

Планирование производства в распределенной организационно-технической системе с применением технологий управления бизнес-процессами

Р.Р. Каримов

Факультет информатики и робототехники
Уфимский государственный авиационный
технический университет
Уфа, Россия
rikar@yandex.ru

С.С. Валеев

Факультет информатики и робототехники
Уфимский государственный авиационный
технический университет
Уфа, Россия
vss2000@mail.ru

Л.И. Шехтман

Факультет информатики и робототехники
Уфимский государственный авиационный
технический университет
Уфа, Россия
lidia.shehtman@yandex.ru

Е.А. Кузьмина

Факультет информатики и робототехники
Уфимский государственный авиационный
технический университет
Уфа, Россия
kuzminaea@mail.ru

Н.В. Кондратьева

Факультет информатики и робототехники
Уфимский государственный авиационный
технический университет
Уфа, Россия
knv24@mail.ru

Т.В. Исламгулов

ООО «Тимбилд»
Уфа, Россия
skyf2001@mail.ru

Аннотация¹

Рассматривается задача планирования производства в распределенной организационно-технической системе на примере строительного предприятия среднего и крупного масштаба. Предлагается модернизация процессов планирования производства на базе технологии управления бизнес процессами. Разработаны математические модели планирования организационных и технических ресурсов в распределенной системе. Предложены функциональные модели планирования производства на основе нотации BPMN, что позволяет динамически управлять процессами в распределенной системе.

Ключевые слова: планирование производства; сетевое планирование; управление бизнес процессами; распределенная организационно-техническая система; ресурсы системы.

1. Введение

С точки зрения решения задач управления строительные предприятия с крупным и средним масштабом производства относятся к категории сложных организационно-технических систем (ОТС) и обладают многоуровневой и территориально-распределенной структурой. В настоящее время крупные и средние строительные предприятия параллельно осуществляют строительство в нескольких территориально удаленных регионах, привлекают к производству и поставкам различные субподрядные организации.

С учетом масштабов производства, высокой стоимости и значимости крупных и средних строительных проектов возникают неопределенности и риски, сопоставимые с уровнем рентабельности и стоимости самого предприятия [1-6].

Также возрастает интенсивность организационно-технического и производственного документооборота. Для повышения эффективности организационно-технических процессов строительного производства предлагается модернизация процесса принятия решений при планировании производства на ранних стадиях с помощью технологии управления бизнес процессами (Business Process Management - BPM), что требует перехода от формальных

Труды Седьмой всероссийской научной конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 28-30 мая, Уфа-Ставрополь, Ханты-Мансийск, Россия, 2019

VII Всероссийская научная конференция "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", Уфа-Ставрополь-Ханты-Мансийск, Россия, 2019

регламентов процессного управления к событийно-управляемым динамическим моделям процессов [7-11].

В связи с этим становится актуальной задача оперативного планирования и контроля производства в распределенной ОТС. Поскольку строительное производство связано с расходованием значительных объемов трудовых, материальных и финансовых ресурсов на параллельно возводимых объектах, на этапе планирования строительного производства необходимо эффективно распределять различные виды ресурсов между строительными объектами для повышения результативности всего предприятия. В условиях рыночной конкуренции и сложной финансовой ситуации предприятию необходимы оперативные и более точные и достоверные методы планирования.

Задача планирования и управления территориально-распределенным производством разделяется на два уровня – уровень локального строительного объекта и уровень головного предприятия. Реализацию технологии поддержки принятия решений с применением BPM-системы рассмотрим на каждом из этих двух уровней.

2. Постановка задачи

Сокращение затрат в строительстве осуществляется не только рациональными объемно-планировочными решениями зданий, правильным выбором строительных и отделочных материалов, облегчением конструкции, усовершенствованием методов строительства, но и грамотным управлением всей деятельностью строительного предприятия, оперативным распределением ресурсов и оптимизацией плана производства.

Функционирование территориально-распределенного предприятия сопряжено с рядом дополнительных проблем. В частности, большое количество удаленных подразделений создает ощутимые сложности при

сборе информации об их деятельности и ее обработке. Несинхронность поступления информации по объектам строительства является одним из основных факторов, снижающих эффективность управления предприятием, в частности, процессов планирования и управления затратами предприятия.

При существующем подходе для анализа исходных данных строительного заказа привлекается значительное количество специалистов строительного предприятия – начальники участков, инженеры снабжения, проектировщики, инженеры-сметчики и др. Однако даже детально разработанное коммерческое предложение не обеспечивает достаточно высокой точности оценки параметров производства в силу сложности и неопределенности множества факторов на всех объектах строительства.

Таким образом, в основном ограничиваются планированием производства только на локальном объекте, что не позволяет оценивать состояние всей системы, оптимально распределять ее ресурсы по всем объектам и оперативно принимать решения по планированию и управлению производством. В результате этого, срок и стоимость выполнения заказа определяются либо экспертным путем внутри предприятия, либо нормативным методом на основе расчета сроков отдельных видов работ, что влечет за собой значительные отклонения плановых показателей производства от фактических.

Для заказчика строительного подряда сроки и стоимость выполнения работ являются ключевыми параметрами при выборе подрядчика. Штрафные санкции за срыв договорных сроков составляют до 30% от стоимости договора. Предлагаемая схема взаимодействия головного предприятия со строительными объектами при планировании производства представлена на рис. 1.

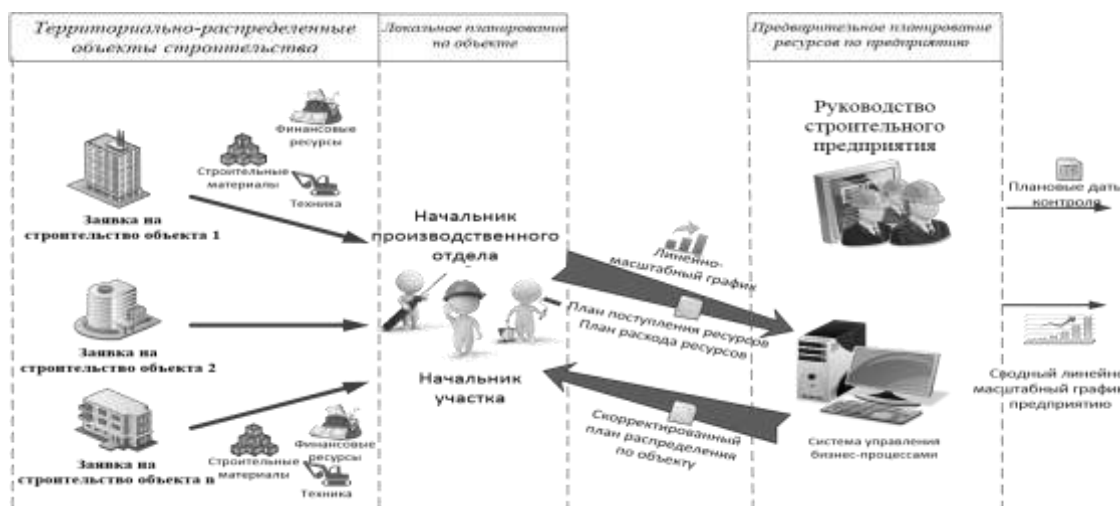


Рис. 1. Схема информационного взаимодействия головного предприятия со строительными объектами

Предварительное планирование позволяет согласовать и оптимизировать распределение ресурсов между объектами строительства на ранних стадиях производства и получить

сводный линейно-масштабный график распределения собственных и привлеченных ресурсов предприятия с учетом плана затрат ресурсов на всех объектах

Планирование производства в распределенной организационно-технической системе с применением технологий управления бизнес-процессами

строительства, а также оптимально подобрать контрольные периоды для синхронизации данных по всем объектам предприятия.

Целью исследования является повышение эффективности и достоверности оценки требуемых ресурсов для локального объекта строительства и для всего множества объектов строительного предприятия как организационно-технической системы. Рассматриваемую задачу предлагается решать с использованием методов сетевого планирования и технологии управления бизнес процессами на основе нотации BPMN.

3. Математическая модель планирования производственных ресурсов в распределенной ОТС

Инвестиционно-строительный проект может быть описан функциями дохода $D(t) \rightarrow \max_{t \in S}$ и затрат $P(t) \rightarrow \min_{t \in S}$. При этом экономическая эффективность системы может быть определена как

$$E(t) = D(t) - P(t) \rightarrow \max \quad (1)$$

Функция доходов ОТС на рассматриваемый период рассчитывается по формуле:

$$D(t) = \sum_{j=0}^n D_j(t), \quad (2)$$

где $j = (1, n)$, n – количество локальных объектов, $D_j(t)$ – доход по j -му локальному объекту.

Функция затрат ОТС на рассматриваемый период:

$$P[t, R_m(t), R_{\phi}(t), R_{\phi_j}(t), R_{\phi_j}(t)] = \sum_{j=1}^n P_j[t, r_{m_j}(t), r_{m_j}(t), r_{\phi_j}(t), r_{\phi_j}(t)], \quad (3)$$

где $R_m(t)$ – зависимость затрат материальных ресурсов системы по всем объектам; $R_{\phi}(t)$ – зависимость затрат технических ресурсов системы по всем объектам; $R_{\phi_j}(t)$ – зависимость затрат финансовых ресурсов системы по всем объектам; $R_{\phi_j}(t)$ – зависимость затрат человеческих ресурсов системы по всем объектам; $r_{m_j}(t), r_{m_j}(t), r_{\phi_j}(t), r_{\phi_j}(t)$ – затраты ресурсов по каждому объекту.

Ограничения по срокам: $t_{kp_j} \leq T_{kp_j}^*$, где $T_{kp_j}^*$ – срок строительства, t_{kp_j} – длительность критического пути каждой работы j -го объекта. Ограничения по ресурсам:

$$R_m(t) \leq \sum_{j=0}^n r_{m_j}(t), \quad (4)$$

$$R_m(t) \leq \sum_{j=0}^n r_{m_j}(t), \quad (5)$$

$$R_{\phi}(t) \leq \sum_{j=0}^n r_{\phi_j}(t), \quad (6)$$

$$R_{\phi_j}(t) \leq \sum_{j=0}^n r_{\phi_j}(t). \quad (7)$$

4. Математическая модель планирования организационных ресурсов в распределенной ОТС

При планировании организационных (человеческих) ресурсов возникает проблема наилучшего распределения исполнителей по проектам и по отдельным задачам внутри проектов с учетом требований и ограничений для конкретного проекта, например, с размером бюджета проекта и сроками его выполнения [9]. Исходными данными являются:

m – число исполнителей; n – число работ; d – длительность в планируемого периода; W – суммарный фонд оплаты труда.

Множество исполнителей: $K = \{k_1, k_2, \dots, k_i, \dots, k_m\}$,

где k_i – вектор параметров i -го исполнителя; $k_i = (k_1^i, k_2^i)$, здесь k_1^i – плата за час работы i -го исполнителя, k_2^i – оценка квалификации i -го исполнителя («ставка грейда»), $i = \overline{1, m}$.

Множество работ: $R = \{r_1, r_2, \dots, r_j, \dots, r_n\}$, где r_j – вектор параметров j -й работы; $r_j = (r_1^j, r_2^j, r_3^j)$, здесь r_1^j – количество часов, требуемых для выполнения j -й работы, r_2^j – оценка квалификации исполнителя, требуемой для j -й работы, r_3^j – количество дней от начала планируемого периода до предельного срока окончания выполнения j -й работы, $j = \overline{1, n}$.

Матрица допустимых назначений A :

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й исполнитель} \\ & \text{может выполнять } j\text{-ю работу;} \\ 0, & \text{если не может.} \end{cases} \quad (8)$$

$$i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}.$$

Матрица рабочего времени W : w_{il} – количество свободных рабочих часов у i -го исполнителя в l -й день, $i = \overline{1, m}$, $l = \overline{1, d}$.

Искомые величинами являются:

Матрица назначений X :

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й исполнитель} \\ & \text{назначен на } j\text{-ю работу;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}, \quad (9)$$

$$i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}.$$

Нужно учесть следующие ограничения. Каждой работе может быть назначен только один исполнитель: $\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1, \quad j = \overline{1, n}$. Каждой работе может быть назначен только допустимый исполнитель: $\forall x_{ij} = 1 \quad a_{ij} = 1, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}$. Оценка квалификации назначенного исполнителя должна быть не меньше оценки квалификации, требуемой для выполнения работы: $\forall x_{ij} = 1 \quad k_2^i \geq r_2^j, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}$. Ограничение на суммарный фонд оплаты труда:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} k_1^i r_1^j \leq W.$$

Все исполнители должны выполнить запланированные работы к заданному сроку:

$$\forall x_{ij} = 1 \quad \exists l_{\min} : (1 \leq l_{\min} \leq d) \wedge$$

$$\wedge \left(\min_s \left(\sum_{l=l_{\min}}^s w_{il} \geq r_1^j \right) \leq r_3^j \right) \quad (10)$$

$$i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n},$$

где $\min_s \left(\sum_{l=l_{\min}}^s w_{il} \geq r_1^j \right)$ – количество дней, которое потребуется i -му исполнителю на выполнение j -й работы. Ограничение на максимальную загруженность исполнителей в течение дня:

$$\forall i = \overline{1, m} \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} r_1^j \leq \sum_{l=1}^d w_{il}.$$

В качестве целевой функции рассмотрим суммарную квалификацию коллектива исполнителей:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} k_2^i \rightarrow \max. \quad (11)$$

5. Функциональная модель планирования строительства в распределенной ОТС

Изменения в подходах при планировании и принятии решений требует модернизации модели бизнес процесса системы.

Для автоматизации бизнес процесса предлагается использовать BPM-технологии, которая позволяет эффективно внедрять модели организационно-технических процессов и динамически управлять этими процессами.

Рассмотрим реализацию ряда ключевых бизнес процессов системы на основе нотации BPMN, которая лежит в основе большинства BPM-систем. Функциональная модель процесса «Планирование производства» представлена на рис. 2. На рисунке представлены основные этапы процессов и отделы, исполняющие эти процессы.

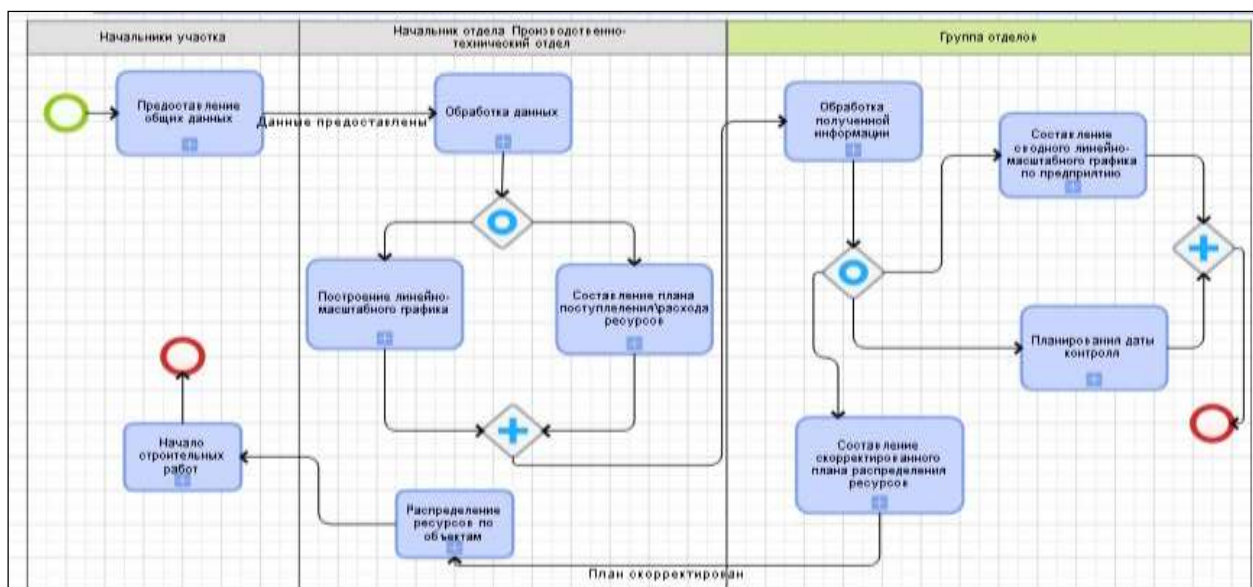


Рис.2. Функциональная модель процесса «Планирование производства»

После того, как начальники участков предоставят общие данные, они передаются начальнику производственно-технического отдела, которые затем анализирует полученные данные, а затем на их основе составляется линейно-масштабный график и

план поступления/распределения ресурсов. Линейно-масштабный график может быть представлен как в электронном виде, так и в бумажном. После этого весь полученный материал отправляется руководству для принятия решений. Затем составляется сводный

Планирование производства в распределенной организационно-технической системе с применением технологий управления бизнес-процессами

линейно-масштабный график, планируются даты контроля и корректируются план распределения ресурсов. После этого полученный план передается начальнику производственно-технического отдела, который в свою очередь дает разрешение начальникам участков на начало строительных работ.

Каждый из внутренних процессов возможно декомпозировать на более мелкие задачи. Глубину детализации можно регулировать в вплоть до отдельного задания для конкретного исполнителя. В качестве примера такой детализации можно рассмотреть процесс «Предоставление общих данных», реализованный в программном средстве ELMA BPM (рис. 3).

Важной частью производства строительномонтажных работ предприятия является планирование деятельности, которое позволяет избежать множества ошибок и неточностей при реальной реализации какого-либо проекта и уже на ранних стадиях сократить высокие издержки или время, требуемое для строительства. На рис. 4 представлена модель планирования производства в распределенной ОТС в нотации BPMN.

После того, как начальник производственно-технического отдела запрашивает информацию по объектам, начальники участков обращаются к списку работ, определяют список ресурсов, после чего по каждому объекту составляется общая информация.

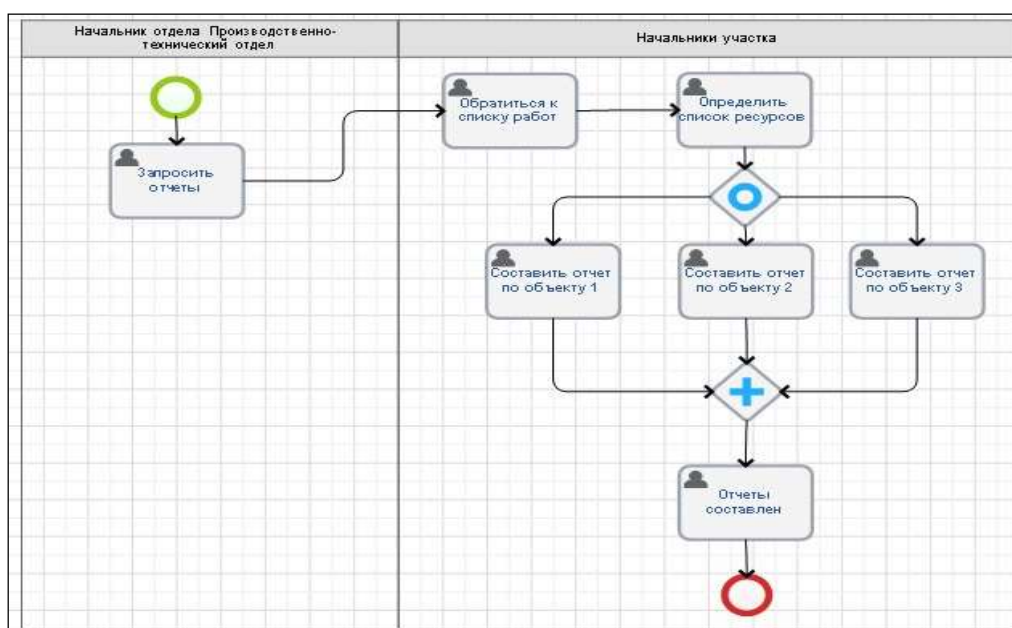


Рис.3. Детализация процесса «Предоставление общих данных»

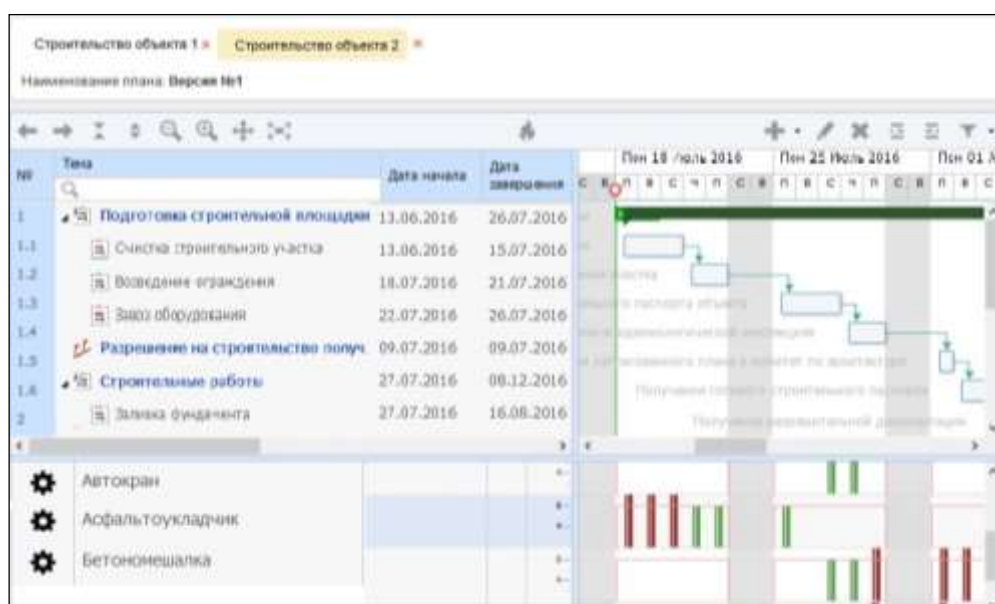


Рис. 4. Функциональная модель планирования производства распределенной ОТС в нотации BPMN

6. Реализация технологии поддержки принятия решений при планировании производства на локальном производственном объекте

Для исключения перегрузок и недогрузок, а также появления задач без исполнителей имеющиеся ресурсы распределяются между набором выполняемых одновременно проектов в соответствии с математической моделью распределения

организационных ресурсов (8) – (11). Оптимальное распределение материальных ресурсов рассчитывается в соответствии с математической моделью (1) – (7). Методы управления загрузкой ресурсов при этом такие же, как и в отдельном проекте. Менеджер управляет процентом загрузки ресурса в определенных задачах, при необходимости подключает новые ресурсы. Интерфейс модуля по управлению материальными ресурсами представлен на рис. 5.

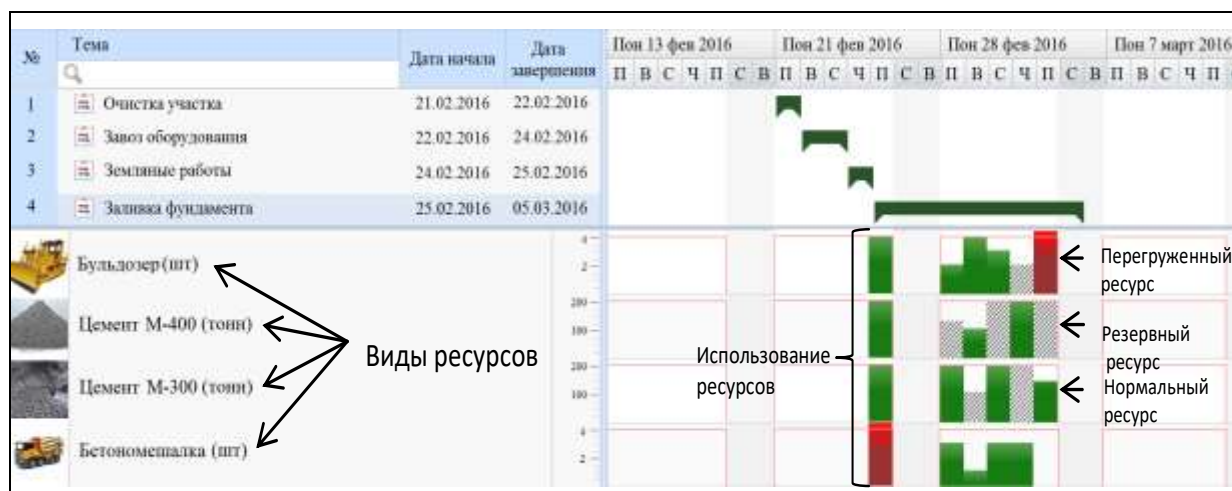


Рис. 5. Интерфейс модуля управления материальными ресурсами

С помощью методов сетевого планирования выделены основные процессы строительства локального объекта, определена их взаимосвязь и длительность, составлен сетевой график и вычислена общая длительность всего проекта. Комплекс моделей реализован с использованием бизнес-процессов и визуального языка программирования.

Для реализации моделей выбран язык BPMN, отвечающий современным требованиям и имеющий в своем составе набор эффективных инструментов, способных реализовать практически любую задачу. Важным моментом является то, что проектирование бизнес-процессов может выполнять бизнес-аналитик без участия программиста.

Создание любого бизнес-процесса начинается с построения организационной структуры, на основе которой потом будут выделяться исполнители для процессов и подпроцессов. Далее создается основной процесс верхнего уровня, в который включаются подпроцессы более низкого уровня, что обеспечивает многоуровневую детализацию.

На основании разработанной модели бизнес-процессов и соответствующей математической модели можно найти необходимый критический путь для реализации последовательности работ по возведению локального объекта строительства.

Таблица 1. Исходные данные строительства объекта

Название	Процесс	Предшественник	Длительность (дни)
A	Очистка участка	-	1
B	Завоз оборудования	-	2
C	Земляные работы	A	1
D	Заливка фундамента	C	2
E	Водопроводно-канализационные работы	B,C	6
F	Возведение каркаса здания	D	10
G	Прокладка электропроводки	F	3
H	Создание перекрытий	G	1
I	Создание каркаса крыши	F	1
J	Внутренние водопроводно-канализационные работы	E,H	5
K	Покрытие крыши	I	2
L	Изоляционные работы	F,J	1
M	Вставка окон и дверей	F	2
N	Обкладка кирпичом	L,M	4
O	Штукатурка стен и потолков	G,J	2
P	Облицовка стен и потолков	O	2
Q	Изоляция крыши	I,P	1
R	Окончание внутренних	P	7

Планирование производства в распределенной организационно-технической системе с применением технологий управления бизнес-процессами

	отделочных работ		
S	Окончание наружных отделочных работ	I,N	7

T	Ландшафтные работы	S	3
---	--------------------	---	---

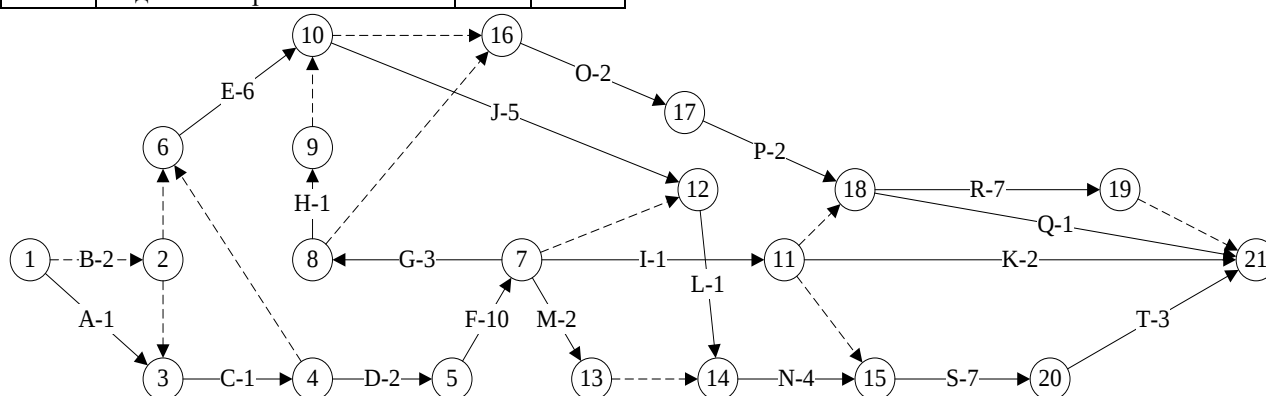


Рис. 6. Упрощенный сетевой график строительства локального объекта

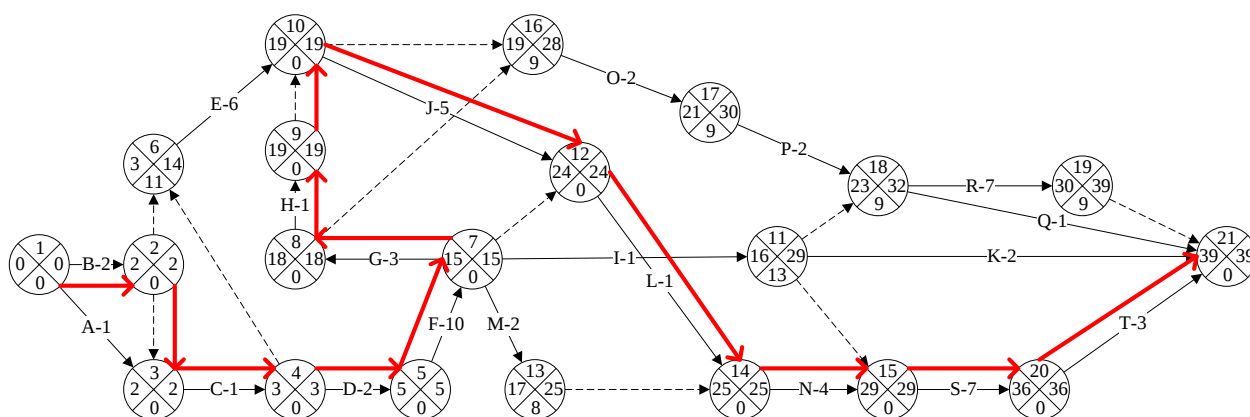


Рис. 7. Критический путь проекта строительства локального объекта

Метод включает в себя четыре основных этапа: определение списка работ, построение сети, вычисления и построение временного графика.

Эксперимент по оценке эффективности предлагаемого решения для планирования выполнения конкретного заказа на локальном объекте ОТС, предложено сравнить полученные планы, созданные в системе моделирования бизнес-процессов и непосредственно разработанные на предприятии. На основании исходных данных разработан предварительный упрощенный сетевой график строительства (рис. 6).

При этом были выделены критические процессы, от которых напрямую зависит общий срок строительства (например, возведение каркаса здания), и некритические, от которых общий срок зависит не так жестко (например, прокладка внутренних коммуникаций).

Далее была определена длительность критического пути (рис. 7), что в данном случае составляет 39 дней.

В итоговом сметном расчете отображается объем и общая стоимость выполнения работ, а также размер

фонда оплаты труда и общее количество нормативных человеко-часов. Общая стоимость разработанной сметы составила 19 738 тыс. рублей.

На основании общего количества трудозатрат 3748 чел/часов была рассчитана итоговая длительность работ 48 дней, возможное параллельное выполнение различных видов работ также учитывалось.

Таким образом, можно сделать вывод, что стоимость заказа была оценена различными методами практически одинаково с расхождением менее 1%, но оценка срока выполнения всех работ оказалась значительно более точной. Более точный прогноз итоговых сроков позволяет выдвинуть более привлекательное для заказчика коммерческое предложение, что повышает шансы на выигрыш тендера. Также появилась возможность достаточно обоснованно доказать, что необоснованное уменьшение сроков приведет к понижению качества работ.

Заключение

Предлагаемый подход позволяет устранить проблему асинхронности поступления информации по объектам

строительства при одновременном выполнении предприятием ряда проектов и повысить, таким образом, эффективность управления территориально распределенным предприятием.

При этом появляется возможность работы в единой информационной среде ведущих специалистов – начальников участков, инженеров снабжения, проектировщиков, сметчиков и т.д. Также обеспечивается достаточно высокая точность оценки параметров производства на стадии анализа заказа, что позволяет оценить состояние системы в целом, оптимально распределить ресурсы по объектам и оперативно принимать решения по планированию и управлению производством.

Предлагаемая модернизация процессов планирования производства на базе технологии управления бизнес процессами и разработанных математических моделей планирования организационных и технических ресурсов в распределенной системе позволило повысить эффективность планирования производственных процессов.

Рассмотренный пример планирования производства по предлагаемой технологии показал высокую точность планирования в первую очередь сроков предполагаемых работ.

Также оказалась эффективной технология управления материальными ресурсами в режиме реального времени.

Список используемых источников

1. Гинзбург А.В. Проектирование системы материально-технического обеспечения строительства в условиях информатизации // Вестник МГСУ. 2011. № 5. С. 321.
2. Казарновский В.А., Волков Р.В. Особенности сетевого управления в крупных инвестиционно-строительных компаниях // Недвижимость: экономика, управление. 2015. № 2. С. 96-101.
3. Горелик П.И. Бережливое строительство как инновационный метод управления строительством // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 12 (27). С. 40-48.
4. Бова В.В., Курейчик В.В., Нужнов Е.В. Проблемы представления знаний в интегрированных системах поддержки управленческих решений // Известия ЮФУ. Технические науки. 2010. № 7 (108). С. 107-113.
5. Халин В.Г., Чернова Г.В., Юрков А.В. Методологические аспекты создания и функционирования систем поддержки принятия решений // Экономический анализ: теория и практика. 2015. № 7 (406). С. 20-33.
6. Лисицин Л.А., Халин Ю.А., Лисицин А.Л. Системы поддержки принятия управленческих решений в условиях неполной информации // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 4-2 (43). С. 95-99.
7. Каримов Р.Р., Кузьмина Е.А., Исламгулов Т.В. Информационная поддержка принятия решений в производственной деятельности строительного предприятия // В сборнике: Information Technologies for Intelligent Decision Making Support ITIDS'2015 Proceedings of the 3rd International Conference. Ufa, 2015. С. 216-219.
8. Валеев С.С., Каримов Р.Р., Кузьмина Е.А., Исламгулов Т.В., Карпенко О.Ю., Шеина А.А. Информационная поддержка жизненного цикла сложного технического объекта с применением интеллектуальных технологий и технологий обработки больших данных // В сборнике: Свободный полет - 2015. Задачи обработки больших данных в авиации Материалы II Всероссийской научно-практической конференции. Под общей редакцией С.С. Валеева, А.Д. Кулакова, И.А. Копылова. 2016. С. 113-12
9. Валеев С.С., Шехтман Л.И., Кузьмина Е.А., Садыков Т.Р., Исмагилова И.М. Решение задачи назначения исполнителей на основе генетического алгоритма // Естественные и технические науки. 2014. № 11-12 (78). С. 316-319.
10. Валеев С.С., Кузьмина Е.А., Шехтман Л.И. Задача оценивания качества работы сотрудников организации // Естественные и технические науки. 2012. № 3 (59). С. 280-282.
11. Valeev S.S., Karimov R.R., Karpenko O.Yu., Kondratyeva N.V. Information support of complex technical systems on the base of soft computing technologies // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2013. Т. 17. № 6 (59). С. 57-60.
12. Каримов Р.Р., Кузьмина Е.А., Исламгулов Т.В. Информационная поддержка принятия решений в производственной деятельности строительного предприятия // Information Technologies for Intelligent Decision Making Support ITIDS'2015 Proceedings of the 3rd International Conference. 2015. С. 216-219.
13. Каримов Р.Р., Янбарисова В.Р. Управление бизнес-процессами авиастроительного предприятия на основе технологии Big Data // В сборнике: Свободный полет - 2015. Задачи обработки больших данных в авиации Материалы II Всероссийской научно-практической конференции. Под общей редакцией С.С. Валеева, А.Д. Кулакова, И.А. Копылова. 2016. С. 219-225.