по потребностям в основных для предприятия материальных и производственных ресурсах. Выполняется сравнительная оценка вариантов по всем критериям, а также комплексная оценка отдельного варианта.

Оптимальный (по выбранным плановиками критериям) вариант объявляется активным, а остальные на указанный период времени при необходимости можно удалить. Активный вариант ПП становится основой для формирования плана выпуска готовой продукции на ближайший период.

На рис. 4 приведен интерфейс системы оперативно-календарного планирования (ОКП).

Функцию диспетчирования производства осуществляет подсистема «Диспетчер», применяемая в условиях цеховой и бесцеховой структуры управления. В цехах применяют организацию материального потока в виде «сквозных» партий по всем операциям маршрута.

Объектом управления модуля «Диспетчер» является материальный поток основного производства. Особенности формирования материального потока зависят от типа и организации производства. Движение материального потока в производстве обеспечивается последовательным выполнением технологических и вспомогательных операций.

Технологические операции с точки зрения особенностей материального потока подразделяют на операции раскроя, комплектования и обработки (сборки). Операция раскроя всегда первая по маршруту изготовления. При ее реализации на вход поступает материал. Выход операции — заготовка. Потребление материала на этой операции характеризуется нормативным и фактическим расходами. Нормативный расход рассчитывается как произведение нор-

мы расхода материала на одну деталь и количество годных заготовок. Вспомогательные операции служат для обеспечения выполнения технологических операций и включают в себя транспортирование и хранение предметов труда, инструментов и оснастки.

Готовые предметы (материалы, покупные изделия, детали и т. п.) хранятся на складах. Готовые предметы одного наименования на предприятии могут быть размещены на нескольких складах (центральных и цеховых). Внутри цеха предмет одного наименования хранится только на одном складе. После выполнения последней технологической операции готовые изделия сдаются на склад, называемый основным местом хранения, которое всегда одно. Основное и последнее места хранения могут совпадать. В этом случае готовое изделие имеет единственное место хранения.

Полуфабрикат (заготовка, унифицированная деталь) имеет единственное место хранения. Его размещают в специальных кладовых, на транспортных системах или стеллажах в цехе. При этом полуфабрикат всегда считают находящимся на операции, следующей за выполненной, независимо от фактического расположения места его хранения.

Информация о нормативном расходе материала и балансе материального потока используется модулем «Экономист» для расчета материальных затрат на производство. Условием возможности начала операции раскроя является наличие необходимого количества материала на последнем месте хранения.

Выводы

1. Фундаментом для построения цифровых производств является оборудование с ЧПУ, эксплуатация которого в условиях четвертой промышленной революции невозможна без интеллектуальных систем программирования. В России создана одна из лучших в мире систем такого класса — SprutCAM, которая обеспечивает программирование всех стадий и видов ТП для любых станков и роботов с ЧПУ.

2. Разработаны интегрированные методы и средства программирования и проектирования ТП. Отечественная интеллектуальная система проектирования ТП Спрут-ТП обеспечивает также нормирование этих процессов, что необходимо для планирования и диспетчирования производства в системе Спрут-ОКП.

3. В системе Спрут-ОКП осуществляется оптимизация производственных планов по выбранным критериям.

4. Россия обладает всеми технологиями, необходимыми для четвертой промышленной революции.

Литература

- [1] *Industry 4.0: the Future of Smart Manufacturing*. URL: <https://www.praim.com/industry-4-0-the-future-of-smart-manufacturing> (дата обращения 15 марта 2018).
- [2] *Industry 4.0: Laying the foundations for a new industrial revolution*. URL: <https://blogs.siemens.com/en/competitive-industries.entry.html/933-industry-4-0-laying-the-foundations-for-a-new-industrial-revolution.html> (дата обращения 15 марта 2018).
- [3] *Dedicated Industry 4.0 solutions which solve real manufacturing problems*. URL: <https://antsolutions.eu> (дата обращения 15 декабря 2017).
- [4] *Embracing Industry 4.0 and Rediscovering Growth*. URL: <https://www.bcg.com/capabilities/operations/embracing-industry-4-0-rediscovering-growth.aspx> (дата обращения 3 марта 2017).
- [5] *Industry 4.0: the fourth industrial revolution — guide to Industrie 4.0*. URL: <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/> (дата обращения 28 декабря 2017).
- [6] Sundblad W. *Industry 4.0: The Journey Toward Perfect Production*. URL: <https://www.forbes.com/sites/willemsundbladeurope/2018/07/16/industry-40-journey-toward-perfect-production/#1dfc57b24165> (дата обращения 28 декабря 2017).
- [7] *Четвертая промышленная революция (Industry Индустрия 4.0)*. URL: [http://www.tadviser.ru/index.php/%D1%F2%E0%F2%FC%FF:%D7%E5%F2%E2%E5%F0%F2%E0%FF_%EF%F0%EE%EC%FB%F8%EB%E5%ED%ED%E0%FF_%F0%E5%E2%EE%EB%FE%F6%E8%FF_\(Industry_%C8%ED%E4%F3%F1%F2%F0%E8%FF_4.0\)](http://www.tadviser.ru/index.php/%D1%F2%E0%F2%FC%FF:%D7%E5%F2%E2%E5%F0%F2%E0%FF_%EF%F0%EE%EC%FB%F8%EB%E5%ED%ED%E0%FF_%F0%E5%E2%EE%EB%FE%F6%E8%FF_(Industry_%C8%ED%E4%F3%F1%F2%F0%E8%FF_4.0)) (дата обращения 15 марта 2018).
- [8] Евгеньев Г.Б., Хараджиев А.Х., ред. *Программирование обработки на оборудовании с ЧПУ*. Т. 1. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 325 с.
- [9] Евгеньев Г.Б., Хараджиев А.Х., ред. *Программирование обработки на оборудовании с ЧПУ*. Т. 2. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 356 с.
- [10] *Спрут-технология*. URL: <https://www.sprut.ru> (дата обращения 10 марта 2018).
- [11] Частухин А.В., Романов Н.А. SprutCAM — расширение технических возможностей. *РИТМ Машиностроения*, 2016, № 3, с. 22–23.
- [12] Евгеньев Г.Б., Частухин М.В. Интеграция систем проектирования и программирования технологических процессов обработки. *Инженерный вестник*, 2015, № 10, с. 507–513. URL: <http://engsi.ru/doc/816454.html> (дата обращения 10 марта 2018).
- [13] Евгеньев Г.Б., ред. *Основы автоматизации технологических процессов и производств. Т. 1: Информационные модели*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. 441 с.
- [14] Евгеньев Г.Б., ред. *Основы автоматизации технологических процессов и производств. Т. 2: Методы проектирования и управления*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. 479 с.
- [15] *Центр СПРУТ. СПРУТ Технология*. URL: <https://csprut.ru/> (дата обращения 15 января 2018).
- [16] Рубахина В.И. Спрут-Технология: от желаний к воплощению. *Ритм Машиностроения*, 2013, № 3(81), с. 46.
- [17] Смирнов В.В. *Разработка технологических процессов в системе СПРУТ ТП*. Бийск, Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2014. 24 с.
- [18] Крюков С.С., Рубахина В.И. Уровни планирования производства. *РИТМ Машиностроения*, 2016, № 4, с. 63–64.
- [19] Евгеньев Г.Б. *Системология инженерных знаний*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 376 с.
- [20] Евгеньев Г.Б. *Интеллектуальные системы проектирования*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 420 с.

References

- [1] *Industry 4.0: the Future of Smart Manufacturing*. Available at: <https://www.praim.com/industry-4-0-the-future-of-smart-manufacturing> (accessed 15 March 2018).

- [2] *Industry 4.0: Laying the foundations for a new industrial revolution*. Available at: <https://blogs.siemens.com/en/competitive-industries.entry.html/933-industry-4-0-laying-the-foundations-for-a-new-industrial-revolution.html> (accessed 15 March 2018).
- [3] *Dedicated Industry 4.0 solutions which solve real manufacturing problems*. Available at: <https://antsolutions.eu> (accessed 15 December 2017).
- [4] *Embracing Industry 4.0 and Rediscovering Growth*. Available at: <https://www.bcg.com/capabilities/operations/embracing-industry-4-0-rediscovering-growth.aspx> (accessed 3 March 2017).
- [5] *Industry 4.0: the fourth industrial revolution — guide to Industrie 4.0*. Available at: <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/> (accessed 28 декабря 2017).
- [6] Sundblad W. *Industry 4.0: The Journey Toward Perfect Production*. Available at: <https://www.forbes.com/sites/willemsundbladeurope/2018/07/16/industry-40-journey-toward-perfect-production/#1dfc57b24165> (accessed 28 December 2017).
- [7] *Chetvertaya promyshlennaya revolyutsiya (Industry Industriya 4.0)* [The fourth industrial revolution (Industry 4.0 industry)]. Available at: [http://www.tadviser.ru/index.php/%D1%F2%E0%F2%FC%FF:%D7%E5%F2%E2%E5%F0%F2%E0%FF_%EF%F0%EE%EC%FB%F8%EB%E5%ED%ED%E0%FF_%F0%E5%E2%EE%EB%FE%F6%E8%FF_\(Industry_%C8%ED%E4%F3%F1%F2%F0%E8%FF_4.0\)](http://www.tadviser.ru/index.php/%D1%F2%E0%F2%FC%FF:%D7%E5%F2%E2%E5%F0%F2%E0%FF_%EF%F0%EE%EC%FB%F8%EB%E5%ED%ED%E0%FF_%F0%E5%E2%EE%EB%FE%F6%E8%FF_(Industry_%C8%ED%E4%F3%F1%F2%F0%E8%FF_4.0)) (accessed 15 March 2018).
- [8] *Programmirovanie obrabotki na oborudovanii s CHPU* [Programming of machining on CNC equipment]. Ed. Evgenev G.B., Haradzhiev A.H. Vol. 1. Moscow, Bauman Press, 2018. 325 p.
- [9] *Programmirovanie obrabotki na oborudovanii s CHPU* [Programming of machining on CNC equipment]. Ed. Evgenev G.B., Haradzhiev A.H. Vol. 2. Moscow, Bauman Press, 2018. 356 p.
- [10] *Sprut-tehnologiya* [Sprut-technology]. Available at: <https://www.sprut.ru> (accessed 10 March 2018).
- [11] Chastukhin A.V., Romanov N.A. Sprut CAM – rasshirenie tekhnicheskikh vozmozhnostei [SprutCAM — expansion of technical capabilities]. *RITM Mashinostroeniia* [Rhythm of machinery]. 2016, no. 3, pp. 22–23.
- [12] Evgenev G.B., Chastukhin M.V. Integratsiia sistem proektirovaniia i programmirovaniia tekhnologicheskikh protsessov obrabotki [Integration of processing process design and programming systems]. *Inzhenernyi vestnik* [Engineering bulletin]. 2015, no. 10, pp. 507–513. Available at: <http://engsi.ru/doc/816454.html> (accessed 10 March 2018).
- [13] *Osnovy avtomatizatsii tekhnologicheskikh protsessov i proizvodstv. T. 1: Informatsionnye modeli* [Fundamentals of automation of technological processes and productions. Vol. 1: Information models]. Ed. Evgenev G.B. Moscow, Bauman Press, 2015. 441 p.
- [14] *Osnovy avtomatizatsii tekhnologicheskikh protsessov i proizvodstv. T. 2: Metody proektirovaniia i upravleniia* [Fundamentals of automation of technological processes and productions. Vol. 2: Methods of design and management]. Ed. Evgenev G.B. Moscow, Bauman Press, 2015. 479 p.
- [15] *Tsentr SPRUT. SPRUT Tekhnologiia* [Center is the SPRUT. SPRUT Technology]. Available at: <https://csprut.ru/> (accessed 15 January 2018).
- [16] Rubahina V.I. Sprut-Tekhnologiya: ot zhelaniy k voploshcheniyu [Octopus-Technology: from desires to realization]. *Ritm Mashinostroeniia* [Rhythm of Mechanical Engineering]. 2013, no. 3(81), p. 46.
- [17] Smirnov V.V. *Razrabotka tekhnologicheskikh protsessov v sisteme SPRUT TP* [Development of technological processes in the system of the OCTOPUS TP]. Biysk, ALTSTU publ., 2014. 24 p.
- [18] Kriukov S.S., Rubakhina V.I. Urovni planirovaniia proizvodstva [Levels of production planning]. *RITM Mashinostroeniia* [Rhythm of machinery]. 2016, no. 4, pp. 63–64.
- [19] Evgenev G.B. *Sistemologiya inzhenernykh znaniy* [Systemology of engineering knowledge]. Moscow, Bauman Press, 2001. 376 p.
- [20] Evgenev G.B. *Intellektual'nye sistemy proektirovaniia* [Intelligent systems design]. Moscow, Bauman Press, 2012. 420 p.

Информация об авторе

ЕВГЕНЕВ Георгий Борисович (Москва) — доктор технических наук, профессор кафедры «Компьютерные системы автоматизации производства». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: g.evgenov@mail.ru).

Information about the author

EVGENEV Georgiy Borisovich (Moscow) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Department of Computer Systems for Industrial Automation. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Bauman-skaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: g.evgenov@mail.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Евгенов Г.Б. Российские технологии создания систем класса «Индустрия 4.0». Часть 2. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2018, № 9, с. 18–27, doi: 10.18698/0536-1044-2018-9-18-27.

Please cite this article in English as:

Evgenov G.B. Russian Technologies for Creation of Industry 4.0 Systems. Part 2. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2018, no. 9, pp. 18–27, doi: 10.18698/0536-1044-2018-9-18-27.



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышел в свет учебник
**Н.Д. Чайнова, А.Н. Краснокутского,
Л.Л. Мягкова**

«Конструирование и расчет поршневых двигателей»

Учебник написан коллективом преподавателей кафедры «Поршневые двигатели» МГТУ им. Н.Э. Баумана — ведущей кафедры страны, отметившей в 2007 г. 100-летие с начала подготовки специалистов по двигателям внутреннего сгорания.

Изложены основы конструирования и современные методы прочностного анализа поршневых и комбинированных двигателей внутреннего сгорания, дан анализ конструкций современных отечественных и зарубежных двигателей, рассмотрены перспективы их развития. Наряду с традиционными методами расчетов на прочность базовых деталей двигателей представлены численные методы анализа теплового и напряженно-деформированного состояний элементов двигателей с применением современных информационных технологий.

Для студентов вузов, обучающихся по специальности 101200 «Двигатели внутреннего сгорания» направления подготовки 141100 «Энергомашиностроение».

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru