

Информационная модель строительного процесса на примере кирпичной кладки

В.Н. Кабанов

*Национальный исследовательский московский государственный строительный
университет (НИУ МГСУ), Москва*

Аннотация: В статье рассматривается построение информационной модели простого технологического процесса строительства на примере кладки кирпичных стен. В качестве исходной информации при построении модели целесообразно применять действующую национальную систему сметных нормативов в строительстве, которая представляет собой актуальную информацию, находящуюся в реестре сметных нормативов. Из реестра сметных нормативов для целей моделирования применяются нормативные значения производительности ведущих строительных машин и производительности труда рабочих-строителей. В качестве критериев для оценки эффективности практического применения информационной модели в строительстве предлагаются продолжительность производства работ, а также коэффициент использования установленной мощности ведущей строительной машины. В результате применения информационной модели строительного процесса получена зависимость изменения продолжительности строительства от изменения величины трудовых ресурсов, привлекаемых для выполнения работ. В выводах приводятся требования к структуре информационной модели, а также обосновывается аналитическая запись и графическое представление результатов.

Ключевые слова: строительный процесс, продолжительность строительства, информационная модель строительства, производительность труда, производительность машин, ведущая строительная машина, коэффициент использования полезной мощности машины, трудовые ресурсы, материально-технические ресурсы, кладка стен из кирпича, рабочие-строители.

Разработка информационных моделей строительных процессов предусмотрена планом Минстроя России (утв. приказом №996/пр от 29.12.2014). Общие правила построения таких моделей установлены нормативным документом (СП 333.1325800.2020). Определение понятия «информационная модель» приводится в п. п. 10.3, ст. 1 Градостроительного кодекса РФ. Следует подчеркнуть, что большинство принципиальных решений для широкого применения информационного моделирования в строительстве принято. Если информационные модели весьма широко применяются в архитектурном и конструктивном проектировании, то

организационно-технологическое проектирование значительно отстает в применении цифровых технологий.

При построении цифровых моделей процессов строительства зданий и сооружений важную роль играет национальный классификатор ресурсов [1]. Практическое применение классификатора ресурсов в строительстве должно предусматривать стандартные методы обмена информации [2], в том числе установленные в СП 331.1325800.2017. Необходимо подчеркнуть, что классификатор строительных ресурсов, утвержденный Минстроем России (приказ № 597/пр от 02.03.2017), вполне отвечает требованиям, предъявляемым к исходной информации для построения цифровых моделей процессов возведения зданий и сооружений.

Процедура построения информационных моделей строительства детально приводится в периодической литературе. При этом рассматривается взаимодействие информационных потоков [рис.1,3], моделируется «дополнительная реальность» [4], исследуются причины появления коллизий [рис. 2, 5], разрабатываются экспертные системы [6]. В цифровых моделях строительных процессов большое значение уделяется достоверности вычисления (прогноза) значения продолжительности строительства. Для этой цели предлагается применять «такт события» [7], а также сравнение проектных и фактических значений продолжительности и стоимости СМР в любой момент времени [8].

Необходимо отметить эффективность применения цифровых технологий при выполнении государственного и негосударственного строительного контроля [9], а также при подготовке исполнительной документации на готовую строительную продукцию [10]. Практика внедрения систем организационно-технологического проектирования и мониторинга строительных процессов приводится в [рис.5,11]. Экономическая эффективность применения цифровых технологий

организационно-технологического проектирования процессов строительства, а также автоматизированного контроля качества строительной продукции детально описана в [12].

Цель работы:

Опубликованные результаты научных исследований, приведенные в настоящей работе, позволяют утверждать, что процедура построения информационной модели строительного процесса не требует специальной подготовки и может быть вполне выполнена специалистом с инженерным образованием. Для доказательства этого утверждения приводится последовательность построения информационной модели технологического процесса каменной кладки. Таким образом, цель работы состоит в описании информационной модели строительного процесса на примере кирпичной кладки. Для достижения цели, решены следующие задачи:

- разработана структура исходной информации, необходимая для описания изменений строительного процесса в пространстве и времени;
- получены аналитические зависимости, описывающие изменения строительного процесса в пространстве в каждый момент времени;
- приводится процедура оценки эффективности организационно-технологических решений, принимаемых проектировщиком и подрядчиком при выполнении кирпичной кладки.

Методы исследования:

При выполнении исследований применялись методы алгебры, аналитической геометрии. В качестве исходной информации использованы данные, приведенные в классификаторе строительных ресурсов. Аналитические модели сформированы в результате применения системного подхода и методов математической логики. При моделировании привязка к конкретному объекту не выполнялась. Экономические расчеты выполнены в

относительных единицах во избежание дискуссии о текущей стоимости денег.

Для оценки экономической эффективности применялись величины стоимости производства работ и эксплуатации строительных машин. Применение относительных единиц стоимости снимает необходимость вычислений коэффициентов приведения цены к текущей дате с учетом региональных особенностей строительства. В качестве относительной единицы стоимости применялось значение доли расходов на эксплуатацию машин в цене 1 м^3 кирпичной кладки. Применяя данные из табл. ФЕР 08-02-001-01, установлено, что величина расходов на эксплуатацию машин составляет $\approx 47\%$.

Результаты

Для построения информационной модели строительного процесса в качестве исходной информации применялись количественные значения из сборников сметных нормативов Минстроя России. В качестве методического примера рассмотрена кладка простых наружных стен из кирпича при высоте этажа до 4 м. (ГЭСН 08-02-001-01). Нормативное значение затрат труда и машинного времени при устройстве 1 м^3 кирпичной кладки, составляет:

- затраты труда – 4,54 чел.-час. (или производительность рабочего – $0,22 \text{ м}^3$ в час);

- затраты машинного времени – 0,35 маш.-час (или производительность крана башенного, грузоподъемностью 8 т. (91.05.01-017) – $2,86 \text{ м}^3$ в час).

Продолжительность представляется как функция от взаимодействия постоянных и переменных ресурсов. Под постоянными ресурсами чаще всего понимают объем строительного-монтажных работ и соответствующий ему объем строительных материалов. Под переменными ресурсами понимаются трудовые и материально-технические ресурсы, определяющие скорость или

продолжительность строительства. Вычисление продолжительности строительства выполняется по формуле [формула 2, 13]:

$$T_i = \frac{V}{W_R N_{Ri}} \quad (1),$$

где T_i – величина функции продолжительности, показывающая результат многообразия взаимодействия постоянных и переменных ресурсов;

- $V = const$ – величина постоянного ресурса, которая определяется проектом строительства;

- $W_R = const$ – заданная в нормативных документах постоянная производительность трудовых ресурсов;

- N_{Ri} – переменная величина, характеризующая объем привлекаемых трудовых ресурсов, для которой справедливо неравенство $N_{Rmin} < N_{Ri} < N_{Rmax}$ (для рассматриваемого примера $N_{Rmin} = 1$ чел., $N_{Rmax} = 13$ чел.).

Аналитическую запись информационной модели процесса возведения стен из кирпича (уравнение 1) несложно представить в виде графической модели, показывающей возможные динамические изменения характеристик процесса (рис. 1). На рис. 1а показано изменение коэффициента использования производительности ведущей машины процесса (кран, 8т.). Коэффициент k принимает максимальное значение и соответствует величине нормативной производительности при условии привлечения трудовых ресурсов в количестве 13 чел. (рис. 1а). Для описания изменения продолжительности выполнения работ за 100% принималась продолжительность при нормативной производительности ведущей машины с привлечением максимального количества трудовых ресурсов. Таким образом, на рис. 1б виден нелинейный характер изменения продолжительности производства работ для каждой возможной величины трудовых ресурсов.

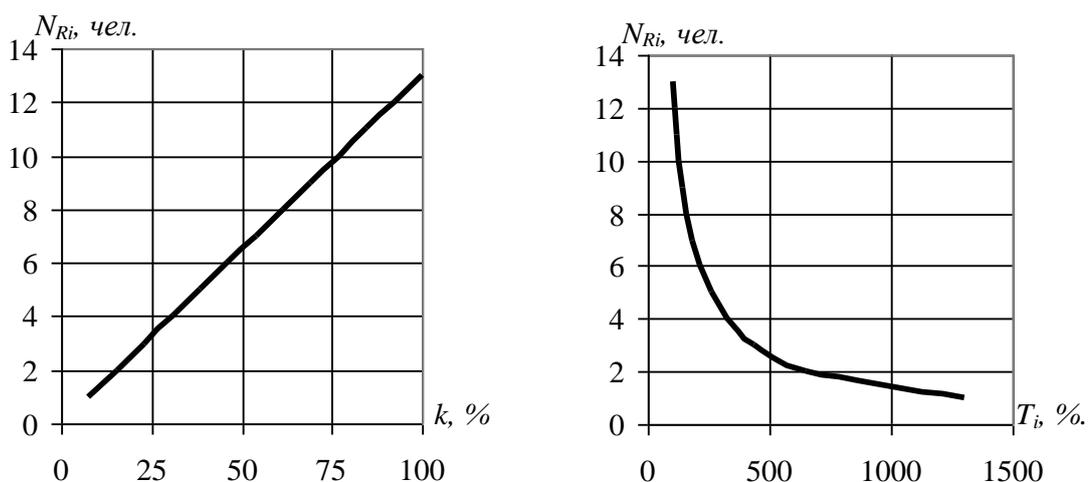


Рис. 1 – Графический вид информационной модели каменной кладки: а) коэффициент использования производительности ведущей машины (крана); б) продолжительность производства работ в зависимости от привлеченных трудовых ресурсов

Построено автором по данным, рассчитанным при помощи уравнения 1.

Выводы:

1. Для построения информационной модели отдельного строительного процесса целесообразно применять существующую базу сметных нормативов в строительстве, применительно к рассматриваемому примеру ГЭСН - 08.

2. В качестве аналитических зависимостей, применяемых для информационного моделирования строительных процессов, рекомендуется использовать известные уравнения, описывающие изменение продолжительности в зависимости от объема привлекаемых трудовых и материально-технических ресурсов (например, уравнение 1).

3. Оценка эффективности при помощи информационной модели не обязательно предполагает вычисление экономических показателей. Например, на рис. 1 а, б приводится сравнение не менее тринадцати вариантов организации работ по устройству кирпичной кладки. Для каждого из вариантов может быть выполнен расчет критериев (продолжительность и

коэффициент использования мощности ведущей машины, k). Значения этих критериев обладают достаточным основанием для принятия решения о количестве привлекаемых трудовых ресурсов применительно к рассмотренному примеру.

Литература

1. Волкодав В.А., Волкодав И.А. Разработка структуры и состава классификатора строительной информации для применения BIM-технологий // Вестник МГСУ. 2020. № 6. С. 867-906. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.6.867-906
2. Soman R. K. Whyte J. K. Codification Challenges for Data Science in Construction // Journal of construction engineering and management. 2020. V. 146. № 7. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001846
3. Кузина О.Н. Формирование информационной модели «исполнительная» на стадии строительства (С BIM) // Наука и бизнес: пути развития. 2019. № 7. С. 43-47
4. Elshafey A., Saar C. C, Aminudin E. B., Gheisari M., Usmani A. Technology acceptance model for augmented reality and building information modeling integration in the construction industry // Journal of information technology in construction. 2020. V. 25. pp. 161-172. DOI: 10.36680/j.itcon.2020.010
5. Познахирко Т.Ю., Топчий Д.В. Особенности внедрения BIM в процесс разработки проектной документации // Строительное производство. 2020. № 1. С. 69-72.
6. Небритов Б.Н. Моделирование организационно-технологических процессов с использованием поискового конструирования и экспертных систем // Инженерный вестник Дона. 2012. № 3. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/2012_3_136.pdf_1007.pdf

7. Abbasi S., Taghizade K., Noorzai E. BIM-Based Combination of Takt Time and Discrete Event Simulation for Implementing Just in Time in Construction Scheduling under Constraints // Journal of construction engineering and management. 2020. V. 146. № 12. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001940

8. Ballesteros-Perez P., Sanz-Ablanedo E., Cerezo-Narvaez A., Lucko G., Pastor-Fernandez A., Otero-Mateo M., Pablo Contreras-Samper J. Forecasting Accuracy of In-Progress Activity Duration and Cost Estimates // Journal of construction engineering and management. 2020. V. 146. № 9. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001900

9. Топчий Д.В., Токарский А.Я. Совершенствование процесса правления строительно-монтажными работами посредством применения информационных моделей при осуществлении надзорных процедур // Строительное производство. 2019. № 2. С. 30-35.

10. Кабанов В.Н. Принципы построения информационной модели общего журнала работ в строительстве // Инженерный вестник Дона. 2020. № 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2020/6505

11. Дмитриев А.Н., Владимирова И.Л. Технологии информационного моделирования в управлении строительными проектами России. // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 10. С. 48-59. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.10.48-59

12. Каган П.Б. Повышение эффективности организационно-технологического проектирования в строительстве за счет его модернизации с использованием современных цифровых технологий // Отходы и ресурсы. 2020. №1. С. 9. DOI: 10.15862/09INOR120

13. Kabanov V.N. Organizational and technological reliability of the construction process // Magazine of civil engineering. 2018. № 1. pp. 59-67 DOI: 10.18720/MCE.77.6



References

1. Volkodav V.A., Volkodav I.A. Vestnik MGSU. 2020. № 6. pp. 867-906. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.6.867-906
 2. Soman R. K. Whyte J. K. Journal of construction engineering and management. 2020. V. 146. № 7. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001846
 3. Kuzina O.N. Nauka i biznes: puti razvitiya. 2019. № 7. pp. 43-47
 4. Elshafey A., Saar C. C, Aminudin E. B., Gheisari M., Usmani A. Journal of information technology in construction. 2020. V. 25. pp. 161-172. DOI: 10.36680/j.itcon.2020.010
 5. Poznahirko T.YU., Topchij D.V. Stroitel'noe proizvodstvo. 2020. № 1. pp. 69-72.
 6. Nebritov B.N. Inzhenernyj vestnik Dona. 2012. № 3. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/2012_3_136.pdf_1007.pdf
 7. Abbasi S., Taghizade K., Noorzai E. Journal of construction engineering and management. 2020. V. 146. № 12. DOI: 10.1061/ (ASCE) CO.1943-7862.0001940
 8. Ballesteros-Perez P., Sanz-Ablanedo E., Cerezo-Narvaez A., Lucko G., Pastor-Fernandez A., Otero-Mateo M., Pablo Contreras-Samper J. Forecasting Journal of construction engineering and management. 2020. V. 146. № 9. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001900
 9. Topchij D.V., Tokarskij A.YA. Stroitel'noe proizvodstvo. 2019. № 2. pp. 30-35.
 10. Kabanov V.N. Inzhenernyj vestnik Dona. 2020. № 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2020/6505
 11. Dmitriev A.N., Vladimirova I.L. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2019. № 10. pp. 48-59. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.10.48-59
-



12. Kagan P.B. Othody i resursy. 2020. №1. p. 9. DOI: 10.15862/09INOR120

13. Kabanov V.N. Magazine of civil engineering. 2018. № 1. pp. 59-67
DOI: 10.18720/MCE.77.6