

- ем АСУТП. Автоматизация в промышленности. 2014, №10.
6. *Кнеллер Д.В., Сетин С.П., Шундерюк М.М.* Управление сигнализациями в АСУТП. Автоматизация в промышленности. 2015, №7.
  7. *Сельченков В.Л.* Психологические аспекты дизайна экранных форм для диспетчера. Автоматизация в промышленности. 2012, №6.
  8. *Кузьмина Н.* Человеко-ориентированный подход при проектировании систем визуализации автоматизированных объектов. СТА, 2015, №1.
  9. *Дозорцев В.М., Обознов А.А.* Имитационное моделирование как инструмент экспериментально-психологических исследований. Труды конференции ИММОД-2015. Том «Пленарные доклады». Издание ИПУ РАН, 2015.
  10. *Дозорцев В.М., Ицкович Э.Л., Кнеллер Д.В.* Усовершенствованное управление ТП (АРС): 10 лет в России. Автоматизация в промышленности, № 1, 2013.
  11. *Дозорцев В.М.* Компьютерные тренажеры для обучения операторов ТП. Изд-во Синтег. 2009 г.

*Ицкович Эммануил Львович — д-р техн. наук, проф., главный научный сотрудник ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН. Контактный телефон (495) 334-90-21.*

## РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ЛПК

А.И. Шабаетов, Д.П. Косицын (ООО "Опти-Софт")

Приводится описание бизнес-линий компании, а также представлены назначение и основные модули программных систем, разработанных для решения задач оптимального планирования и управления предприятиями ЛПК<sup>1</sup>. Приведены примеры внедрения систем на промышленных предприятиях, показана экономическая эффективность от их использования. Дано описание единой платформы, созданной для унификации процессов разработки и внедрения программных систем, в том числе с использованием технологии «облачных» вычислений. Представлены основные зарубежные заказчики компании — многонациональные корпорации Valmet, Metso и Outotec. Отмечено, что продолжается создание новых программных систем и расширение числа заказчиков.

Ключевые слова: планирование производства, оптимизация, программные системы, экономическая эффективность.

Компания "Опти-Софт" ([www.opti-soft.ru](http://www.opti-soft.ru)) создана в 2010 г. при IT-парке Петрозаводского государственного университета ([www.petrso.ru](http://www.petrso.ru)). Ее основная отличительная черта — автоматизация нестандартных и сложных бизнес-процессов с применением математического аппарата для решения задач оптимального планирования, распределения ресурсов, раскроя и комплектовки материалов преимущественно для предприятий ЛПК.

У компании две бизнес-линии:

— «Продукты» — ориентирована на внедрение систем оптимального планирования производства собственной разработки на российских и зарубежных предприятиях.

— «Услуги» — ориентирована на разработку ПО для сторонних компаний, преимущественно иностранных.

### Бизнес-линия «Продукты»

Бизнес-линия ориентирована на разработку и внедрение систем оптимального планирования на предприятиях ЛПК — одного из важнейших секторов экономики России.

Хотя Россия может быть крупнейшим производителем продукции лесопромышленного комплекса (ЛПК) в мире, но по производству продукции она занимает только 14-е место. При этом Финляндия,

характеризующаяся незначительной долей мировых запасов лесных ресурсов, занимает одно из лидирующих мест по производству продукции. Таким образом, очевидна необходимость повышения эффективности ЛПК России.

Однако повышение эффективности ЛПК требует комплексного подхода по причине высокой степени взаимозависимости предприятий ЛПК по основному исходному сырью — древесине и различным переделам: древесина/пиловочник/балансы/щепа/целлюлоза/бумага/продукция.

Высокая степень взаимозависимости предприятий приводит к наличию большого числа сквозных процессов, то есть проходящих через несколько подразделений или всю организацию. Научное обоснование эффективного управления вертикально-интегрированными корпорациями (в том числе в ЛПК) является предметом исследования множества ученых. Разрабатываются концептуально-методологические положения и организационно-экономические рекомендации. Имеются программные средства разной степени охвата, различного назначения, зарубежного и российского производства.

Однако остается актуальной разработка программных систем для решения задач оптимального планирования и управления как отдельными пред-

<sup>1</sup> Работа выполняется при финансовой поддержке проекта № 24046 Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

приятными, так и сквозными процессами использования древесины.

Компанией "Опти-Софт" разработан и апробирован набор программных систем (ПС) оптимального планирования, который охватывает производственные процессы от лесозаготовки на делянках до отгрузки готовой продукции целлюлозно-бумажного комбината (ЦБК). Далее представлены краткие описания этих систем.

**ПС Opti-Wood**

Целью системы Opti-Wood является повышение экономической эффективности лесозаготовки и лесообеспечения [1].

Система проходит апробацию на ЗАО «Запкарелес» — одной из крупнейших лесозаготовительных компаний Северо-Запада России с годовой расчетной лесосекой — 700 тыс м3. Система также может быть использована службой лесообеспечения ЦБК, либо лесопромышленного холдинга в целом.

Экономический эффект достигается за счет:

- снижения суммарных издержек в цепях поставок (на 5...7%), объемов складских запасов в цепи (до 20%), числа транспортных средств на (2...6%);
- повышения доходности (на 3...6%) за счет выявления дополнительных возможностей по реализации продукции, в том числе с большей "маржинальностью";
- повышения эффективности загрузки бизнес-единиц в цепях поставок за счет взаимной интеграции;
- сокращения времени на принятие управленческих решений (на 25...50%) за счет повышения "прозрачности" движения материальных запасов и оперативности получения информации;
- повышения эффективности использования финансовых ресурсов предприятий в операционной де-

ятельности, а также при разработке инвестиционных стратегий (на 10...15%);

**ПС Opti-Sawmill**

Программная система Opti-Sawmill предназначена для повышения эффективности планирования и управления предприятиями лесопиления и деревообработки [2, 3].

Система внедрена на нескольких предприятиях России — ЗАО "Соломенский Лесозавод", ООО «ЛДК-2» (г. Вытегра), ООО «Карелиан Вуд Кампани» (г. Костомукша). В настоящее время проводится ее апробация на заводе Ilm Timber Nordic (Wismar, Германия) — крупнейшем лесопильном предприятии мира.

Система позволяет охватить все производственные и бизнес-процессы предприятия: оценка заявок от покупателей (коммерческий модуль), долгосрочное и оперативное планирование производства с возможностью оптимизации (модули объемного и календарного планирования и деревообработки), расчет финансово-экономических показателей (экономический модуль). Модуль интеграции позволяет предприятию организовать в единой базе решение учетных и оптимизационных задач.

Система обеспечивает учет значительных объемов данных:

- 1...5 линий сортировки бревен, у каждой — >25 настроек;
- 1...10 линий лесопиления, у каждой — >30 настроек;
- 3...50 сушильных камер, у каждой — >100 программ сушки;
- объем перерабатываемого сырья: 5...150 тыс. м3/мес.;
- объем выпуска готовой продукции: 2,5...75 тыс. м3/мес.;

— до 10 тыс. пакетов полуфабрикатов и продукции на 10 переделах;

— число сортировочных групп бревен: до 60 (диаметром 8...44 см и длиной 4,1...6 м) ед./мес.;

— число сорторазмеров продукции (сочетаний сечений, сортов, длин, пород и т. д.): >500 ед./мес.

При этом время расчета оптимальных планов составляет:

— 1...3 мин для объемного плана (на любой заданный промежуток времени от 1 смены до 1 г.)

— 1...2 мин для календарного плана (на промежуток от 1 смены до 1 мес.)

Ключевым этапом оценки эффективности использования системы является подтверждение со стороны заказчика, который, как правило, оценивает ее по множеству факторов, включая как реально полученные,

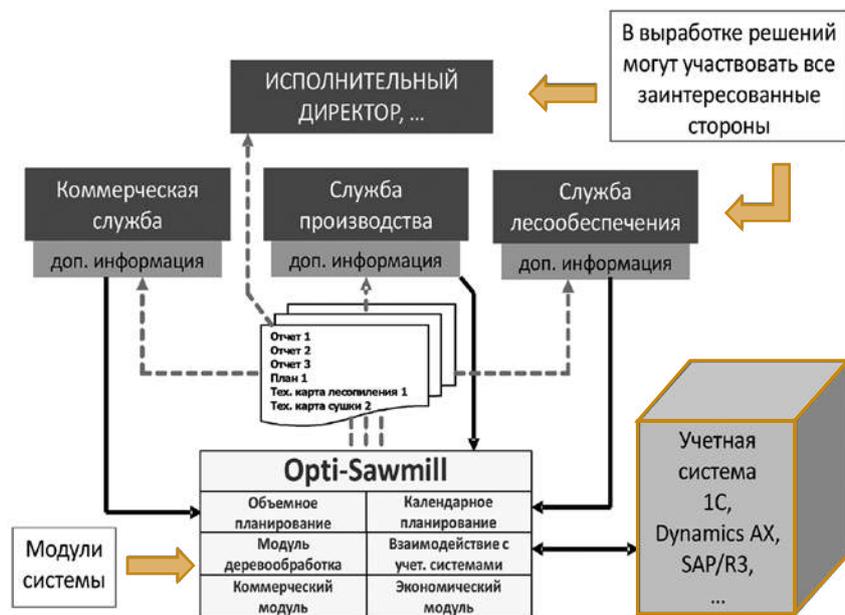


Рис. 1. Схема взаимодействия Opti-Sawmill с различными службами и системами предприятия

так и потенциальные эффекты. С учетом модульности системы в каждом случае обосновывается эффективность каждого модуля в отдельности и всей системы в целом.

По полученным оценкам срок окупаемости системы и проекта по ее внедрению составляет < 1 г. При этом основными источниками эффектов являются: снижение затрат на сырье, используемое при производстве продукции, снижение объема полуфабрикатов и запасов в технологии, повышение использования производственной инфраструктуры и оборудования, а также сокращение времени на принятие решений по планированию и управлению производственными процессами.

**ПС Opti-Plywood**

Программная система Opti-Plywood предназначена для повышения прибыльности фанерного производства за счет приоритетного производства так называемых «высших сортов», снижения объемов незавершенного производства и сокращения сроков выполнения заказов. Система реализована как Web-сервис с доступом по сети Internet.

В настоящее время Opti-Plywood, в частности, используется предприятием «Братский ДОК», входящим в группу «Илим Тимбер Индастри». Это крупнейшее предприятие России, выпускающее широкоформатную фанеру из древесины хвойных пород.

**ПС Opti-Corrugated**

Система Opti-Corrugated — самый давний продукт компании "Опти-Софт", имеющий за последние 10 лет более 30 внедрений в России и странах СНГ [4].

Система реализована в среде 1С:Предприятие 8 и поэтому может быть использована и как Web-сервис, и как «локальная» инсталляция. При этом возможно первичное тестирование в виде Web-сервиса с последующим автоматическим переносом всех наработок в «локальную» инсталляцию.

В состав программной системы входят 14 основных модулей:

- планирование производства;
- учета: взаимоотношений с клиентами, технологических карт, технологической оснастки, требований к новым изделиям;
- управления: продажами, отгрузками, взаиморасчетами, затратами, закупками, запасами, основными средствами;
- интеграции с оборудованием (гофроагрегаты и линии переработки).

Модуль планирования производства включает:

- автоматическое предварительное объемное планирование производственных заказов — оценка даты запуска заказа в производство;
- автоматическое планирование работы гофроагрегатов для большого числа форматов полотна;
- суточное планирование по открытым заказам, составление перечня рациональных раскроев по набору заданных заготовок, его редактирование;
- автоматическое выполнение расчетов оперативного производственного плана работы цеха на различные горизонты времени — календарное производственное планирование, определение оптимальной очередности запуска изделий и механизмов доработки элементов конструкций ящиков, очередности раскроев с учетом сроков готовности и приоритетов заказов с целью минимизации времени выполнения всего пакета заказов и уплотнения графика работы оборудования, автоматические оперативное планирование работы технологических линий.

Использование ПС Opti-Corrugated позволяет:

- обеспечить более низкий процент отходов по кромке гофрополотна на 20%;
- сократить сроки выполнения работ на 10...15%;
- снизить себестоимость продукции на 2...5%;
- упростить расчет себестоимости продукции;
- уменьшить время выполнения заказов на 10...15%;
- сократить время на формирование объемных и оперативных планов на 50%.

Кроме того, внедрение системы позволяет снизить объемы незавершенного производства на 3...10% за счет четкого оперативного планирования производства. Реализация модуля учета и планирования материальных ресурсов позволяет снизить складские запасы на 5...15%. По полученным оценкам, срок окупаемости системы и проекта по ее внедрению составляет менее года.

**Система Opti-MES для ЦБК**

Разработанная "Опти-Софт" система класса MES для пред-

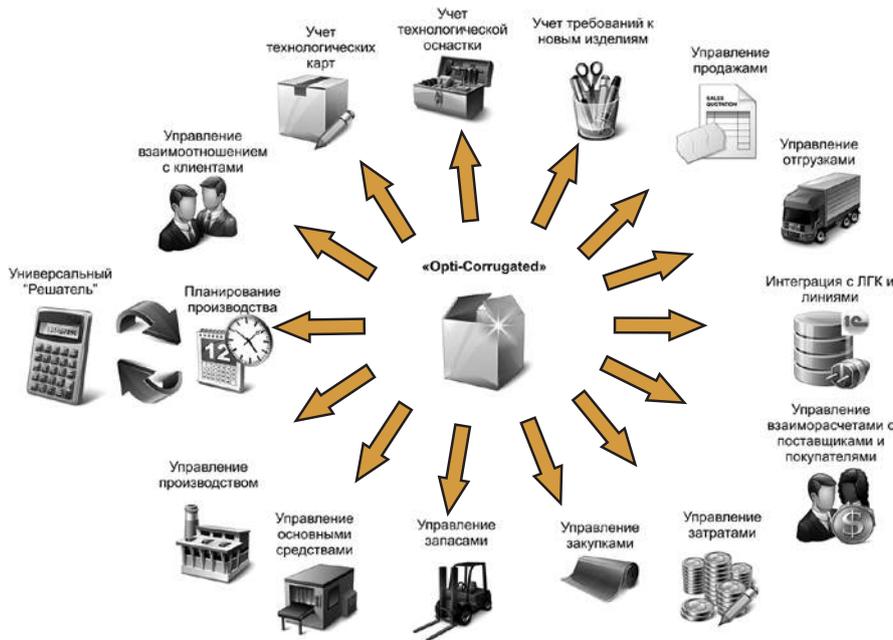


Рис. 2. Основные модули ПС Opti-Corrugated

приятый ЦБК предназначена для решения в режиме “реального” времени задач управления, координации, анализа и оптимизации выпуска бумаги и картона. Система используется в настоящее время на АО «Кондопога» — крупнейшем в России производителе газетной бумаги [5].

Комбинатом предпринимались попытки модернизации существующей системы с привлечением различных организаций, но ни одна из них не была доведена до внедрения в связи с масштабностью и сложностью разработки. Затем в качестве исполнителя была выбрана компания “Опти-Софт” с учетом имеющегося значительного опыта выполнения комплексных научных и прикладных проектов для крупнейших ЦБК России.

Целью проекта являлась модернизация существующей системы автоматизации для устранения серьезных недостатков в ее работе, расширение набора функций, перевода на современную аппаратную платформу хранения и обработки данных. Также необходимым было использование современных средств и методов разработки.

Система работает в круглосуточном режиме 365 дней в году, охватывая семь бумаго-делательных машин и девять продольно-резательных станков и четыре склада готовой продукции. Обрабатывает и учитывает значительные объемы данных: число рулонов бумаги — < 5000 ед./сут.; число контрагентов — > 7000 ед.; число сортов бумаги — > 60 ед.; число формируемых документов—> 11 тыс. ед./мес.; число пользователей в системе — > 200 чел.

В состав системы согласно стандарту ISA-95 входят 11 основных модулей, в том числе оперативное планирование производства, диспетчеризация про-

изводства, управление качеством продукции, отслеживание продукции, управление отгрузкой и др.

### ПС Opti-Paper

Один из модулей MES может быть установлен как отдельная система Opti-Paper для оптимального раскроя бумажного полотна на основе портфеля незавершенных и новых заказов с целью минимизации обрезной кромки и сокращения иных производственных потерь. Система позволяет решать задачи объемно-календарного планирования выпуска продукции по заказам и оптимальной загрузки группы БДМ.

### Модуль Opti-Storage

Модуль Opti-Storage, в частности, внедрен на Архангельском ЦБК — одном из крупнейших ЦБК России, где с его применением производится практически все операции в складском комплексе. Модуль полностью интегрирован с ERP, MES и другими ИТ-системами комбината и значительно повысил эффективность складской логистики:

- время загрузки транспорта сокращено на 30%;
- непроизводительные операции снижены в 2 раза;
- число занятых ячеек: сокращено на 10...12%;
- число потерянных рулонов сокращено до 0 ед.;
- число рулонов, отбракованных из-за длительного хранения: сокращено до 0 ед.;
- время проведения инвентаризации склада: сокращено в 5 раз;
- инвентаризация производится 1...2 раза в год: сокращение затрат времени персонала.

### ПС Opti-Loading

«Облачная» программная система Opti-Loading для оптимизации погрузки продукции ЦБК в частности внедрена на АО «Монди Сыктывкарский ЛПК» — крупнейшем производителе бумажной продукции в России, где используется еженедельно для расчета нестандартных схем загрузки, загрузки с разных складов, формирования паллет. Система используется при отгрузке как паллетизированной продукции, так и ролевой бумаги.

По итогам промышленной эксплуатации системы в течение 12 мес. (с марта 2015 г.) комбинат продлил договор на использование системы на 2016 г.

### Единая платформа для реализации ПС

Схожесть производственных процессов предприятий ЛПК дает возможность разработки и внедрения типовых систем оптимального планирования на большинстве из них [6].

Системы могут напрямую взаимодействовать с оборудованием, часть уникальных данных

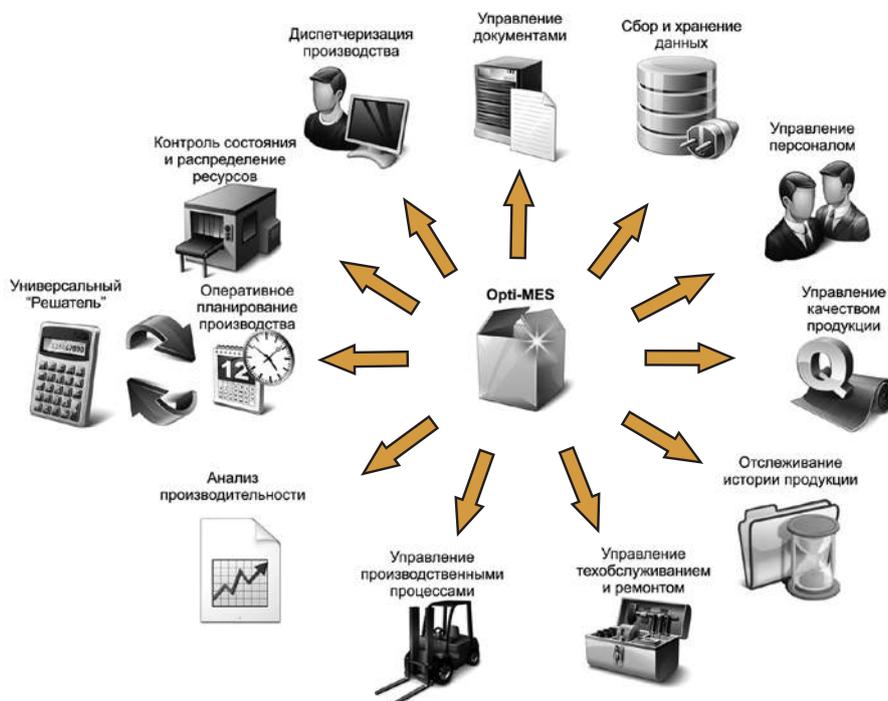


Рис. 2. Основные модули ПС Opti-MES

может вводиться непосредственно в них, но в основном они обмениваются данными с учетными системами заказчика. Поддерживается создание ролей и профилей пользователей с учетом функций различных сотрудников и служб предприятия.

Для обеспечения широкого тиражирования и быстрого внедрения систем необходимо минимизировать затраты времени и ресурсов на их адаптацию под особенности технологических и бизнес-процессов заказчика. Это требует максимальной унификации процессов разработки и внедрения, что возможно в рамках единой платформы, в том числе с использованием технологии «облачных» вычислений [7].

Одной из основных отличительных особенностей систем, обеспечивающих их превосходство над известными аналогами, является наличие библиотеки модулей для решения оптимизационных задач, в которой реализованы передовые высокоэффективные алгоритмы и структуры данных собственной разработки для решения прикладных задач оптимального планирования и управления производством.

Необходимость учета дискретности производственных процессов и продукции, очередности выполнения работ, влияния большого числа внешних факторов и т.д. приводит к нелинейности, высокой размерности и многокритериальности возникающих задач. Поэтому их эффективное решение требует разработки специальных алгоритмов и структур данных, реализованных в библиотеке программных модулей («универсальный решатель»), которая постоянно дополняется новыми возможностями [8]. Одной из недавних доработок является применение параллельных вычислений для повышения скорости расчетов, а также генетических алгоритмов.

Важно, что программные системы функционируют на стандартных персональных и переносных компьютерах, осуществляя расчеты за время, не превышающее несколько минут. Данное требование обусловлено тем, что ПС используются пользователями (технологами, менеджерами) для поддержки принятия управленческих решений и окончательный выбор план-задания может потребовать многократного запуска расчетов с различными входными данными. Кроме того, при возникновении значимых отклонений (изменение валютных курсов, отклонения по выходу продукции и поступившему сырью, отказ оборудования, поступление новых заказов и т.д.), как правило, требуется оперативная коррекция производственной программы.

Также особое внимание в интерфейсе пользователя уделено упрощению и ускорению ввода данных персоналом.

#### Бизнес-линия "Услуги"

Благодаря успешному опыту разработки и внедрения программных систем собственной разработки компания "Опти-Софт" успешно сотрудничает с зарубежными компаниями. Основными заказчиками

бизнес-линии "Услуги" в настоящее время выступают многонациональные корпорации Valmet, Metso и Outotec.

Корпорация Valmet (valmet.com) является одним из ведущих мировых разработчиков и поставщиков технологий, систем автоматизации и услуг для предприятий целлюлозно-бумажной и энергетической промышленности. Выполненные сотрудниками "Опти-Софт" многочисленные полномасштабные приложения и значительные доработки платформы Valmet DNA внедряются по всему миру. Valmet DNA — это единая система для автоматизации всех функций управления технологическими процессами промышленных предприятий. Эта система обслуживает все производственные потребности управления, включая оптимизацию, безопасность управления и решения по управлению активами. Непосредственно сотрудниками "Опти-Софт" реализовано около 40 проектов по внедрению систем Valmet DNA в России и странах СНГ на предприятиях нефтегазовой промышленности, ЦБП, энергетики и др.

Компания "Опти-Софт" в партнерстве с Петрозаводским госуниверситетом организовали единственный в России учебный центр по АСУТП Valmet DNA, в котором обучено >850 специалистов со всей России с >65 предприятий энергетики, ЦБП и нефтегазовой промышленности, а также инжиниринговых компаний.

Корпорация Metso (metso.com) — ведущая компания в мире, предоставляющая решения для горнодобывающей, нефтегазовой и целлюлозно-бумажной отраслей, производства нерудных материалов, а также запорно-регулирующей арматуры, и обеспечивающая стабильные показатели производительности и рентабельности. Разработанные сотрудниками "Опти-Софт" приложения используются практически ежедневно топ-менеджерами Metso и бизнес-линий и другими сотрудниками корпорации на всех пяти континентах.

Корпорация Outotec (outotec.com) является глобальным лидером в технологиях по переработке минералов и металлов, разработав в течение десятилетий целый ряд передовых технологий. Корпорация также предлагает инновационные решения для химической промышленности, водопользования и использования альтернативных источников энергии. Для Outotec "Опти-Софт" разрабатывает модули пакета HSC Chemistry (www.hsc-chemistry.net) для имитационного моделирования физико-химических реакций, что очень актуально, в частности, при проектировании технологических процессов горно-обогатительных предприятий. Пакет продается по всему миру и используется в собственных проектах Outotec.

Реализация сотрудничества с ведущими иностранными корпорациями также обеспечивает компании "Опти-Софт" интеграцию в сбытовые сети зарубежных партнеров и развитие самых современных компетенций по разработке ПО, что способствует

улучшению технических характеристик и функциональности, в том числе и собственной продукции.

Компания ведет регулярную работу по расширению спектра заказчиков бизнес-линии "Услуги". В частности, в апреле 2016 г. подписан контракт на выполнение разработки и тестирования ПО для ОАО "Московская биржа" (moex.com).

#### Заключение

Важная особенность систем компании "Опти-Софт" и их преимущество относительно конкурентов — это работа с будущими событиями предприятия и поиск оптимального «маршрута» (по разным критериям) к достижению поставленных целей.

Системы характеризуются высокой степенью адекватности математических моделей, высокой скоростью выполнения расчетов и гибкостью адаптации под предприятие заказчика, обеспечивают сквозное планирование и управление производственными процессами предприятия и/или группы предприятий (если в этом есть необходимость).

Наличие у компании платформы для унификации процессов разработки и внедрения также облегчает разработку новых программных систем. В частности, сейчас завершается создание информационно-аналитической системы планирования камнеобрабатывающего производства.

Заметный экономический эффект от использования программных систем подтвержден апробацией в реальных производственных условиях > 30 крупных и средних предприятий ЛПК России. На разработанные программные системы оформлено 11 свидетельств о госрегистрации программ для ЭВМ. Разработки неоднократно награждались

дипломами и медалями всероссийских и региональных конкурсов.

#### Список литературы

1. *Воронов Р.В., Косицын Д.П., Шабаев А.И., Воронова А.М., Щеголева Л.В.* Математическая модель задачи планирования многопередельного производства в лесопромышленном комплексе // Ученые записки ПГУ. Серия: Естественные и технические науки. 2013. № 4 (133). С. 101-104.
2. *Воронин А.В., Кузнецов В.А., Шабаев А.И., Архипов И.В.* Разработка и реализация системы планирования для лесопильного производства // Тр. СПИИРАН. №23. С.-Петербург: Изд. "Анатолия". 2012.
3. *Шабаев А.И., Архипов И.В., Саливоник А.В.* Программная система планирования лесопильно-деревообрабатывающего производства Opti-Sawmill // Автоматизация в промышленности. 2015. № 8. С. 3-7.
4. *Шабаев А.И., Косицын Д.П., Воронин А.В., Кузнецов В.А., Сошкин Р.В.* Разработка системы планирования производства гофротары // Автоматизация в промышленности. 2014. № 8. С. 13-16.
5. *Шабаев А.И., Косицын Д.П., Семанов С.А.* Модернизация системы класса MES на предприятии по выпуску газетной бумаги на примере ОАО "Кондопога" // Автоматизация в промышленности. 2015. № 1. С. 44-47.
6. *Воронин А.В., Шабаев А.И., Печников А.А.* Конвейерная технология разработки программного обеспечения для управления производственными ресурсами и процессами // Перспективы науки. 2010. Т.4.
7. *Шабаев А.И., Косицын Д.П., Шабалина И.М., Архипов И.В., Анапанис Ю.А.* "Облачные" сервисы оптимального планирования для предприятий ЦБП и ЛПК // Автоматизация в промышленности. 2013. № 4. С. 19-24.
8. *Шабаев А.И., Архипов И.В., Урбан А.Р.* Разработка систем планирования производства с использованием «матричного конструктора» // Тр. ВСПУ-2014. ИПУ РАН. 2014. С. 5011-5021.

*Шабаев Антон Игоревич — канд. техн. наук, доцент, директор,  
Косицын Дмитрий Петрович — канд. техн. наук, зам. директора ООО "Опти-Софт".  
Контактный телефон (8142) 71-32-10.  
E-mail: ashabaev@opti-soft.ru*