Имитация календарного планирования в программах информационного моделирования зданий и регрессионная детализация норм продолжительностей строительства

Д.т.н., профессор С.А. Болотин;
к.т.н., докторант А.Х. Дадар,
ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет;
старший преподаватель И.С. Птухина*,
ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Ключевые слова: нормы продолжительности; регрессивные зависимости; оценка экономической эффективности; стоимость виртуальной продажи

В настоящее время прогресс инструментального обеспечения архитектурно-строительного проектирования связан с интеграцией его разделов в единую систему, построенную на технологии информационного моделирования зданий (BIM технология). По этой технологии работают такие программные продукты как ArchiCAD фирмы Graphisoft, Allplan компании Nemetschek и Revit Architecture компании Autodesk [1,2]. Эти программные продукты позволяют проектировщикам объединить и автоматизировать основные этапы разработки проектной и рабочей документации. Пример такого рационального объединения, заключающегося в дополнении архитектурно-строительного проектирования сметными расчетами, можно найти в работе [3].

В данной статье будет рассматриваться дополнение к базовой платформе Revit – программа Autodesk Navisworks, которая, используя средства визуализации и процедуры генерирования различных сценариев, позволяет повысить технологичность планирования проекта и оптимизировать графики выполнения строительных работ. При этом логистика строительных работ моделируттся в формате 4D, в котором четвертое измерение определяет время в календарном плане работ. Это позволяет более четко демонстрировать реализацию проекта, бороться с простоями и проблемами, связанными с ошибками в планировании, а также обеспечивает ресурсосбережение на этапе строительства. Формат графика Ганта (в отечественной терминологии это линейный календарный график, представленный в модуле TimeLiner) позволяет визуализировать графики строительных работ в различных режимах отображения (план, текущее положение дел и сопоставление двух режимов). Динамическая связь с приложениями сторонних разработчиков дает возможность использовать в интегрированной модели данные из таких систем управления проектами как Microsoft Project или Primavera [4,5].

Тем не менее, на данный момент развитие программ типа Autodesk Navisworks тормозится отсутствием адекватной информационной базы календарного планирования. В том числе, это связано с недостаточностью принятых на данный момент нормативов продолжительности строительства. В данной статье авторами предлагается механизм определения продолжительностей циклов работ для жилых зданий.

Принятые Министерством регионального развития РФ в конце 2010 г. нормативы определяют продолжительности только двух периодов строительства – подготовительного и основного, а этого явно недостаточно для календарного планирования продолжительностей работ нулевого цикла, возведения надземной части здания и его внутренних работ даже при достаточно укрупненном календарном планировании, осуществляемом в составе проекта организации строительства (ПОС). Количество конкретных норм, представленных в приложении к анализируемому документу [6], для некоторых типов зданий явно недостаточно. Поэтому в текстовой части документа законодатель рекомендует применение экстраполяционно-интерполяционных процедур, основанных, в частности, на использовании проектов аналогов.

В этом отношении наиболее репрезентативным собранием проектов-аналогов является «старый» СНиП 1.04.03-85* «Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений», не действующий в настоящее время. Однако его ценность, с точки зрения применения экстраполяционно-интерполяционных процедур, заключается в использовании большого статистического материала по продолжительностям и стоимостям основных циклов строительства. Например, только для кирпичных, монолитных и крупнопанельных зданий с этажностью от 5 до 25 этажей в «старом» нормативе представлено 74 нормы, которые получены на основе статистической обработки большого числа проектов-аналогов. Вместе с этим в работе [6] в качестве нормативов представлены данные конкретных объектов-аналогов с их индивидуальными характеристиками. Например, в нормативе приводится конкретное монолитное 24-х этажное здание общей площадью 20033 м2, возведенного на свайном фундаменте и монолитной ж/б плите, и для него устанавливается общая продолжительность строительства 20 месяцев, включающая продолжительность подготовительного периода 1 месяц.

С целью расширения информационной базы проектирования организации строительства, а также с целью достижения преемственности в данном виде нормотворчества авторами предлагается следующий механизм определения продолжительностей циклов работ для жилых зданий.

С учетом современной типологии жилых зданий, с числом этажей 5 и более, по СНиП 1.04.03-85* в качестве исходных статистических массивов взяты нормы по следующим типам зданий: монолитные (27 норм), кирпичные (20 норм) и панельные (27 норм). В «старых» и новых нормах, кроме типа здания указываются следующие количественные характеристики: общая площадь и число этажей, поэтому определение структуры продолжительностей по каждому типу зданий как раз и должно зависеть от этих количественных характеристик. В качестве примера рассмотрим нормативную статистику кирпичных зданий, представленную в табл.1.

Анализируя структуру продолжительностей основных циклов работ, приходим к следующим выводам. Для подготовительного периода всех типов зданий как в «старом» СНиПе, так и в новом нормативе отводится 1 месяц. Считаем, что продолжительность работ нулевого цикла (НЦ) регрессионно зависит от общей площади здания, так именно она определяет основную нагрузку на основание и фундамент здания. Аналогичный вид регрессионной зависимости может быть принят и для аппроксимации отделочных работ (Отд), объем, продолжительность которых также линейно связана с общей площадью здания. В регрессионную зависимость продолжительности работ по надземной части (НЧ) здания следует добавить учет его этажности исходя из следующей логики. Можно считать, что продолжительность работ по каждому последующему этажу будет возрастать на некоторую постоянную величину по сравнению с предыдущим этажом. Тогда суммируя добавки по всем этажам и ограничиваясь старшей степенью получаемого выражения, принимаем, что общая добавка будет пропорциональна квадрату числа этажей здания.

В результате обработки статистического массива, представленного в табл.1, получены следующие регрессионные зависимости.

$$T^{к}_{НЦ}=0.885+0.000067\cdot F,$$
$$T^{к}_{НЧ}=2.622+0.000418\cdot F+0.00284\cdot N^2, \qquad (1)$$
$$T^{к}_{Отд}=1.505+0.000047\cdot F.$$

Проверка зависимостей (1) показала, что с учетом округления с дискрецией в 0.5 месяца, полное совпадение достигнуто для нулевого цикла в 65% случаев, для наземной части в 30% и для цикла отделочных работ в 85% случаев, а при расхождении в 0.5 месяца и менее достигнуто в 100% всех случаев.

По результатам обработки статистических массивов монолитных и панельных зданий получены регрессионные зависимости, представленные в табл.2.

Таблица 1. Нормативная статистика кирпичных зданий [6].

№ п/п	N	F, м^2	T, мес	В том числе по циклам				Процентное распределение стоимости			
				Подго-товка	Нулевой цикл	Надзем. часть	От-делка	Подго-товка	Нулевой цикл	Надзем. часть	От-делка
1	5	1500	6.5	1	1.0	3.0	1.5	7	9	63	21
2	5	2500	7.0	1	1.0	3.5	1.5	7	7	67	19
3	5	4000	8.0	1	1.0	4.5	1.5	7	11	66.5	15.5
4	5	6000	9.0	1	1.0	5.5	1.5	6	11	75	8
5	9	3000	8.0	1	1.0	4.5	1.5	9	15	64.5	11.5
6	9	6000	10.0	1	1.5	5.5	2.0	7	19.5	58.5	15
7	9	8000	11.0	1	1.5	6.5	2.0	5	12.5	65.5	17
8	9	10000	12.0	1	1.5	7.5	2.0	5	12.5	69.5	13
9	9	12000	12.5	1	1.5	8.0	2.0	5	3.5	78	13.5
10	10	3500	8.0	1	1.0	4.5	1.5	9	15	64.5	11.5
11	10	7000	9.5	1	1.0	5.5	2.0	6	4	75	15
12	10	9000	10.5	1	1.5	6.0	2.0	6	6	72.5	15.5
13	10	11000	11.5	1	1.5	7.0	2.0	6	3.5	77	13.5
14	10	13000	12.5	1	1.5	8.0	2.0	5	3.5	78	13.5
15	12	4000	9.5	1	1.5	5.0	2.0	6	6.5	68.5	19
16	12	8000	10.5	1	1.5	6.0	2.0	6	6	72.5	15.5
17	12	12000	13.5	1	2.0	8.5	2.0	6	4	79	11
18	14	5000	9.5	1	1.5	5.0	2.0	6	6.5	68.5	19
19	14	8000	11.0	1	1.5	6.5	2.0	5	12.5	65.5	17
20	14	12000	13.5	1	2.0	8.5	2.0	6	4	79	11

Примечание. N – число этажей, F – общая площадь, T – норма продолжительности

Таблица 2. Регрессионные уравнения по продолжительностям циклов работ, выполняемых при строительстве жилых зданий

Тип здания	Цикл работ	Св. член	Коэфф. при F	Коэфф. при N^2	*P* при Δ =0.5
Кирпичное	Нулевой цикл	0.885	0.000067		1.00
	Надземная часть	2.622	0.000417	0.00284	1.00
	Цикл отделки	1.505	0.000047		1.00
Монолитное	Нулевой цикл	0.570	0.000106		0.71
	Надземная часть	3.041	0.000364	0.00354	0.77
	Цикл отделки	0.837	0.000118		0.85
Панельное	Нулевой цикл	0.856	0.000049		1.00
	Надземная часть	2.284	0.000168	0.00265	0.81
	Цикл отделки	0.872	0.000049		0.97
Кирпично-монолитное	Нулевой цикл	0.684	0.000093		
	Надземная часть	2.863	0.000384	0.00340	
	Цикл отделки	1.101	0.000093		

Результаты сравнения показали, что вероятность (*P*) отклонения продолжительности, рассчитанной по полученным регрессионным уравнениям, от данных нормативной статистики, определенная порогом в 0.5 месяца и менее, составила более 71%.

По отношению к данным СНиП, которые, в основном, соответствовали статистике, полученной до 1990 г., в современном строительстве жилых зданий получили распространение кирпично-монолитные дома. Для регрессионного описания продолжительностей основных циклов работ по этим зданиям нами объединена статистика по кирпичным и монолитным домам и на основе этого объединения получены соответствующие регрессионные уравнения. Очевидно, что

ввиду отсутствия собственно кирпично-монолитных зданий в «старом» СНиП невозможно провести вероятностное сравнение результатов полученной обработки.

Рассмотрим другой критерий адекватности предлагаемых регрессионных уравнений, основанный на анализе чувствительности оценки экономической эффективности проекта к вариации структуры продолжительностей отдельных циклов работ [7,8,9,10]. Следуя методическим рекомендациям работы [11], считаем, что преимущественно оценка экономической эффективности проекта осуществляется через расчет показателя, получившего название чистый дисконтированный доход. Однако его вычисление связано с количественной информацией о доходном периоде строящегося объекта, которая, особенно на ранней стадии проектирования, может отсутствовать. Данное ограничение можно обойти, если воспользоваться расчетом показателя, получившего название минимальная стоимость виртуальной продажи [12].

По определению, минимальной стоимостью виртуальной продажи (*VS*) является стоимость возможной продажи объекта, при которой его застройщик получает заданный им процент дохода на инвестированный в объект капитал [13]. Рассчитывается данный показатель по формуле [14]:

$$VS = \int_0^T (1+E)^{T-t} c(t)dt\,, \qquad (2)$$

где *T* – норма продолжительности строительства;
E – норма дохода на инвестируемый капитал;
c(t) – распределение капитальных вложений по времени.

По своей сути формула (2) представляет собой дисконтирование инвестиций к концу периода строительства. Очевидно, что по формальному признаку дисконтирование инвестиций к начальному моменту строительства (*NPI*) также может служить критерием оценки в анализе чувствительности проекта к вариации структуры продолжительностей отдельных циклов работ. В этом случае расчетный показатель будет соответствовать формуле [14]:

$$NPI = \int_0^T (1+E)^{-t} c(t)dt\,. \qquad (3)$$

Методика анализа чувствительности сводилась к следующему. В качестве стоимости работ по основным циклам принято нормативное распределение, представленное данными последних 4-х столбцов табл. 1. В качестве продолжительностей циклов работ использовались нормативные данные и продолжительности, рассчитанные по полученным регрессионным формулам, представленным в табл. 2. Сравнение проводилось по показателям, рассчитанным в соответствии с формулами (2) и (3), а результаты сравнения показали, что расхождение оценок эффективности не превышает одного процента. Для примера приведем данные расчета показателей эффективности по 9-тиэтажному монолитному зданию общей площадью 12000 м^2, для которого расхождение продолжительностей для каждого цикла составила 1 месяц, что отражает самый неблагоприятный случай. Минимальная стоимость виртуальной продажи для нормативного распределения продолжительностей равна 104.9%, для регрессионного – 104.8%, а дисконтированные к началу инвестиции для нормативного распределения продолжительностей составили 80.7%, для регрессионного – 80.6%. Этот результат подтверждает совпадение оценок.

Таким образом, можно утверждать, что предлагаемые регрессионные зависимости, по которым определяются продолжительности основных циклов работ, без существенной погрешности могут быть использованы в совместном архитектурно-строительном и организационно-технологическом проектировании для интегральной оценки проектных решений на ранних стадиях проектирования [15]. Однако при этом следует учесть, что регрессионно рассчитанные суммы продолжительностей отдельных циклов работ могут не совпадать с новыми нормативами. Поэтому с целью исключения возможного расхождения необходимо использовать следующую нормирующую методику.

По регрессионным выражениям, представленным в табл. 2, можно рассчитать относительные доли продолжительностей основных циклов работ в общей продолжительности строительства так, что общая относительная продолжительность будет равна единице. В этом случае обратным пересчетом можно определить откорректированные абсолютные продолжительности основных циклов работ.

Возвращаясь к вопросу об интеграции архитектурно-строительного проектирования и календарного планирования, осуществляемой на основе использования BIM-технологий, можно для каждого проектируемого конструктивного элемента указать его стоимость и необходимую стадию его создания, что даст принципиальную возможность проведения экономической оценки всего здания в любой момент его проектирования. В результате у проектировщиков будет постоянный инструмент оценки принимаемых решений, позволяющий оперативно осуществлять мониторинг в течение всего этапа проектирования. Предложенная методология описана на примере организационного проектирования жилых зданий, однако она может быть практически применена ко всем типам строительных объектов.

Литература

1. Криницкий Е. В. Информационная модель здания (BIM) // Инженерно-строительный журнал. 2010. №2. С. 16-18.
2. Read Phil, Krygiel Eddy, Vandezande James. Autodesk Revit Architecture 2012 Essentials, SYBEX. 2011. 400 p.
3. Васильев П. П. ArchiCAD 10. Сметные расчеты. СПб. : «БХВ-Петербург», 2008. 240 с.
4. Куперштейн В. И. MS Office и Project в управлении и делопроизводстве. СПб. : БХВ-Петербург, 2003. 480 с.
5. Воропаев Д. В. Управление проектами в России. М. : Атлас, 1995. 225 с.
6. Нормативы продолжительности строительства. Утверждены приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 21 декабря 2010 г. № 746.
7. Болотин С. А., Дадар А. Х., Климов С. Э. Управление инвестиционными строительными проектами. Кызыл : Изд-во ТывГУ, 2004. 152 с.
8. Афанасьев В. А. Поточная организация строительства. Ленинград : Стройиздат, 1990. 160 с.
9. Walker Anthony. Project management in constructon / 4th ed. Oxford: Blackwell Science, 2002. 289 p.
10. Hendrickson Chris. Project Management for Construction: Fundamental Concepts for Owners, Architects and Bilders. 2003. 537 p.
11. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования. М. : Экономика, 2000. 421 с.
12. Болотин С. А. Оценка строительства социальных объектов по минимальной стоимости виртуальной продажи // В кн.: Оценочные технологии в экономических процессах. СПб. : Инжэкон, 2002. С. 148–151.
13. Птухина И. С. Методика распределения экономической ответственности исполнителей за задержку окончания строительства // Научный журнал КубГАУ. 2011. №68(04). [Электронный ресурс]. URL: http://ej.kubagro.ru/2011/04/pdf/35.pdf.
14. Болотин С. А., Гугина Ю. Б., Крылов Н. Г. Системная декомпозиция формулы расчета чистого дисконтированного дохода // Известия вузов. Строительство. 2002. № 8. С. 44-47.
15. Болотин С. А., Дадар А. Х. Конвергенция организационно-технологического и архитектурно-строительного проектирования, ориентированного на энергоресурсосбережение при строительстве и эксплуатации зданий / СПбГАСУ. Спб. , 2011. 200 с.

**Ирина Станиславовна Птухина, Санкт-Петербург, Россия*

Тел. раб.: +7(812)297-59-49; эл. почта: irena_ptah@mail.ru

Simulation of calendar planning in Building information modelling programms and regression detailing of construction period rules

S.A. Bolotin;
A.Kh. Dadar,
Saint-Petersburg State University of Architecture and civil engineering, Saint-Petersburg, Russia;
I.S. Ptuhina,
Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia
+7(812)297-59-49; эл. почта: irena_ptah@mail.ru

Key words

norms of duration; regressive dependences; economic efficiency estimation; cost of virtual sale

Abstract

The article analyzes the current methodology of master plan constructing. The requirements of building sides areas minimization in the constrained city conditions lead to the increasing significance of reducing peak values of resource demands in the schedule of movement of workers.

The article offers heuristic algorithms and methods to reduce peak loads in the schedule of movement of workers. The algorithm is based on the methods of statistical modeling and involves a limited number of sorting options and choose the best by the criterion of peak values of resources.

The method takes into account the mode of dialogue and possibilities of the program MS Project. Techno-economic assessment of proposed optimization solutions master plan is submitted.

The proposed calculation method is considered by the example of a business center.

References

1. Krinitskiy Ye.V. *Magazine of civil engineering*. 2010. №2. Pp. 16–18. (rus)
2. Phil Read, Eddy Krygiel, James Vandezande. *Autodesk Revit Architecture 2012 Essentials*. SYBEX, 2011. 400 p.
3. Vasilyev P.P. *ArchiCAD 10. Smetnyye raschety.* [ArchiCAD 10. Estimated calculation]. Saint-Petersburg: BKhV-Peterburg, 2008. 240 p. (rus)
4. Kupershteyn V.I. *MS Office i Project v upravlenii i deloproizvodstve* [MS Office and Project in the management and record keeping]. Saint-Petersburg: BKhV-Peterburg, 2003. 480 p. (rus)
5. Voropayev D.B. *Upravleniye proyektami v Rossii* [Project management in Russia]. Moscow: Atlas, 1995. 225 p. (rus)
6. *Normativy prodolzhitelnosti stroitelstva*. Utverzhdeny prikazom Ministerstva regionalnogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii ot 21 dekabrya 2010 g. № 746.
7. Bolotin S.A., Dadar A.Kh., Klimov S.E. *Upravleniye investitsionnymi stroitelnymi proyektami* [Investment constructional projects management]. Kyzyl: TyvGU, 2004. 152 p. (rus)
8. Afanasyev V.A. *Potochnaya organizatsiya stroitelstva* [Mainstreaming of construction]. Leningrad: Stroyizdat, 1990. 160 p. (rus)
9. Walker Anthony. Project management in constructon / 4th ed. Oxford: Blackwell Science, 2002. 289 p.
10. Hendrickson Chris. Project Management for Construction: Fundamental Concepts for Owners, Architects and Bilders. 2003. 537 p.
11. *Metodicheskiye rekomendatsii po otsenke effektivnosti investitsionnykh proyektov i ikh otboru dlya finansirovaniya* [Methodical recommendations on evaluation of investment projects effectiveness and their selection for financing]. Moscow: Ekonomika, 2000. 421 p. (rus)
12. Bolotin S.A. *Otsenochnyye tekhnologii v ekonomicheskikh protsessakh* [Evaluating technologies in the economic processes]. Saint-Petersburg: Inzhekon, 2002. Pp. 148–151.
13. Ptukhina I. S. *Nauchnyy zhurnal KubGAU*. 2011. No. 68(04). URL: http://ej.kubagro.ru/2011/04/pdf/35.pdf. (rus)

14. Bolotin S.A., Gugina Yu.B., Krylov N.G. *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo* [University News. Construction]. 2002. No 8. Pp. 44–47. (rus)

15. Bolotin S.A., Dadar A.Kh. *Konvergentsiya organizatsionno-tekhnologicheskogo i arkhitekturno-stroitelnogo proyektirovaniya, oriyentirovannogo na energoresursosberezheniye pri stroitelstve i ekspluatatsii zdaniy* [The convergence of organizational, technological and architectural design, focused on energy and resources saving in the construction and operation of buildings]. Saint-Petersburg: SPbGASU, 2011. 200 p. (rus)

Full text of this article in Russian: pp. 82-86