

## Организационная подготовка автоматизированного производства и монтажа элементов конструкций светопрозрачных фасадов

*К.т.н., доцент М.М. Калюжнюк,  
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»;  
студент А.В. Калюжнюк,  
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»*

**Ключевые слова:** рабочие операции; простые технологические процессы; методы календарного планирования; параллельно-поточные методы; техническое нормирование; автоматизация подготовки производства; организационно-технологическое проектирование

В соответствии с научно-технологическим прогнозом развития Российской Федерации до 2030 года, опубликованным РАН в 2008 г. [1], за указанный период Россия должна перейти от сырьевой к высокотехнологичной модели развития, к экономике, основанной на знаниях. В прогнозе учитывается, что в мире происходят процессы перехода экономик наиболее развитых стран от 5-го к 6-му технологическому укладу, который основывается на NBIC-конвергенции (N – nano; B – bio; I – info; C – cogno) [1]. NBIC-конвергенция выражается в том, что инструменты и результаты применения нано-, био-, инфо- и когнитивных технологий сливаются друг с другом, и этот процесс имеет тенденцию к нарастанию [2].

Строительство, как инфраструктурная отрасль экономики, чтобы служить основой для развития всех наукоемких отраслей, должно использовать все доступные методы и средства для инновационного развития [3], в том числе включаемые в NBIC-конвергенцию информационные технологии. На отдельных этапах жизненного цикла строительной продукции, и в первую очередь на стадии проектирования, в наиболее развитых российских строительных организациях, учитывающих зарубежный опыт применения BIM-технологий (строительных информационных моделей) [4, 5 и др.], эти технологии уже используются в качестве средств автоматизации процессов проектирования и управления [6, 7 и др.].

Наиболее уязвимым местом их применения является перенос устаревших к настоящему времени методов и средств проектирования и управления в условия автоматизированного производства. Особенно заметно этот недостаток проявляется в организационно-технологическом проектировании и организационной подготовке строительного производства [8], когда недостаточно эффективные методы технического нормирования [9,10 и др.] и последующего календарного планирования переводятся в режимы автоматизированного проектирования и управления, и даже такие мощные современные средства, как программы управления проектами, сохраняют эти недостатки [11 и др.].

Эти недостатки также присущи и применению BIM-технологий в автоматизации организационно-технологического проектирования и организационной подготовке строительного производства [5, 12 и др.]. Такое положение вещей можно объяснить тем, что изначально основными задачами BIM были координация и визуализация архитектурных, конструктивных и инженерных частей проектов, а обновлению методов организационно-технологического проектирования, связывающего проектирование с организацией и управлением строительством объектов, не уделялось должного внимания [5,12,13]. В этих методах применяются системы микроэлементных нормативов трудовой деятельности, на протяжении многих лет эффективно использовавшихся в проектировании и организации труда в США и других развитых странах [9 и др.]. Этот подход хорошо поддается визуализации, но его применение затруднительно для поиска оптимальных или субоптимальных вариантов затрат труда и времени на выполнение работ вследствие исключительной громоздкости исходных данных, что не дает возможности реализовать BIM-технологии в организационном проектировании в полном объеме. На эту особенность обратили внимание авторы работы [13], в которой они предложили использовать динамические свойства строительных процессов в организационном проектировании с применением BIM-технологий, но не детализировали методы диагностики строительных процессов.

Калюжнюк М.М., Калюжнюк А.В. Организационная подготовка автоматизированного производства и монтажа элементов конструкций светопрозрачных фасадов

Таким образом, из анализа перечисленных источников можно сделать вывод, что всегда, когда это возможно, автоматизации организационного проектирования и организационной подготовке строительного производства должна предшествовать разработка эффективных формализованных методов технического нормирования и календарного планирования строительных процессов [14–16].

В настоящей статье предлагаются методы разрабатываемой авторами теории организации строительных процессов и методологии их структурно-функционального моделирования [15, 16], направленные на устранение указанных выше недостатков в автоматизации организационного проектирования и организационной подготовки строительного производства. При этом предлагаемые методы разрабатываются на уровне рабочих операций и, в отличие от методов, использующих микроэлементные нормативы, не требуют того объема затрат труда и времени, который вкладывался бы в формирование последних.

В статье описывается применение разработанных авторами формализованных методов технического нормирования [16] простых технологических процессов (ПТП) [17], применение норм для определения времени изготовления серий монтажных элементов, а также для синхронизации календарных планов изготовления и монтажа элементов светопрозрачных ограждающих конструкций фасадов зданий.

Методика изложена на частном примере изготовления одного из таких элементов, а именно алюминиевого окна АГС-50. Тем не менее, все, что касается формализованных методов нормирования и календарного планирования, может быть практически без изменений перенесено на нормирование и календарное планирование как изготовления, так и монтажа любых других элементов светопрозрачных конструкций фасадов. Более того, в принципиальной своей основе эти методы применимы для любого как производственного, так и строительного ПТП.

Исходными материалами для разработки и применения этих методов послужили данные о результатах производственной деятельности ООО «Алюмстрой» (Санкт-Петербург), занимающегося проектированием, изготовлением и монтажом элементов светопрозрачных ограждающих конструкций фасадов жилых и общественных зданий (окон, балконных дверей, витражей и др.). Материалы были собраны магистрантом Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета Е.Б. Бектемисовым при подготовке магистерской диссертации «Влияние сопутствующих работ на продолжительность устройства светопрозрачных фасадов», в которой рассматриваемые формализованные методы применялись для анализа сопутствующих работ.

Для изучения выбранного в качестве примера ПТП был применен метод формализованного упорядочения рабочих операций ПТП, включающий методы экспертного оценивания [16, 18], построения графа вида «вершины – работы» и разбиения последнего на слои [19]. В результате их применения была сформирована сетевая модель вида «вершины – работы», в которой вершинами являлись технологически упорядоченные рабочие операции. Для этой модели в работе [16] было введено понятие организационно-технологического модуля (ОТМ) для любого изучаемого ПТП (организационно-технологическим модулем был назван циклический повторяемый структурный элемент ПТП). По этой же методике в настоящей работе был сформирован ОТМ ПТП изготовления изучаемого окна. На сетевой модели ОТМ была определена продолжительность изготовления этого окна, которая в терминологии производственного и операционного менеджмента [20, 21] называется производственным циклом изготовления изделия.

В данной статье разработан подход к определению вариантов норм затрат труда и времени на изготовление одного элемента при рассмотрении метода параллельно-поточной организации работ на сформированной модели ОТМ. В ней предлагается использовать производственный цикл изготовления окна и с помощью метода комбинированных потоков [22] определять продолжительности изготовления серий монтажных элементов в зависимости от заданных генподрядной организацией сроков монтажа светопрозрачных конструкций фасадов зданий.

## Формирование организационно-технологических модулей процессов изготовления монтажных элементов светопрозрачных конструкций фасадов зданий

Как отмечено во введении, в статье использована ранее разработанная авторами методика формирования ОТМ ПТП [16] для технологического процесса устройства сварных соединений сборных железобетонных конструкций. Эта методика была применена для формирования ОТМ ПТП изготовления алюминиевого окна АГС-50. В случае формирования ОТМ ПТП изготовления любого другого светопрозрачного элемента достаточно лишь уточнить перечень и содержание рабочих операций ПТП и провести хронометражные наблюдения длительности их выполнения. В остальном методика должна выполняться в соответствии с описанными в работе [16] и примененными ниже процедурами.

**Таблица 1. Перечень и характеристики рабочих операций ОТМ ПТП изготовления окна АГС-50**

Наименование операций	Продолжительность, мин	Условные обозначения операций до упорядочения	Условные обозначения операций после упорядочения	№ слоя
Нарезка элементов створки окна	1,2	$a_1$	$b_1$	1
Разметка мест сверления	5	$a_2$	$b_4$	2
Пробивка дренажных отверстий в раме	1,5	$a_3$	$b_7$	3
Пробивка отверстий под ручку в створке	4	$a_4$	$b_8$	3
Сборка рам	1,5	$a_5$	$b_{10}$	4
Сборка створок и проверка диагоналей створки	2	$a_6$	$b_{11}$	4
Сверление отверстий под клей и закачка клея	6	$a_7$	$b_{17}$	7
Сверление дренажных отверстий в створке	4	$a_8$	$b_{13}$	5
Обжим рам	1	$a_9$	$b_{12}$	5
Обжим створок	1	$a_{10}$	$b_{15}$	6
Установка резины g-007d, u005 в створку	3	$a_{11}$	$b_{20}$	9
Установка резины g012d в раму	3	$a_{12}$	$b_{16}$	7
Пиление импоста	1,5	$a_{13}$	$b_2$	1
Фрезерование импоста	3,8	$a_{14}$	$b_5$	2
Сверление импоста 6856 под установку nt03, nt04	1,9	$a_{15}$	$b_9$	3
Установка импоста nt04 6856	3	$a_{16}$	$b_{14}$	6
Обработка тяг на окна - сверление	2	$a_{17}$	$b_3$	1
Установка тяг	4,3	$a_{18}$	$b_{19}$	8
Сборка ручек	4	$a_{19}$	$b_6$	2
Установка петель на раму	2,2	$a_{20}$	$b_{18}$	8
Окончательная сборка поворотно-откидных окон	12	$a_{21}$	$b_{21}$	10
Контрольная проверка и упаковка	3	$a_{22}$	$b_{22}$	11
	$\Sigma = 70,6$			

Калюжнюк М.М., Калюжнюк А.В. Организационная подготовка автоматизированного производства и монтажа элементов конструкций светопрозрачных фасадов

Для формирования ОТМ ПТП изготовления рассматриваемого окна были определены перечень из 22 входящих в него рабочих операций, продолжительности выполнения каждой операции, а также суммарная их продолжительность, которая составила 70,6 мин. В таблице 1 приведены эти данные, а также необходимые для дальнейшего анализа условные обозначения  $a_i$ , присвоенные операциям в порядке их перечисления в таблице, новые условные обозначения  $b_i$ , введенные по результатам анализа технологической упорядоченности, и номера слоев в сетевом графике (см. рис. 1), к которым относятся соответствующие операции.

**Таблица 2. Данные анализа технологических связей между рабочими операциями ОТМ ПТП**

	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$	$a_9$	$a_{10}$	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	$a_{14}$	$a_{15}$	$a_{16}$	$a_{17}$	$a_{18}$	$a_{19}$	$a_{20}$	$a_{21}$	$a_{22}$
$a_1$	x	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$a_2$	0	x	#	1	1	1	1	#	#	#	#	#	#	#	#	#	1	1	1	1	1	1
$a_3$	0	#	x	#	1	1	#	1	#	1	#	#	#	#	1	1	1	1	1	1	1	1
$a_4$	0	0	#	x	#	1	1	1	1	1	#	#	#	#	1	1	1	1	1	1	1	1
$a_5$	0	0	0	0	x	*	1	1	1	1	#	#	#	#	1	1	1	1	1	1	1	1
$a_6$	0	#	#	#	*	x	1	1	#	#	#	#	#	#	1	1	1	1	1	1	1	1
$a_7$	0	0	0	0	0	#	x	1	1	1	#	#	#	#	1	1	1	1	1	1	1	1
$a_8$	0	0	0	0	0	#	0	x	1	1	#	#	#	#	1	1	1	1	1	1	1	1
$a_9$	0	0	0	0	0	0	0	0	x	#	#	#	#	#	1	1	1	1	1	1	1	1
$a_{10}$	0	0	0	0	0	0	0	0	#	x	#	#	#	#	1	1	1	1	1	1	1	1
$a_{11}$	0	#	#	#	#	#	#	#	#	#	x	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$a_{12}$	0	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	x	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$a_{13}$	0	#	#	#	#	#	#	#	#	#	0	0	x	*	#	#	#	1	1	1	1	1
$a_{14}$	0	#	#	#	#	#	#	#	#	0	0	0	*	x	#	#	#	1	1	1	1	1
$a_{15}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	#	#	#	#	#	x	#	1	1	1	1	1	1
$a_{16}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	#	#	#	#	#	#	x	#	1	1	1	1	1
$a_{17}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	#	#	#	#	#	#	0	x	1	1	1	1	1
$a_{18}$	0	0	0	0	0	0	0	0	#	0	0	0	0	0	0	0	0	x	1	1	1	1
$a_{19}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	#	x	1	1	1
$a_{20}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*	x	1
$a_{21}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x
$a_{22}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Примечание. В таблице введены следующие условные обозначения элементов  $a_{ij}$ :

1, если  $a_i$  предшествует  $a_j$ ;

0, если  $a_j$  предшествует  $a_i$ .

Кроме того, для описания неопределенности при экспертном оценивании введены также:

#, если операции не зависят друг от друга;

\*, если одна из операций является составной частью другой.

Данные анализа технологической упорядоченности рабочих операций в ОТМ, которая определялась экспертным методом парных сравнений предшествования – последования операций, приведены в таблице 2. В таблице на пересечении  $a_i$ -й строки и  $a_j$ -го столбца приведены значения элементов  $a_{ij}$ , характеризующие эту упорядоченность. При этом для сравниваемых операций рассматривались 4 типа их технологических взаимосвязей (см. приложение табл. 2).

По данным анализа технологических связей (табл. 2) была сформирована сетевая модель ОТМ ПТП вида «вершины – работы», представленная на рисунке 1. В ней работами являются рабочие операции, а связями – технологические связи между ними. Для определения технологически независимых операций вершины графа были разбиты на слои [19], в которых содержались эти независимые операции. В вершинах графа (рис. 1) указаны длительности рабочих операций, рассчитанные по ним ранние и поздние сроки их выполнения, а также выделен критический путь, в операциях которого ранние и поздние сроки их выполнения совпадают. Суммарная продолжительность операций критического пути, равная 45,5 мин., определяет продолжительность всех рабочих операций, включенных в организационно-технологический

модуль ПТП изготовления рассматриваемого окна и является нормой затрат труда и времени на изготовление окна.

По представленной методике может быть сформирован ОТМ ПТП изготовления (монтажа) любого другого элемента светопрозрачных конструкций фасадов зданий и для каждого из них определены нормы затрат труда и времени. Совокупность всех определенных таким образом норм позволяет создать базу внутриорганизационных норм затрат труда и времени на производство и монтаж изготавливаемых фирмой элементов светопрозрачных конструкций фасадов зданий.

При эксплуатации и совершенствовании созданной базы данных, анализируя топологию сетевой модели, пространственные (фронты-модули) и ресурсные (ресурсы-модули) характеристики ОТМ ПТП [16] для каждого светопрозрачного элемента, можно найти параметрический ряд нескольких нормативных значений затрат труда и времени каждого ОТМ. Подробности формирования приведены в следующем разделе.

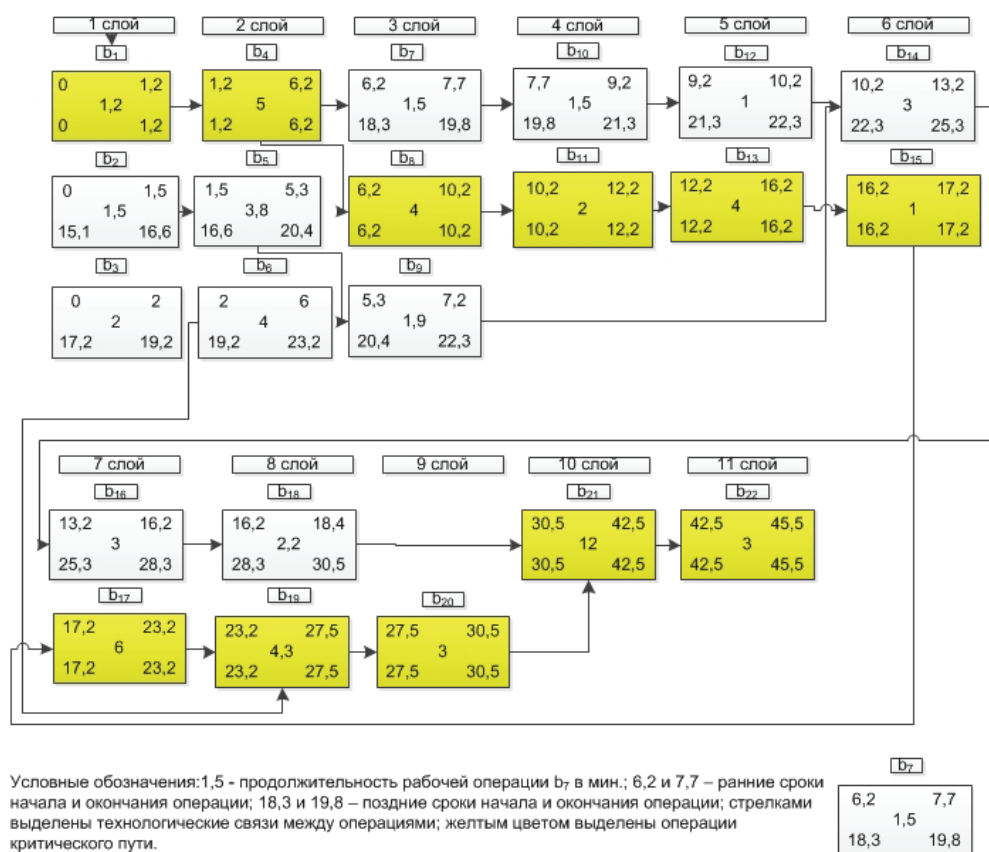


Рисунок 1. Сетевая модель ОТМ ПТП изготовления алюминиевого окна АГС-50

Для дальнейшего (вплоть до полной автоматизации) совершенствования формализованного технического нормирования ОТМ рассматриваемого и любого другого ПТП в будущем должны разрабатываться и внедряться:

- алгоритмы и программы автоматической видеофиксации ОТМ ПТП, распознавания фиксажных точек между операциями и определения длительностей последних;
- экспертные системы автоматического распознавания рабочих операций и их технологических, пространственных и ресурсных упорядоченностей;
- алгоритмы и программы автоматизированной оценки и выбора наилучших вариантов нормативных решений.

Следует отметить, что в методе определения параметрических значений организационно-технологических модулей усматривается некоторая отдаленная аналогия с методом поточно-расчлененной организации работ [23], а также с параллельно-поточными методами их организации [24].

## Определение продолжительности изготовления комплектовочной серии из $m$ изделий

При определении времени изготовления серии из  $m$  изделий предлагается рассматривать комплексы операций (производственные циклы) критического пути ОТМ ПТП изготовления каждого такого изделия (см. рис. 1) и сводить расчет продолжительности изготовления этой серии к расчету продолжительности комбинированного потока [22, 24],  $m$  фронтов работ которого представляют собой производственные циклы  $m$  изделий, включенных в изготавливаемую серию. Поскольку в производственном цикле изготовления одного изделия рабочие операции выполняются непрерывно (без простоев), применен метод непрерывного освоения фронтов работ. В этом случае определяются периоды развертывания – интервалы времени между началами комплексов рабочих операций, выполняемых на последующем и предыдущем фронтах работ соответственно.

Если серия состоит из  $m$  одинаковых изделий, например, из выбранных в качестве примера окон АГС-50, то, во-первых, продолжительности комплекса операций критического пути для каждого изделия будут равны (см. рис. 1.), а во-вторых, периоды развертывания комплексов операций каждого последующего изделия по отношению к предыдущему будут также равны. Следовательно, общая продолжительность работ окажется суммой периодов развертывания комплекса рабочих операций каждого последующего изделия по отношению к предыдущему и продолжительности изготовления последнего изделия (см. формулу (3)). То есть для одинаковых изделий их поточное производство представляет собой разноритмичный поток, в котором продолжительности выполнения одной и той же операции на разных изделиях (фронтах работ, [16]) одинаковы, а продолжительности разных операций, последовательно выполняемых в производственном цикле одного изделия, различаются.

Пример определения периода развертывания комплексов рабочих операций последующего окна по отношению к предыдущему в разноритмичном потоке при применении метода непрерывного освоения фронтов работ [22] приведен в таблице 3. В первых двух строках таблицы выписаны продолжительности рабочих операций критического пути ОТМ ПТП изготовления  $i$ -го и  $i+1$ -го окон, а в третьей – значения периода развертывания  $\Delta t_{i,j}$  комплекса рабочих операций по изготовлению  $i+1$ -го изделия по отношению к  $i$ -му, полученные из условия, что критическая операция  $j$  выполняется без простоя при переходе от изделия  $i$  к изделию  $i+1$ . Для удобства определения периода развертывания комплексы операций  $i$ -го и  $i+1$ -го изделия рассчитываются с нулевого момента времени. Период развертывания  $\Delta t_{i,j}$  определяется по формуле:

$$\Delta t_{i,j} = t_{i,j}^o - t_{i+1,j}^h, \text{ для } \forall i = 1, \dots, m; \forall j = 1, \dots, 11, \quad (1)$$

где  $j$  соответствует операциям критического пути  $b_j$ ;

$t_{i,j}^o$  и  $t_{i+1,j}^h$  – соответственно моменты времени окончания операции  $j$  на  $i$ -м изделии и начала операции  $j$  на  $i+1$ -м изделии.

Искомый период развертывания  $T_{i,i+1}^{разв}$  находится по формуле:

$$T_{i,i+1}^{разв} = \max_j (\Delta t_{i,j}). \quad (2)$$

Найденное значение обеспечивает непрерывное выполнение операции с максимальной продолжительностью (продолжительностями для неритмичных потоков) и соответствующие простои при выполнении всех остальных операций на переходах от одного изделия к другому.

Отсюда следует, что в приведенном примере продолжительность партии однотипных изделий в количестве  $m$  штук будет равна:

$$T_{kn}(m) = (m-1)T_{i,i+1}^{разв} + \sum_{j=1}^{11} t_{i,j}^{kp}, \quad (3)$$

где  $t_{ij}$  – продолжительность критической операции  $i$ , а последнее слагаемое является продолжительностью изготовления одного окна.

**Таблица 3. Значение периодов развертывания комплексов рабочих операций  $i+1$ -го изделия по отношению к  $i$ -му**

	Условные обозначения рабочих операций критического пути, их продолжительности, начала и окончания в минутах										
	$b_1$	$b_4$	$b_8$	$b_{11}$	$b_{13}$	$b_{15}$	$b_{17}$	$b_{19}$	$b_{20}$	$b_{21}$	$b_{22}$
Окно $i$	0 1,2 1,2	1,2 6,2 5	6,2 10,2 4	10,2 12,2 2	12,2 16,2 4	16,2 17,2 1	17,2 23,2 6	23,2 27,5 4,3	27,5 30,5 3	30,5 42,5 12	42,5 45,5 3
Окно $i+1$	0 1,2 1,2	1,2 6,2 5	6,2 10,2 4	10,2 12,2 2	12,2 16,2 4	16,2 17,2 1	17,2 23,2 6	23,2 27,5 4,3	27,5 30,5 3	30,5 42,5 12	42,5 45,5 3
$\Delta t_{ij}$	1,2	5	4	2	4	1	6	4,3	3	12	3

### **Синхронизация календарных планов работ по изготовлению монтажных элементов и монтажу из них светопрозрачных конструкций фасадов**

Предположим, что требуется изготовить и смонтировать светопрозрачные конструкции фасадов в сроки, заданные генподрядчиком, т. е.  $T_M^H$  и  $T_M^O$  – моменты начала и окончания монтажных работ соответственно. Рассмотрим случай, когда все монтируемые изделия (например, окна АГС-50) однотипны и производственные циклы их изготовления одинаковы. Продолжительность монтажных работ составляет  $T_M^O - T_M^H$ , отсюда следует, что за это же время требуется подготовить к монтажу  $m$  однотипных изделий, в процесс изготовления каждого из которых входит  $n$  операций критического пути (в рассматриваемом примере  $n = 11$ ). Чтобы это условие было выполнено, требуется по формуле (3) определить период развертывания, обеспечивающий изготовление  $m$  монтажных элементов в заданные сроки:

$$T_{i,i+1}^{разв} = \max_j(\Delta t_{i,j}) = \frac{1}{(m-1)} (T_M^O - T_M^H - \sum_{j=1}^n t_{i,j}^{кр}). \quad (4)$$

Основное значение норм затрат труда и времени изготовления одного изделия в нашем примере составляет 45,5 мин. Значение основного периода развертывания  $T_{i,i+1}^{разв} = 12$  мин., оно определяется временем выполнения операции критического пути с максимальной продолжительностью. Упорядочим операции критического пути по невозрастанию времени их выполнения (числами указаны продолжительности их выполнения в минутах):

$$\{b_{21}(12), b_{17}(6), b_4(5), b_{19}(4,3), b_8(4), b_{13}(4), b_{20}(3), b_{22}(3), b_{11}(2), b_1(1,2), b_{15}(1)\}.$$

Предположим для определенности, что требуемый для выполнения монтажных работ в срок период развертывания, найденный по формуле (4), равен 4 мин. Тогда все операции с продолжительностью более 4 минут, а именно  $b_{21}$ ,  $b_{17}$ ,  $b_4$ ,  $b_{19}$ , должны выполняться на дополнительных рабочих местах, обеспечивая продолжительность выполнения соответствующих операций на параллельных изделиях не более 4 минут. Таким образом, операция  $b_{21}$  должна выполняться на трех рабочих местах, что соответствует выполнению этой операции на одном изделии за 4 мин., а рабочие операции  $b_{17}$ ,  $b_4$  и  $b_{19}$  – на двух рабочих местах соответственно за 3; 2,5 и 2,15 мин. После этого требуется переопределить ранние и поздние сроки комплекса рабочих операций на сетевой модели ОТМ ПТП изготовления окна и выяснить, не перешли ли какие-либо операции в группу критических, для которых также может потребоваться развертывание дополнительных рабочих мест.

Таким образом, можно синхронизировать календарные планы работ по изготовлению монтажных элементов и их монтажу в заданные генподрядчиком сроки. Для оценки целесообразности синхронизированного производства работ следует, используя полученные результаты, разработать функциональную модель [16] совмещения процессов изготовления и монтажа элементов конструкций светопрозрачных фасадов.

### Выводы

1. Для автоматизации организационной подготовки производства монтажных элементов светопрозрачных конструкций рекомендуется использовать методы теории организации и методологии структурно-функционального моделирования строительных процессов, начиная с разработки и применения эффективных формализованных методов технического нормирования и календарного планирования этих процессов.

2. Формализованная методика определения норм затрат труда и времени, разработанная для процесса изготовления окна АГС-50, применима для процессов изготовления и монтажа любых других элементов светопрозрачных конструкций фасадов. Отмечены особенности ее применения в этих случаях.

3. Для определения продолжительности изготовления серии из  $m$  однотипных элементов, предназначенных для монтажа на конкретном объекте, разработан метод комбинированных потоков и предложены соответствующие формулы. Показано, что с их помощью можно синхронизировать календарные планы изготовления и монтажа конструкций фасадов на любом конкретном объекте.

4. Приведен пример определения вариантов норм затрат времени (параметрического ряда) на изготовление одного элемента при рассмотрении метода параллельно-поточной организации работ на сформированной рассматриваемой модели организационно-технологического модуля простого технологического процесса.

5. Формализованные методы разработки ОТМ и оценки организационной эффективности ПТП открывают возможности для совершенствования структуры и работы ресурсов-модулей ОТМ, повышения их производительности, поиска и внедрения инновационных разработок и перехода к автоматизации технического нормирования и календарного планирования. Определены направления разработки алгоритмов и программ для автоматизации формализованного технического нормирования и календарного планирования ОТМ ПТП.

### Литература

1. Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на долгосрочную перспективу (до 2030 г.). М., 2008.
2. Турчин А.В., Батин М.А. Футурология. XXI век. Бессмертие или глобальная катастрофа. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013. 263 с.
3. Калюжнюк М.М., Сандан Р.Н. О концептуальных основах инновационного развития строительной отрасли России: системно-синергетический подход // Вестник гражданских инженеров. 2010. №3. С. 38–45.
4. Carfrae T. Integrated multidisciplinary design and construction of the Beijing National Aquaric Centre // Structural Engineering International Journal of the International Association for Bridge and Structural Engineering. 2011. No.21(2). Pp. 217–223.
5. Bynum P., Issa R., Olbina S. Building information modeling in support of sustainable design and construction // Journal of Construction Engineering and Management. 2013. Vol. 139(1). Pp. 24–34.
6. Талапов В.В. Информационное моделирование зданий — современное понимание // CADmaster. 2010. №4. С.114–121.
7. Талапов В.В. Что влияет на внедрение BIM в России // CADmaster. 2011. №1. С.30–38.
8. Сафонов К.А. Система поддержки принятия решений при автоматизации проектирования организационно-технологической подготовки строительного производства: автореф. дис. канд. техн. наук. Нижний Новгород, 2002. 209 С.
9. Ralph M. Barnes. Motion and Time Study, Design and Measurement of Work. New York: John Wiley & Sons, 1980. 704 p.



10. Балова Е.Ф., Бакерман Р.С. [и др.] Нормирование труда рабочих в строительстве. М.: Стройиздат, 1985. 440 с.
11. Fewings P. Construction Project Management: An Integrated Approach. Routledge, 2012. 624 p.
12. Zhang L., Zhang X., Ma T. Management of construction schedules based on building information modeling technology // International Conference on Emerging Technologies for Information Systems, Computing and Management. Hangzhou, 2012. No.236. Pp. 81–88.
13. Ting W., Ying Y., Xiao L. The impact of BIM application to the project organizational process // 3rd International Conference on Civil Engineering, Architecture and Building Materials. Jinan, 2013. No.357. Pp. 2524–2528.
14. Kjell Zandin. Most Work Measurement Systems. Marcel Dekker. New York, 1990. 552 p.
15. Калюжнюк М.М., Сандан Р.Н., Калюжнюк А.В. Влияние специфических особенностей строительного производства на формирование структурно-функциональных моделей объектных строительных процессов // Вестник гражданских инженеров. 2012. №5(34). С. 125–133.
16. Калюжнюк М.М., Калюжнюк А.В. Упорядочение рабочих операций простых технологических процессов строительного производства // Инженерно-строительный журнал. №7(25). 2011. С. 87–99.
17. Калюжнюк М.М., Р.Н. Сандан. Структурная классификация элементов строительных процессов // Вестник гражданских инженеров. 2008. №1(14). С. 46–52.
18. Литвак Б.Г. Экспертные технологии в управлении. М.: Дело, 2004. 400 с.
19. Kaufmann A., Desbazeille G. La Methode du chemin critique. Paris: Ed. Dunod, 1966. 188 p.
20. Грачева К.А., Некрасов Л.А., Скворцов Ю.В. Организация и планирование машиностроительного производства. М.: Высшая школа, 2003. 470 с.
21. Aquilano N., Chase R., Jacobs R. Production and Operations Management. New York: McGraw-Hill College, 1998. 612 p.
22. Калюжнюк М.М. Формирование комбинированного потока из неритмичных объектных потоков // Организация, планирование и управление строительством. Межвуз. тематич. сб. трудов. Л.: Изд-во ЛИСИ, 1983. С. 43–48.
23. Барановский А.В. Организация и планирование строительного производства. М.: Стройиздат, 1948. 364 с.
24. Афанасьев В. А. Поточная организация строительства. Л.: Стройиздат, 1990. 302 с.

*Михаил Модестович Калюжнюк, Санкт-Петербург, Россия  
+7(812)662-50-11; эл. почта: gamma5105@yandex.ru*

*Александр Всеволодович Калюжнюк, Санкт-Петербург, Россия  
+7(981)171-40-43; эл. почта: iom96@inbox.ru*

© Калюжнюк М.М., Калюжнюк А.В., 2013

doi: 10.5862/MCE.42.8

## Automated organization production and mounting of glass curtain walls

**M.M. Kalyuzhnyuk***Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg, Russia  
+7(812)662-50-11; e-mail: gamma5105@yandex.ru***A.V. Kalyuzhnyuk***Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia  
+7(981)171-40-43; e-mail: iom96@inbox.ru*

### Key words

work operations; simple technological processes; methods of scheduling; parallel-flow methods; technical regulation; automation of pre-production; organizational design

### Abstract

At present the automation of organizational design and organizational preparation of building production is based mainly on the outdated methods. Solution of this requires the development of effective methods of technical regulation and construction scheduling.

Authors use methods of technical regulation and scheduling, previously obtained in structural-functional modeling theory, for production and mounting of glass curtain walls. The article shows the application of these standards in determining the time of producing series of glass facade elements for particular building sites, as well as in the synchronized scheduling production and mounting of these structures.

Authors claim that suggested methods can be used for organizational design and organizational preparation of any other construction processes. Received data can be used to create databases of organization standards of labor and time inputs for production.

### References

1. *Prognoz nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na dolgosrochnuyu perspektivu (do 2030 g.)* [Forecast for the scientific technological development of Russian Federation for long-term outlook (till 2030 year)]. Moscow, 2008. (rus)
2. Turchin A.V., Batin M.A. *Futurologiya. XXI vek. Bessmertiyе ili globalnaya katastrofa* [Futurology. XXI century. Immortality or global catastrophe]. Moscow: Binom. Laboratoriya znaniy, 2013. 263 p. (rus)
3. Kalyuzhnyuk M.M., Sandan R.N. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2010. No.3. Pp. 38–45. (rus)
4. Carfrae T. Integrated multidisciplinary design and construction of the Beijing National Aquaric Centre. *Structural Engineering International Journal of the International Association for Bridge and Structural Engineering*. 2011. No.21(2). Pp. 217–223.
5. Bynum P., Issa R., Olbina S. Building information modeling in support of sustainable design and construction. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2013. No.139(1). Pp 24–34.
6. Talapov V.V. *CADmaster*. 2010. No.4. Pp.114–121. (rus)
7. Talapov V.V. *CADmaster*. 2011. No.1. Pp. 30–38. (rus)
8. Safonov K.A. *Sistema podderzhki priniatiya resheniy pri avtomatizatsii proektirovaniya organizatsionno-tekhnologicheskoy podgotovki stroitel'nogo proizvodstva* [Expert support system in design automation organizational and technological preproduction of construction technology]. Abstract of PhD thesis. Nizhniy Novgorod: 2002. 209 p. (rus)
9. Ralph M. Barnes. *Motion and Time Study, Design and Measurement of Work*. New York: John Wiley & Sons, 1980. 704 p.
10. Balova E.F., Bakerman R.S.[et al]. *Normirovaniye truda rabochikh v stroitelstve* [Work measurement in construction]. Moscow: Stroyizdat, 1985. 440 p. (rus)
11. Fewings P. *Construction Project Management: An Integrated Approach*. Routledge, 2012. 624 p.
12. Zhang L., Zhang X., Ma T. Management of construction schedules based on building information modeling technology. *International Conference on Emerging Technologies for Information Systems, Computing, and Management*. Hangzhou, 2012. No.236. Pp. 81–88.

13. Ting W., Ying Y., Xiao L. The impact of BIM application to the project organizational process. *3rd International Conference on Civil Engineering, Architecture and Building Materials*. Jinan, 2013. No.357. Pp. 2524–2528.
14. Kjell Zandin. *Most Work Measurement Systems*. Marcel Dekker. New York, 1990. 552 p.
15. Kalyuzhniuk M.M., Sandan R.N., Kalyuzhniuk A.V. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2012. No.5(34). Pp. 125–133. (rus)
16. Kalyuzhnyuk M.M., Kalyuzhnyuk A.V. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No.7(25). Pp. 87–99 (rus)
17. Kalyuzhniuk M.M., Sandan R.N. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2008. No.1(14). Pp. 46–52. (rus)
18. Litvak B.G. *Ekspertnyye tekhnologii v upravlenii* [Expert technology in management]. Moscow: Delo, 2004. 400 p. (rus)
19. Kaufmann A., Desbazeille G. *La Methode du chemin critique*. Paris: Ed. Dunod. Paris, 1966. 188 p.
20. Gracheva K.A., Nekrasov L.A., Skvortsov Yu.V. *Organizatsiya i planirovaniye mashinostroitel'nogo proizvodstva* [Organization and planning in engineering industry]. Moscow: Vysshaya shkola, 2003. 470 p. (rus)
21. Aquilano N., Chase R., Jacobs R. *Production and Operations Management*. New York: McGraw-Hill College, 1998. 612 p.
22. Kalyuzhniuk M.M. *Organizatsiya, planirovaniye i upravleniye stroitelstvom. Mezhvuz. tematich. sb. trudov* [Organization, planning and management of construction. Interuniversity subject proceedings]. Leningrad: Izd-vo LISI, 1983. Pp. 43–48 (rus)
23. Baranovskiy A.V. *Organizatsiya i planirovaniye stroitel'nogo proizvodstva* [Organization and planning in construction production]. Moscow: Stroyizdat, 1948. 364 p. (rus)
24. Afanasyev V.A. *Potochnaya organizatsiya stroitelstva* [Mainstreaming of construction]. Leningrad: Stroyizdat, 1990. 302 p. (rus)

**Full text of this article in English: pp. 58–66**