

«ОБЛАЧНЫЕ» СЕРВИСЫ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЦБП и ЛПК

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

И.М. Шабалина, И.В. Архипов, Ю.А. Апанасик (Петрозаводский государственный университет)

Приводится описание программной платформы, базирующейся на технологиях «облачных вычислений» и предназначенной для решения задач оптимального планирования производства предприятий ЦБП и ЛПК. В статье поясняется необходимость в проведении исследований и разработок в этой области, а также приводится описание архитектурных и технологических решений, применяющихся при создании платформы¹. Отмечено, что развитие платформы в настоящий момент продолжается.

Ключевые слова: облачные вычисления, планирование производства, оптимизация, хранение и обработка данных, библиотека программных модулей.

Введение

В настоящее время одной из тенденций в добывающей и перерабатывающей отраслях промышленности является создание территориально-распределенных многоуровневых холдингов, включающих 3...20 крупных предприятий (в совокупности > 300 предприятий) и осуществляющих полный цикл производства: заготовку сырья, его комплексную переработку с получением готовой продукции и ее транспортировку потребителям. Это позволяет (а иногда вынуждает)

решать задачу выполнения одного крупного заказа несколькими (в том числе территориально удаленными друг от друга) предприятиями холдинга, что может вести к снижению эффективности совместного планирования работы и управления предприятиями, входящими в холдинг.

Коллектив Петрозаводского госуниверситета (ПетрГУ) и малого предприятия ООО "Опти-Софт" (100% учредитель — ПетрГУ, в соответствии с ФЗ-217) имеет многолетний опыт выполнения крупных про-

¹ Работа выполняется при финансовой поддержке госконтракта № 14.514.11.4004 Министерства образования и науки Российской Федерации, а также при финансовой поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности.

ектов с государственным и частным финансированием по разработке и применению математических моделей, методов и комплексов программ для решения задач планирования производства, прежде всего, для предприятий лесопромышленного комплекса (ЛПК), целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) и машиностроения. В промышленную эксплуатацию внедрено более 80 прикладных программных систем. В числе заказчиков — Архангельский, Кондопожский, Котласский, Светогорский, Сеgezский и Соломбальский ЦБК; ОАО «Киевский картонно-бумажный комбинат»; ОАО «Прибой», ООО «Вереск-1» (г. Санкт-Петербург), ООО «Гранит» (г. Павловский Посад), ООО «Ярославский картон», ЗАО «Набережно-Челнинский КБК», ОАО «Каменская БКФ» (Тверская обл.), ОАО «Бумснаб» (г. Н. Новгород), ЗАО «Готэк» (г. Железногорск), ООО «Ника» (г. Санкт-Петербург), ООО «Нижкартон» (г. Н. Новгород), ООО «Сухонский гофрокартон» (г. Сокол); иностранные компании Metso Automation Inc. и Outotec Oy (Финляндия) и др.

Этот опыт показал, что схожесть производственных процессов предприятий делает возможным разработку и внедрение типовых программных решений для планирования производства [1]. Однако внедрение большого числа «локальных» программ на территориально-распределенных предприятиях приводит к существенным затратам временных и материальных ресурсов для настройки, сопровождения, обновления, модификации, а также мониторинга работы ПО.

Одним из возможных подходов, позволяющим облегчить решение перечисленных задач, является использование концепции «облачных вычислений». Программные сервисы при этом размещаются в «облачной» инфраструктуре, а динамический доступ к услугам, вычислительным ресурсам и приложениям предоставляется пользователям удаленно по сети Internet с использованием модели SaaS (Software as a Service — ПО как услуга) [2].

В настоящее время существуют программные платформы на основе «облачных» технологий и использующие модель SaaS, на базе которых созданы, например, системы управления взаимоотношениями с клиентами (CRM-платформы), системы управления проектами и задачами, системы для совместной и удаленной работы. Наиболее известны такие продукты, как SugarCRM (SugarCRM Inc., USA), Oracle CRM (Oracle Corporation, USA), КРОК (ЗАО «КРОК Инкорпорейтед», Россия), SalesMax (ООО «Мависофт», Россия), Ме-

гаплан (ООО «Мегаплан», Россия), Comindwork (Comindwork, UK, USA), Softline (ЗАО «СофтЛайн Трейд», Россия), Inoventica (ЗАО «Коммуникации для инноваций», Россия) и др. [3]

В отличие от известных аналогов, разрабатываемая ПетрГУ и ООО «Опти-Софт» платформа ориентирована на повышение эффективности планирования производства, прежде всего на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) и лесоперерабатывающего комплекса (ЛПК). Ее преимущества по сравнению с аналогами обусловлены наличием уникальной библиотеки программных модулей для решения сложных оптимизационных задач, возникающих при планировании и управлении производствами, а также адаптацией для нескольких видов производств — гофротары, бумаги, фанеры, лесопильной продукции и др.

"Облачная" платформа оптимального планирования

"Облачная" платформа оптимального планирования является сложным программно-аппаратным комплексом, построенным по модели «гибридного облака», компоненты которого могут функционировать как на частных вычислительных мощностях, так и на сторонних «облачных» ресурсах. Общая схема взаимосвязей между компонентами платформы представлена на рис. 1.

Потребители услуг, предоставляемых платформой, взаимодействуют с ее компонентами через "облачные" сервисы оптимального планирования (ОСОП) и управления сложными производственными процессами промышленных предприятий. С точки зрения пользователя, ОСОП — это аналог "локального" ПО, в котором реализованы интерфейс пользователя, возможности хранения и обработки

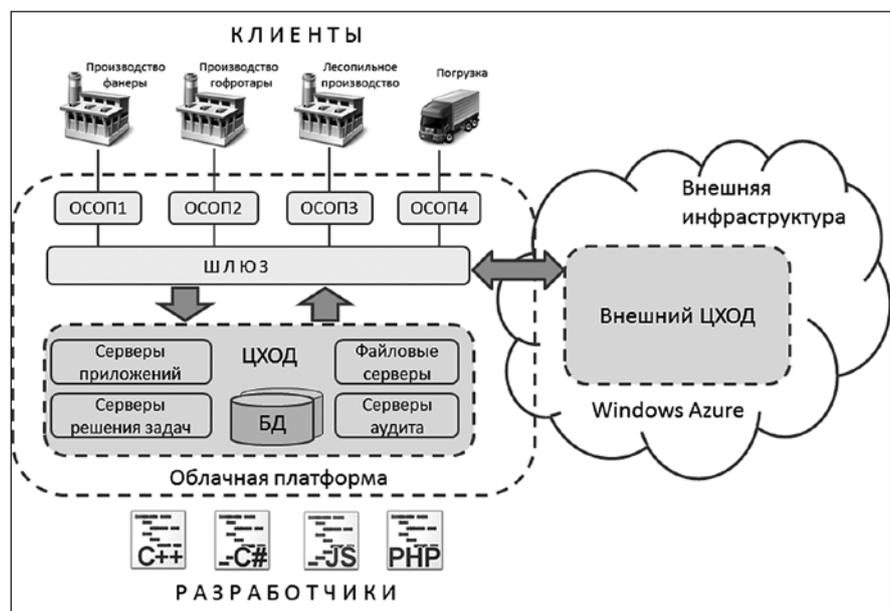


Рис. 1. Схема взаимосвязей между компонентами платформы, где ОСОП – облачный сервис оптимального планирования, ЦХОД – центр хранения и обработки данных

данных, система отчетов и прочие функциональные возможности.

С архитектурной точки зрения ОСОП является приложением, которое, с одной стороны, предоставляет пользователю набор высокоуровневых функций, отражающих требования заказчика к решаемому кругу задач; а с другой — обеспечивает взаимодействие остальных компонент платформы, в которых содержатся программные модули и сервисы, реализующие функциональную часть ОСОП в соответствии с требованиями заказчика. ОСОПы используют аппаратные ресурсы центра хранения и обработки данных (ЦХОД) платформы или ресурсы внешней инфраструктуры.

В настоящее время реализованы следующие сервисы:

- «Лесопиление» — для оптимизации процессов планирования и управления лесопильным производством;
- «Погрузка» — для управления погрузкой в транспорт;
- «Гофротара» — для оптимального планирования и управления производством продукции из гофрированного картона;
- «Фанера» — для планирования и управления фанерным производством;
- «Лесопереработка» — для повышения эффективности планирования и управления сквозными процессами использования древесины предприятиями ЦБП и ЛПК, в том числе несколькими предприятиями и с учетом транспортных перевозок на основе потоков данных о состоянии и параметрах производственного оборудования.

Каждый сервис может быть адаптирован под особенности технологических и бизнес-процессов конкретного предприятия-заказчика. Также могут быть реализованы новые сервисы для других видов производств.

Программные решения в виде ОСОП взаимодействуют с остальными компонентами платформы через специальный программно-аппаратный комплекс или "шлюз". Данный "шлюз" принимает запросы от ОСОП и перераспределяет нагрузку на сетевые и вычислительные ресурсы платформы. Ресурсы, обеспечивающие работу каждого ОСОП, разворачиваются в едином ЦХОД с мощной технической и экспертной поддержкой.

Основными логическими компонентами ЦХОД являются:

- сервер решения задач — содержит библиотеку программных модулей для решения оптимизационных задач, возникающих при планировании и управлении предприятиями ЦБП и ЛПК;
- сервер приложений, основной частью которого является бизнес-логика программных реализаций ОСОП, описывающая предметную область в пригодном для использования вычислительной системой виде. Бизнес-логика приложения должна объединять

данные и сценарии, и проектироваться в виде сети взаимосвязанных объектов, в которой каждый объект представляет собой отдельную значащую сущность;

- файловый сервер обеспечивает организацию совместного доступа к файлам и хранение файлов любого типа;
- сервер БД предназначен для хранения, наполнения и изменения данных, используемых компонентами платформы. Сервер предоставляет информацию по запросам от сервера приложений. Основным требованием к серверу БД является надежность и отказоустойчивость, что должно обеспечиваться аппаратными возможностями зеркалирования данных, а также периодическим резервным копированием. Платформа должна обеспечивать работу с несколькими различными СУБД, в частности, Microsoft SQL Server и Oracle Database;

– сервер аудита. Под аудитом с точки зрения платформы понимается набор функций по многоуровневому мониторингу активности всей системы, выполняемых рядом программных модулей.

Если ресурсов ЦХОД недостаточно для эффективной работы приложений при увеличении нагрузки на платформу, часть компонент может быть перемещена в ЦХОДы внешних поставщиков, таких как Windows Azure или Amazon Web Services. Это дает возможность предоставления заказчику в случае необходимости практически неограниченных вычислительных ресурсов без расширения программно-аппаратных ресурсов собственного ЦХОД (как правило, связанного с заметными финансовыми затратами), что снизит общую стоимость услуги.

Модули для решения прикладных оптимизационных задач планирования

Библиотека программных модулей для решения прикладных оптимизационных задач является одной из основных отличительных особенностей платформы. Библиотека содержит модули для решения задач раскроя, комплектовки и транспортировки материалов, часто возникающих при планировании и управлении предприятиями ЦБП и ЛПК. Такие задачи, в отличие от «классических» задач математического программирования [4], существенно усложняются необходимостью учета дискретности производственных процессов и продукции; указания очередности выполнения работ, стохастической природой производственного процесса и т. д. Для решения таких задач необходимы специальные алгоритмы и структуры данных.

Матрица ограничений в прикладных задачах оптимизации, как правило, имеет достаточно большую размерность и ярко выраженную специфическую блочную структуру. С учетом большого числа блоков матрицы ограничений определение и задание их взаимного расположения часто приводит к трудноустраняемым ошибкам. Поэтому в составе библиотеки реализована специальная структура данных для по-

При создании «воздушных» систем автоматизации главное – не затеряться за облаками.

Журнал «Автоматизация в промышленности»

вышения эффективности хранения и использования данных с учетом структуры подматриц — «матричный конструктор». На ее основе реализован специальный модуль для решения оптимизационных задач — «универсальный решатель».

В составе «универсального решателя» реализованы типовые алгоритмы решения задач сложного раскроя, включая линейные и нелинейные задачи оптимизации, задачи высокой размерности, многоцелевые задачи с комбинированными критериями. Модуль обеспечивает реализацию методов линейного, динамического и дискретного программирования, ряда алгоритмов решения задач выпуклого программирования, схем декомпозиции, что позволяет с минимальными затратами находить решение широкого круга оптимизационных задач планирования и управления предприятием.

Базовым методом решения задачи оптимизации является метод генерации столбцов. Его основное отличие от других методов в том, что проверка оптимальности решения осуществляется не с использованием матрицы исходных данных, а путем решения вспомогательной задачи оптимизации. Этот базовый метод адаптирован для учета дополнительных ограничений, которые часто встречаются на практике — верхние и нижние границы объемов производства, наличие нескольких однотипных агрегатов, пропорциональность выработки продукции и расходования объектов раскроя и др. [1].

Технологические решения, используемые в платформе

Аудит инфраструктуры платформы и аудит контекста

Под аудитом инфраструктуры подразумевается набор программно-аппаратных средств мониторинга работы всех экземпляров приложений и БД в вычислительной среде платформы. Аудит инфраструктуры реализован в виде независимого сервиса, который с заданной периодичностью производит мониторинг платформы и фиксирует информацию обо всех работающих экземплярах приложений и БД. К регистрируемой информации относится: имя экземпляра, выделенная память, используемое процессорное время, число пользователей и т. п.

Контекстный аудит также осуществляется на основе заложенных шаблонов в целях анализа действий пользователей и выявления "нежелательной" (а иногда и злоумышленной) активности при работе с приложением. Также может быть проведено расследование инцидента, если нежелательная активность не была обнаружена автоматически. Пользователи довольно часто совершают ненамеренные ошибки, которые приводят к сбоям в работе системы, поэтому

анализ их активности помогает выявить тонкие места в работе приложений и принять важные архитектурные решения.

Объектно-реляционное отображение (Object-relational mapping, ORM)

Платформа реализует и предоставляет адаптированные программные интерфейсы для применения технологии объектно-реляционного отображения (ORM). Данная технология основана на использовании библиотеки языка программирования, выполняющей отображение объектов реляционной модели (отношения, строки и атрибуты) на объекты языка программирования (классы, экземпляры, методы, атрибуты). Таблица соответствует классу, строки таблицы — экземплярам этого класса, колонки таблицы ("реляционные атрибуты") при этом отображаются на атрибуты объекта или вызовы методов чтения/записи. Отображение является двунаправленным: манипуляции с атрибутами объекта приводят к чтению информации из (и записи в) соответствующие таблицы БД. ORM управляется описанием отображения схемы БД на схему языка программирования.

В структуре платформы используется понятие бизнес-объекта, реализованного в виде класса, где каждому свойству бизнес-объекта соответствует колонка в таблице БД. Для взаимодействия объектно-ориентированной структуры приложения с данными, предоставляемыми реляционной базой используются библиотеки объектно-реляционного отображения, что обеспечивает независимость бизнес-логики от конкретной реализации сервера БД. Бизнес-методы платформы реализованы в виде сервисов, принимающих на вход и возвращающих бизнес-объекты, что позволяет легко масштабировать и изменять выходные реализации ПО.

IoC-контейнер (Inversion of Control Container)

Инверсия управления (IoC) — это архитектурный принцип разработки ПО, используемый для уменьшения связанности программных модулей. В отличие от «классической» ситуации, когда модуль верхнего уровня напрямую обращается к экземпляру модуля нижнего уровня, принцип IoC устанавливает зависимость обоих модулей от одной и той же абстракции. Модуль нижнего уровня реализует методы абстракции, а модуль верхнего уровня использует методы абстракции без связи с конкретной реализацией этой абстракции. Разрешение абстракции в конкретный экземпляр модели нижнего уровня происходит во время выполнения программы на основании сформированной разработчиком конфигурации. Программный инструментарий, комплексно реализующий функции для использования IoC в программных проектах, называют IoC-контейнер.

Инструментарий построения графического интерфейса MVVM

Архитектура платформы спроектирована в соответствии с концепцией Model-View-ViewModel (MVVM) [6], согласно которой система делится на три

основных слоя: модель, представление и модель представления. Модель содержит описание бизнес-логики приложения в виде набора свойств и методов их обработки, ее часто называют моделью предметной области. Представление в концепции MVVM — это набор методов визуализации данных, независимых от реализации модели. И, наконец, модель представления, являющаяся отличительной особенностью MVVM — это упрощенный класс модели, использующийся для передачи информации между методами обработки данных и представлением.

"Облачные" сервисы оптимального планирования на базе платформы

В данной статье представлен ОСОП «Лесопиление», структура которого в достаточной степени типична и для других сервисов. ОСОП «Лесопиление» позволяет с помощью специализированных математических моделей и оптимизационных алгоритмов эффективно решать широкий круг задач планирования лесопильного производства с целью сокращения затрат сырья, минимизации потерь и времени простоя оборудования независимо от числа заказов и конфигурации оборудования предприятия [5]:

- поиск технически возможных, рациональных по затратам материала вариантов раскроя пиловочного сырья на пиломатериалы различных размеров;
- расчет объемного и объемно-календарного плана выпуска продукции как оперативного, так и для длительного периода, обеспечивающего сбалансированный количественный и размерно-качественный состав

распиливаемых бревен и получаемых пиломатериалов для наиболее эффективного выполнения спецификационного задания из имеющегося сырья с учетом производственных и маркетинговых факторов;

- определение выгодности поступающих заказов в сочетании с действующим планом производства и в сочетании с другими потенциальными заказами;
- расчет оптимальной комплектности сортировочных групп бревен для линии сортировки.

В ОСОП «Лесопиление» реализованы следующие основные функции с учетом производственных особенностей и ограничений:

- планирование и расчет поставок;
- расчет оптимального объемного и объемно-календарного плана (либо по максимальной экономии сырья, либо по максимальной выручке от реализации);
- учет сырья для планирования работы пилорам;
- планирование работы пилорам;
- расчет нормативно-плановой себестоимости продукции;
- формирование различных производственных и экономических отчетных документов;
- при реализации системы учтены особенности и производственные ограничения [5].

Для ввода исходных данных и расчета плана реализован удобный пользовательский интерфейс (рис. 2).

В результате расчета формируется отчет, содержащий рекомендуемые способы распиловки пиломатериалов с указанием объема пиления по всем поставкам. При выборе поставка выводится графическая схема распиловки с указанием длины каждого пиломатериала (рис. 3.) По пиломатериалам указаны ограничения и расчетный объем.

Рассчитанные планы распиловки (например, на месяц) сохраняются в БД для последующего использования.

Реализованные в ОСОП отчеты содержат сведения о балансе древесины, производительности и загрузке пилорам, выпуске пиломатериалов, рекомендуемых поставках, экономических показателях работы предприятия.

Основной экономический эффект от использования ОСОП заключается в экономии сырья и повышении прибыльности предприятия, но его использование также дает ряд других преимуществ, повышающих экономическую эффективность и сокращающих сроки окупаемости проекта:

- сокращение сроков выполнения производственных заказов;
- упрощение расчета себестоимости продукции, в том числе планируемой к производству;
- сокращение времени на формирование производственных планов;

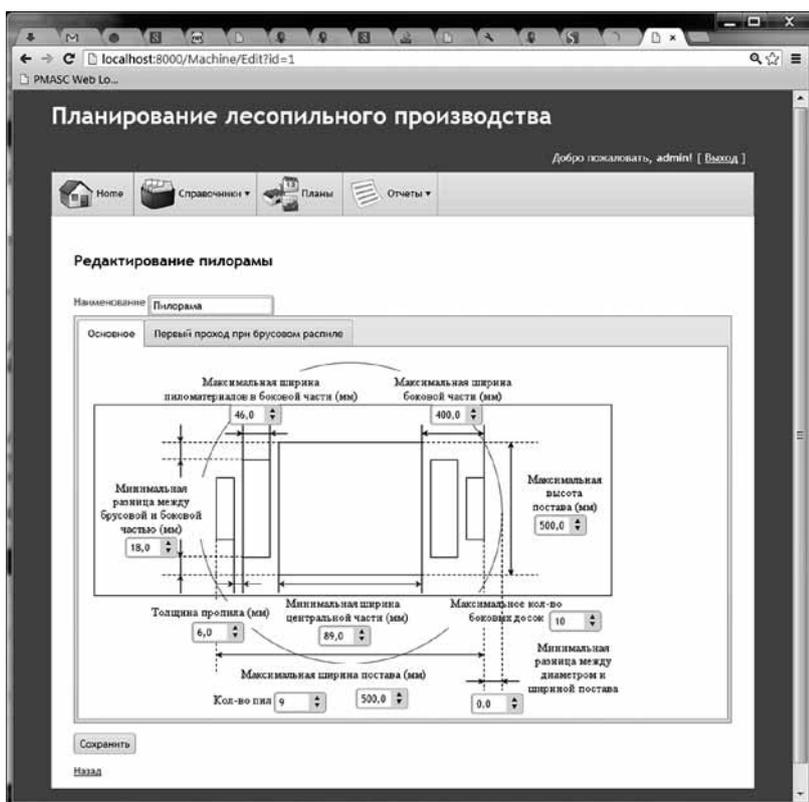


Рис. 2. Интерфейс ОСОП «Лесопиление»

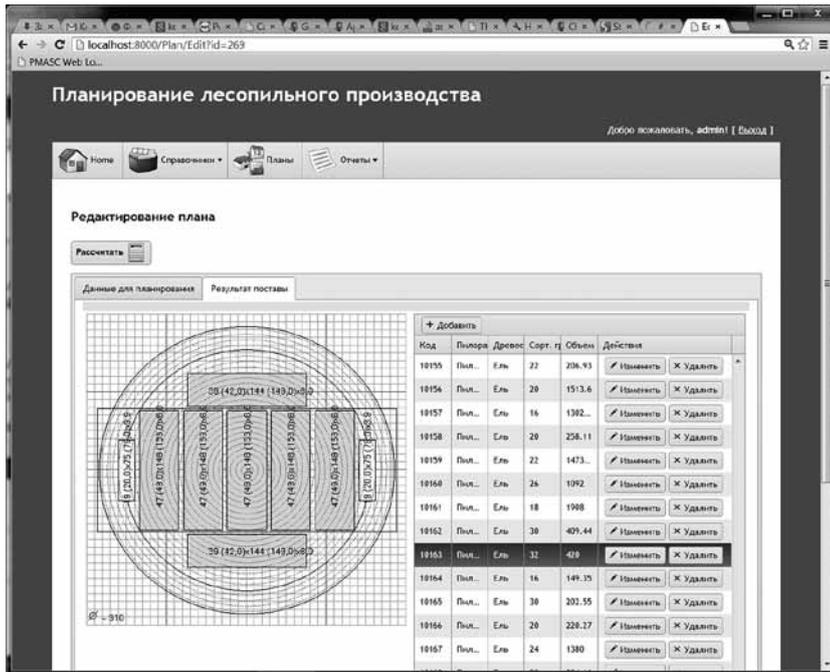


Рис. 3. Графическая схема распиловки

– возможность определения выгодности поступающих заказов в сочетании с действующим планом производства и с другими потенциальными заказами.

ОСОП был апробирован на реальных данных ООО «Медвежьегорский лесозавод», ООО «Сольский ДОК» и ЗАО «Соломенский лесозавод». На всех предприятиях отмечено снижение затрат на сырье (на 2...4%) и увеличение полезного выхода продукции (на 1...2%). В абсолютном выражении это составляет около 1 млн. руб. в месяц (точные суммы варьируются в зависимости от объема выпуска продукции, заказов и иных специфических условий предприятия).

Экономическая эффективность и преимущества использования платформы

Коллективом ПетрГУ и ООО "Опти-Софт" к настоящему моменту внедрено в промышленную эксплуатацию уже более 80 "локальных" прикладных программных систем.

Опыт работы по этим проектам подтверждает, что использование ПО, основанного на математических моделях, методах и алгоритмах решения задач управления и планирования производства, позволяет во многих случаях обеспечить улучшение ряда экономических показателей (по сравнению с системами, не использующими сложные математические методы и функции совместного решения производственных и транспортных задач):

– повышение эффективности использования оборудования на 3...4%; снижение процента потерь сырья на 1,5...2,5%; увеличение полезного выхода продукции на 1...2%; сокращение сроков выполнения производственных заказов;

– сокращение транспортных расходов на 0,5...1,5% (в отдельных случаях до 10%), числа требуемых транспортных средств на 5...12%;

– снижение затрат на информационные технологии (приобретение и сопровождение аппаратного и программного обеспечения, оборудования, штат ИТ-специалистов) за счет аренды ПО и оборудования вместо их покупки — в 1,5...2 раза.

При создании ОСОП в них закладывается учет специфики производств и оптимизационные алгоритмы, ранее реализованные и апробированные в рамках "локальных" исполнений.

Предполагается, что вышеуказанный экономический эффект сохранится и в "облачной" реализации. Более того, ожидается его повышение за счет возможности совместного решения задач планирования для нескольких (в том числе территориально-распределенных) предприятий.

К настоящему моменту пользователями ОСОП является уже пять предприятий. Разрабатываемая платформа и "облачные" сервисы на ее основе регулярно дорабатываются в целях отражения особенностей технологических и бизнес-процессов заказчиков.

Список литературы

1. Воронин А. В., Шабаетов А. И., Печников А. А. Конвейерная технология разработки программного обеспечения для управления производственными ресурсами и процессами // Перспективы науки. 2010. Т. 4.
2. Antonopoulos N., Gillam L. Cloud Computing: Principles, Systems and Applications. Springer. 2010.
3. Крупнейшие поставщики SaaS в России 2012 [Электронный ресурс] // CNews Analytics. 2012. — Режим доступа: <http://www.cnews.ru/reviews/free/cloud/rating/rating1.shtml>.
4. Таха Х. А. Введение в исследование операций. М.: Вильямс, 2005.
5. Воронин А. В., Кузнецов В. А., Шабаетов А. И., Архипов И. В. Разработка и практическая реализация системы оптимального планирования для лесопильного производства // Тр. СПИИРАН. №23. С.-Петербург: Изд. "Аналитика". 2012.
6. Фримен А., Сандерсон С. ASP. NET MVC 3 Framework с примерами на C# для профессионалов. Вильямс. 2011.

Шабаетов Антон Игоревич — канд. техн. наук, директор,
Косицын Дмитрий Петрович — канд. техн. наук, зам. директора ООО "Опти-Софт",
Шабалина Ирина Михайловна — канд. техн. наук, доцент, **Архипов Иван Владимирович** — аспирант,
Апанасик Юрий Аркадьевич — аспирант Петрозаводского государственного университета.
 Контактный телефон (8142) 71-32-10.
 E-mail: ashabaev@psu.karelia.ru