

УПРАВЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВОМ ОБЪЕКТА НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТА

Е.В. Гусев, А.В. Голлай

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Календарный план является основным источником информации при управлении строительным объектом. От его качества в конечном итоге зависит общая эффективность и успешность проекта. В настоящее время понятие «технология возведения объекта» ассоциируется с технологической последовательностью работ объекта, взаимосвязью между ними, но практически отсутствуют глубокие теоретические исследования в области определения количественных соотношений между взаимосвязанными работами. Традиционный подход к определению количественных соотношений, основанный на ранее принятых организационных решениях, вполне оправдан для организационно-технологического планирования. Но для того чтобы организовать производство работ, то есть принять соответствующие организационные решения для выполнения конкретных объемов работ, надо предварительно определить эти объемы. Причем в процессе определения должны быть учтены технологические требования, которые и диктуют количественные соотношения между взаимосвязанными работами. **Цель исследования:** построение модели, учитывающей технологические зависимости в процессе выполнения строительно-монтажных работ. **Материалы и методы.** В работе были использованы имеющиеся в открытых источниках публикации, посвященные организации строительных работ, а также нормативно-правовые акты, используемые в РФ, регламентирующие строительную отрасль. **Результаты.** Дано новое понимание технологии строительства объекта – количественная и качественная оценка технологических связей между работами, которые определяют возможность планирования работ и организацию производства в зависимости от состояния предшествующих. Такое определение позволяет сформулировать суть моделирования технологии строительства объекта, а именно установление технологических связей между работами и определение минимальных объемов на предшествующей, которые открывают возможность для планирования технологически взаимосвязанного объема на последующей работе. В статье разработана и представлена модель (модель объектных технологических зависимостей), описывающая технологические взаимосвязи работ и их количественные оценки по началу и окончанию работ. Показаны возможности модели объектных технологических зависимостей в разработке управленческих решений с точки зрения общих функций управления строительством объекта. **Заключение.** Описанная модель может успешно служить технологической основой для планирования строительно-монтажных работ, принятия организационных решений, контроля хода выполнения работ, а также для разработки управленческих решений в процессе строительного производства. С её помощью можно анализировать ход и состояние выполнения работ в каждом плановом периоде планируемого года.

Ключевые слова: управление, управление строительством, управление проектом, строительство, автоматизация управления.

Согласно нормативным и руководящим документам, управление строительством (возведением) объекта осуществляется на базе календарных планов в составе проекта организации строительства (ПОС) и проекта производства работ (ППР) [1, 2]. Задача календарного плана в составе ПОС состоит в распределении денежных средств во времени (по месяцам, кварталам). Эта информация обязательно учитывается при разработке календарного плана в составе ППР [3]. Этот календарный план является основным источником информации для решения задач управления строительством объекта: календарное распределение объемов строительно-монтажных работ (СМР), определение календарной потребности в материальных, технических, трудовых и др. ре-

сурсах, логистика обеспечения и организация строительного производства, учёт и контроль хода производственного процесса и многие другие задачи общих функций управления – планирование, организация, регулирование, учёт и контроль [4, 5]. Графическая часть календарного плана строительства объекта представляется в виде линейного графика Ганта, циклограмм и различных модификаций сетевых моделей [6]. Все они относятся к группе организационно-технологических моделей (ОТМ), в которых должны быть отражены организационные решения строительного производства и технология строительства объекта [7]. Необходимо обратить внимание на рекомендуемый в нормативной и учебной литературе порядок разработки календарного плана.

1. Составление перечня (номенклатуры) работ.
2. Определение объёмов по каждому виду работ.
3. Выбор метода производства основных работ и ведущих машин.
4. Расчёт нормативной трудоёмкости и машинозатрат.
5. Определение состава бригад и звеньев.
6. Построение технологической последовательности выполнения работ.
7. Определение сменности работ.
8. Определение продолжительности отдельных работ и их совмещение между собой. Корректировка числа исполнителей и сменности.
9. Сопоставление расчётной продолжительности возведения объекта с нормативной и соответствующая корректировка.
10. На основе сформированного плана разрабатывают графики потребности в ресурсах и их обеспечения [8].

Из приведённого порядка разработки объектного календарного плана видно, что в процедуре заложена последовательность, в основе которой лежит первоочерёдность решения организационных вопросов. Технология строительства объекта сводится к построению технологической последовательности выполнения работ [9, 10].

В настоящее время понятие «технология возведения объекта» ассоциируется с технологической последовательностью работ объекта, взаимосвязью между ними [11], но практически отсутствуют глубокие теоретические исследования в области определения количественных соотношений между взаимосвязанными работами. Сейчас эти соотношения определяются (устанавливаются) в графиках строительства объекта, частично в технологических графах, но исходя из ранее принятых организационных решений [12–15]. Такой подход к определению количественных соотношений между технологически связанными работами вполне оправдан для организационно-технологического планирования. Но для того, чтобы организовать производство работ, то есть принять соответствующие организационные решения для выполнения конкретных объёмов работ, надо предварительно определить эти объёмы [16]. Причем в процессе определения должны быть учтены технологические требования, которые и диктуют количественные соотношения между взаимосвязанными работами [17].

Технология возведения объекта, в отличие от технологии строительного производства, где вопросы касаются выполнения отдельного вида работ, процесса, элемента объекта, рассматривают объект в целом с его «внутренней» взаимосвязью работ, характерной только для данного типа объекта. Как правило, проработка этой «внутренней» связи между работами заканчивается установлением технологической последовательности работ этого объекта [18]. На этом технология строительства объекта заканчивалась, а отображением технологической последовательности служат стрелочные диаграммы, топология сетевых графиков, технологические графы и другие формы [19]. Но строительство – специфическая отрасль. Если условно представить возведение объекта в виде сборочного конвейера, то простая технологическая последовательность работ, разрабатываемая для промышленного производства, в строительном удовлетворить не может, поскольку работы имеют различные объёмы, трудоёмкости, они резко различаются по продолжительности [20]. Такое поэлементное следование друг за другом технологически связанных работ приводит к значительному увеличению продолжительности строительства. Поэтому технологическая последовательность отражает только качественную сторону технологии строительства объекта в части взаимоувязки работ между собой и предшествование их относительно друг друга. В то же время работы объекта связаны между собой не только некоторой последовательностью, то есть качественно. Эта связь имеет и количественную оценку. По действующим методи-

Краткие сообщения

кам организационно-технологического планирования СМР количественные соотношения (более распространено как совмещение) взаимосвязанных работ определяется на основании выбранной и установленной интенсивности, деления объекта на захваты и другие пространственные участки, сменность и т. д. [21, 22], которые относятся к организационным моментам, и они довольно субъективны. Для технологического планирования такая методика определения количественных соотношений между взаимосвязанными работами удовлетворить не может [23]. Чтобы включить работу в производственный план, в технологическом планировании существенно знать:

- в каком технологическом состоянии находится работа с предшествующими к ней, то есть качественную оценку взаимосвязей работ;
- как соотносятся объемы технологически связанных работ.

Если первая часть, качественная, не требует пояснений, то на второй части необходимо остановиться подробнее. Рассмотрим три работы: монтаж сборных фундаментов под колонны, монтаж колонн и монтаж ригелей. Приведенные три работы технологически связаны между собой в той же последовательности, в какой они перечислены: не смонтировав фундаменты, нельзя установить колонны; не смонтировав колонны, нельзя смонтировать ригель. Практически одна из сторон технологии возведения объекта решена – установлена технологическая последовательность работ. Но если пользоваться только этой последовательностью для планирования работ, то окажется, что необходимо запланировать сначала все фундаменты, затем – все колонны, и уже окончательно планировать монтаж всех ригелей. Такое последовательное планирование приведет к тому, что эти работы в совокупности будут выполняться значительно дольше, чем при совмещенном производстве. Для совмещенного производства работ необходимо, чтобы перечисленные работы были запланированы в каком-то количественном соотношении. Нельзя запланировать установку 26 колонн, если запланировано (или установлено) всего 20 фундаментов под них; нельзя запланировать монтаж 10 ригелей, если установлено (или запланировано к установке) 5 колонн. Очевидно, что технологически связанные работы находятся в определенном количественном соответствии, и планировать объемы этих работ необходимо с учетом этого соответствия. В рассматриваемом примере фундаменты и колонны соотносятся как один к одному, то есть если имеется (установлен, запланирован) один фундамент, то можно планировать одну колонну. При 20 фундаментах можно запланировать 20 или меньше, но не больше, колонн (конечно, при планировании СМР необходимо учитывать наличие различного рода ресурсов, ограничения и т. д. Но здесь идет речь только о планировании с точки зрения технологии строительства). Работы «установка колонн» и «монтаж ригелей» связаны как 2 : 1, так как один ригель устанавливается на две колонны. Но для того чтобы смонтировать следующий (или последующий) ригель, необходимо установить всего одну колонну. Здесь уже соотношение объемов будет 1 : 1. Можно привести достаточно много примеров, где меняются эти соотношения в зависимости от того, планируются ли начальные объемы, или планируются объемы, которые завершают работу. В реальной действительности количественные соотношения по началу и окончанию технологически связанных работ диктуются нормативными документами по производству работ, правилами по технике безопасности и другими техническими условиями. Причем оценки этих соотношений базируются не на субъективных оценках, а на нормативах, которые лишены субъективизма.

Понятие «технология строительства объекта» можно сформулировать следующим образом: «это количественная и качественная оценка технологических связей между работами, которые определяют возможность планирования работ и организацию производства в зависимости от состояния предшествующих». В этом случае суть моделирования технологии строительства объекта заключается в установлении технологических связей между работами и определении минимальных объемов на предшествующей, которые открывают возможность для планирования технологически взаимосвязанного объема на последующей работе.

Такая модель, описывающая технологические взаимосвязи работ и их количественные оценки по началу и окончанию работ, разработана и представлена на рис. 1. Важно, что при расчете количественных оценок отсутствуют решения организационного характера. Это повышает стабильность модели для решения задач планирования СМР и организации строительного производства. Поскольку технологические зависимости по началу и окончанию работ определяют технологическую последовательность выполнения работ на объекте, то в дальнейшем будем ее называть моделью объектных технологических зависимостей (МОТЗ).

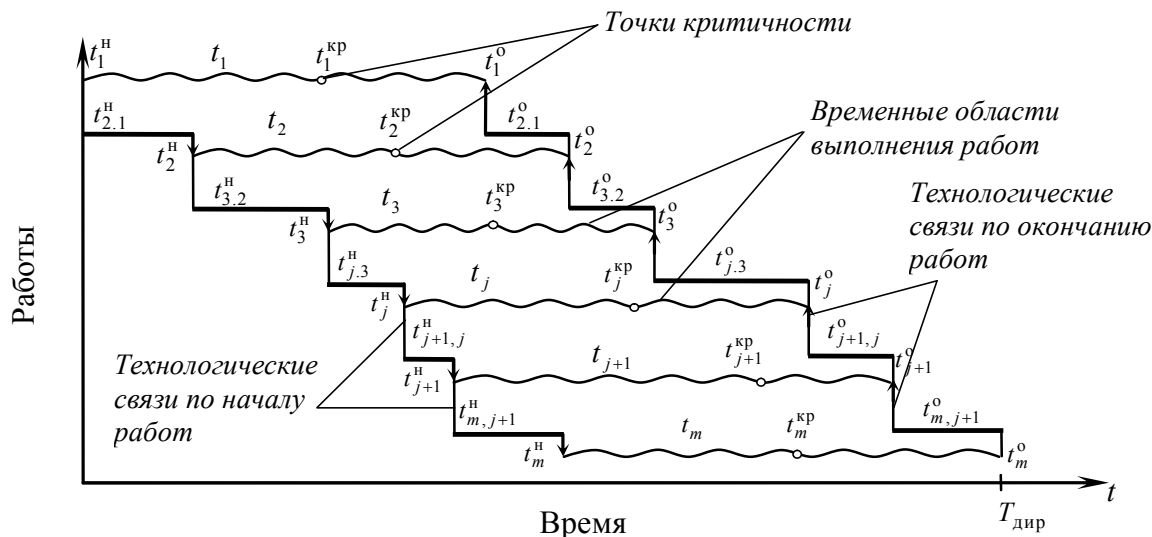


Рис. 1. Графическое изображение модели объектных технологических зависимостей:

$T_{дир}$ – директивная (нормативная, договорная) продолжительность строительства объекта; t_j – продолжительность временной области; t_j^H, t_j^O – технологически возможное начало и окончание работы; $t_{j+1,j}^H, t_{j+1,j}^O$ – минимальное технологическое отставание начала и окончания последующей работы ($j+1$) от начала и окончания предшествующей (j); t_j^{KP} – критическая точка, после которой выполнение объема работ требует максимальной интенсивности и может привести к срыву $T_{дир}$

Fig. 1. Graphic representation of the object model technological dependencies:

$T_{дир}$ – directive (normative, contractual) duration of the facility construction; t_j – is the duration of the time domain; t_j^H, t_j^O – technologically possible start and end of work; $t_{j+1,j}^H, t_{j+1,j}^O$ – the minimum technological lag of the beginning and end of the next work ($j+1$) from the beginning and end of the previous one (j); t_j^{KP} – a critical point, after which it requires maximum strength and can lead to a breakdown $T_{дир}$

Расчет МОТЗ сводится к определению временных оценок технологических зависимостей по началу (не ранее по началу) и окончанию (не ранее по окончанию) работ; временной области производства каждой работы (в отличие от продолжительности работы в ОТМ); точек критичности работ. «Не ранее по началу» означает, что последующая работа ($j+1$) технологически не может начаться, если на предшествующей j не будет выполнен (запланирован) технологически необходимый минимальный объем $V_{\min,j+1}^H$; «не ранее по окончанию» означает, что последующая работа ($j+1$) технологически не может окончиться ранее, если на ней не будет выполнен (запланирован) минимальный объем $V_{\min,j+1}^O$, технологически необходимый после окончания предшествующей работы (j).

Рассмотрим возможности МОТЗ в разработке управленческих решений с точки зрения *общих функций управления* строительства объекта.

Планирование. Эта функция отвечает на вопрос «что надо сделать?», чтобы достичь планируемых технико-экономических показателей (ТЭП, целевых установок).

Планирование объемов работ, которые необходимы для достижения ТЭП, осуществляется на основе календарного плана и его составляющего графика строительства объекта в составе ПОС и ППР. Эти объемы являются основой для решения логистического и организационного характера. Но в ходе реализации проекта график строительства корректируется, а запланированная логистика не соответствует ходу строительного производства.

Разработанная модель технологии строительства объекта (МОТЗ) позволяет повысить устойчивость и надёжность управленческих решений. Это достигается путём изменения очередности решения задач управления строительством объекта: на первом этапе распределяются объёмы работ (календарное распределение по временным периодам); на втором – разрабатываются организационные решения в виде графика строительства. Пример распределения объёмов работ приведен на рис. 2.

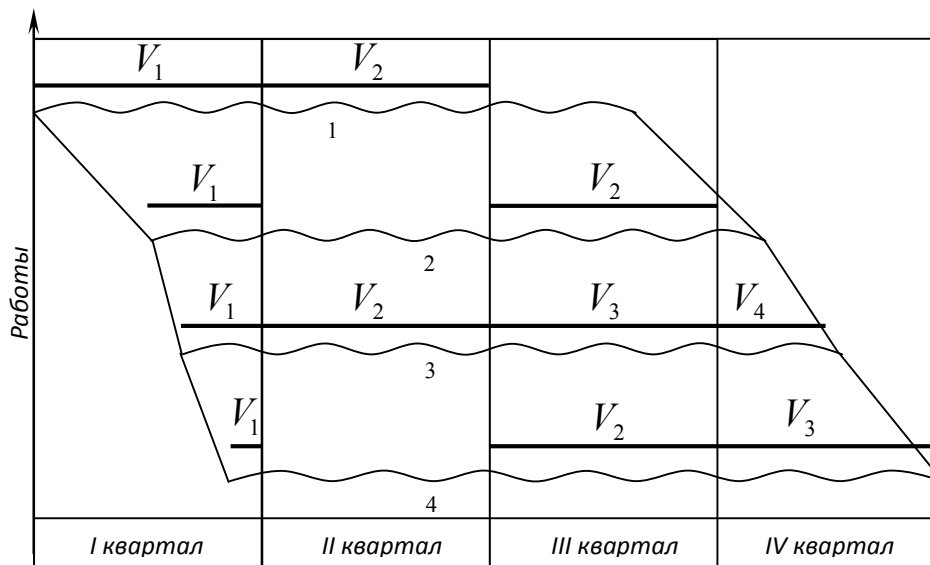


Рис. 2. Пример распределения объемов работ на модели объектных технологических зависимостей:

— — обозначение производства работы; V_1, V_2, \dots — объёмы работ в планируемом периоде;
 ~~~~ — временная область выполнения работы

**Fig. 2. An example of the distribution of the scope of work on the object model technological dependencies:**

— — designation of the production of work;  $V_1, V_2, \dots$  — scope of work in the planned period;  
 ~~~~ — the time domain of the work

Задача имеет двойное назначение. С одной стороны – сформировать набор работ под планируемые технико-экономические показатели, с другой – проверить обоснованность этих показателей, то есть могут ли запланированные объёмы работ обеспечить достижение их с учетом различных ограничений и требований. Поэтому процесс решения задачи тесно увязывает работу планового, производственного, снабженческого и других функциональных отделов и служб строительной организации.

Объёмы работ, которые необходимо выполнить в каждом плановом периоде (квартале, месяце), могут иметь неодинаковые значения ($V_{1,1} \neq V_{1,2}$) и могут быть распределены не по всей временной области, например, работы 1, 2, 4. Время начала и окончания работы конкретизируется при разработке графика строительства объекта в каждом временном периоде. По модели можно проанализировать распределение объектных объёмов и видов работ по плановым отрезкам планируемого года, среднюю интенсивность выполнения работ, определить перерывы на отдельных работах и другие аспекты, позволяющие принимать соответствующие решения по инженерной подготовке строительства объекта. При этом распределение объёмов происходит внутри временной области (волнистая линия), которая не претерпевает изменений при взаимовязке объектов между собой. Тем самым модель не теряет своей «гибкости» на различных этапах решения задач календарного планирования.

Организация. Распределение объёмов СМР по временным периодам (неделя, месяц, квартал) позволяет разрабатывать управленческие решения по организации строительного производства с учетом количественных оценок, полученных на этапе планирования СМР (стоимость, трудоёмкость и др.).

Расчет графика строительства объекта с учетом предварительного распределения объёмов работ во времени является вторым этапом.

Второй этап связан с разработкой организационных решений. Это прежде всего определение интенсивности, сменности, продолжительности выполнения работ, начала и окончания каждого строительного процесса в рамках временной области, совмещения производства технологически связанных работ и т. д. Но основой всех организационных вопросов является распределение трудовых ресурсов по объектам и видам работ, поскольку именно принятое распределение определяет во многом другие организационные решения. Расчет графика строительства объекта отлича-

ется наличием таких ограничений, как временная область выполнения работы, известное распределение объемов СМР по временным периодам, наличием критических точек начала работы, количественных и качественных параметров технологических зависимостей и др. Важно, что распределение объемов СМР по временным периодам неравномерно. А это ведет к расчету объектного графика производства работ по каждому плановому периоду (декада, месяц, квартал) в рассматриваемом году. Полученный объектный график строительства (его временные параметры) должен находиться в границах временной области работ, определенных технологической моделью (МОТЗ). Методика расчета объектного графика заключается в привязке сроков начала и окончания последующей работы относительно предшествующей в рамках временной области выполнения работы, которая известна из соответствующей МОТЗ. В ходе расчета объектного графика используются не только временная область, но и такие параметры технологической модели, как возможное начало работы (t_j^H), возможное окончание работы (t_j^O), минимальные начальное и конечное отставания, продолжительность строительства объекта и др. Продолжительность выполнения каждой работы является результатом решения задачи распределения ресурсов (типа мощности) по работам. В каждом временном периоде работа имеет свою продолжительность, свое распределение трудовых ресурсов, и поэтому если смотреть на общую продолжительность выполнения работы, то она состоит как бы из отдельных частей. При этом вполне реальна ситуация, когда работа может иметь перерыв.

Изменения в интенсивности, количестве трудовых ресурсов и в других показателях выполнения работы при переходе в другой временной период объяснимы теми или иными воздействиями неучтенных факторов, повлекших за собой невыполнение ранее запланированных решений.

Реальнее встречаются в практике варианты, когда приходится решать дилемму, которая заключается в том, что простаивает или фронт работ, или ресурсы типа мощности. Разрешая этот вопрос, естественно, необходимо исходить из экономических соображений, из тех потерь, которые могут быть выявлены в том или ином случае. Поэтому, решая задачу распределения ресурсов (типа мощности) по объектам и работам, необходимо исходить из тех реальных ситуаций, которые вынуждают управленческий аппарат принимать решения с точки зрения известных теоретических обоснований и положений (например, теории потоков), на первый взгляд, экономически неэффективные. Тем не менее практика строительного производства подтверждает наличие таких вариантов в процессе принятия организационных решений.

На рис. 3 приведен объектный график с резервами времени по началу и окончанию работ.

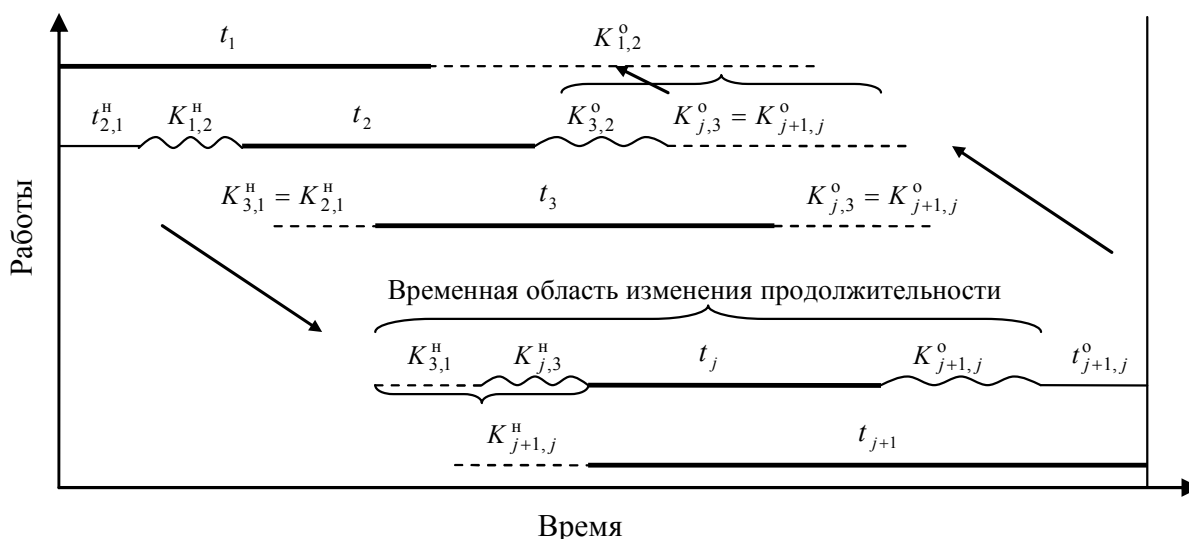


Рис. 3. Линейный график с резервами времени по началу и окончанию работ:

— — продолжительность работы; ~~~~ — частный резерв времени работы;
 - - - - - полный резерв времени работы

Fig. 3. Linear schedule with time reserves at the beginning and end of works:

— — duration of work; ~~~~ — private reserve of working time;
 - - - - - full reserve of operating time

По существу, рассчитанные дополнительные совмещения – это резервы по началу и окончанию работ, за счет которых может быть изменена интенсивность выполнения работ, их продолжительность.

Предложенный метод расчета линейного графика на базе объектной технологической модели (МОТЗ) позволяет значительно расширить возможности традиционных линейных графиков как в планировании СМР, так и в качестве инструмента регулирования, координации и контроля строительным производством. Важно отметить то, что в ходе разработки организационных решений критерии, оценивающие эти решения, могут меняться. Возможность свободного варьирования критериями позволит формировать организационные решения, более адекватные действительному ходу строительного производства.

Учёт и контроль. Модель позволяет вести учёт выполнения объёмов работ в установленных временных периодах, контролировать ход строительного производства и другие задачи, связанные с получением необходимой информации для разработки управленческих решений. В частности, объём незавершённого производства уменьшается и точка критичности модели должна перемещаться вправо.

Регулирование. Реализация этой функции имеет ряд особенностей. В ходе строительного производства под воздействием различных факторов процесс выполнения работ часто отклоняется от запланированного. При корректировке сама модель не изменяется. Управленческие решения вносятся в график строительства.

В заключение можно сказать следующее.

1. Описанная модель служит технологической основой для планирования СМР, принятия организационных решений, контроля хода выполнения работ, а также разработке управленческих решений в процессе строительного производства.

2. Технологические зависимости «не ранее по началу», «не ранее по окончанию», а также временная область выполнения работ, определяющих суть технологической основы строительного производства на объекте, образуют в совокупности некоторую зону допустимых решений для расчета различных параметров календарного плана – сроков начала и окончания работы, ее продолжительности, физических и стоимостных объемов по плановым периодам, количества трудовых ресурсов по каждой работе и т. д. В предлагаемой модели отсутствует ряд «диктующих» условий и требований, таких как безусловное начало последующей работы после выполнения определенного объема на предшествующей, равномерности и непрерывности выполнения работы, жесткой зависимости между количеством трудовых ресурсов, распределенных по работам, и планируемым объемом работ в плановом периоде и др. Это в значительной мере повышает степень варибельности модели по сравнению с применяемыми и позволяет получать более точные результаты при решении задач календарного планирования.

3. Предлагаемая модель для решения задач календарного планирования СМР не претерпевает качественных изменений, т. е. не переходит из одного вида организационно-технологических моделей в другой в процессе взаимоувязки их в общий календарный план. Количественная оценка зависимостей «не ранее по началу» и «не ранее по окончанию» и продолжительности временной области, образующих «каркас» базисной модели, остаются детерминированными на всем протяжении решения задач и при различных перерасчетах календарных планов. Такая устойчивость модели позволяет включить ее в состав нормативной базы.

4. Модель объектных технологических зависимостей не теряет свою «гибкость» при укрупнении исходной информации для различных уровней планирования, а процесс агрегирования и дезагрегирования можно производить в автоматизированном режиме на ЭВМ без участия высококвалифицированного инженерно-технического персонала.

С помощью рассмотренной модели возведения объекта можно анализировать ход и состояние выполнения работ в каждом плановом периоде планируемого года.

В настоящее время рассмотренный подход к разработке календарного плана СМР реализован в виде программного продукта МОТЗ и постановок задач первого и второго этапов.

Литература

1. Голуб, Л.Г. АСУ строительного треста / Л.Г. Голуб, Е.Н. Лященко. – М.: Стройиздат, 1976. – 177 с.
2. Антанавичюс, К.А. Многоуровневое стохастическое моделирование отраслевых плановых решений / К.А. Антанавичюс. – Вильнюс: Мокслас, 1977. – 246 с.
3. Антанавичюс, К.А. Моделирование и оптимизация в управлении строительством / К.А. Антанавичюс. – М.: Стройиздат, 1979. – 197 с.
4. Siu, M.F.F. Resource Supply-Demand Matching Scheduling Approach for Construction Workforce Planning / M.F.F. Siu, M.Lu, S.AbouRizk // *Journal of Construction Engineering and Management*. – 2015. – No. 142 (1). – P. 04015048. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001027
5. Гусев, Е.В. Технологическое моделирование и сбалансированное планирование строительномонтажных работ / Е.В. Гусев. – Челябинск: РИК «Редактор»: ИПЦ «ПЕЧАТЬ», 1990. – 147 с.
6. Salem, O. Project Management Practices and Information Technology Research / O. Salem, S. Mohanty // *Journal of Construction Engineering and Management*. – 2008. – No. 134 (7). – P. 501–508. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:7(501)
7. Планирование на строительном предприятии / В.В. Бузырев, Е.В. Гусев, И.П. Савельева, И.В. Федосеев; под общ. ред. В.В. Бузырева. – М.: КНОРУС, 2010 – 536 с.
8. Методические рекомендации по разработке и оформлению проекта организации строительства и проекта производства работ. МДС 12-81.2007 / ЦНИИОМТП. – М.: ФГУП ЦПП, 2007. – 10 с.
9. O'Connor, J.T. Industrial Project Execution Planning: Modularization versus Stick-Built / J.T. O'Connor, W.J. O'Brien, J. Ouk Choi // *Practice Periodical on Structural Design and Construction*. – 2015. – No. 21. – P. 04015014. DOI: 10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000270
10. Improved Critical Chain Project Management Framework for Scheduling Construction Projects / G. Ma, A. Wang, N. Li et al. // *Journal of Construction Engineering and Management*. – 2014. – No. 140 (12). – P. 04014055. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000908
11. Baldwin, A. Handbook for Construction Planning and Scheduling / A. Baldwin, D. Bordoli. – NY: John Wiley & Sons, 2014. – 432 p.
12. Horenburg, T. Construction Scheduling and Resource Allocation based on Actual State Data / T. Horenburg, W.A. Günthner // *Computing in Civil Engineering*. – 2013. DOI: 10.1061/9780784413029.093
13. Aksyonov, K. Optimization of Scheduling for Construction Corporation / K. Aksyonov, E. Bykov, O. Aksyonova // 2013 4th International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation (ISMS). – 2013. – P. 310–314. DOI: 10.1109/ISMS.2013.112
14. Kim, K. Multiobjective Construction Schedule Optimization Using Modified Niche Pareto Genetic Algorithm / K. Kim, J. Walewski, Y. Cho // *Journal of Management in Engineering*. – 2016. – Vol. 32. – P. 04015038. DOI: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000374
15. Klanšek, U. Mixed-Integer Nonlinear Programming Model for Nonlinear Discrete Optimization of Project Schedules under Restricted Costs / U. Klanšek // *Journal of Construction Engineering and Management*. – 2016. – Vol. 142. – P. 04015088. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001074
16. Ibadov, N. Technology Selection For Construction Project, With The Use Of Fuzzy Preference Relation / N. Ibadov, J. Roslon // *Archives of Civil Engineering*. – 2015. – No. 61 (3). – P. 105–118. DOI: 10.1515/ace-2015-0028
17. Gusev, E. Construction and Assembly Works Planning Optimization or Search for Solutions / E. Gusev // *SHS Web of Conferences*. ICIE-2017. – Vol. 35. – P. 01147. DOI: 10.1051/shsconf/20173501147
18. Chen, S.M. Simulation and analytical techniques for construction resource planning and scheduling / S.M. Chen, P.H. Chen, L.M. Chang // *Automation in construction*. – 2012. – No. 21. – P. 99–113. DOI: 10.1016/j.autcon.2011.05.018
19. Francis, A. Graphical Modelling Classification for Construction Project Scheduling / A. Francis // *Procedia Engineering*. – 2015. – No. 123. – P. 162–168. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.10.073
20. Gajpal, Y. Enhanced Heuristic for Finance-Based Scheduling of Construction Projects / Y. Gajpal, A. Elazouni // *Construction Management and Economics*. – 2015. – No. 33 (7). – P. 531–553. DOI: 10.1080/01446193.2015.1063676

Краткие сообщения

21. Гусаков, А.А. *Организационно-технологическая надежность строительного производства* / А.А. Гусаков. – М.: Стройиздат, 1974. – 254 с.

22. Lorterapong, P. *Construction Scheduling Using the Constraint Satisfaction Problem Method* / P. Lorterapong, M. Ussavadiokrit // *Journal of Construction Engineering and Management*. – 2012. – No. 139 (4). – P. 414–422. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000582

23. Логиновский, О.В. *Эффективное управление организационными и производственными структурами* / О.В. Логиновский, А.В. Голлай, О.И. Дранко и др.; под ред. О.В. Логиновского. – М.: Инфра-М, 2020. – 456 с. DOI: 10.14529/ctcr200208

Гусев Евгений Васильевич, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры цифровой экономики и информационных технологий, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; gusev@susu.ru.

Голлай Александр Владимирович, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; gollaiav@susu.ru.

Поступила в редакцию 4 августа 2021 г.

DOI: 10.14529/ctcr210414

CONSTRUCTION MANAGEMENT BASED ON MODELING TECHNOLOGY OF OBJECT CONSTRUCTION

E.V. Gusev, gusev@susu.ru,

A.V. Hollay, gollaiav@susu.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The time schedule is the main source of information in construction management. The overall efficiency and success of the project ultimately depends on its quality. At present, the concept of "technology for the construction of an object" is associated with the technological sequence of works of the object, the relationship between them, but there are practically no deep theoretical studies in the field of determining the quantitative relationships between interrelated works. The traditional approach to determining quantitative ratios based on previously adopted organizational decisions is fully justified for organizational and technological planning. But in order to organize the production of work, that is, to make the appropriate organizational decisions for the implementation of specific volumes of work, it is necessary to preliminarily determine these volumes. In the process of determination, technological requirements must be taken into account, which dictate the quantitative relationships between interrelated works. **Purpose of the study.** Building a model that takes into account technological dependencies in the process of performing construction and installation work. **Materials and methods.** The work used publications available in open sources on the organization of construction work, as well as regulations used in the Russian Federation, regulating the construction industry. **Results.** A new concept of construction technology of an object is given, as a quantitative and qualitative assessment of technological links between works, which determine the possibility of planning works and organizing production, depending on the state of the previous ones. This definition allows us to formulate the essence of modeling the construction technology of an object, namely, the establishment of technological links between the works and the determination of the minimum volumes on the previous one, which open up the possibility for planning a technologically interconnected volume on the subsequent work. The article has developed and presented such a model (model of object technological dependencies), which describes the technological interrelationships of works and their quantitative estimates at the beginning and end of works. The possibilities of the model of object technological dependencies in the development of management

decisions from the point of view of the general functions of construction management are shown. **Conclusion.** The described model can successfully serve as a technological basis for planning construction and installation works, making organizational decisions, monitoring the progress of work, as well as developing management decisions in the process of construction production. With its help, you can analyze the progress and status of work in each planning period of the planned year.

Keywords: management, construction management, project management, construction, building, management automation.

References

1. Golub L.G., Lyashchenko Ye.N. *ASU stroitel'nogo tresta* [ACS of a Construction Trust]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1976. 177 p.
2. Antanavichyus K.A. *Mnogourovnevoye stokhasticheskoye modelirovaniye otraslevykh planovykh resheniy* [Multilevel Stochastic Modeling of Sectoral Planning Decisions]. Vilnius, Moksas, 1977. 246 p.
3. Antanavichyus K.A. *Modelirovaniye i optimizatsiya v upravlenii stroitel'stvom* [Modeling and Optimization in Construction Management]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1979. 197 p.
4. Siu M.F.F., Lu M., AbouRizk S. Resource Supply-Demand Matching Scheduling Approach for Construction Workface Planning. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2015, no. 142 (1), p. 04015048. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001027
5. Gusev E.V. *Tekhnologicheskoye modelirovaniye i sbalansirovannoye planirovaniye stroitel'no-montazhnykh robot* [Technological Modeling and Balanced Planning of Construction and Installation Works]. Chelyabinsk, RIK "Editor", CPC "PRINT", 1990. 147 p.
6. Salem O., Mohanty S. Project Management Practices and Information Technology Research. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2008, no. 134 (7), pp. 501–508. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:7(501)
7. Buzyrev V.V., Gusev E.V., Savelyeva I.P., Fedoseev I.V. *Planirovaniye na stroitel'nom predpriyatii* [Planning at a Construction Enterprise]. Moscow, KNORUS Publ., 2010. 536 p.
8. *Metodicheskiye rekomendatsii po razrabotke i oformleniyu proyekta organizatsii stroitel'stva i proyekta proizvodstva robot. MDS 12-81.2007* [Guidelines for the Development and Execution of a Construction Organization Project and a Work Production Project. MDS 12-81.2007]. Moscow, FGUP TSPP, 2007. 10 p.
9. O'Connor J.T., O'Brien W.J., Ouk Choi J. Industrial Project Execution Planning: Modularization versus Stick-Built. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 2015, no. 21, p. 04015014. DOI: 10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000270
10. Ma G., Wang A., Li N., Gu L., Ai Q. Improved Critical Chain Project Management Framework for Scheduling Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2014, no. 140 (12), p. 04014055. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000908
11. Baldwin A., Bordoli D. *Handbook for Construction Planning and Scheduling*. NY, John Wiley & Sons, 2014. 432 p.
12. Horenburg T., Günthner W.A. Construction Scheduling and Resource Allocation based on Actual State Data. *Computing in Civil Engineering*, 2013, DOI: 10.1061/9780784413029.093
13. Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O. Optimization of Scheduling for Construction Corporation. *2013 4th International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation (ISMS)*, 2013, pp. 310–314. DOI: 10.1109/ISMS.2013.112
14. Kim K., Walewski J., Cho Y. Multiobjective Construction Schedule Optimization Using Modified Niched Pareto Genetic Algorithm. *Journal of Management in Engineering*, 2016, no. 32, p. 04015038. DOI: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000374
15. Klanšek U. Mixed-Integer Nonlinear Programming Model for Nonlinear Discrete Optimization of Project Schedules under Restricted Costs. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2016, no. 142, p. 04015088. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001074
16. Ibadov N., Roslon J. Technology Selection For Construction Project with the Use of Fuzzy Preference Relation. *Archives of Civil Engineering*, 2015, no. 61 (3), pp. 105–118. DOI: 10.1515/ace-2015-0028
17. Gusev E. Construction and Assembly Works Planning Optimization or Search for Solutions. *SHS Web of Conferences. ICIE-2017*, 2017, no. 35, p. 01147. DOI: 10.1051/shsconf/20173501147

Краткие сообщения

18. Chen S.M., Chen P.H., Chang L.M. Simulation and Analytical Techniques for Construction Resource Planning and Scheduling. *Automation in Construction*, 2012, no. 21, pp. 99–113, DOI: 10.1016/j.autcon.2011.05.018

19. Francis A. Graphical Modelling Classification for Construction Project Scheduling. *Procedia Engineering*, 2015, no. 123, pp. 162–168. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.10.073

20. Gajpal Y., Elazouni A. Enhanced Heuristic for Finance-Based Scheduling of Construction Projects. *Construction Management and Economics*, 2015, no. 33 (7), pp. 531–553. DOI: 10.1080/01446193.2015.1063676

21. Gusakov A.A. *Organizatsionno-tehnologicheskaya nadezhnost' stroitel'nogo proizvodstva* [Organizational and Technological Reliability of Construction Production]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1974. 254 p.

22. Lortherapong P., Ussavadiokrit M. Construction Scheduling Using the Constraint Satisfaction Problem Method. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2012, no. 139 (4), pp. 414–422. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000582

23. Loginovsky O.V., Hollay A.V., Dranko O.I., Shestakov A.L., Shinkarev A.A. *Effektivnoye upravleniye organizatsionnymi i proizvodstvennymi strukturami* [Effective Management of Organizational and Production Structures]. Moscow, Infra-M Publ., 2020. 456 p. DOI: 10.14529/ctcr200208

Received 4 August 2021

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Гусев, Е.В. Управление строительством объекта на основе моделирования технологии строительства объекта / Е.В. Гусев, А.В. Голлай // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 156–166. DOI: 10.14529/ctcr210414

FOR CITATION

Gusev E.V., Hollay A.V. Construction Management Based on Modeling Technology of Object Construction. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2021, vol. 21, no. 4, pp. 156–166. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr210414