



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Городское строительство и хозяйство»

Учебное пособие

по дисциплине «Технологические
процессы в строительстве»

**«Совершенствование технологии
монтажа одноэтажных
промышленных зданий из
сборных железобетонных
конструкций с элементами
автоматизации строительных
процессов»**

Авторы
Виноградова Е.В.,
Зильберова И.Ю.

Ростов-на-Дону, 2017

Аннотация

Приведены методы совершенствования технологических процессов монтажа одноэтажных промышленных зданий из сборных железобетонных конструкций. Изложены новые технологические монтажные операции с элементами автоматизации устройства монтажных узлов конструкций каркаса и ограждающих конструкций здания, позволяющих существенно снизить стоимость и трудоемкость строительно-монтажных работ.

Рассчитано на бакалавров строительных вузов и факультетов, связанных с проектированием и строительством одноэтажных промышленных зданий.

Авторы

к.т.н., доцент кафедры «ГСиХ»

Виноградова Е.В.

к.т.н., доцент кафедры «ГСиХ»

Зильберова И.Ю.



Оглавление

Введение	4
1. Совершенствование методов монтажа из типовых сборных железобетонных конструкций одноэтажных промышленных зданий	5
2. Исследование и разработка автоматизированного сборочного процесса зданий из линейных железобетонных конструкций	14
2.1. Монтажная технологичность линейных железобетонных конструкций (ЛЖК) типа Т, П и 2Т	14
2.2. Состав комплексного автоматизированного процесса сборки зданий из линейных железобетонных конструкций (ЛЖК)	34
2.3. Упорядочение рабочей зоны роботизированного технологического комплекса	42
2.4. Исследование роботизированного сборочного процесса зданий из ЛЖК на моделях	46
Библиографический список	73
Приложение 1 Монтажные узлы самофиксации ЛЖК	75
Приложение 2. Ориентировочная номенклатура сборных элементов для зданий по хранению сельскохозяйственной продукции	78

ВВЕДЕНИЕ

Развитие промышленного производства в нашей стране зависит, прежде всего, от наличия современных производственных площадей, размещенных в новых, удобных для эксплуатации промышленных зданиях как одноэтажных, так и многоэтажных. Одноэтажные производственные здания имеют различную конструктивную схему и выполняются из сборных железобетонных, металлических конструкций, включая легкие металлические конструкции (ЛМК) комплектной поставки и частично из кирпича. Существенным недостатком одноэтажных промышленных зданий из сборных железобетонных конструкций, разработанных в 80-х годах прошлого века является на сегодня в значительной степени устаревшими, имеющими большую трудоемкость процессов по выполнению монтажных узлов соединения колонн с фундаментами, стропильных конструкций (ферм и балок) с колоннами, плит покрытия с фермами и т.д. На протяжении длительного времени выверка, установка и закрепление этих конструкций производилось вручную с использованием в некоторых случаях различных механических приспособлений (например, кондукторов), которые несколько снижали трудоемкость ручных операций по установке и закреплению в проектном положении монтируемых элементов, но по сути своей все монтажные работы требовали тяжелого ручного труда в любых погодных условиях. Закрепление сборных железобетонных конструкций между собой в основном осуществляется вручную путем электродуговой сварки стальных закладных деталей. В отдельных случаях применяются электросварочные полуавтоматы с использованием порошковой проволоки. В результате сокращения в стране промышленного производства, строительство одноэтажных зданий резко сократилось, а заводы по производству промышленного железобетона практически перестали выпускать эти конструкции. Учитывая новую политику правительства страны на развитие промышленного производства актуальным становится вопрос радикального совершенствования технологии монтажа одноэтажных производственных зданий из сборных железобетонных конструкций на основе разработки и внедрения в строительное производство элементов автоматизации трудоемких ручных процессов, обеспечивающих существенное снижение трудоемкости строительно-монтажных работ и значительное улучшение условий труда строительных рабочих. В настоящей работе сделана попытка, рассмотреть некоторые пути решения указанных проблем.

1. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ МОНТАЖА ИЗ ТИПОВЫХ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОДНОЭТАЖНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

Большой практический опыт строительства одноэтажных промышленных зданий из сборных железобетонных конструкций позволяет сделать вывод, что монтаж таких зданий наиболее рационально вести несколькими специализированными потоками, каждый из которых оснащается комплектом машин, состоящим из ведущей машины (монтажного крана), средств доставки конструкций и монтажной оснастки (рис.1) [1,2,3, 4]. В первом потоке кран устанавливает колонны. При небольшом пролете здания, например, 12м и шаге колонн 6м, кран движется по середине пролета и с одной стоянки может смонтировать до 6 колонн. При пролете 18, 24 и 30м кран движется вдоль каждого ряда фундаментов и может монтировать две колонны и подкрановые балки. Какие процессы при этом выполняет звено монтажников и какая продолжительность этих процессов.

Рассмотрим, например, монтаж в первом специализированном потоке колонн высотой 10,8 м, с размером поперечного сечения 700х400 мм, массой 7,6 т, оборудованных консолями для установки подкрановых балок под опорные краны грузоподъемностью до 32 т.

Монтаж колонн легкого типа обычно ведут с предварительной раскладкой (вершинами к фундаментам) непосредственно у их подъема. Тяжелые колонны укладывают основанием к фундаментам. При необходимости производят «подливку» dna стакана цементным раствором. Установку колонн начинают только после того, как этот раствор набрал прочность не менее не менее 70% проектной прочности. Перед подъемом на четыре грани колонн наносят осевые риски, а также риски подкрановых балок. Колонну, установленную в стакан фундамента центрируют до совпадения рисков с рисками на верхней плоскости фундамента [1, 2, 3, 4].

После проверки теодолитом вертикальности колонн, выверенные колонны закрепляют в стакане фундамента с помощью кондукторов или стальных, деревянных и железобетонных клиньев. Железобетонные клинья после выверки колонн не удаляют, а оставляют в бетоне, по два у каждой грани колонн.

Колонны высотой 12 м и более дополнительно раскрепляют инвентарными расчалками в плоскости их наименьшей жесткости.

Подкрановые балки устанавливают по достижению бетоном в стыках колонн с фундаментами 70% проектной прочности.

Подкрановые балки монтируют после геодезической проверки отметок и положения опорных площадок подкрановых консолей колонн. Фермы и балки покрытия обычно монтируют непосредственно с транспортных средств. Перед их подъемом на них навешивают инвентарные распорки и люльки монтажников. Положение балок и ферм контролируют путем совмещения рисков, нанесенных на опорных поверхностях колонн. Для временного закрепления и рихтовки первых балок и ферм применяют расчалки, а последующие конструкции монтируют с помощью двух распорок для ферм пролетом 24...30 м, которые снимают после установки и приварки панелей покрытия. Панели покрытия монтируют со середины пролета с симметричной загрузкой фермы в обе стороны. Плиты приваривают к закладным деталям в трех точках и затем замоноличивают между ними стыки. Стеновые панели монтируют после окончательного закрепления элементов каркаса с люлек или передвижных подмостей, устанавливаемых с наружной стороны стены. Крепление стеновых панелей производят путем сварки закладных деталей и заделки стыков [1, 2, 3, 4].

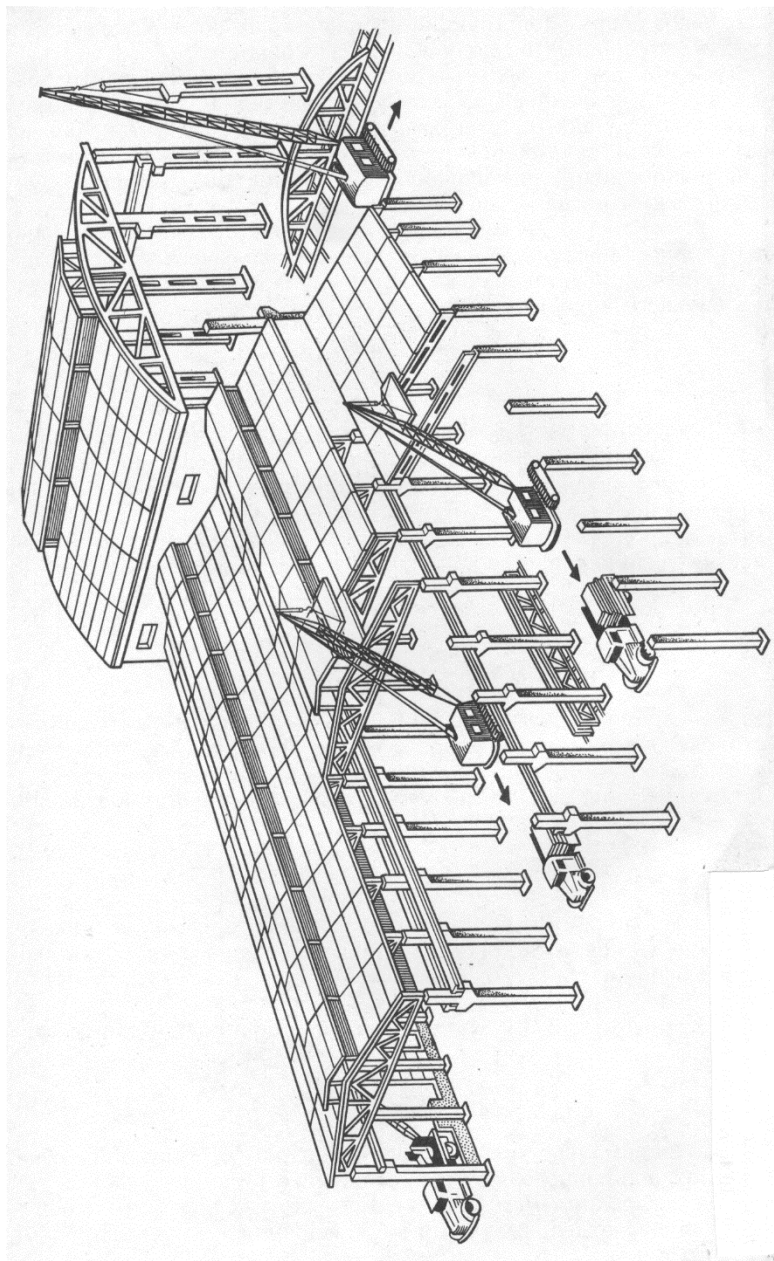


Рис.1. Монтаж одноэтажного промышленного здания специализированными потоками

Труд монтажников тяжел и даже при выполнении всех правил по технике безопасности опасен. Это связано, прежде всего с тем, что работы ведутся практически (за малым исключением) при любой погоде, монтажные элементы и приспособления имеют большую массу и большинство монтажных работ ведется на высоте.

Альтернативой свободному методу монтажа является метод пространственной самофиксации монтажных элементов. Применение метода пространственной самофиксации позволяет свести до минимума количество необходимых монтажных приспособлений, которые в ряде случаев можно назначать только для обеспечения устойчивости и точности установки базовых элементов. При этом появляется возможность сократить расход стали на монтажное оснащение и в соответствии с этим снизить его стоимость. Для устранения сварных соединений железобетонных элементов каркаса здания предлагается заменить их на усовершенствованные самофиксирующиеся монтажные узлы, обеспечивающие в полном объеме внедрение метода пространственной самофиксации. В качестве такого соединения предложен унифицированный клеевой стык (рис.2), который обеспечивает соединение колонн с фундаментами стропильных и подстропильных ферм и балок с колоннами и т.д. Стык представляет собой полость цилиндрической формы 3 в монтируемой конструкции, стенки которой имеют периодический профиль. В верхней части полости устраивается конусное сужение 8, в которой частично размещается капсула с клеем. В нижней части полость 3 имеет конусное расширение для размещения в нем уплотняющей манжеты 6 и облегчения монтажа конструкции. В опоре 2 при ее устройстве устанавливается закладная деталь в виде фиксирующего стержня 5 периодического профиля. Глубину анкерения фиксатора в опоре, его диаметр и свободную длину рассчитывают. Фиксатор на конце имеет острие. Диаметр полости принимается на 10 мм больше диаметра фиксатора для компенсации погрешностей при установке закладных и соединительных деталей в опорную часть фундамента и облегчения монтажа конструкции.

Полость в монтируемой конструкции образуется путем установки при ее изготовлении закладной детали 3. Уплотняющая резиновая манжета, повторяющая профиль нижнего расширения полости, надевается на фиксатор. Капсула для клея предусмотрена из алюминиевой фольги, изготавливается и заполняется клеевым составом в заводских условиях.

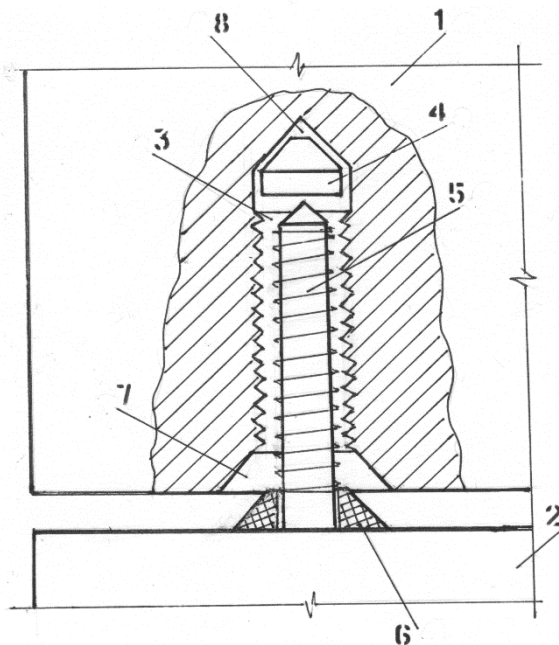


Рис.2. Унифицированный клеевой монтажный стык для железобетонных конструкций:

- 1 – монтируемая конструкция; 2 – опора; 3 – полость; 4 – капсула с клеем; 5 – фиксатор периодического профиля; 6 – герметизирующая манжета; 7 – нижнее конусное расширение полости; 8 – верхнее конусное сужение полости

В случае применения эпоксидных универсальных клеев типа ЭДП с отвердителем заполнение капсулы производится непосредственно перед монтажом конструкции, поэтому капсула должна иметь самогерметизирующую крышку. Размеры капсулы и полости для её размещения определяются расчетом. Для фиксации капсулы в полости она снабжена уплотнительным резиновым кольцом 9, которое упирается в буртики 10, исключая смещение кольца при установке капсулы в полость. Процесс монтажа и закрепления конструкции с применением клеевого стыка следующий. Перед подъемом конструкции в полость вставляется капсула с клеем, конструкция подается к месту монтажа и опускается на опору. При этом фиксатор 5 вводится в полость 3. Нижний конусный скос 7

играет роль ловителя и облегчает процедуру стыковки конструкций. При достижении острия фиксатора капсулы 4 происходит ее разгерметизация и под действием собственного веса монтируемой конструкции клей под давлением поступает в зазор между поверхностью фиксатора и стенками полости. Соотношение высоты нижнего уширения и верхней части полости обеспечивает герметизацию полости манжетой 6. При этом конусная часть (острие) фиксатора попадает в верхнюю конусную часть полости и обеспечивает самофиксацию конструкции в плане и по высоте.

Для оценки прочности клеевого соединения конструкций были проведены испытания опытных образцов, параметры которых приведены на рис.2 и в таблице 1.

Таблица 1

Параметры опытных образцов и результаты испытаний

№ п/п	$d_{тв}, мм$	$d_{ф}, мм$	$\Delta d, мм$	$I_{ап}, мм$	$I_{р}, мм$	$N_{пр}, кН$	Примечание
1	20	12	8	160	0	104	Разрушение по клеевому стыку
2	20	12	8	80	0	48	То же
3	20	16	4	160	0	120	Разрыв трубы
4	20	16	4	160	160	120	То же

На рис.2 и в таблице приведены следующие данные:

$d_{тв}$ – внутренний диаметр полости (трубы);

$d_{ф}$ – диаметр фиксатора (стержня);

Δd – ширина кольцевого зазора между полостью и фиксатором;

$I_{ап}$ – длина анкерения фиксатора в полости;

$I_{р}$ – длина резьбы в полости;

$N_{пр}$ – предельная разрушающая продольная сила.

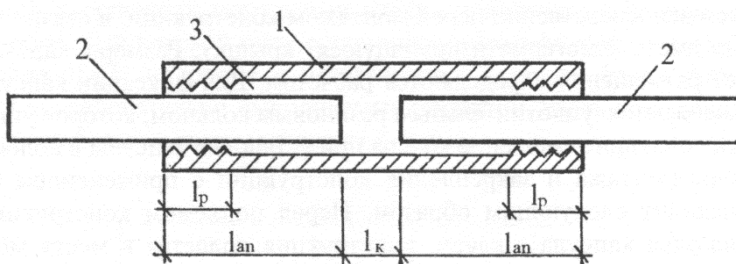


Рис.3. Опытные образцы клеевого соединения сборных железобетонных конструкций

Опытные образцы клеевого соединения готовили следующим образом: полость трубы 1 (рис.3) частично заполняли эпоксидным клеем ЭДП. Затем в трубу вставляли фиксаторы 2 (стальной стержень периодического профиля). При этом обеспечивалось заполнение кольцевого зазора 3 клеем. После затвердения клея опытные образцы испытывались на разрывной машине на действие растягивающих усилий до разрушения образцов.

На основании проведенных испытаний сделан вывод, что при данной схеме загрузки стыка периодический профиль на поверхности полости и фиксатора не влияет на несущую способность соединения.

Сравнивая их с расчетными значениями сопротивления R_{wf} металла швов сварных соединений (с угловыми швами), которые для Электродов Э42-Э46 имеют величину 200-215 МПа, можно сделать вывод, что прочность клеевых соединений сопоставима с прочностью сварных соединений. При этом увеличение диаметра фиксатора приводит к значительному увеличению прочности соединения.

На основе рассмотренного клеевого соединения можно разработать унифицированные монтажные узлы с элементами самофиксации. Такие узлы позволяют в ряде случаев исключить ручной труд при выполнении операций по установке конструкций проектное положение и их раскреплению. При этом отпадает необходимость в электросварочных работах, экономится электроэнергия, а продолжительность операций по закреплению конструкций сокращается в 5-6 раз.

Значительные трудности возникают при монтаже стропильных конструкций (балок и ферм) на опорные части колонн. Эти монтажные работы связаны с большими затратами ручного труда при выверке и закреплении балок и ферм в проектное положение.

Для автоматизации этих монтажных операций разработано новое монтажное устройство, которое обеспечивает для снижения трудоемкости работ замену ручного труда автоматизацией, при этом значительно повышается точность монтажа конструкций [5].

Сущность устройства (рис.4) заключается в том, что автоматическое устройство для монтажа стропильных конструкций, состоит из кондукторной рамы 3 с направляющими, которая закрепляется на колонне 1 и дополнительно содержит механизм подъема 5 и два электромеханических домкрата 6. Домкраты установлены на кондукторной раме, которая закреплена на колонне подпружиненными защелками 7. Выверка и установка стропильной конструкции в вертикальное положение производится рабочими органами электромеханических домкратов, которые включаются автоматически электрическим уровнем 9 на верхней торцевой части стропильной конструкции. Управление рабочими органами домкратов 8 осуществляется при помощи электрического уровня 9, который состоит из герметичной прямоугольной емкости с вертикальными электродами 10, 11 и горизонтальным электродом 12, на поверхности которого находится определенный слой ртути 13.

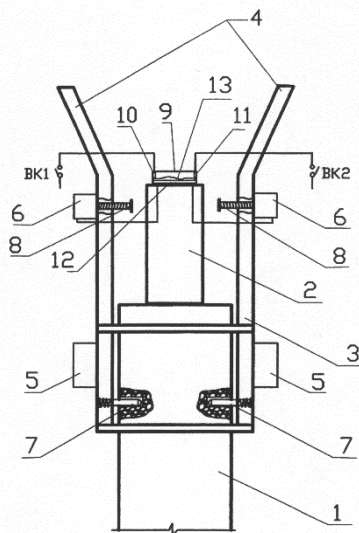


Рис.4. Автоматическое устройство для монтажа стропильных конструкций

Работа устройства осуществляется следующим образом: кондукторная рама устанавливается в обхват колонны 1 на уровне

земли и поднимается на необходимую высоту при помощи электро-механического механизма подъема 5, где закрепляется на подпружиненных защелках 7. на верхнюю торцевую часть стропильной конструкции 2 предварительно монтируется электрический уровень 9. После установки стропильной конструкции на колонну через электровыключатели ВК1 и ВК2 на домкраты подается электрическое напряжение. Если стропильная конструкция вертикальна, то слой ртути 13 на горизонтальном электроде 12 не касается вертикальных контактов 10 или 11. Следовательно, цепь разомкнута и домкраты не работают. Если же конструкция имеет недопустимое отклонение от вертикали, то слой ртути 13 смещается к одному из вертикальных контактов 10 или 11 и замыкает электрическую цепь, питающую электродвигатель домкрата 6. Рабочим органом 8 один из домкратов приводит конструкцию в вертикальное положение. Ртуть 13 в электрическом уровне 9 занимает горизонтальное положение, и электрическая цепь размыкается, домкрат останавливается.

Автоматизация процесса установки и выверки стропильной конструкции значительно уменьшает время работы крана, сокращает объем ручных операций и снижает 10-12 раз время установки стропильных конструкций.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СБОРОЧНОГО ПРОЦЕССА ЗДАНИЙ ИЗ ЛИНЕЙНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

2.1. Монтажная технологичность линейных железобетонных конструкций (ЛЖК) типа Т, П и 2Т

В целях оценки монтажной технологичности ЛЖК был выполнен комплекс натурных исследований процесса монтажа быстромонтируемых зданий (ТП, ГРП, насосных), встроенных помещений и перегородок промышленных зданий, строительство которых осуществлялось в г. Ростове-на-Дону и в городах Ростовской области (рис.5, 6, 7).



Рис. 5. Трансформаторная подстанция в г. Новочеркасске



Рис. 6. Насосно-аккумуляторная станция и трансформаторная подстанция СИТО-2 завода Ростсельмаш

Для оценки эффективности предложенной строительной системы возведения зданий и монтажной технологичности ЛЖК исследования процессов монтажа конструкций производились для зданий (помещений) из типовых железобетонных конструкций и из ЛЖК с одинаковыми ОНР и условиями проведения эксперимента, которые предусматривали:

1. Одинаковые погодные условия – температуру воздуха $t_{в} \approx 20^{\circ}\text{C}$ ($\pm 5^{\circ}\text{C}$), скорость ветра $V_{в} \leq 10$ м/с, отсутствие осадков в виде дождя.

2. Для монтажа конструкций использовались звенья монтажников постоянного состава. Звено №1 в составе 3 человек, в т.ч. монтажника-сварщика 5 разряда – 1 человек, монтажника 4 разряда – 1 человек и монтажника 3 разряда – 1 человек. Звено №2 в составе 2 человек, в т.ч. монтажник 3 разряда – 1 человек и монтажник 2 разряда – 1 человек.

3. Способ монтажа конструкций принят свободный (краном КС3562Б грузоподъемностью 16 т и вылетом стрелы 10 м) с использованием гибких стропов.

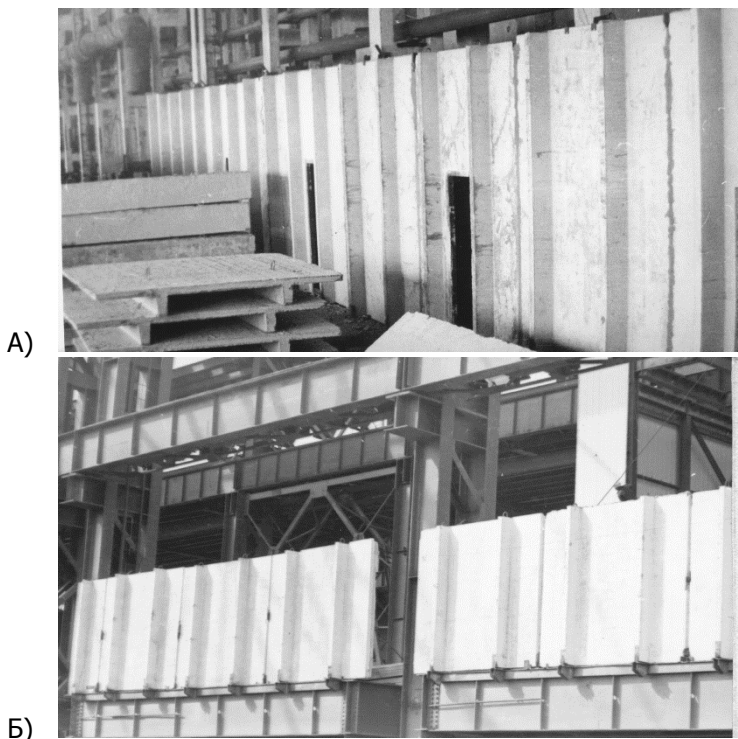


Рис.7. Перегородки из линейных железобетонных конструкций:
а – в корпусе алюминиевого литья завода Ростсельмаш; б – в цехе железного порошка №2 Красносулинского металлургического завода

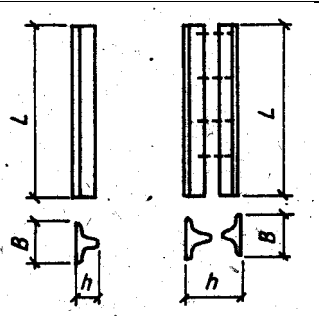
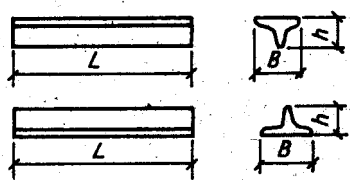
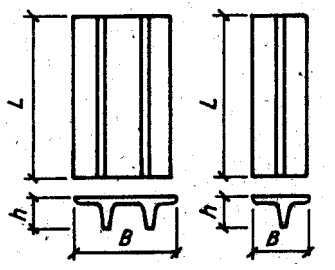
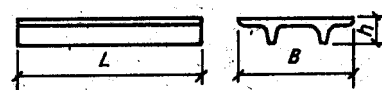

Монтаж конструкций осуществлялся двумя потоками, в первый из которых вошли операции по установке конструкций в проектное положение и их постоянному закреплению. Указанные операции выполнялись звеном рабочих №1 в составе трех человек.

Во второй поток вошли операции по антикоррозионной защите сварных соединений и заделке стыков раствором между сопрягаемыми элементами (стенowymi панелями и плитами покрытия).

Для упрощения методики исследования монтажа здания из ЛЖК (табл.2) по аналогии с формализацией процесса сборки деталей в машиностроении, введено понятие «сборки» ($Сб_i$), под которым понимается монтажная схема объемно-планировочного элемента здания (например, ячейки здания), содержащая определенное количество и вид узловых соединений конструкций (табл.3, 4). Составляющими компонентами $Сб_i$ являются под сборки ($пСб_i$). Структурная композиция ячейки здания рассматривалась как сборка множества монтажных элементов ($Сб_i$), а составляющие её видовые подмножества элементов сгруппированы в под сборки ($пСб_{ij} \in Сб_i$).

Комплексный процесс монтажа элементов состоял из стандартных технологических операций: строповки, наводки элемента на опору, выверки, временного закрепления и последующего постоянного закрепления конструкций. Монтажная технологичность ЛЖК оценивалась по интегральному показателю. Выбор единого показателя технологичности ЛЖК производился с учетом начальных условий: постоянном численно-квалификационном составе звена монтажников, одинаковых условиях планирования и проведения экспериментов, одинаковых методах монтажа и средств механизации технологических процессов, однотипности конструкций и монтажных узлов. В результате последовательного процесса монтажа конструкций происходит формирование объемно-планировочного элемента – ячейки здания. Интенсивность прироста объема здания в результате выполнения сборочного процесса является функцией многих переменных (монтажной технологичности конструкций, степени упорядочения среды, погодных условий, объемно-планировочных и конструктивных решений здания, квалификации монтажников и т.д.).

Видовой состав ЛЖК класса k=3,4

№ п/п	Вид ЛЖК	Эскиз элемента	Класс сечения k_j	Рекомендуемые параметры эталона, м				
				L	d	d_f	h	h_f
1	КК, СК		4,1	12 ≤ (6 ≤)	≥ 0,1	≥ 0,3	≥ 0,3	≥ 0,06
2	БП, ФБ		4,2	12 ≤ (6 ≤)	≥ 0,1	≥ 0,3	≥ 0,3	≥ 0,06
3	ПС		4,3	12 ≤ (6 ≤)	≥ 0,1	3 ≤	≥ 0,3	≥ 0,06
4	ПП		4,4	18 ≤ (6 ≤)	≥ 0,1	3 ≤	≥ 0,3	≥ 0,06
5	ПП		3,1	18 ≤ (6 ≤)	≥ 0,1	3 ≤	≥ 0,3	≥ 0,06

Примечание: В скобках приведены параметры опытных образцов ЛЖК

Таблица 3

 Монтажные схемы ячеек (Сб₁) для моделирования сборочного процесса зданий из ЛЖК.

Сб ₁	Эскиз сборки	N _{ij} , шт.			
		ПС	ПП	К	Б
Сб ₁		2...8	1...4	-	-
Сб ₂		1...4	1...4	2	1
Сб ₃		-	1...4	4	2
Сб ₄		-	1...4	-	-

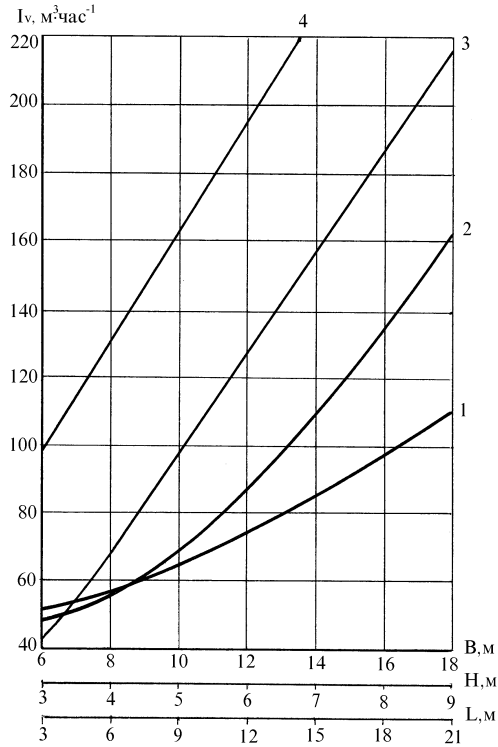


Рис. 8. Интенсивность монтажа здания из ЛЖК в зависимости от размеров ячейки, $I_v = f(B, H, L)$, для 1 – Сб₁; 2 – Сб₂; 3 – Сб₃; 4 – Сб₄

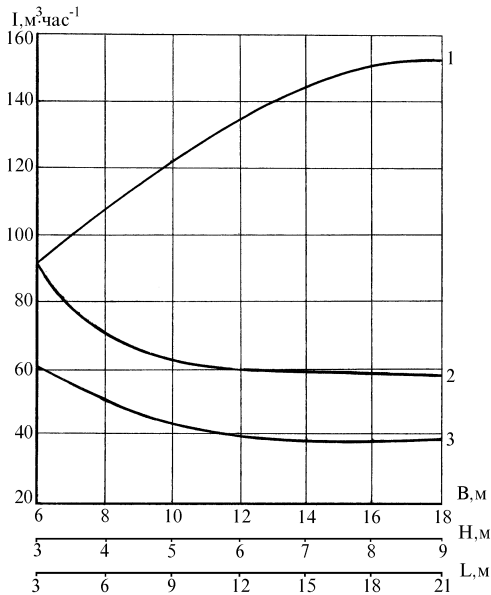


Рис.9. Интенсивность монтажа здания из ЛЖК в зависимости от размеров ячейки (M1): 1 – $I_v = f(H)$; 2 – $I_v = f(B)$; 3 – $I_v = f(L)$

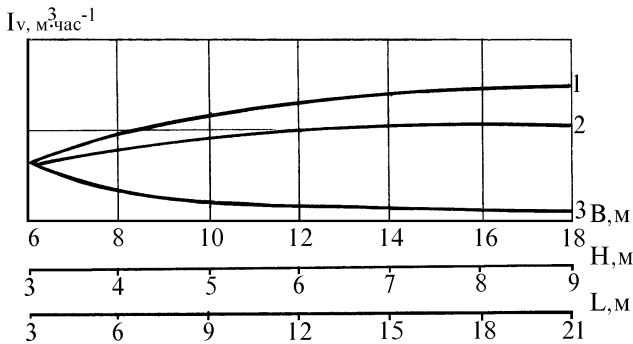


Рис. 10. Интенсивность монтажа здания в зависимости от геометрических параметров ячейки (M2): 1 – $I_v = f(B)$; 2 – $I_v = f(H)$; 3 – $I_v = f(L)$

При уменьшении удельного веса стеновых панелей в общем количестве элементов в сборке снижает это влияние (M2, рис.10).

Показатели трудоемкости возведения зданий из ЛЖК и типовых конструкций, полученные на основе хронометражных наблюдений, позволили построить кривые зависимости затрат труда (Z_t) от площади застройки зданий (рис.11), имеющих ОПР и КР подобную СБ₁.

Как видно из приведенных кривых затраты труда на возведение зданий из ЛЖК в 1,5 – 2,0 раза меньше, чем для однотипных зданий из типовых конструкций (табл.5).

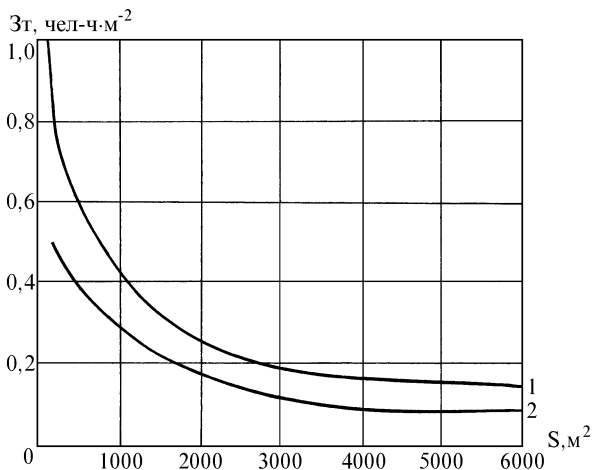
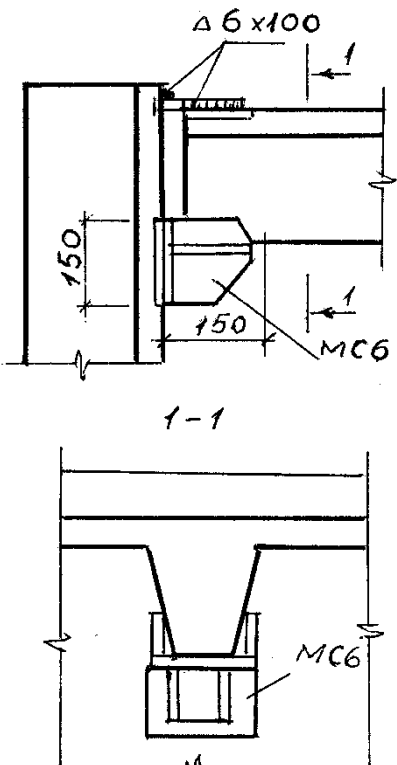


Рис. 11. Затраты труда на возведение зданий из сборных железобетонных конструкций: 1 – из типовых конструкций; 2 – из ЛЖК

Таблица 4

Трудоемкость устройства сварных соединений ЛЖК в СБ1.

№ узла по [20]	Эскиз	Параметры шва		Зтр на стык, чел-ч	Кол. узлов, шт.	Зтр На СБ1, чел-ч
		Н _ш , мм	l _ш , мм (положение)			
2		10	400	0,15 (0,192)	12	1,92 (2,3)
6		10	140 (Н)	0,060 (0,069)	16	0,96 (1,10)
9		10	200 (Н)	0,08 (0,096)	16	1,28 (1,54)
		10	140 (П)	0,06 (0,069)		0,96 (1,10)
						2,24 (2,64)

1	2	3	4	5	6	7
10		10	300 (Н)	0,12 (0,147)	16	1,92 (2,35)
		6	400 (Н)	0,08 (0,096)		1,28 (1,54)
						3,2 (3,89)

Итого:

 8,32
(9,93)

Примечание к табл.4:

1. В скобках даны значения трудоемкости;

2. В таблице приведены следующие сокращения: Н – нижнее положение сварного шва; П – потолочное положение шва.

Наибольшая эффективность от применения ЛЖК достигается для зданий с площадью застройки $S \leq 3000 \text{ м}^2$, в которых наружные и внутренние стены, встроенные помещения и перегородки выполнены из линейных конструкций.

В целях выявления факторов, влияющих на эту закономерность, выполнены натурные исследования основных операций сборочного процесса (табл.4) при выполнении монтажных стыков зданий (помещений) из ЛЖК, подобных Сб₁.

Основным видом соединений ЛЖК в указанной монтажной схеме приняты электросварные соединения, выполняемые ручной дуговой сваркой (табл. 4), в том числе узлы:

- (2) – соединения полок сопрягаемых стеновых панелей;
- (6) – соединения стеновой панели с фундаментом или бетонным полом
(для перегородок и встроенных помещений);
- (9) – соединение стеновой панели – опорной подушки – плиты покрытия;
- (10) – соединения стеновой панели и плиты покрытия (перекрытия).

На основании проведенных хронометрических наблюдений по выполнению указанных в табл.5 операций на строящихся объектах получены средние значения трудоемкости их выполнения. При выполнении операции O_1 звеном рабочих №10 осуществлялся общий осмотр конструкций, производилась очистка стальных закладных деталей и проверялась маркировка конструкций согласно проекту; O_2 – в местах опирания полок стеновых панелей устраивалась постель из цементно-песчаного раствора. Перед выполнением операции O_3 (при установке стеновых панелей) к стальной закладной детали в фундаменте приваривался соединительный элемент МС 3, который служил в дальнейшем фиксатором, обеспечивающим быструю и точную установку панели в проектное положение в плане. Затем к стеновой панели, находящейся в раскладке в рабочей зоне, приваривалась соединительная деталь МС 6 (опорный столик). Трудоемкость указанных работ учтена в O_6 . Такой порядок выполнения работ значительно снизил трудоемкость возведения здания.

Перед началом монтажа стеновая панель оснащалась четырьмя расчалками с фаркопами для их натяжения. Закрепление расчалок производилось с помощью струбцин, одеваемых на полку панели в месте сопряжения ее с ребром. Затем выполнялась строповка стеновых панелей за две монтажные петли, установленные в торцевой верхней части ребер панели. Панели предварительно

раскладывались в монтажной (рабочей) зоне нормально к опорной части фундамента. Стеновая панель переводилась краном в вертикальное положение путем поворота вокруг нижнего конца (рис.12) и устанавливалась на фундамент в упор к ранее приваренной соединительной детали МС 3 (рис.13).

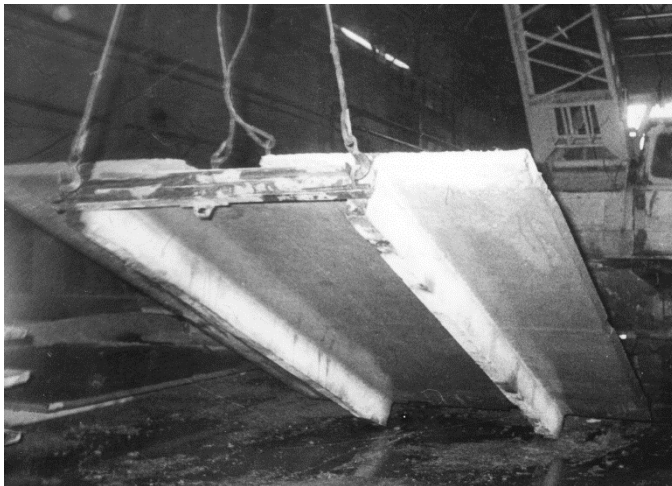


Рис. 12. Перевод стеновой панели в вертикальное положение

Одновременно производилось совмещение поперечных монтажных рисок на фундаменте с рисками, нанесенными краской по центру нижней части ребер (O_4). Далее производилось временное закрепление стеновой панели расчалками и осуществлялась растроповка панели (O_5). С помощью фаркопов панель выводилась в вертикальное положение и дополнительно раскреплялась четырьмя электроприхватками закладных деталей в панели с соединительным элементом МС 3 (рис.13).

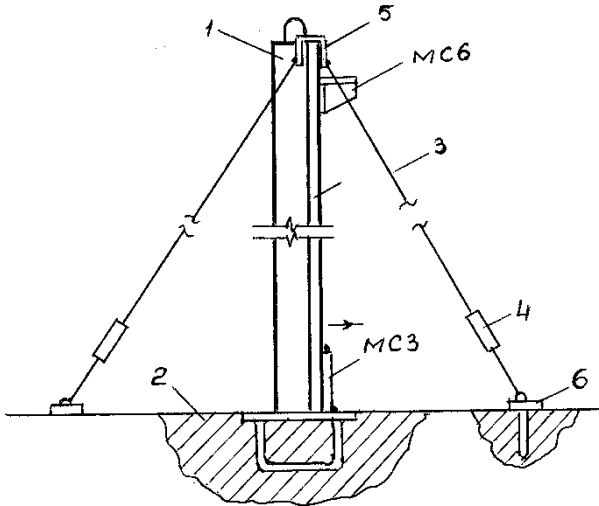


Рис.13. Схема установки стеновой панели ПС 1 / 3х6:
 1 – стеновая панель; 2 – фундамент; 3 – расчалка; 4 – фаркоп;
 5 – струбцина; 6 – анкер

Таблица 5

Состав и трудоемкость операций процесса монтажа ЛЖК

O _i	Содержание операции	Эт, чел-мин (чел-час)			
		ПС ₁ ----- 3x6	П ₁	К ₁	Б ₁
O ₁	Подготовка конструкции к монтажу	12	6	12	5
O ₂	Устройство постели из раствора	10	-	-	-
O ₃	Строповка, подъем и установка конструкции на опору	10	9	12	10
O ₄	Выверка конструкции в плане и вертикали	22	6	20	18
O ₅	Временное закрепление конструкции	12	6	12	10
	Итого:	66 (1,1)	27 (0,45)	56 (0,93)	43(0,72)
O ₆	Постоянное закрепление конструкции	35 (0,58)	54 (0,9)	48 (0,8)	20(0,33)
	Итого:	101(1,68)	81(1,35)	104(1,73)	63(1,05)
O ₇	Антикоррозионная защита сварных соединений	15 (0,25)	30 (0,5)	-	15(0,25)
O ₈	Заделка стыков между сопрягаемыми элементами	84 (1,4)	14 (0,23)	-	20(0,33)
	Всего:	200(3,33)	125(2,08)	104(1,73)	98(1,63)

Постоянное закрепление панели (O₆) выполнялась путем сварки стальных закладных деталей в фундаменте и панели с использованием соединительных элементов. Кроме гибких расчалок для временного раскрепления стеновых панелей использовались трубчатые подкосы с фаркопами (рис.14).



Рис.14. Монтаж мазутно-насосной станции Азовского комбината консервов для детского питания

Таким способом монтировалась первая в ряду подборки (маячная) стеновая панель. Монтаж последующих стеновых панелей облегчался наличием маячной панели, что значительно сокращало время на выверку конструкций в плане и по высоте (рис.14). В табл.6 приведены усредненные значения трудоемкости монтажа стеновых панелей, полученные путем сквозного хронометража в пределах не менее чем трех ячеек здания или встроенных помещений. Монтаж колонн, балок и плит покрытия осуществлялся традиционными методами, с использованием типовых монтажных приспособлений. Постоянное закрепление балок и плит покрытия выполнялось с помощью электросварных соединений (табл.5). Временное закрепление и выверка колонн производилась с помощью инвентарных стальных клиньев, а постоянное закрепление путем замоноличивания колонн в стаканах фундаментов бетоном.

Звеном рабочих № 2 выполнялась антикоррозионная защита сварных соединений путем нанесения кистью протекторного грунта на основе поливинилхлоридного лака и цинковой пыли, а также производилась заделка вертикальных стыков стеновых панелей с приставных лестниц и горизонтальных стыков между плитами покрытия цементно-песчаным раствором вручную.

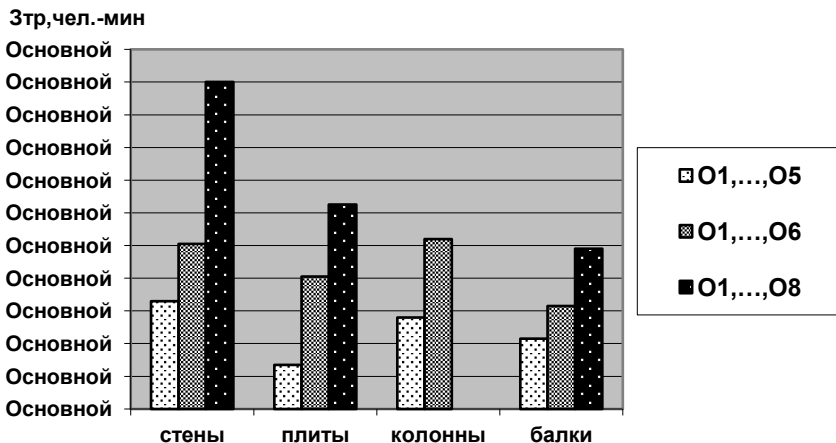


Рис.15. Диаграмма трудоемкости монтажа ЛЖК

Проведенные исследования позволили оценить трудоемкость отдельных операций (табл.4, 5) и построить диаграммы, наглядно иллюстрирующие удельный вес этих операций в сборочном процессе (рис.15), а также трудоемкость монтажа различных видов конструкций (рис.16).

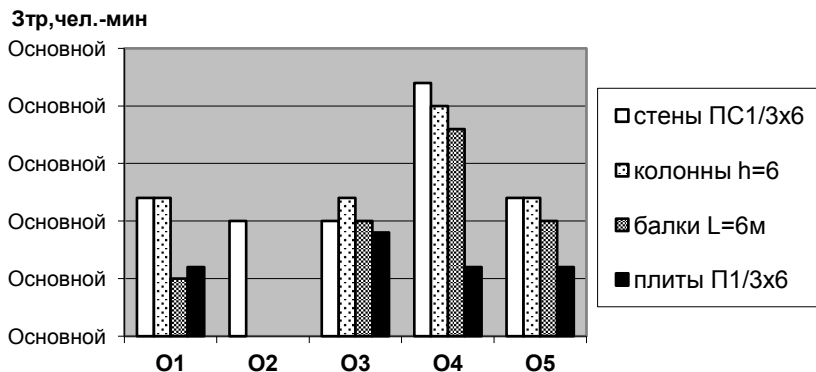


Рис.16. Диаграммы трудоемкости операций по монтажу

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что при монтаже стеновых панелей наиболее трудоемкими являются операции по выверке, постоянному закреплению, антикоррозионной защите сварных соединений и заделке стыков между конструкциями.

При монтаже плит покрытия наибольшие затраты труда при-
сущи О₆, О₇, О₈; при монтаже колонн – О₄, О₆; при монтаже балок
– О₄, О₆, О₇, О₈.

Из приведенных данных видно, что для снижения общей тру-
доемкости сборочного процесса прежде всего необходимо умень-
шить или исключить сварные соединения монтажных элементов,
усовершенствовать технологию выверки соответствующих кон-
струкций, а также защиты сварных соединений от коррозии и за-
делки стыков сопрягаемых конструкций раствором.

Монтажные зазоры между металлическими конструкциями
покрытия здания и стеновыми панелями встроенных помещений не
превышали 20 мм.

Для обеспечения предложенных требований была разрабо-
тана технология транспортировки и монтажа линейных стеновых
панелей высотой от 3 до 6 м в условиях существующего здания. В
качестве монтажного механизма применен универсальный автопо-
грузчик типа 4046М, грузоподъемностью на вилах 5тс и фронталь-
ным расположением грузоподъемной рамы с вилочным захватом
(рис.17). Указанный автопогрузчик обеспечивал высоту подъема на
вилах до 4,2 м, максимальную грузоподъемность на крюке (при ми-
нимальном вылете 1220 мм) – 4 т и 2,5 т при максимальном вылете
крюка 2360 мм. Максимальная масса стеновых панелей ПС1/3х6 до-
стигала 3,52 т. Монтаж панелей осуществлялся при движении ав-
топогрузчика по бетонному полу.

С учетом особенностей монтажного механизма стеновые па-
нели были доработаны. В нижней части панелей в процессе их из-
готовления на КСМ 4 были предусмотрены два отверстия в полке
панели под вилы автопогрузчика, которые после монтажа кон-
струкций заделывались бетоном.



Рис.17. Подготовка стеновой панели к транспортировке

На стрелу автопогрузчика крепилась специальная траверса с универсальными стропами на конце. Расстояние между грузовыми крюками траверсы равнялось расстоянию между монтажными петлями панели и составляло 1500 мм. Монтаж стеновых панелей осуществлялся в следующей последовательности. Панели разгружались краном с автопанелевоза и укладывались на основании в горизонтальном положении. Затем производилась строповка панели к траверсе автопогрузчика и конструкция переводилась в вертикальное положение путем поворота вокруг нижнего конца (рис.17). Далее панель устанавливалась на вилочный захват, при этом вилы размещались в отверстиях полки и панель транспортировалась в зону монтажа (рис.18).

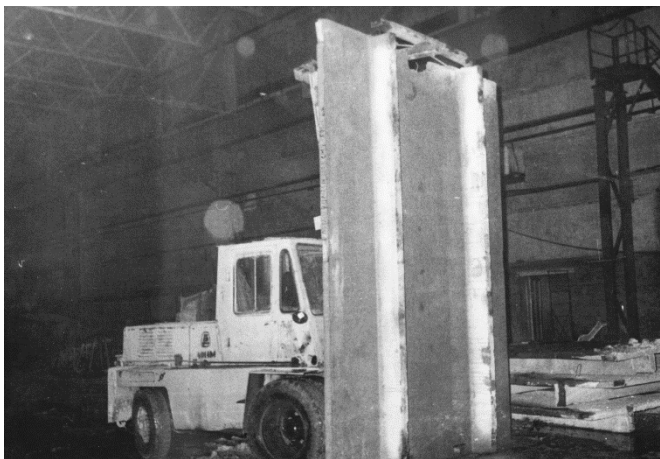


Рис.18. Транспортировка стеновой панели в зону монтажа

Монтаж панели осуществлялся путем малых перемещений автопогрузчика в зоне опирания стеновой панели на утолщение бетонного пола (табл. 4), (рис.19).



Рис.19. Выверка стеновой панели в плане и по вертикали.

После установки стеновой панели в проектное положение производилось временное закрепление конструкции путем устройства электроприхваток между стальными закладными деталями в панели и соединительными деталями МСЗ, заранее установленными на основании. Затем выполнялась расстроповка панели и монтажный цикл повторялся (рис.20).



Рис.20. Стеновые панели установлены в проектное положение

2.2. Состав комплексного автоматизированного процесса сборки зданий из линейных железобетонных конструкций (ЛЖК)

Монтаж зданий из ЛЖК (типа Т, П и 2Т) представляет собой комплексный многовариантный процесс, функционирование которого осуществляется при воздействии стохастических факторов окружающей среды и возможных сбоях в подсистемах изготовления и транспорта конструкций (псИК и псТК) [8, 9, 10,11, 12].

В связи с этим роботизация процесса сборки здания является сложной конструктивной и технологической проблемой, от правильности решения которой зависит эффективность внедрения роботизированного технологического комплекса (РТК).

Решение этой проблемы связано с оптимизацией составляющих сборочного процесс, способов сборки здания, технологической последовательности сборки и организации рабочего пространства сборочного процесса, с учетом случайных факторов, воздействие которых может привести к нарушению оптимального режима сборки.

Основная цель оптимизации способа сборки – упрощение, уменьшение, а по возможности, устранение отдельных сборочных операций, отработка монтажного элемента на технологичность, разработка и унификация монтажных узлов самофиксации элементов [6, 7, 8].

При этом необходимо решить следующие задачи:

1. Формализовать описание исходных данных. На этом этапе задаются конструктивно-технологических связи между элементами собираемого здания и условия обеспечения фиксированного положения устанавливаемых элементов, а также определяются технико-экономические и технические ограничения на сборочный процесс.

2. Разработать множество конструктивно допустимых вариантов последовательности сборки здания. Эта задача решается на основе математической модели многовариантного процесса сборки здания в результате обработки исходной информации о конструктивно-технологических связях между его элементами.

3. Исключить технически неприемлемые варианты сборочной последовательности.

4. Оценить варианты сборочных процессов по кинематике требуемых движений монтируемого элемента в совокупности с организацией рабочего пространства РМ в зоне монтажа конструкций.

При решении этих задач устанавливаются предпочтительность возможных вариантов сборочной последовательности по количеству переориентацией и суммарной сложности необходимых для сборки ориентируемых движений.

Выбор оптимальной последовательности сборки производится с учетом технических возможностей РТК.

Состав комплексного роботизированного сборочного процесса зданий из ЛЖК можно представить в виде сетевой модели (рис.21) [8, 16, 17].

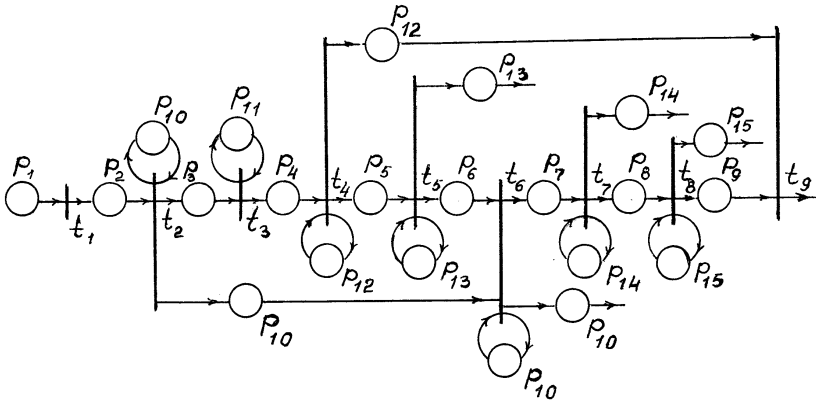


Рис.21. Сетевая модель системы функционирования РТК при монтаже зданий из ЛЖК

Модель характеризует состав и последовательность сборки трех пролетного здания. При этом сопряжение стеновых панелей с фундаментами предусмотрено с использованием монтажных узлов, приведенных в приложении 1.

Параметры функционирования РТК при реализации сборочного процесса в рассматриваемом случае, описывается следующим образом:

$$P = \{P_i \mid i = \overline{1,9}\}, T = \{t_j \mid j = \overline{1,9}\} \quad (1)$$

$$E = \{(P_1 t_1) \cdot (P_2 t_2), \dots, (P_9 t_9), (\forall j = \overline{1,9})\} \quad (2)$$

где E – дуги биграфа,

$$\mu = (1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0). \quad (3)$$

Начальная маркировка сети предусматривает только поступление заказа, маркировка функциональных компонентов сети условно не показана.

К функциональным составляющим модели относятся:

R_1 – роботизированный манипулятор №1 (рис.28);

ТП – технический персонал;

R_2 – роботизированный манипулятор №2 (рис.32);

R₃, R₄ – роботизированные самоходные машины для выполнения процессов по временному и постоянному закреплению конструкций (рис.29);

R₅ – роботизированная самоходная машина для заделки стыков между стеновыми панелями (рис.30);

R₆ – роботизированная самоходная растворно-укладочная машина для заделки швов между плитами покрытия (рис.35).

Сетевая модель (рис.21) может рассматриваться как укрупненный типовой модуль, на базе которого можно компоновать модели сборочных процессов любой сложности.

Систему автоматизированного монтажа конструкций следует рассматривать как совокупность складских, транспортных и сборочных процессов с использованием робототехнического комплекса (РТК) (табл. 6).

Таблица 6

 Основные параметры сетевой модели функционирования
 робототехнического комплекса (РТК) в процессе монтажа ЛЖК

Условия (позиции)		Операции (переходы)		Функциональные компоненты сети (РТК)
Содержание	Код P_i	Наименование	Код t_j	
1. Заказ поступил, РТК свободно	P_1	1. Подготовка объекта и РТК к выполнению	t_1	R_1 (P_{10}) ТП (P_{11}) R_2, TP (P_{12}) R_3, R_4 (P_{13}) R_1 (P_{10}) R_5 (P_{14}) R_6 (P_{15}) R_2 (P_{12})
2. Разгрузка и раскладка ЛЖК на захватке №1 и №2	P_2	2. Разгрузка и раскладка ЛЖК на захватке №1 и №2	t_2	
3. Установка маркеров и лазерных задатчиков	P_3	3. Установка контролирующих устройств завершена	t_3	
4. Установка и временное закрепление стеновых панелей на захватке №1	P_4	4. Конструкции на захватке №1 установлены	t_4	
5. Постоянное закрепление стеновых панелей на захватке №1	P_5	5. Постоянное закрепление конструкций на захватке №1 закончено	t_5	
6. Монтаж плит покрытия на захватке №1	P_6	6. Плиты покрытия на пролет на захватке №1 установлены	t_6	
7. Заделка стыков между стеновыми панелями на захватке №1	P_7	7. Стыки между панелями на захватке №1 выполнены	t_7	
8. Заделка стыков между плитами покрытия на захватке №1	P_8	8. Стыки между плитами на захватке №1 выполнены	t_8	
9. Переход R_2 на захватку №2 и т.д.	P_9	9. Переход R_2 на захватку №2 закончен и т.д.	t_9	

Ведущим технологическим процессом системы является сборка, для обеспечения которой в состав роботизированного комплекса должны быть включены средства для складирования монтируемых элементов (МЭ), их транспорта и монтажа. Основными составляющими в процессе сборки являются монтажные механизмы – роботизированные

манипуляторы (PM). Требования к адаптивным и кинематическим возможностям PM определяются уровнем оптимизации сборочного процесса.

В рассматриваемом случае уменьшение количества сборочных единиц, упрощение узловых соединений, и как следствие оптимизация процесса сборки, достигается на основе применения несущих стеновых панелей вертикальной разрезки типа Т и 2Т, однотипных элементов покрытия (линейных плит П и 2Т на пролет) и других подобных элементов каркаса.

Линейные стеновые панели соединяют в себе функции колонн, ветровых связей, подстропильных и ограждающих конструкций, что позволяет значительно повысить их монтажную технологичность по сравнению с типовыми конструкциями и привести в соответствие монтажные операции возможностям роботизированной сборки.

Оптимизация кинематики перемещений сборочных единиц заключается в сокращении и упрощении путей перемещений МЭ, а также их количества. В поле программных движений манипулятора оптимизация сборочного процесса осуществляется с использованием алгоритма расчленения – графа узлов сборки.

Формализация многовариантного процесса перемещения МЭ из зоны складирования в зону сборки, возможно на основе анализа траекторий движения МЭ с учетом организационно-технологических ограничений. При этом решающее значение имеет начальная позиция МЭ. Схема начального базирования МЭ выбирается на основании эвристических процедур, с учетом рациональной кинематической схемы PM, транспортного положения и траектории перемещения МЭ.

Например, стеновую панель на захватку целесообразно подавать в горизонтальном транспортном положении в контейнере, обеспечивающем однозначное соответствие монтажных петель положению захвата PM, в пределах поля программных движений. Условия однозначности позиционирования МЭ достигаются однотипным расположением монтажных петель на всем наборе монтируемых элементов типа П и 2Т, расположением элементов в контейнерах и контейнеров в поле программных движений манипулятора.

Выполнение этих условий позволяет унифицировать захваты, упростить кинематику перемещений МЭ и сенсорную систему PM, уменьшить количество переналадок PM, связанных с заменой одного типа захвата на другой. На сборку стеновую панель выгодно подавать в рабочем положении, т.е. возникает

необходимость перевода ее в вертикальное положение в зоне складирования.

Пространственная ориентация МЭ (например, стеновой панели рис.19, 20), осуществляется относительно неподвижной системы координат. Тогда начальное (транспортное) положение МЭ определится подвижной системой координат, приуроченной к захвату РМ. Оптимизация ориентации МЭ заключается в ведении ограничений, обеспечивающих гарантированное срабатывание захвата РМ при строповочной операции. При перемещении МЭ в пространстве в каждый момент времени его положение определяется подвижной системой координат и углами поворота (углами Эйлера) относительно неподвижной системы координат.

Координаты МЭ в любой точке могут быть получены с помощью преобразования координат. Процедура преобразования координат, при перемещении МЭ, должна привести к совмещению подвижных координат с координатами неподвижной базы (в данном случае фундамента) или совмещение двух радиус-векторов, при условии, что один из них неподвижен, а перемещения второго осуществляется по кратчайшей траектории с учетом организационно-технологических ограничений.

Траекторию движения МЭ можно свести к минимуму простых перемещений, например, к трем, что полностью отвечает автоматизированному процессу сборки.

Моделирование технологического процесса монтажа линейных железобетонных конструкций с помощью РМ целесообразно осуществить в следующем порядке:

1. Разработать графовые модели расчленения сборки в целях выявления оптимального порядка сборочного процесса.

2. Исследовать сборочные процессы на реальных моделях конструктивных элементов здания при воздействии случайных факторов среды (ветра) для получения математических зависимостей, адекватных рассматриваемым монтажным процессам.

3. Оптимизировать траектории перемещения монтируемых элементов (МЭ) в рабочей зоне РМ, путем построения геометрических моделей на мониторе ПЭВМ с последующим моделированием траектории перемещения МЭ в поле программных движений манипулятора.

С помощью этих моделей осуществляется построение, оптимизация и коррекция всего набора движений РМ, в т.ч. при выполнении процедуры экранного преобразования подвижной системы координат.

Процесс монтажа конструкций характеризуется наличие существенных возмущающих факторов. В этих условиях РМ должен обладать качествами, присущими адаптивным системам: восприятие среды (сенсорной системой), коррекцией параметров программатора и самонастройки регулирующей системы РМ и идентификации контролируемых параметров РМ и среды.

Система адаптации РМ имеет активную и пассивную составляющие, т.е. сенсорные элементы РМ и маркирующие элементы в зоне складирования и монтажа конструкций. Так в зоне расположения линейных железобетонных конструкций необходима установка маркерных излучателей (световых или индукционных), обеспечивающих точное позиционирование захватов РМ. Роботизированный манипулятор в своем составе должен иметь соответствующие датчики, систему технического зрения (СТЗ), а также интерфейсное устройство сопряжения, указанных компонентов, с микропроцессором. Система технического зрения (СТЗ) в данном случае служит для распознавания зоны складирования железобетонных конструкций и наведения РМ на строповочные устройства конструкций. Точное позиционирование захватов РМ целесообразно осуществлять с помощью системы электромагнитных или световых излучателей и датчиков.

Наведение и позиционирование РМ в зоне монтажа конструкций может осуществляться с использованием внешних задающих устройств, например, лазерных задатчиков вертикали и горизонтали со сканирующим лучом, установленных по осям здания.

Точное наведение МЭ в зоне базирования с помощью сенсорной системы манипулятора без специальных мероприятий по доводке узловых соединений элементов едва ли возможно. Монтажные узлы должны обеспечивать самонаведение элементов при контакте и их самофиксацию.

Перемещение РМ в пределах зоны монтажа конструкций может осуществляться по заранее маркированной трассе с помощью токопроводящего кабеля или лазерного задатчика.

Таким образом, применение системы автоматизированного монтажа конструкций, с учетом достижений робототехники и создания адаптивных систем, может быть реализована в ближайшие годы, первоначально для возведения одноэтажных производственных зданий, а в последствии и для многоэтажных зданий и различных инженерных сооружений.

Для этого необходимо разработать конструктивные и объемно-планировочные решения объектов, отвечающих

требованиям ГАП, монтажный роботизированный комплекс машин, механизмов и приспособлений, программы для микропроцессоров и управляющих систем РМ, технологические и организационно-технические схемы автоматизированной системы монтажа конструкций.

Робототехнические системы остаются пока дорогими и требуют тщательного и взвешенного подхода к их разработке и внедрению. Однако, альтернативы этим системам, в части радикального повышения производительности и улучшения условий труда, нет.

Внедрение системы автоматизированного монтажа конструкций может осуществляться поэтапно. На первом этапе целесообразно разработать конструктивные и технологические мероприятия, обеспечивающие самофиксацию конструкций при их базировании. Монтажные краны рационально оснастить системой датчиков и контрольных приборов, обеспечивающих машинисту контроль за точным позиционированием конструкций. На следующих этапах осуществить разработку и внедрение робототехнического монтажного комплекса, оснащенного адаптивными системами. Концептуальные модели компонентов, формирующих технологическую структуру РТК и обеспечивающих реализацию комплексного монтажного процесса, рассмотрены ниже.

2.3. Упорядочение рабочей зоны роботизированного технологического комплекса

Решение задачи упорядочения монтажных элементов здания в рабочей зоне РМ заключается в определении соответствия между конструктивно-технологическими признаками ЛЖК, функциональными возможностями РМ и организационно-технологическими требованиями комплексного процесса монтажа здания.

Конструктивно-технологические признаки ЛЖК, влияющие на процесс упорядочения рабочей среды РМ, базируются на принципе подобия. К ним относятся:

1. Функциональное объединение множества элементов здания в один, т.е.

Технологические процессы в строительстве

$$a_4 = \{a_1, a_2, a_3\} \subseteq \omega_{11}, \quad (4)$$

где a_4 – элемент множества ω_{11} – несущая стеновая панель вертикальной разрезки, объединяющая в себе функции колонн (a_1), стеновых ограждений (a_2) и ветровых связей (a_3).

2. Унификация множества ω_{31} видов транспортных схем для всех элементов здания до одного типа, т.е.

$$C_6 = \{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5\} \subseteq \omega_{31}, \quad (5)$$

где C_6 – горизонтальная схема транспортирования ЛЖК, включающая множество транспортных схем стеновых панелей (C_1), колонн (C_2), плит покрытия (C_3), плит перекрытия (C_4), панелей перегородок и встроенных помещений (C_5), панелей промышленных подвалов и проходных тоннелей (C_6).

Организационно-технологические требования к сборочному процессу зависят от ОКР здания, технических параметров и адаптивных свойств РМ. К техническим параметрам РМ относятся минимальный и максимальный вылет стрелы манипулятора (l_{\min} , l_{\max}), высота подъема стрелы (H_c) и грузоподъемность (Q), а также наличие системы технического здания (СТЗ) и датчиков ощущения для восприятия объектов роботизации.

Основной задачей упорядочения рабочей зоны РМ является определение оптимальной раскладки элементов в монтажной зоне, обеспечивающей оптимизацию (упрощение и укорочение) траектории перемещения строповочных устройств (захватов) РМ при монтаже ЛЖК.

Эта задача решается путем имитационного моделирования траектории перемещения РМ и положения точек стояния манипулятора с учетом взаимоположения МЭ и РМ. При этом на первом этапе осуществляется моделирование исходного положения монтируемых элементов относительно опорных поверхностей и РМ.

Роботизация сборочных процессов здания из ЛЖК на базе РМ в дальнейшем рассматривается в условиях упорядоченной среды, когда монтируемые элементы сориентированы в пространстве, их положение на позиции захвата соответствует начальной точке оптимизированной траектории перемещения РМ в рабочей зоне. Это позволяет упростить процедуру распознавания и автоматическую строповку монтируемого элемента.

Процесс роботизированной сборки здания включает в себя ряд взаимосвязанных операций: подача линейных конструкций к

месту установки, их ориентирование для строповки, установка в проектное положение, сопряжение монтируемого элемента с основанием (самофиксация элементов).

При этом подача и ориентирование ЛЖК, обеспечивающие организацию рабочей среды для РМ, рассматриваются как одна операция, а установка и базирование, обеспечивающие взаимную ориентацию сопрягаемых элементов, как последующие операции.

Процесс упорядочения рабочей зоны РМ можно рассматривать как некоторую функцию Φ_y , которая отображает преобразования множества положений монтируемого элемента (МЭ) в пространстве $\Pi_{эi} = (\{X_i\}, \{Y_i\}, \{Z_i\})$ с целью приведения его в оптимальное положение (X_0, Y_0, Z_0) в зоне захвата РМ [9, 10, 16].

$$\Phi_y : \Pi_{эi} \rightarrow (X_0, Y_0, Z_0) . \quad (6)$$

Данная функция реализуется при повороте осей подвижной системы координат O_1, X_1, Y_1, Z_1 , связанной с монтируемым элементом и линейного перемещения точки O_1 (начало подвижной системы координат) в неподвижной системе координат. В однородных координатах совокупность вращательных движений и линейных перемещений определяется матрицей преобразования однородных координат точки в трехмерном пространстве.

Если известны направляющие косинусы углов поворота элемента относительно неподвижной системы координат, то имеют место формулы [8, 9, 10]:

$$x' = k_1 x + m_1 y + n_1 z , \quad (7)$$

$$y' = k_2 x + m_2 y + n_2 z , \quad (8)$$

$$z' = k_3 x + m_3 y + n_3 z , \quad (9)$$

где $k_i, m_i, n_i (i = 1, 2, 3)$ – направляющие косинусы.
В векторной форме

$$x' = x A_\alpha , \quad (10)$$

где $x' = (x', y', z')$, $x = (x, y, z)$, A_α – матрица перехода

$$A_\alpha = \begin{vmatrix} k_1 & k_2 & k_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 \\ n_1 & n_2 & n_3 \end{vmatrix}, \quad (11)$$

которая является ортогональной.

Матрица линейных перемещений элемента при упорядочении рабочей (монтажной) зоны РМ

$$A_l = A_l^x \cdot A_l^y \cdot A_l^z = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & l \\ 0 & 1 & 0 & l_y \\ 0 & 0 & 1 & l_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (12)$$

Матрицы (11), (12) описывают процесс упорядоченной раскладки элементов в рабочей зоне РМ в общем виде.

При вращении и линейном перемещении элемента процесс ориентирования описывается общей функцией процесса упорядочения Φ_y в виде матрицы преобразования координат

$$A = A_{\alpha} \cdot A_l. \quad (13)$$

Комплексный процесс упорядочения монтируемого элемента в рабочей зоне РМ включает ряд функций, соответствующих операциям технологического процесса, т.е.

$$\Phi_y \rightarrow \{ \Phi_{по}, \Phi_c, \Phi_n, \Phi_o, \Phi_c \}, \quad (14)$$

где

$\Phi_{по}$ – функция первичного ориентирования транспортного средства;

Φ_c – функция строповки элемента захватом РМ на транспортном средстве;

Φ_n – функция подачи элемента к месту раскладки в рабочей зоне РМ;

Φ_o – функция ориентирования элемента в зоне раскладки;

Φ_c – функция накопления (складирования) элемента в рабочей зоне РМ и его растроповка.

Функция $\Phi_{по}$ заключается в оптимальном позиционировании транспортного средства в рабочей зоне РМ, с учетом его технических параметров (грузоподъемности $\Gamma_{рм}$, вылета захвата $L_{рм}$, высоты подъема $H_{рм}$), уменьшения траектории перемещения МЭ.

Функция Φ_c заключается а автоматическом наведении захвата РМ на позицию строповки элемента и в выполнении операции строповки.

Функция подачи Φ_n заключается в преобразовании линейных координат упорядочиваемого элемента в монтажной зоне. Эта

функция реализуется перемещением элемента в координатном пространстве и описывается матрицей преобразования (11), (12).

Функция ориентирования Φ_o предполагает пространственную оптимизацию положения монтажного элемента относительно координат опоры (например, фундамента).

Функция накопления Φ_c заключается в складировании в определенном порядке и количестве монтажных элементов с целью оптимизации траектории перемещения РМ при реализации сборочного процесса.

Каждая из функций реализуется подсистемой подготовки рабочей среды РТК (пС_{пс}), т.е.

$$\{\Phi_{по}, \Phi_c, \Phi_n, \Phi_o, \Phi_c\} \rightarrow пС_{пс} \quad (15)$$

Реализация функций Φ_y невозможна без организации инфраструктуры РТК объекта в полном объеме, т.е. оснащения мест раскладки МЭ маркерами (например, лазерными), определяющими размеры рабочей зоны и координаты площадок складирования МЭ, автоматизированной системой управления маркерами и т.д.

2.4. Исследование роботизированного сборочного процесса зданий из ЛЖК на моделях

Технологическая оптимизация процессов роботизированной сборки здания предусматривает выделение оптимального варианта последовательности сборки по характеристикам РМ. Направленный поиск искомого варианта осуществляется автоматически или в диалоговом режиме на ЭВМ, путем сравнения возможных последовательностей многовариантного процесса сборки. При этом учитываются следующие особенности этого процесса:

- РМ ориентированы на выполнение определенной совокупности элементарных движений и могут обслужить ограниченное и определенным образом расположенное количество дискретных точек в пределах рабочей зоны;
- любое перемещение монтируемого элемента здания при его установке может быть представлено набором элементарных движений, рациональность подбора которых, их число и вид определяются сложностью преобразования пространственного положения элемента в процессе его установки;
- унификация и оптимизация траекторий движения РМ возможна как за счет рациональной схемы раскладки монтируемых

элементов в рабочей зоне (позиционирование) и операцией связанных с монтажом конструкций, так и за счет повышения технологичности монтируемого элемента.

Основой построения модели многовариантного процесса сборки является при этом описание взаимопереходов между состояниями, которые могут быть достигнуты в процессе сборки. Эффективной формой такого описания являются граф или матрица переходов, вид которых зависит от полноты модели, т.е. от начальных условий R.

На рис.22 представлена монтажная схема трех пролетного здания из ЛЖК, в которой плиты покрытия опираются на стеновые панели через подушки длиной 6 м и закрепляются с помощью монтажных узлов самофиксации (приложение 1).

Граф расчленения сборки задает алгоритм сборочного процесса при использовании РТК. При этом выбор оптимального варианта последовательности сборочного процесса может быть задан неориентированным графом, отражающим множество узлов самофиксации элементов, порождаемых общим алгоритмом расчленения.

Сборку здания можно рассматривать как последовательное соединение конечного множества сопрягаемых элементов методом самофиксации.

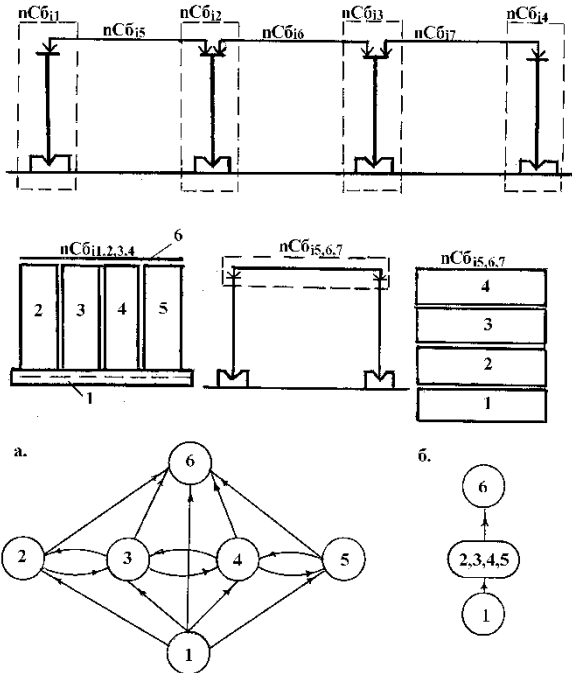


Рис.22. Схема формализации сборочного процесса при возведении трех пролетного здания из ЛЖК с помощью РТК: а – монтажные схемы; б – граф расчленения сборки и сжатие графа.

Сборку здания можно рассматривать как последовательное соединение конечного множества сопрягаемых элементов методом самофиксации.

На рис.23 представлена монтажная схема трех пролетного здания из ЛЖК с узлами самофиксации опирания плит покрытия непосредственно на стеновые панели (приложение 1) и варианты последовательности монтажа конструкций с применением РТК в виде неориентированных графов. При дифференцированном (раздельном) методе монтажа конструкций здания (рис.23 «а») количество стоянок РМ в пределах одной сборки равно 24. Под сборкой в данном случае понимается множество

$$Сб_{ij} \subseteq \{nCb_{i1}, nCb_{i2}, nCb_{i3}, nCb_{i4}, nCb_{i5}, nCb_{i6}, nCb_{i7}\}. \quad (16)$$

Второй граф (рис.23«б») задает последовательность сборки здания при сосредоточенным методе монтажа конструкций, когда количество стоянок РМ снижается до 12. По всем остальным вариантам последовательности сборки величина данного критерия находится в указанном интервале. При этом вариант, когда используется второй метод монтажа конструкций, для данной конструктивной схемы здания является наиболее приемлемым.

Матрица переходов имеет два характерных состояния: $C(0) = 0$, для которого возможна установка любого из элементов здания, и $C(m) = 2_N - 1$, особенность которого состоит в том, что ни один из элементов не может быть установлен. Остальные состояния считаются достижимыми, если существует хотя бы одна последовательность установки входящих в него элементов, обеспечивающая выполнение условий собираемости на каждом шаге формирования этого состояния [9, 10].

Предположим, что операция установки конструкции в проектное положение состоит в присоединении к некоторому предыдущему состоянию $C(i)$, рассматриваемого присоединяемого состояния $C(j)$ в результате чего получается новое (последующее) состояние:

$$C(k) = C(i) + C(j). \quad (17)$$

Для здания, состоящего из N элементов, таких состояний будет N , и матрица перехода T размерностью $N \times m$ будет содержать $0,5N \cdot 2^N$ элементов. Максимально возможное количество состояний ограничено соотношением $m_{\max} \leq 2^N$, включая нулевое состояние $C(0) = 0$.

Совокупность состояний, которые могут быть использованы в процессе сборки здания, составляет исходное множество состояний

$$C = \bigcup_{i=1}^m C(i), m \leq m_{\max} \quad (18)$$

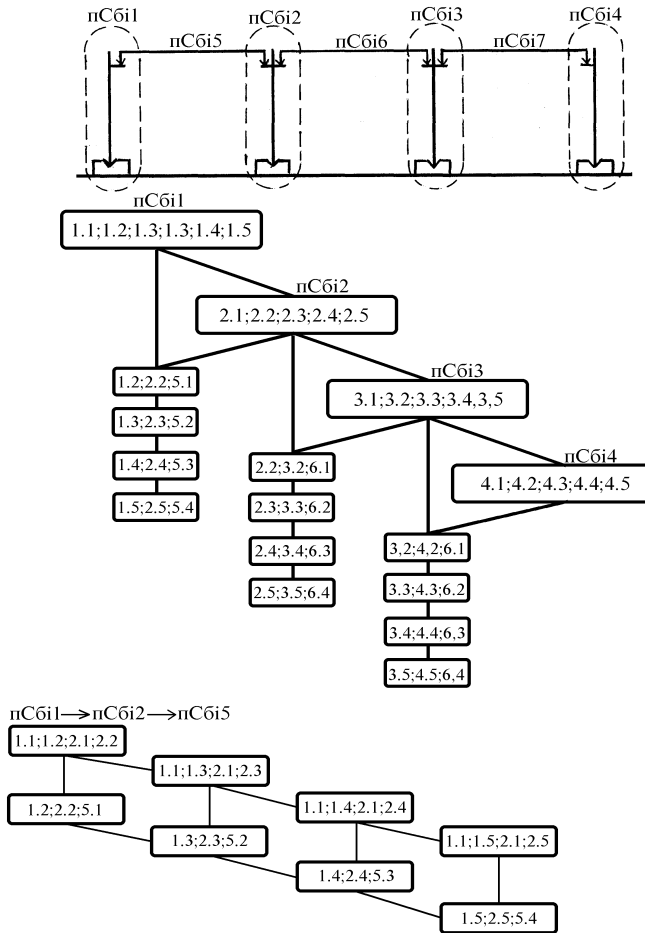


Рис.23. Формализация сборочного процесса трех пролетного здания из ЛЖК с наружными и внутренними несущими стенами:
 а – граф, отражающий порядок установки конструкций при
 раздельном методе монтажа здания; б – тоже при
 сосредоточенном методе

Формализация сборочного процесса выражается в кодировании пространственной ориентации сборочных элементов в любой момент времени. При этом решаются задачи оптимизации пространственных положений монтируемого элемента (МЭ) при

заданном положении базы и выбор последовательности установки элементов в проектное положение по кратчайшим траекториям.

В сборочном процессе можно выделить положения МЭ в виде взаимопереходов трех подвижных систем координат (СК):

- X_1, Y_1, Z_1 – СК1, соответствующей начальному положению элемента перед монтажом;

- X_2, Y_2, Z_2 – СК 2, отражающей предпочтительное положение элемента перед установкой на опору;

- X_3, Y_3, Z_3 – СК 3, характеризующей положение опоры.

Все промежуточные переориентации элемента между СК1 и СК2 обозначены подвижной системой координат X_2^i, Y_2^i, Z_2^i , т.е. СК2ⁱ

Таким образом, изменение пространственного положения монтируемого элемента в процессе сборки здания описывается преобразованием СК (19).

$$\begin{array}{ccc}
 X_1, Y_1, Z_1 & \rightarrow & X_2^i, Y_2^i, Z_2^i \\
 & \downarrow & \\
 & X_2, Y_2, Z_2 & \\
 & \downarrow & \\
 & X_3, Y_3, Z_3 &
 \end{array} \quad (19)$$

Очевидно, что оптимизация сборочного процесса по минимизации количества переориентации элемента и упрощению траектории его перемещения в рабочей зоне связано с уменьшением координатных точек по СК2ⁱ.

Для формализации процесса монтажа зданий из ЛЖК использовано понятие сборки $S_{бij}$, под которой в данном случае понимается контур ячейки здания, ограниченный фундаментами, высотными (колоннами, стеновыми панелями), пролетными (плитами покрытия на пролет) и шаговыми конструкциями (колоннами, стеновыми панелями, подстропильными балками) и подборки $nS_{бij}$, являющиеся элементами сборки и состоящими не менее чем из двух сопрягающихся конструкций.

Общее количество преобразований подвижных координат (как было показано выше) при реализации сборочного процесса описывается матрицей $R = N \times m$, где N – число монтажных элементов, m – количество возможных переориентаций монтируемого элемента.

Для удобства дальнейшего рассмотрения процесса роботизированной сборки зданий целесообразно внести общепринятую

терминологию, которая используется при моделировании машиностроительных роботизированных систем, что дает возможность эффективнее использовать богатый опыт, накопленный машиностроительной отраслью [11, 12]. Достаточным для представления многовариантного процесса сборки здания является получение формальных условий базирования (установки на опору) и доступа к месту установки каждой из присоединяемых конструкций (сборочных элементов).

При этом условие базирования служат для ограничения положения данной конструкции в иерархической структуре конструктивных элементов здания, поскольку определяет необходимую взаимосвязь устанавливаемого элемента с уже установленными элементами, а условие доступа ограничивает возможности установки элемента в сборочной последовательности.

Необходимость одновременного выполнения условий базирования и доступа дает возможность рассматривать их в совокупности как одно условие собираемости здания. В этом случае возможно автоматизированное составление условий собираемости, а с их помощью – построение модели многовариантного процесса сборки здания, путем строго формального описания порядка монтажа здания, через описание возможных относительных движений каждой пары или каждой тройки собираемых элементов, например, движение стеновой панели относительно фундамента, перемещение плиты покрытия относительно ранее установленных стеновых панелей и т.д.

В приведенных примерах поперечную (или продольную) раму здания, состоящую, например, из фундаментов, двух несущих панелей типа 2Т и плиты покрытия на пролет, для удобства изложения будем называть сборкой ($Сб_{ip}$), а элементы этой сборки подсборкой ($пСб_{ip}$) (рис. 22,23).

Подготовка исходных данных о собираемости здания сводится к заполнению по данным монтажных схем матрицы R возможных относительных движений элементов. Элементы матрицы характеризуют наличие и состав возможных относительных движений монтируемых конструкций. Элементы матрицы описываются числом, каждый из 12 разрядов двоичного представления которого характеризует возможность взаимного перемещения рассматриваемых конструкций в 6 поступательных и в 6 вращательных координатных направлениях.

Матрица $R_{ij} = 4095_{10} = 111111111111_2$ указывает на отсутствие каких-либо ограничений относительных движений

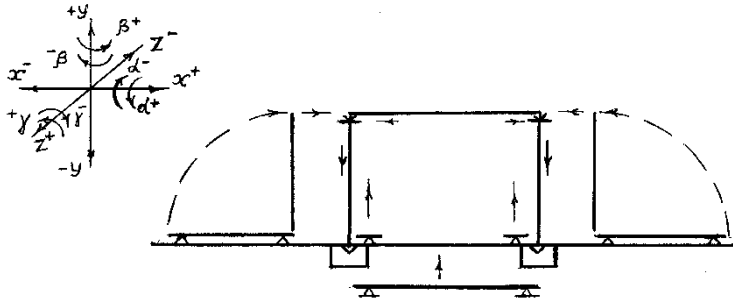
элементов i и j (конструкции j относительно конструкции i). Индекс при числах указывает, в какой системе счисления записано число.

Матрица R , имеющая N^2 элементов, достаточно громоздка, однако фактическое количество пар конструкций, имеющих ограничения в возможности относительного движения невелико, т.е. $R_{ij} \ll 4095$. Числовые значения элементов матрицы R зависят от выбранного порядка следования кодируемых координат в строке двоичного кода [18].

$$R_{ij} = b_x + X 2^0 + b_y + X 2^1 + b_z + X 2^2 + b_x - X 2^3 + b_y - X 2^4 + b_z - X 2^5 + b_A + X 2^6 + b_B + X 2^7 + b_C + X 2^8 + b_A - X 2^9 + b_B - X 2^{10} + b_C - X 2^{11}, \quad (20)$$

где b – булевы переменные, коэффициенты для соответствующих координатных направлений, равные 1, если движение в заданном направлении возможно и 0 в противном случае.

Модель многовариантного сборочного процесса в пределах значений матрицы R , разрабатывается путем последовательного анализа возможных вариантов порядка установки конструкций, с учетом организационно-технологических ограничений. Оптимизированная матрица R (рис.24), характеризующая перемещения монтируемых элементов при возведении трех пролетного здания с несущими наружными и внутренними стеновыми панелями (рис.22, 23), задает алгоритм последовательности сборки, а при задании координат характерных точек траектории перемещения МЭ, полностью определяет рабочее пространство и траекторию перемещения захвата РМ. Проектное положение МЭ достигается после совмещения подвижной системы координат, приуроченной к МЭ, с координатами неподвижной базы (например, фундамента).



$N \setminus m$	x^+	x^-	y^+	y^-	z^+	z^-	α^+_x	α^-_x	β^+_y	β^-_y	γ^+_z	γ^-_z
1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
3	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0

Рис. 24. Кинематическая схема сборочного процесса зданий из ЛЖК и матрица перемещений монтируемого элемента в рабочей зоне РМ

В целях оценки влияния ветровой нагрузки на процесс манипулирования РМ монтируемыми элементами, проведены исследования на лабораторных моделях. В качестве монтажных элементов приняты модели стеновых панелей ПС1/3х6 и ПС2/3х3. Размеры опытных панелей определялись с учетом коэффициентов масштабного моделирования для линейных размеров $M_L = 0,1$, для площади $M_F = 0,01$, для массы $M_m = 0,002$.

Исследования выполнялись на установке рис.25, состоящей из лебедки (1), железобетонной модели линейной панели (2), вентилятора (3), лабораторного автотрансформатора ЛАТр – 2М (4), для регулирования оборотов электродвигателя вентилятора, анемометра типа МС-13 (5), для измерения скорости ветра и базы с координатной сеткой (6).

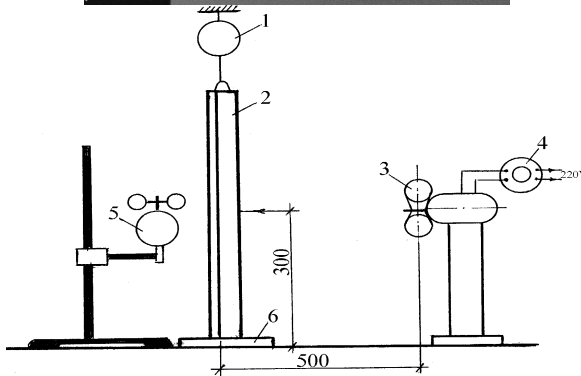
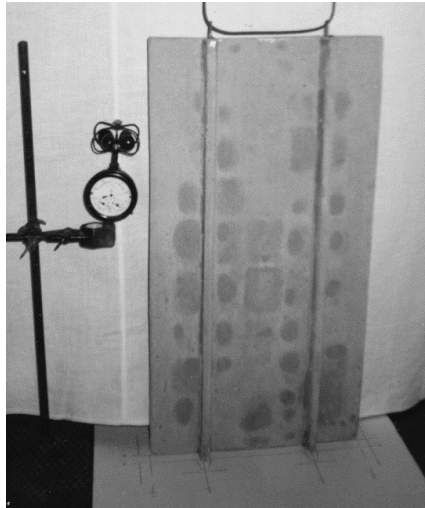


Рис. 25. Установка для определения степени воздействия ветра при установке стеновой панели в проектное положение с помощью РМ:

- 1 – лебедка; 2 – железобетонная модель панели ПС 1;
 3 – вентилятор; 4 – ЛАТр – 2М; 5 – анемометр МС-13; 6 – база

Для полного механического подобия рассматриваемой модели процесса манипулирования стеновой панелью, при воздействии ветровой нагрузки, необходимо их геометрическое, кинематическое и динамическое подобие.

Две рассматриваемые системы геометрически подобны, если их соответствующие линейные размеры отвечают постоянному отношению

Технологические процессы в строительстве

$$M_L = l_m / l_n = 0,1, \quad (21)$$

отношению площадей:

$$M_F = F_m / F_n = M^2_L = 0,01, \quad (22)$$

отношению объемов:

$$M_V = V_m / V_n = 0,002. \quad (23)$$

Системы кинематически подобны, если они отвечают постоянному значению масштаба скорости ветра, т.е.

$$M_V = v_{вм} / v_{вн}. \quad (24)$$

Для динамического подобия необходимо, чтобы давление ветра на любую пару сходных элементов отличались друг от друга лишь постоянными масштабами (были подобны), т.е. для рассматриваемого случая

$$M_P = P_{вм} / P_{вн} = 0,01. \quad (25)$$

Был выполнен полный факторный эксперимент (ПФЭ) с использованием двухуровневого плана.

В качестве варьируемых факторов принято удельное ветровое давление (x_1) и высота модели стеновой панели (x_2). Выбор линейного показателя для второго фактора связан с удобством его варьирования. В связи с одинаковой шириной и приведенной толщиной модели стеновых панелей ПС1/3х6 (ПС1/0,3х0,6) и ПС1/3х3 (ПС1/0,3х0,3) переход к поверхностным, объемным и весовым показателям затруднений не вызывает. В качестве отклика приняты значения максимальных отклонений моделей от вертикальной плоскости в опорной части, в мм.

Условия планирования эксперимента приведены в табл.7.

Манипулирование моделями ПС1 производилось в следующем порядке. Модель с помощью лебедки устанавливалась на опору по координатным осям, без воздействия ветра и выверялась по трем осям (x , y , z). Затем приподнималась и в соответствии с матрицей планирования ПФЭ имитировалось воздействие ветра нормально к поверхности панели. При этом замерялись максимальные и минимальные отклонения модели от координатной сетки и скорость ветра по анемометру.

Таблица 7

Условия планирования ПФЭ моделирования процесса установки
на опору стеновых панелей марки ПС1

Факторы x_i		Уровни варьирования x_i			Интервал варьирования Δx_i
Натуральный вид	Код	-	0	+	
1. Давление ветра, Н/м ²	x_1	3,5	5,25	7,0	1,75
2. Высота модели ПС1, м	x_2	0,3	0,45	0,6	0,15

По результатам ПФЭ составлено линейное уравнение регрессии

$$y_i = 17,88 + 7,12 x_1 - 1,88 x_2 - 1,12 x_1 x_2, \quad (26)$$

При доверительной вероятности 95% полученное уравнение является адекватным рассматриваемым процессам.

Полученная линейная зависимость смещений моделей стеновых панелей в процессе установки их на опору (рис.26) при воздействии ветровой нагрузки нормально к поверхности конструкции, позволяет сделать вывод, что решающее значение на смещение конструкции в интервале рассматриваемых высот (3...6 м) имеет давление ветра, а не размеры панели. Величина смещений при раскачке панели под действием ветра достигает 30 мм, амплитуда раскачки – 15...20 мм.

С учетом линейного коэффициента масштабного моделирования для натуральных условий (при скорости ветра близкого к 10 м/с) смещение панели ПС1/3х6 от вертикального положения могут достигнуть 25...30 см, а амплитуда раскачки 15...20 см. Равнодействующая сила на стеновую панель ПС1/3х6 (от действия нормативной ветровой нагрузки 450 Н/м² для ветрового района г. Ростова на-Дону), составляет 8,1 кН.

Изменение угла действия результирующей силы ветрового давления в интервале 0⁰...90⁰ приводит дополнительно к повороту панели относительно вертикальной оси на 35⁰...40⁰ от начального положения.

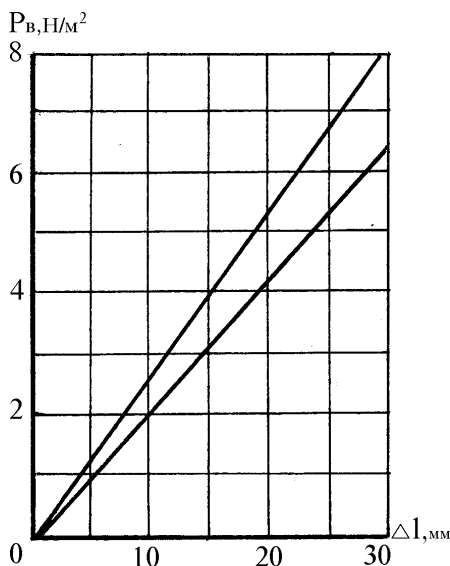


Рис.26. Линейные перемещения стеновых панелей под воздействием ветрового давления:

1 – для модели ПС1/3х6; 2 – для модели ПС1/3х3

При установке в этих условиях панели на опору достичь допустимых значений смещений граней панели относительно разбивочных ориентиров (согласно [19] – 8 мм) практически невозможно. Указанные выводы подтверждаются натурными наблюдениями. При свободном методе монтажа линейных стеновых панелей марки ПС1/3х6 и скорости ветра в интервале от 3 до 10 м/с, а также при условии наведения ее на опору двумя рабочими, эту операцию удастся выполнить только со второй или третьей попытки, а в 80% случаев после установки панели на опору требуется дополнительная корректировка ее положения в плане.

Проведенные исследования дают возможность разработать прогноз технических параметров роботизированного манипулятора (рис.28).

Основные положения прогнозируемого состава технических параметров РМ следующие:

- возможность фиксации верхней части панели управляемыми захватами, обеспечивающими четыре степени свободы конструкций, относительно оси Y и Z (подвижных координат) β^+ (1), β^- (1), $-\gamma^+$ (1), γ^- (1) (рис.28);

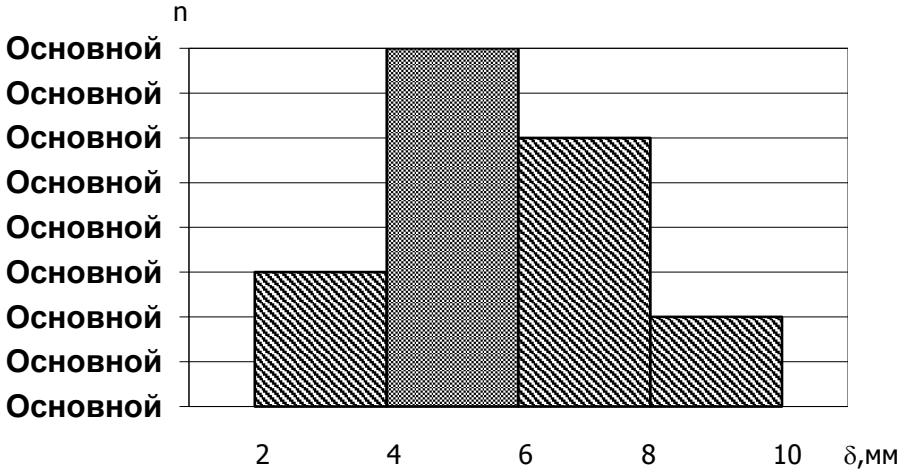
- фиксация нижней (опорной) части панели от случайных смещений с помощью двух нижних управляемых захватов, обеспечивающих шесть степеней свободы монтируемого элемента $x^+(1), x^-(1), \beta^+(1), \beta^-(1), \gamma^+(1), \gamma^-(1)$;
- возможность синхронного поворота верхнего и нижнего захвата совместно с МЭ относительно оси Y [$\beta^+(1), \beta^-(1)$];
- возможность линейного перемещения МЭ относительно осей координат (неподвижных);
- точность позиционирования МЭ – 8 мм;
- вылет стрелы не менее 6,5-7,0 м, высота подъема верхних захватов при вылете стрелы 4,5-5,0 м – не менее 6,5 м;
- грузоподъемность на минимальном вылете стрелы 2 м не менее 10 т.

Концептуальная схема манипулятора, отвечающего этим параметрам, приведена на рис. 28.

Предлагаемый манипулятор должен быть оснащен верхними захватами на стреле и нижними захватами на грузовой раме, способными перемещаться по вертикальным направляющим грузоподъемной рамы автономно и синхронно с верхней стрелой манипулятора. Такая кинематическая схема РМ позволяет перевести стеновую панель из горизонтального положения в вертикальное и зафиксировать ее в определенном положении. При этом на процесс позиционирования МЭ не влияют ветровые нагрузки, а случайные эксцентриситеты, полученные в процессе манипулирования элементами, могут быть быстро устранены РМ при участии его сенсорной системы.

Учитывая, что кинематическая схема транспортных и грузовых устройств автопогрузчика типа 4046 М в значительной степени совпадают с концептуальной моделью РМ, в процессе отработки технологии монтажа стеновых панелей встроенных помещений на строительстве кузнечного корпуса ТКЗ, были выполнены натурные эксперименты по точности базирования панелей с помощью погрузчика (относительно разбивочных ориентиров).

1.



2.

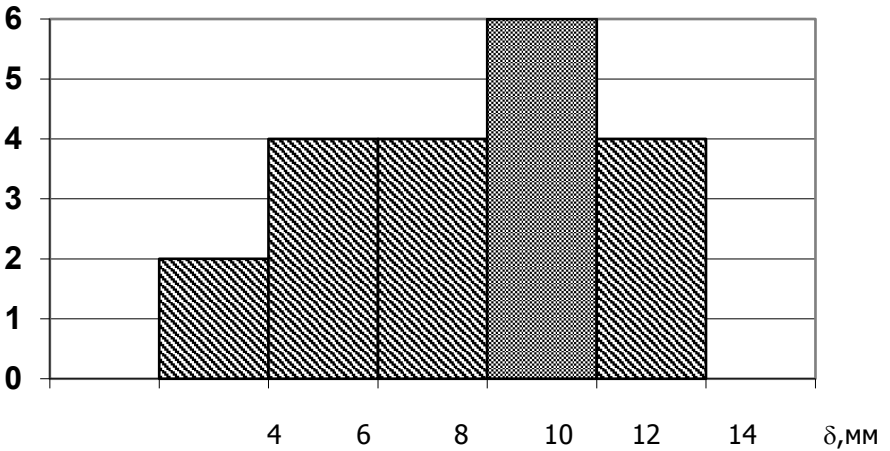


Рис.27. Гистограммы распределения отклонений стеновых панелей от разбивочных ориентиров:
 1 – в плане; 2 – по вертикали

Перед проведением эксперимента на фундаменте отмечалась краской разбивочная линия установки внутренней грани панели и габаритные риски, задающие ширину панели. На панель навешивался гидравлический уровень – отвес. Монтажники в процессе эксперимента выполняли функции операторов, облегчающих наведение конструкции на разбивочные ориентиры.

Задачей машиниста автопогрузчика являлась опускание наведенных на опору опытных панелей без воздействия усилий монтажников. После установки панели на фундамент производились замеры смещений опорной части от разбивочной линии и от вертикальной плоскости. Результаты замеров, приведенные на рис.27, позволяют сделать вывод, что обеспечивается необходимая точность монтажа конструкций. Лишь только в трех случаях наблюдалось незначительное отклонение конструкций в плане от допустимого значения, что было связано с нарушением толщины полки панели при ее изготовлении. Значения отклонений панелей от вертикальной плоскости (рис.27) находились в допустимых пределах (не более 20 мм по [19]).

Таким образом, предлагаемая концептуальная модель манипулятора (рис.28) может быть принята за основу, при разработке действующего образца роботизированной машины.

При точности позиционирования манипулятора в пределах 8 мм ниже конусное расширение (ловитель) полости клеевого стыка должно иметь диаметр в опорной плоскости стеновой панели не менее 16 мм, а с учетом гарантированного базирования МЭ – 20 мм.

Завершающим этапом роботизированной сборки является самофиксация элемента на опоре. В приложении 1 приведены концептуальные схемы узлов самофиксации ЛЖК. Основой для разработки этих узлов являются унифицированный клеевой стык (рис.2). Продолжительность операций по самофиксации конструкций с применением этого стыка не превышает 1 мин. Однако, для обеспечения набора требуемой прочности клеевого соединения, стеновую панель необходимо временно раскреплять тросовыми расчалками. Как показали натурные наблюдения, для установки четырех расчалок звеном рабочих в составе двух человек, необходимо в среднем 0,3 ч.

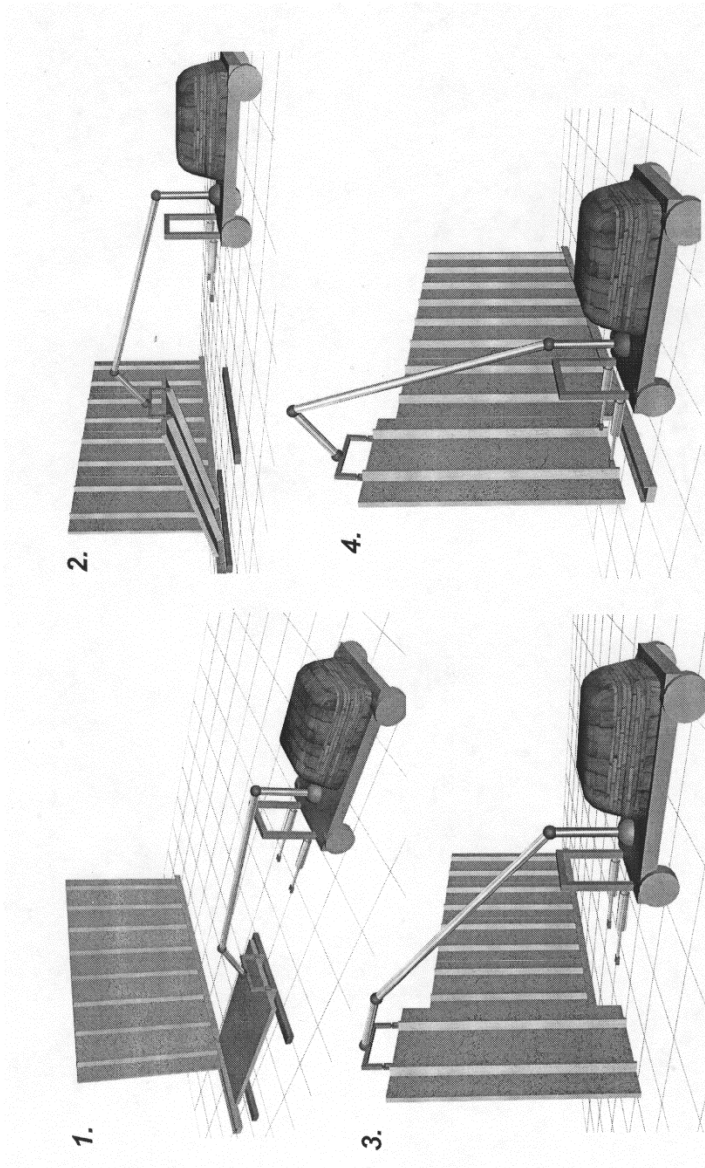


Рис.28. Схемы функционирования РМ при монтаже стеновой панели марки ПС1/3Х6 в характерных точках траектории
 1 – строповка панели; 2 – перевод панели в вертикальное положение; 3 – наведение панели на опору; 4 – установка панели на опору

Экспертная оценка данных, полученных при манипулировании моделей стеновых панелей, позволяет сделать вывод, что общее время установки стеновой панели в проектное положение и ее временное закрепление с использованием РМ (при наличии узла самофиксации) равно около 0,5 ч, что в 6,6 раза меньше времени монтажа конструкции традиционными методами.

С учетом затрат времени на переходы РМ с одной стоянки на другую и технологические перерывы интенсивность монтажа конструкций будет находиться в интервале значений 25...30 МЭ в смену, т.е. продолжительность монтажа одной конструкции составит в среднем 0,89 ч.

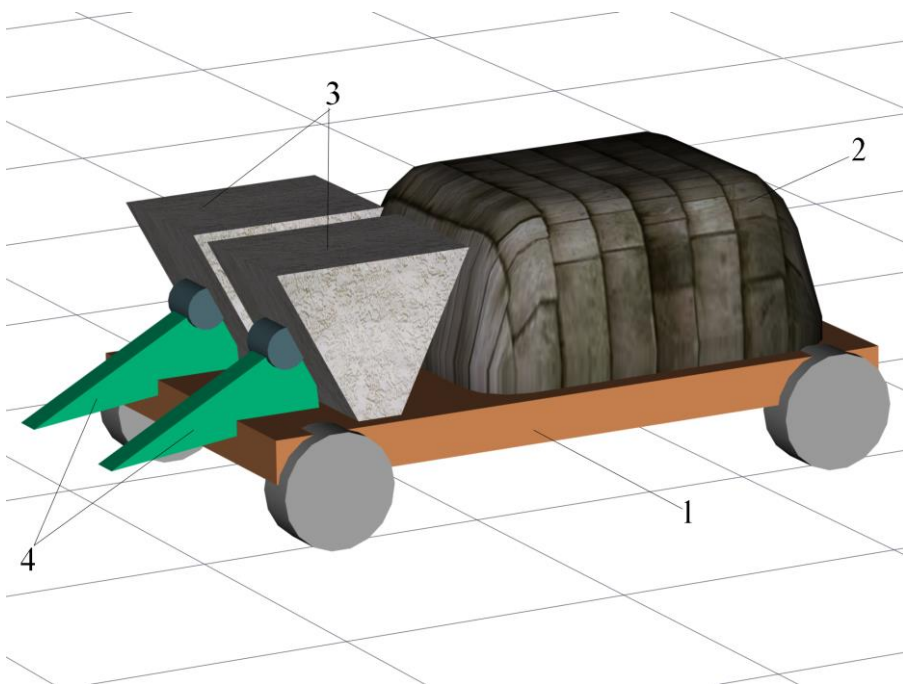


Рис.29. Концептуальная модель роботизированной машины для заделки стаканного стыка линейных стеновых панелей или колонн с фундаментами: 1 – база; 2 – привод и управляющий блок; 3 – бункеры-накопители с побуждающими устройствами для шаров и бетона, оборудованные весовыми дозаторами; 4 – манипуляторы-раздатчики.

При использовании стаканного соединения стеновой панели с фундаментом значительно сокращается время на установку и выверку конструкции в проектное положение. Оно, как было сказано выше, не превышает 0,2 ч. С учетом временного и постоянного закрепления панели в стакане фундамента общее время монтажа составит 1,48...1,63 ч, т.е. продолжительность монтажа сокращается в 2,0-2,2 раза.

Для обеспечения временного и постоянного закрепления стеновой панели (или колонны) в стакане фундамента предлагается концептуальная модель самоходной роботизированной машины (рис.29), состоящей из привода и блока управления (1), двух бункеров-накопителей с весовыми дозаторами (2). Кроме этого предполагается оснастить машину распределительными манипуляторными устройствами для заполнения зазора между гранями стеновой панели (колонны) и стенками стакана фундамента шарами и пластифицированным песчаным бетоном ($OK \geq 14...16$ см).

В состав РТК (табл. 8) должна входить автоматизированная машина по заделке вертикальных стыков стеновых панелей. Концептуальная модель такой машины приведена на рис.30. Машина представляет собой многофункциональный модуль, обеспечивающий выполнение операций при герметизации стыков между стеновыми панелями.

Состав этих операций следующий:

- наклейка ветрозащитной высокопрочной полимерной ленты (2);
- нанесение теплоизолирующего слоя из пенополиуретана (3);
- наклейка или нанесение конструктивной защитной высокопрочной полимерной пленки (4);
- заполнение шва герметизирующей (например, тиоколовой или полиизобутиленовой) мастикой (5);
- нанесение защитного атмосферостойкого слоя полимерного или полимерцементного раствора (6).

В качестве варианта стыкового соединения полков стеновых панелей может служить локальное клеевое соединение, подобное монтажному узлу (приложение 1), который предусматривает сварку стальных закладных деталей в полках панелей с помощью стержневых соединительных деталей МС1. В клеевом соединении в качестве соединительных деталей могут быть использованы как пластмассовые, так и стальные элементы.

В этом случае рассматриваемая роботизированная машина должна быть адаптирована к соответствующим технологическим

операциям. Выбор вариантов сопряжения стеновых панелей должен осуществляться в соответствии с конструктивным и технико-экономическим анализом.

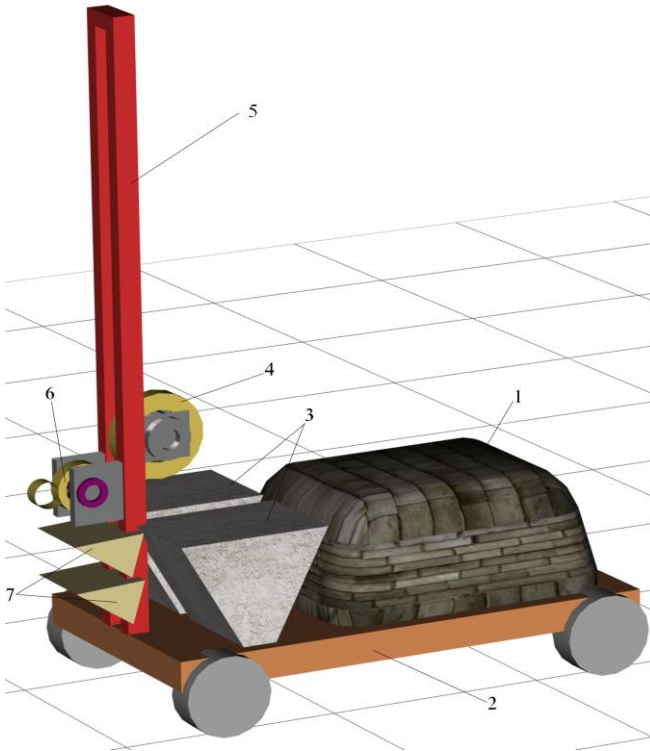


Рис.30. Концептуальная модель многофункциональной роботизированной машины для заделки монтажных стыков между стеновыми панелями: 1 – привод и управляющий блок; 2 – самоходная база машины; 3 – бункеры-накопители для мастики и герметиков; 4 – катушка с герметизирующей лентой, оборудованная устройством для автоматической подачи ленты; 5 – стрела манипулятора; 6 - устройство для наклейки ленты; 7 – манипуляторы для наклейки и нанесения герметиков

Учитывая, что электросварные монтажные узлы полок панелей заменяются на сплошную высокопрочную полимерную ленту, соединяющую две смежные кромки полок стеновых панелей с по-

мощью специальных клеев, указанная машина должна обеспечивать одновременно две соответствующие операции: нанесение клея и наклейку ленты.

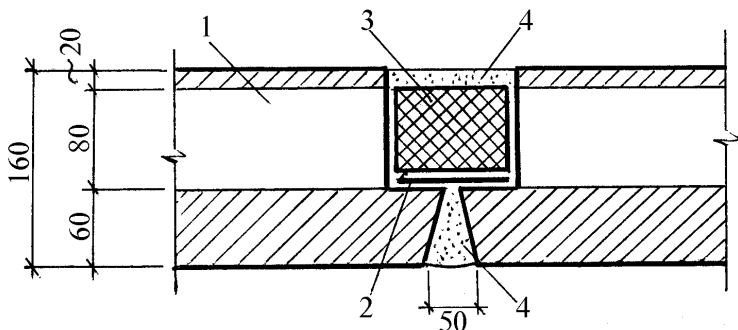


Рис.31. Монтажный стык трехслойных наружных стеновых панелей для отапливаемых производственных зданий:

- 1 – стеновая панель;
- 2 – изолирующая полимерная лента;
- 3 – теплоизолирующий элемент (пенополиуретан);
- 4 – герметизирующая мастика, полимерцементный раствор или синтетический герметик

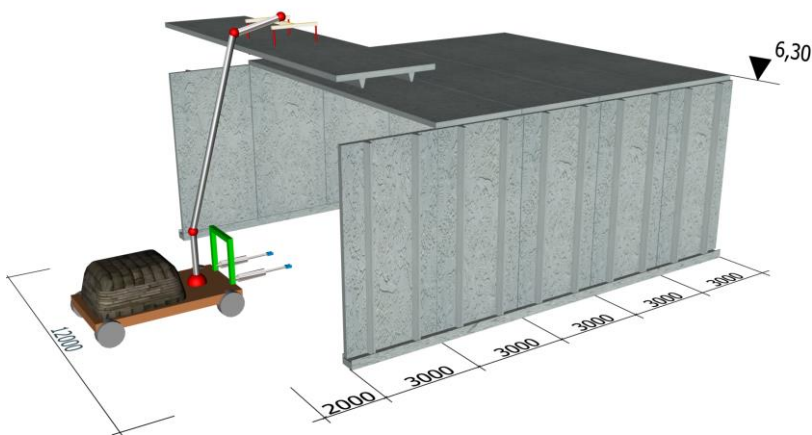


Рис.32. Компьютерная модель РМ при монтаже плит покрытия П1/3х12

Монтаж плит покрытия можно осуществлять манипуляторами общего назначения или с использованием манипулятора рис.32. Основную задачу, которую необходимо решить при этом – строповка конструкций. Один из возможных вариантов строповочного устройства приведен на рис.33. Он состоит из траверсы (1) с автоматическими захватами (2). Принцип работы захвата понятен из рисунка.

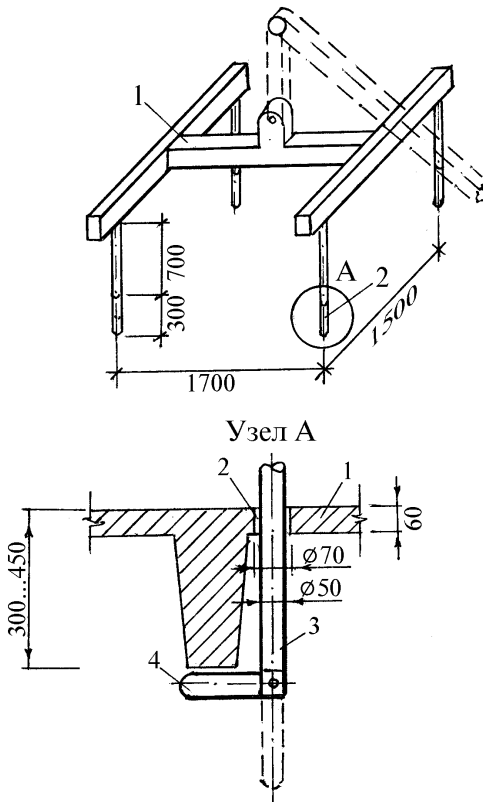


Рис.33. Концептуальная модель захватного устройства для монтажа линейных плит покрытия: 1 – траверса; 2 – захват.
 Узел «А»: 1 – плита покрытия; 2 – отверстие в полке плиты;
 3 – тяга строповочного устройства; 4 – поворотный фиксатор

Одним из компонентов РТК является роботизированная самоходная раствороукладочная машина для заделки швов между плитами. Указанная машина (также как и в случае стеновых панелей) должна обеспечивать наклейку полимерной ленты на стык смежных плит после заполнения стыка цементно-песчаным раствором.

Возможен вариант локальных клеевых соединений плит покрытия идентичных монтажному узлу, который предусматривает электросварное соединение полок плит покрытия с помощью стальной соединительной детали.

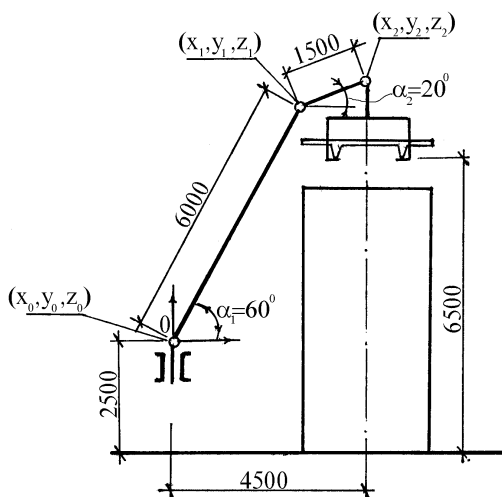


Рис.34. Оптимальные технические параметры РМ при монтаже плит покрытия П1/3х12

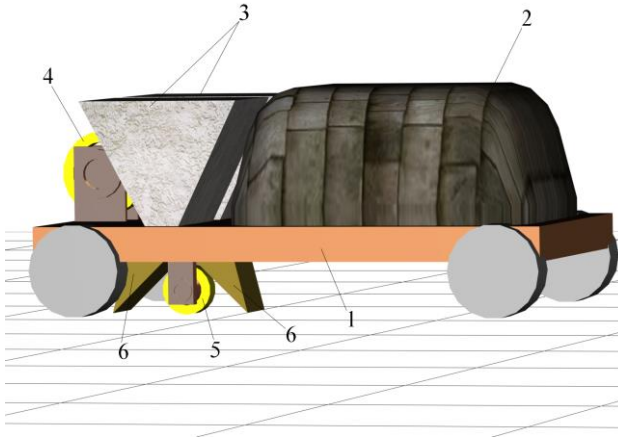


Рис.35. Модель роботизированной машины для заделки стыков плит:

- 1 – база; 2 – привод и блок управления; 3 – бункер накопитель для цементно-песчаного раствора; 4 – катушка с полимерной лентой; 5 – бункер для мастики; 6 – манипуляторы-раздатчики раствора и мастики; 7 – устройство для наклейки ленты

Таблица 8

Прогнозируемые технические параметры основных функциональных компонентов РТК для сборки зданий из линейных железобетонных конструкций (номенклатура ЛЖК согласно приложению 2)

Компоненты РТК	Технические характеристики
R ₁	Роботизированный манипулятор, имеющий при максимальном вылете захвата 6,5 м грузоподъемность 4,5т, при максимальной высоте подъема захвата 6,5...7м до 10 т, точность позиционирования 5 мм согласно [9]..
R ₂	Роботизированный манипулятор грузоподъемностью до 10 т с точностью позиционирования 8 мм согласно [9].
R ₃ R ₄	Самоходная роботизированная машина, оснащенная двумя бункерами накопителями емкостью по 1 м ³ , весовыми дозаторами и манипуляторами-укладчиками с вылетом раздаточного рукава до 1,5...2,0 м и точностью позиционирования 15...20 мм.
R ₅	Роботизированная машина для заделки вертикальных стыков стеновых панелей с высотой стрелы до 7 м, оснащенная устройствами для подачи раствора и полимерной ленты в стык, а также бункеры с дозаторами для раствора и клея (емкостью 1 м ³ и 0,1 м ³ соответственно). Предполагаемая точность позиционирования 10 мм
R ₆	Роботизированная машина для заделки горизонтальных швов между плитами, оснащенная бункерами с дозаторами для раствора и клея емкостью 1 м ³ и 0,1 м ³ соответственно и манипуляторами с точностью позиционирования 10 мм.

С целью проверки теоретических положений, в части роботизированной сборки зданий из ЛЖК, было выполнено имитационное моделирование процесса монтажа стеновой панели марки ПС1/3х6 и плиты покрытия П1/3х12 с помощью компьютерной модели манипулятора. Моделирование выполнено на ПЭВМ в среде программы 3D Studio MAX 3.1 с использованием метода сплайнового моделирования объектов. Имитационное моделирование сборочного процесса осуществлялось для оптимизации траектории движения захвата РМ с монтируемым элементом в рабочей зоне (подвижная система координат),

относительно неподвижной системы координат, с началом в шарнирной опоре РМ (рис. 34).

Для приведения в соответствие компьютерной модели натурным условиям, были заданы геометрические параметры модели в соответствии с принципами масштабного моделирования (формулы 21,...,25).

В процессе анимации сборочного процесса оценивалась оптимальность траектории перемещения МЭ, состав операций и достаточность кинематической схемы РМ, т.е. количество степеней свободы манипулятора и технические параметры манипулятора (вылет стрелы и высота подъема захватов).

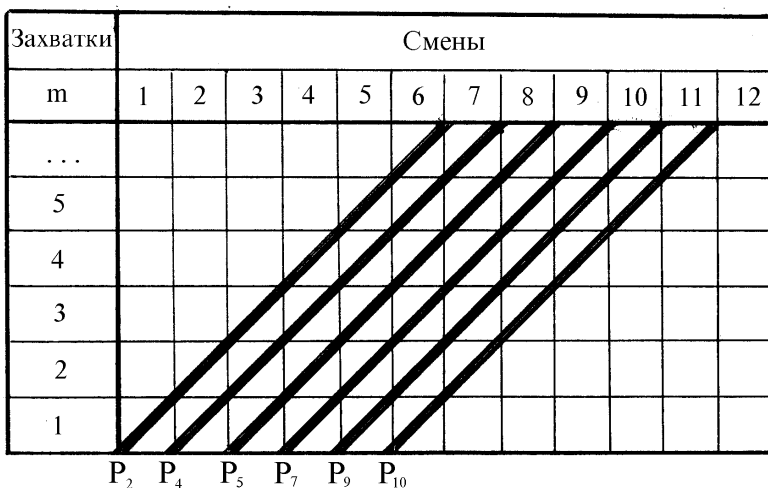


Рис.36. Циклограмма функционирования роботизированного сборочного процесса зданий из ЛЖК

Проведенные исследования подтвердили оптимальность предложенной концептуальной схемы РМ и графовой модели сборочного процесса.

При ритмичной поставке конструкций на сборку здания робот R_2 может установить в течение смены (8 ч) до 16 стеновых панелей. Указанный процесс по своей технологической сущности является ведущим. В состав ведущего входит и процесс установки в проектное положение плит покрытия роботом R_1 . Указанная интенсивность сборки определяет размер захватки. Исходя из этого построена циклограмма функционирования сборочного процесса во времени (рис.36), которая определяет состав ориентированного



программного обеспечения управляющих ЭВМ. В циклограмме опущены переходы машин с захватки на захватку. Предложенная концепция роботизированного технологического комплекса может служить основой для разработки рабочей документации действующих опытных образцов машин, систем их управления и контроля качества сборочных процессов, функционирование которых предполагается осуществлять в безлюдном режиме.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технология, механизация и автоматизация строительства: Учебник под ред. С.С. Атаева, С.Я. Луцкого. – М.: Высшая школа.1990
2. Технология строительных процессов: Учебник под ред. Н.Н. Данилова, О.М. Терентьева. – М.: Высшая школа. 1997.
3. Патент на изобретение № 2305738 Автоматическое устройство для монтажа стропильных конструкций/ Н.В.Чередниченко, Ю.Л.Тимофеев. Приоритет изобретения 01декабря 2005 г. Зарегистрировано 10.09.2007 г.
4. Гусаков А.А., Григорьев Э.П. Оценка и прогнозирование технологичности промышленных зданий// Изв. Вузов. Стр. иarchit. 1972.
5. Теличенко В.И. Моделирование гибких строительных процессов с помощью сетей Петри // Энергетическое строительство. 1991.№12.
6. Загороднюк В.Т., Паршин Д.Я. Направления развития строительной роботехники // Опыт применения манипуляторов и роботов в строительстве. – М.: МДНТП. 1988.
7. Кермер Б.Г. Анализ конструктивных решений одно-этажных промышленных зданий с применением плит 2Т //Бетон и железобетон. 1977.
8. Тимофеев Ю.Л. Применение унифицированных железобетонных панелей 2Т на стройках Главсевкавстроя // Сборник ЦБНТИ Минюгстроя СССР. – М.: 1987. Вып. 11
9. Тимофеев Ю.Л. Гибкие технологии возведения одно-этажных производственных зданий из линейных железобетонных конструкций // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2003
10. Несущие и ограждающие конструкции: СНиП 3.03.01-87. – М.:1988.
11. Тимофеев Ю.Л. Опыт проектирования и строительства быстромонтируемых производственных зданий и встроенных помещений из линейных железобетонных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2001. №10.
12. Виноградова Е.В. Об ускорении твердения высокопрочных бетонов // Железобетон, строительные материалы и технологии в третьем тысячелетии: Межкаф.сб. науч.тр. – Ростов н/Д: РГСУ, 2003
13. Виноградова Е.В., Несветаев Г.В., Жильникова Т.Н., Карявкин А.В. Зимнее бетонирование с применением мелкозернистых

бетонов // «Строительство - 2004»: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д: РГСУ, 2004.

14. Виноградова Е.В. Внедрение процессного управления в Российские строительные компании // Сборник трудов Международной межвузовской научно-практической конференции конференции «Строительство формирование среды жизнедеятельности», Москва 2011 г.

15. Виноградова Е.В. Информационная основа механизма повышения качества в строительной организации //«Строительство -2012»: Материалы Междунар.науч.-практ.конф. – Ростов н/Д: РГСУ, 2012

16. Виноградова Е.В. Проблемы управления качеством бетонных работ //«Качество и инновации - основа современных технологий»: Материалы Междунар.науч.-практ.конф. – Новосибирск, 2012

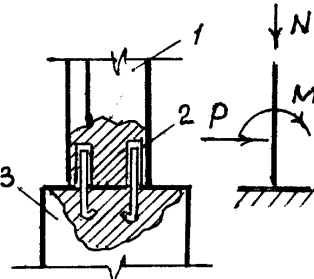
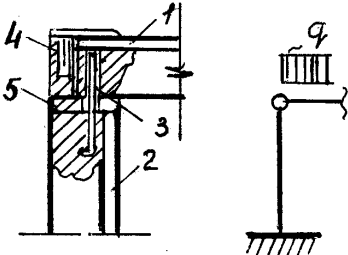
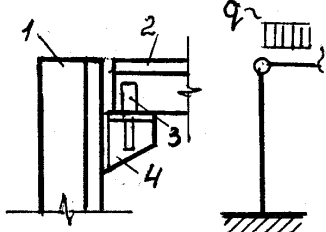
17. Виноградова Е.В. Проблемы управления качеством бетонных работ // Инженерный Вестник Дона 2012 № 3

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

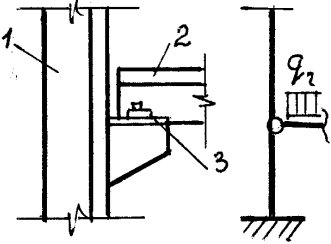
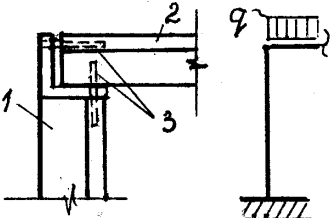
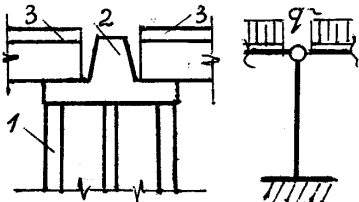
МОНТАЖНЫЕ УЗЛЫ САМОФИКСАЦИИ ЛЖК

№	Эскиз	Тип и состав	Назначение
1	2	3	4
1.		Клеевой: 1 – ПС1; 2 – полость; 3 – фиксатор; 4 – опора.	Стык внутренних стен и перегородок с фундаментом.
2		Стаканный 1 – ПС1; 2 – стакан фундамента; 3 – клеевое соединение; 4 – шары.	Стык наружных стен с фундаментом.
3		Болтовой 1 – ПС1; 2 – элементы самофиксации; 3 – анкерные болты; 4 – фундамент.	Стык стеновых панелей с фундаментом для сборно- разборных зданий.

Продолжение приложения 1

1	2	3	4
4		Клеевой 1 – ПС1; 2 – клеевое соединение; 3 – фундамент.	Стык наружных стен с фундаментом.
5		Клеевой 1 – П1; 2 – ПС1; 3 – клеевое соединение; 4 – парапет; 5 – опорная подушка (плита).	Стык стеновой панели и плиты покрытия.
6		Клеевой 1 – ПС1; 2 – П1; 3 – клеевое соединение; 4 – консоль (опорный столик).	Стык стеновой панели с плитой покрытия (перекрытия).

Продолжение приложения 1

1	2	3	4
7		Болтовой 1 – ПС1; 2 – плита перекрытия (покрытия); 3 – анкерные болты; 4 – элементы самофиксации.	Стык стеновой панели с плитой для сборно- разборных зданий (помещений).
8		Клеевой 1 – ПС1; 2 – П1; 3 – клеевые соединения.	Стык стеновой панели с плитой покрытия.
9		Клеевой 1 – колонна; 2 – балка; 3 – плиты; 4 – клеевые соединения.	Стык колонны с балкой и балки с плитами покрытия.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ОРИЕНТИРОВОЧНАЯ НОМЕНКЛАТУРА СБОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ЗДАНИЙ ПО ХРАНЕНИЮ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Марка элемента	Кол-во шт.	Размеры, мм			Класс по прочности на сжатие	Масса элемента, т	Объем Бетона, м ³	Расход стали на элемент, кг	Расход бетона, кг	Расход ст. на все элементы, кг	Объем бетона на все элементы, м ³	Расход ст. на все элементы, кг
		l	b	h								
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
ПС-1 3 x 6	80 88 82	2980	300	5980	B 25	3,52	1,41	97,7	137,1	112,8 124,1 115,6	10968 12065 11242	
ПС-1 3 x 3,6	16 35 5	2980	300	5980	B 25	2,1	0,85	101,2	829	13,6 30,6 4,3	1326 2984 446	
ПС-1 3 x 6 -1	2 2 1	2980	300	5980	B 25	3,15	1,26	127,1	161,2	2,5 2,5 1,3	322 322 161	
ПС-1 3 x 3,6 -1	4 4 1	2980	300	3580	B 25	1,75	0,71	155,1	100,7	2,8 2,8 0,7	403 403 101	
ПС-1 3 x 6 -2	5 5	2980	300	5980	B 25	3,23	1,3	120,0	161,1	6,5 6,5 6,5	806 806 806	
ПС-1 3 x 3,6 -2	2 2 4	2980	300	3580	B 25	1,83	0,75	142,7	106,8	1,5 1,5 3,0	214 214 428	