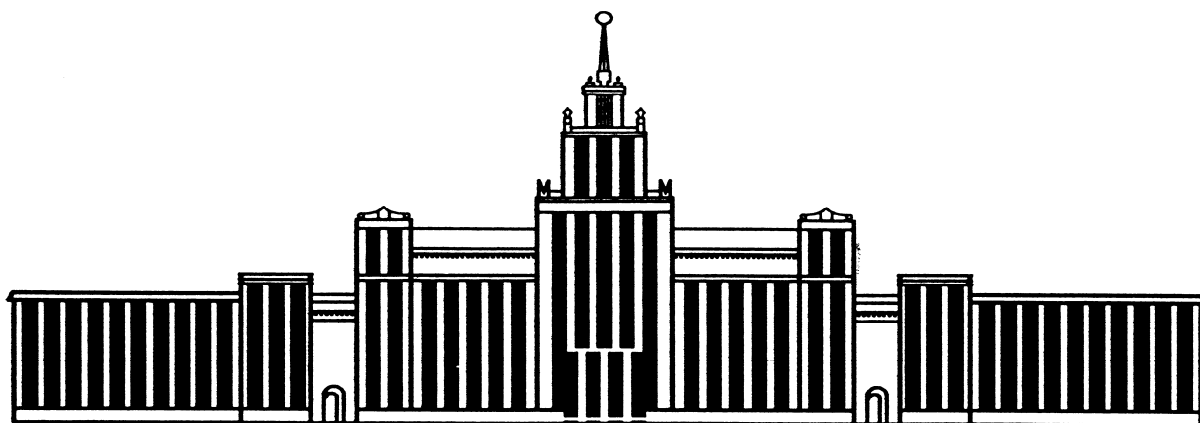

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

69(07)
Б18

А.Х. Байбурин

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРИЕМОВ ТРИЗ И ФСА
В ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
РЕШЕНИЯХ**

Учебное пособие для магистров

Челябинск
2015

Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет
Кафедра «Технология строительного производства»

69(07)
Б18

А.Х. Байбурин

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРИЕМОВ ТРИЗ И ФСА
В ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
РЕШЕНИЯХ**

Учебное пособие для магистров

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2015

УДК 69(075.8) + 69(075.8)
ББК Ч448.027.8.я7
Б18

*Одобрено
учебно-методической комиссией
архитектурно-строительного факультета*

*Рецензенты:
К.М. Мозгалева, В.А. Лужков*

Байбурин, А.Х.
Б18 Применение приемов ТРИЗ и ФСА в организационно-технологических решениях: учебное пособие для магистров / А.Х. Байбурин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – 144 с.

В учебном пособии на примерах из строительства представлены законы развития технических систем, разработанные в рамках теории решения изобретательских задач (ТРИЗ), а также основные положения и пример функционально-стоимостного анализа (ФСА). Пособие необходимо использовать в первом семестре при выборе тем и составлении планов выпускной квалификационной работы (магистерской диссертации), а также в дальнейшем обучении в процессе выполнения исследований и при оформлении результатов работы.

Учебное пособие предназначено для студентов направления 08.04.01 «Строительство» (квалификация – магистр техники и технологии).

УДК 69(075.8) + 69(075.8)
ББК Ч448.027.8.я7

© Издательский центр ЮУрГУ, 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
I. ЗАКОНЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	
1.1. Система законов развития технических систем.....	5
1.2. Закон увеличения степени идеальности системы.....	9
1.3. Закон полноты частей системы.....	33
1.4. Закон энергетической проводимости системы	35
1.5. Закон увеличения степени динамичности	43
1.6. Закон перехода в надсистему	47
1.7. Закон перехода на микроуровень	55
1.8. Закон согласования ритмики частей системы.....	63
1.9. Закон увеличения степени вепольности.	
Использование вещественно-полевых ресурсов.....	68
1.10. Линии геометрической эволюции объектов.....	80
II. ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОЙ АНАЛИЗ РУЛОННОЙ КРОВЛИ	
2.1. Введение в ФСА	87
2.2. История развития кровли и описание объекта ФСА	88
2.3. Структурный анализ объекта	91
2.4. Функциональный анализ	102
2.5. Стоимостной анализ.....	112
2.6. Параметрический анализ	114
2.7. Функционально-идеальное моделирование	115
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	138
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	141
ПРИЛОЖЕНИЕ	143

ВВЕДЕНИЕ

В учебном пособии на примерах из строительства представлены законы развития технических систем (ЗРТС), разработанные в рамках теории решения изобретательских задач (ТРИЗ), а также основные положения и пример функционально-стоимостного анализа (ФСА). Пособие необходимо использовать в первом семестре при выборе тем и составлении планов выпускной квалификационной работы (магистерской диссертации), а также в дальнейшем обучении, в процессе выполнения исследований и при оформлении результатов работы.

Цель изучения ТРИЗ и ФСА для обучающихся в магистратуре, – выйти на новые инженерные решения существующих проблем производства, оформить эти решения патентом или свидетельством на полезную модель, опубликовать результаты исследований и защитить выпускную квалификационную работу (магистерскую диссертацию). Работа должна носить исследовательский характер, при этом результаты работы должны иметь научную новизну.

При ФСА технической системы или технологии определяются функции, стоимость каждого элемента и сопутствующие нежелательные эффекты. Далее выполняется функционально-идеальное моделирование (свертывание системы) по формуле «элемента нет, а функция его выполняется» и формулируются задачи, реализующие идеальный результат.

Вскрытые при ФСА нежелательные эффекты и проблемные элементы могут служить основой для постановки цели исследований в виде устранения нежелательного эффекта, усовершенствования (а в идеале – исключения) проблемного элемента системы, а также снижения затрат, повышения функциональности и т.д.

Изобретательские задачи могут быть решены при помощи методов ТРИЗ, которые включают в себя ЗРТС, алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ), вепольный анализ, приемы разрешения противоречий, сборники физических, химических, геометрических эффектов и пр. Студентам, желающим более углубленно изучить ТРИЗ и ФСА, рекомендуется бесплатный факультативный курс «Охрана интеллектуальной собственности», который ежегодно организуется в ЮУрГУ для студентов всех специальностей.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению 08.04.01 «Строительство» (квалификация – магистр техники и технологии). Автор выражает признательность Кочарину Н.В. и Примаку Н.Б. за ценные замечания и дополнения.

В первой части пособия имеются сокращенные ссылки на журналы: ИиР – изобретатель и рационализатор; ТМ – техника – молодежи; ТиН – техника и наука; ЗС – знание – сила; НиЖ – наука и жизнь, БиЖБ – бетон и железобетон.

I. ЗАКОНЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1.1. Система законов развития технических систем

Законы развития технических систем, которые составляют основу теории решения изобретательских задач (ТРИЗ), впервые сформулированы основоположником ТРИЗ Г.С. Альтшуллером в 1979 году [1]. Законы разделены на три группы, условно названные по аналогии с законами механики соответственно «статикой», «кинематикой» и «динамикой» (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Законы развития технических систем

Законы «статики» или структурообразования описывают необходимые условия создания технических систем (ТС).

Закон полноты частей системы: необходимым условием принципиальной жизнеспособности ТС является наличие и минимальная работоспособность основных частей системы.

Закон «энергетической проводимости» системы: необходимым условием принципиальной жизнеспособности ТС является сквозной проход энергии по всем частям системы.

Закон согласования ритмики частей системы: необходимым условием принципиальной жизнеспособности ТС является согласование ритмики (частоты колебаний, периодичности взаимодействия) всех частей системы.

Законы «кинематики» или функционирования объясняют условия возникновения и развития связей элементов систем, их организации.

Закон неравномерности развития частей системы: развитие частей ТС идет неравномерно; чем сложнее ТС, тем неравномернее развитие частей.

Закон перехода в надсистему: исчерпав возможности развития, ТС включается в надсистему в качестве одной из ее частей; при этом дальнейшее развитие идет на уровне надсистемы.

Закон увеличения степени идеальности системы: развитие систем идет в направлении повышения их идеальности. Идеальная техническая система – это система, масса, габариты, энергоемкость которой стремятся к нулю, хотя ее способность выполнять работу при этом не уменьшается. Иначе говоря, идеальная ТС – это когда системы нет, а функция ее сохраняется и выполняется.

Законы «динамики» – это законы взаимодействия системы с другими системами, с подсистемами и внешней средой.

Закон повышения динамичности, управляемости: в процессе развития ТС происходит ее динамизация: жесткие системы становятся динамичными, переходят к более гибкой, быстро меняющейся структуре и к режиму работы, подстраивающемуся под изменения внешней среды.

Закон перехода с макроуровня на микроуровень: развитие рабочих органов ТС идет сначала на макро-, а затем на микроуровне.

Закон увеличения степени вепольности¹: развитие ТС идет в направлении увеличения степени вепольности. При этом используются ресурсы (веполи, вещества и поля) с более высоким уровнем организации и управления.

В процессе развития ТС усложняется, увеличивается количество и качество выполняемых функций. Этот процесс называется *развертыванием* системы. В качестве примера приведем эволюцию жилища: пещера – шалаш – хижина – отапливаемый деревенский дом – современный многоквартирный дом – многофункциональное высотное здание – здание-город. Архитектор Ле Корбюзье называл дом машиной для жилья. Как и автомобиль «машина для жилья» в процессе развития все более усложняется, выполняя новые функции, которые удовлетворяют возникающие потребности, связанные с научно-техническим прогрессом и социальным развитием.

Затем происходит *свертывание* ТС, она относительно упрощается при сохранении или увеличении количества и качества функций. Свертывание происходит путем перехода на микроуровень или перехода к «идеальному веществу». Процесс развертывания и свертывания называют «волной эволюции» системы (рис. 1.2).

Подобные волны развития наблюдаются и в экономике. Они называются длинными экономическими циклами А.Кондратьева. Так толчок в раз-

¹ Веполю – модель взаимодействия в рамках минимальной ТС, состоящей из двух веществ (инструмент и изделие) и поля их взаимодействия.

витии мировой экономики в XVIII веке дали изобретения парового двигателя и ткацкого станка. Второй цикл, приходящийся на XIX век, связан с развитием металлургии и железнодорожного транспорта. На XX век приходится третий цикл, обусловленный развитием электротехники, химии и автотранспорта, и четвертый цикл, обусловленный развитием авиастроения, высокомолекулярной нефтехимии и электроники.

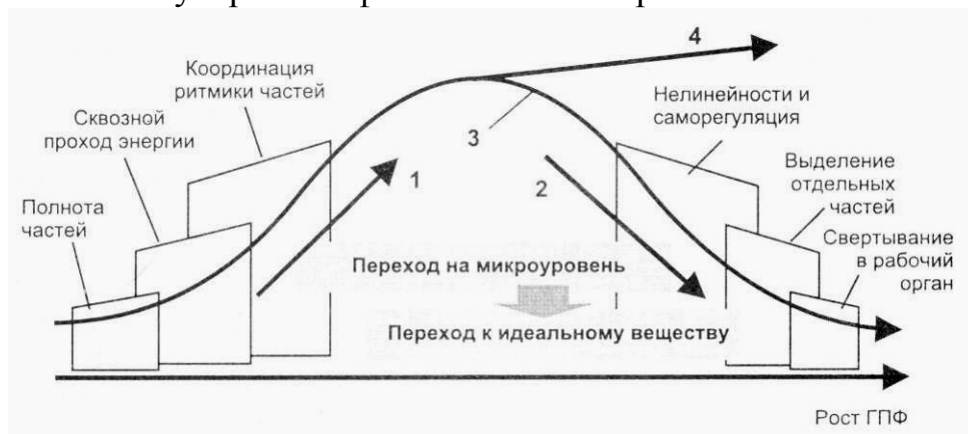


Рис. 1.2. Модель «волны эволюции» системы:

1 – развертывание; 2 – свертывание; 3 – изменение относительной сложности системы; 4 – интеграция с другими системами; ГПФ – главная полезная функция

В начале XXI века мы наблюдаем переход к следующему циклу, связанному с информационными технологиями, геной инженерией, терраформингом (изменением условий территорий и планеты в целом). Концепция аркологии (архитектура + экология), так называемые стандарты «зеленого» строительства, проекты куполов над городами, строительство на искусственных островах – это все формирование искусственной среды обитания или терраформинг.

Более подробно механизмы развертывания и свертывания системы приведены на схеме рис. 1.3.

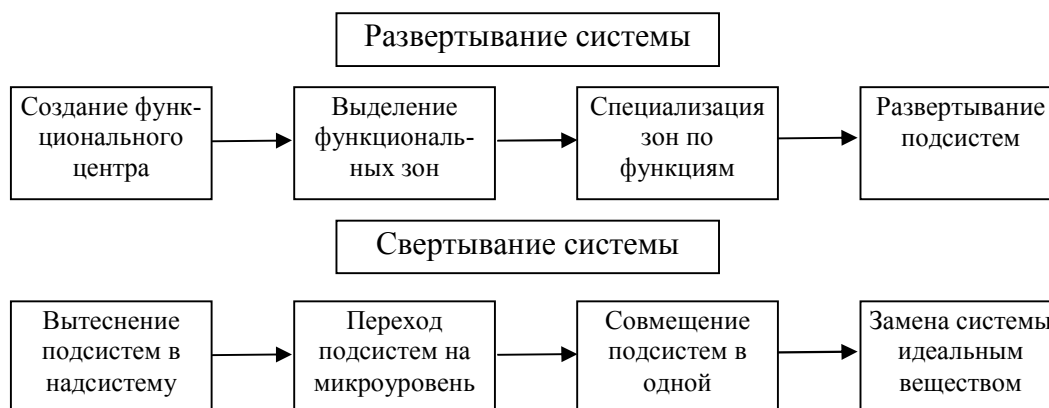


Рис. 1.3. Механизмы развертывания и свертывания системы

Акцент на экологичность технологий и устойчивое развитие (без создания проблем будущим поколениям) заставляют рассматривать применяемые в строительстве материалы не только с точки зрения их конструктивных качеств, но и с позиций энергозатратности их производства и влияния на окружающую среду. Британский профессор Гордон приводит таблицу (табл. 1.1), характеризующую строительные материалы по энергозатратам на их производство [12].

Таблица 1.1

Материал	Энергозатраты для производства 1 т материала	Нефтяной эквивалент	Энергия для обеспечения жесткости конструкции (сталь принята за 1)
Углеволокнистые композиты	4000	100	17
Титан	800	20	13
Алюминий	250	6	4
Сталь	60	1,5	1
Полиэтилен	45	1,1	–
Стекло	24	0,6	–
Кирпич	4	0,1	0,4
Бетон	4	0,1	0,3
Дерево	1	0,025	0,02

При сравнении данных табл. 1.1 с оценкой материалов по показателю конструктивного качества (см. раздел 2) можно сделать вывод об эффективности применения дерева и бетона, как материалов с наименьшей «энергетической» нагрузкой на окружающую среду. Дерево, являясь возобновляемым источником, достается нам бесплатно, а при утилизации сжиганием дает энергию.

Вопросы для самостоятельной подготовки

1. Соотнесите данные об удельном расходе строительных материалов (например, на единицу жилой площади или строительного объема) для несущих конструкций при развитии жилищного строительства: от древних каменных строений до современных зданий из железобетонных, металлических и пластиковых конструкций.
2. Изобразите S-образные кривые развития строительных технологий, например, по производительности разработки грунта (ручной, механический, гидравлический, взрывной способы), перекрываемым пролетам мостов, достигаемым высотам сооружений, прочности конструкционных материалов.
3. Сформулируйте требования к «умному дому» и «умному городу» с точки зрения решения проблем экологии, безопасности, энергетической, транспортной и информационной инфраструктуры, качества жизни и пр.
4. Рассмотрите перспективы развития терраформинга при условии сохранения природной среды обитания.

1.2. Закон увеличения степени идеальности системы

Степень идеальности системы представляется выражением

$$U = \frac{\sum \Phi_{\Pi}}{\sum \Phi_3} \rightarrow \infty,$$

где $\sum \Phi_{\Pi}$ – сумма полезных функций системы; $\sum \Phi_3$ – затраты на создание системы и ее вредные функции (функции расплаты, нежелательные эффекты).

Примеры увеличения полезных функций $\sum \Phi_{\Pi} \rightarrow \infty$.

Несъемная опалубка из стального листа опускного колодца или резервуара выполняет функции гидроизоляции, арматуры, закладных деталей. Несъемная опалубка перекрытий из стального профнастила может выполнять функции лесов, арматуры, закладных деталей, отделки.

Примеры снижения функций расплаты $\sum \Phi_3 \rightarrow 0$. Использование дешевых материалов из окружающей среды (вода, лед, воздух, грунт, песок и пр.), «бесплатной» энергии ветра, солнца, волн, земли.

Ледовые сооружения:

1) Английский патент №2071295 на “айскрит” (льдобетон) из ледяных кубиков, смешанных с песком и водой, и замороженных холодильными трубами даже в умеренных широтах. Тепло, отнимаемое у конструкции, может использоваться для обогрева зданий или выращивания мидий или устриц.

2) Автор а.с. №1092240 предлагает осуществлять замораживание за счет слоя вечной мерзлоты под дном океана, соединив с ним ледовое сооружение теплообменными трубами.

3) Причал изо льда. С помощью пара во льду образовали отверстия, через которые в дно вбили шпунт. Засыпали камень и заморозили. Хладагент в трубах циркулирует за счет ветряков.

4) В мелководье естественный ледовый слой (около 2 м) можно нарастить, поливая сверху водой, пока ледовый остров не сядет на мель. Ледовые острова обходятся в четыре раза дешевле насыпных. Север не только строит, но и разрушает сам себя – искусственные айсберги летом тают и не оставляют никаких следов человеческой деятельности: получают экономия на сносе и экологические преимущества.

5) В ближайшем будущем уголь из районов Сибири и Севера будут перерабатывать в метанол (метиловый спирт). По а.с. №1146360 трубопровод выполнен из льда для перекачки охлажденной угольно-метанольной пульпы (рис. 1.4).

6) Ледовые паромы или танкеры, отформованные в опалубке по а.с. №1155672 – наиболее дешевый транспорт в северных водах.

7) Ледовые гостиницы для туристов стали строить с 1989 года. В номерах мебель сделана из замороженной воды.

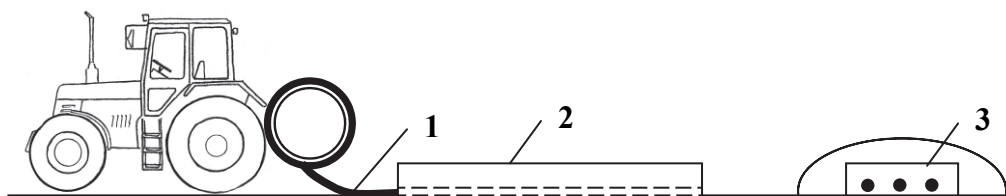


Рис. 1.4. Устройство трубопровода из льда:
1 – шланг с хладагентом; 2 – опалубка; 3 – лед

Сооружения из воздуха или песка:

1. Крыша из воздуха над спортивным сооружением предложена канадскими инженерами Гаазом и Эткиным. Установленные по периметру сооружения воздуходувки сдувают любые осадки и позволяют регулировать температуру.

2. Воздухоопорные конструкции – оболочки из прочной армированной ткани без каких-либо металлических каркасов, внутрь которых для создания избыточного давления подаётся воздух (рис. 1.5). Таким образом возводят спортивные сооружения, бассейны, выставочные павильоны, станции техобслуживания.



Рис. 1.5. Воздухоопорное сооружение

3. Грандиозный проект искусственных островов из песка осуществляется в ОАЭ. В состав архипелага входят три крупных острова, имеющие каждый форму пальмы. Между островами расположены также искусственные архипелаги «Мир» и «Вселенная» из мелких островов (рис. 1.6).

Сооружения, использующие ресурсы воды:

- 1) проекты плавающих городов;
- 2) уже давно вода используется вместо фундамента: дом может менять место прописки; кинотеатры, рестораны на воде;
- 3) всплывающий в случае наводнения дом на понтоне и раздвижных сваях – это способ избежать миллиардных затрат на восстановление жилья на обширных территориях России, подверженных постоянным паводковым подтоплениям;
- 4) водяные стены для декораций, проецирования изображений, создания прохлады, развлечений и т.д. Например, фонтаны-шутихи Петра Пер-

вого «Водяная дорога», «Водяная беседка» в Петергофе (1721 г.), дом-облако в Швейцарии в виде аттракциона.



Рис. 1.6. Песчаные архипелаги «Мир», «Вселенная» и Пальмовые острова

В фантастическом рассказе А.Ван-Вогта «Банка с краской» описана идеальная краска, найденная космонавтом на Венере. Краска представляла собой «жидкий свет», ее невозможно было смыть. Краска, изобретенная японской фирмой «Chugoku Marine» делает подводные работы такими же простыми, как и на воздухе. Новая краска состоит из красящей эмали и пластификатора. Молекулы пластификатора в смеси с краской под водой начинают выталкивать молекулы воды, занимая их место. Молекула за молекулой вода «выдавливается» сквозь краску, пока вся не оказывается изгнанной (ИиР №5, 1987).

Идеальное решение было предложено для снижения затрат по сносу большого сооружения. Знаменитый английский стадион «Уэмбли» 1924 года постройки был распродан по кирпичику через интернет (трибуны, скамейки, две башни на входе) с гарантией доставки в любую точку земного шара.

Во Флоренции есть необычный тир. Стреляют там из духовых пистолетов, а в качестве «мишеней» в зале расставляют древние статуи. Пули в виде стеклянных шариков сбивают застарелую грязь, не повреждая статуи. «Тир» действует при ателье художников-реставраторов и приносит ему дополнительный доход. Не только идеально, но и прибыльно!

Степень идеальности несущих строительных конструкций оценивают отношением

$$K = R/G,$$

где R – несущая способность конструкции; G – ее собственный вес.

Вместо собственного веса может быть использована цена. В табл. 1.2 приведена оценка идеальности некоторых строительных сталей по отношению «прочность – цена».

Замена стали позволяет снизить толщину элемента с 12 мм из стали Ст3 для до 8 мм из стали 09Г2 и 6 мм из стали 10ХСНД при равной прочности.

Таблица 1.2

Марка стали	R , МПа	Цена, руб./кг, 2001			Показатель «прочность-цена»		
		ММК	дилеры	рынок	ММК	дилеры	рынок
Ст3пс	245	6,9	7,0	7,2–7,6	35,5	35,0	32,2–34,0
Ст5сп	265	6,9	7,0	7,2–7,6	38,4	37,8	34,9–36,8
09Г2	330	8,35	8,5	8,7–9,4	39,5	38,8	35,1–37,9
10ХСНД	440	10,4	–	–	38,46	–	–

В курсе строительных материалов [9, с. 299] используется коэффициент конструктивного качества

$$K = R/\gamma,$$

где R – сопротивление материала; γ – плотность материала.

Чем больше значение k , тем выше конструктивное качество. Ориентировочные значения коэффициента указаны в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Материал	R , кгс/см ²	γ , кг/м ³	k , м
Бетон тяжелый	100–400	2400	400–1600
Дерево	100–150	500	2000–3000
Сталь углеродистая	2000–4000	7850	2500–5000
Алюминиевые сплавы	2500–5000	2600	10000–20000
Сталь высокопрочная	18000–20000	7850	23000–25500
Углепластик (карбон)	16000	1450	110000

Обратная величина коэффициента конструктивного качества названа показателем легкости [2, с. 22]

$$c = \gamma/R.$$

Чем меньше значение показателя c , тем относительно легче конструкция. Для бетона класса В25 $c=18,5 \cdot 10^{-4}$ 1/м, для дерева $c=5,4 \cdot 10^{-4}$ 1/м, для углеродистой стали $c=3,7 \cdot 10^{-4}$ 1/м, для высокопрочной стали $c=1,7 \cdot 10^{-4}$ 1/м, для дюралюминия марки Д16-Т $c=1,1 \cdot 10^{-4}$ 1/м, для углепластика $c=0,09 \cdot 10^{-4}$ 1/м. Частный случай показателя, используемый для деревянных конструкций, приведен в [3] в виде коэффициента собственного веса.

Для строительных конструкций часто применяется показатель эффективности в виде соотношения массы конструкции m и перекрываемого пролета l :

$$K = m/l.$$

Технико-экономический уровень большепролетных сооружений предлагается оценивать отношением прямых затрат материала, труда, энергии и денежных средств C к площади, которую покрывает конструкция F :

$$U = C/F.$$

Графическое отображение приведенной зависимости показано на рис. 1.7 [13]. Если обобщенный показатель находится ниже линии 2, построен-

ной по реализованным проектным точкам, то технико-экономический уровень оцениваемого проекта превышает достигнутый на настоящий момент.

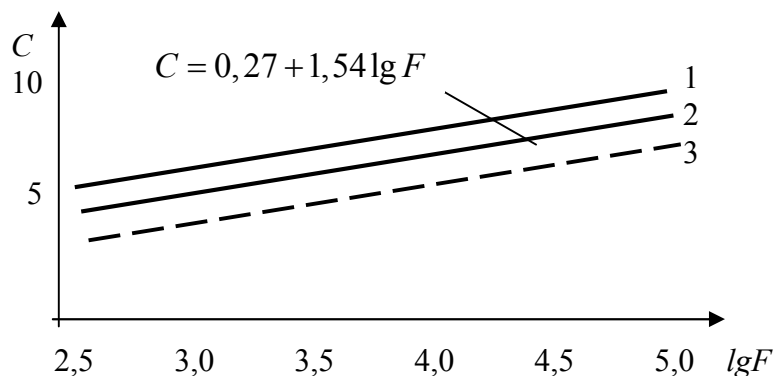


Рис. 1.7. Технико-экономический уровень большепролетных сооружений: 1 – висячие покрытия, сооружения; 2 – оболочки, купола, сооружения; 3 – висячие покрытия, проекты

Для мачтовых и башенных сооружений показатель эффективности может быть выражен в соотношении массы сооружения m и высоты h :

$$C = m/h.$$

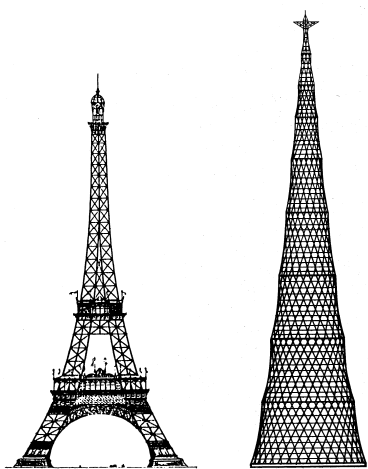


Рис. 1.8. Башни Эйфеля и Шухова

На рис. 1.8 показаны контуры двух известных сооружений: Эйфелевой башни в Париже (1889 г.) и первоначального проекта радиобашни Шухова в Шаболовке (1919 г.). Эйфелева башня: высота 300 м, масса 8850 т, $C = 29,5$ т/м. Шуховская башня по первоначальному проекту: высота 350 м, масса 2200 т, $C = 6,3$ т/м. Построенная Шуховская башня: высота 150 м, масса 240 т, $C = 1,6$ т/м.

Эффективность конструкции с точки зрения технологичности (простоты изготовления и монтажа):

$$E = R/n \rightarrow \infty,$$

где R – несущая способность; n – количество элементов конструкции.

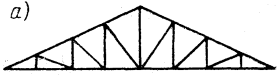

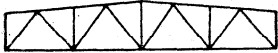

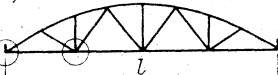
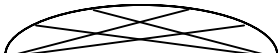
Для стропильных ферм русские инженеры (Белелюбский Н.А., Шухов В.Г.) использовали критерий [4]:

$$E = R/(l + k) \rightarrow \infty,$$

где l – суммарная длина стержней; k – количество узлов соединений.

Условное сравнение типов ферм по указанному показателю приведено в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Типы ферм	l	k	Материал
a) 	139	16	дерево
b) 	149	16	дерево
в) 	115	14	металл
	96	13	металл
г) 	131	12	железобетон
	138	6	металл

Как видим металлические фермы имеют минимальную длину стержней, а минимальное количество узлов имеет арка с затяжками, примененная Шуховым В.Г.

Эффективность конструкции металлических резервуаров:

$$E = V/m,$$

где V – объем резервуара; m – масса резервуара.

На графике рис. 1.9 показана зависимость удельной массы конструкции резервуара от его объема. Видно, что выгодно строить резервуары объемом свыше 3000 м^3 . Кроме того, Шухов В.Г. еще в XIX веке доказал, что строительство одного вертикального цилиндрического резервуара объемом V всегда выгоднее строительства двух резервуаров объемом по $V/2$.

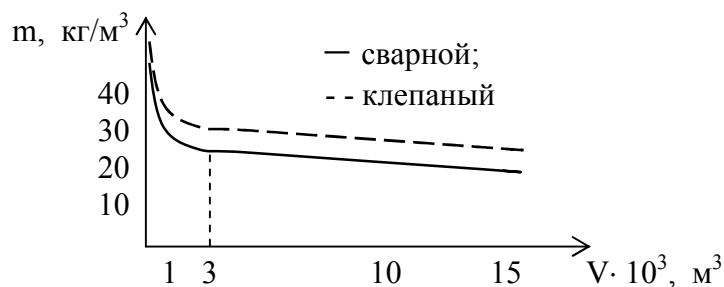


Рис. 1.9. Зависимости металлоемкости резервуаров от объема

Рассмотрим пути совершенствования конструкций в соответствии с изложенными положениями. Уменьшение числа элементов в конструкции выгодно как с точки зрения работы конструкции, так и с позиций снижения трудоемкости ее монтажа и вероятности дефектов в соединениях. На

рис. 1.10 показаны три варианта конструирования железобетонных каркасных зданий с различным количеством типоразмеров несущих конструкций.

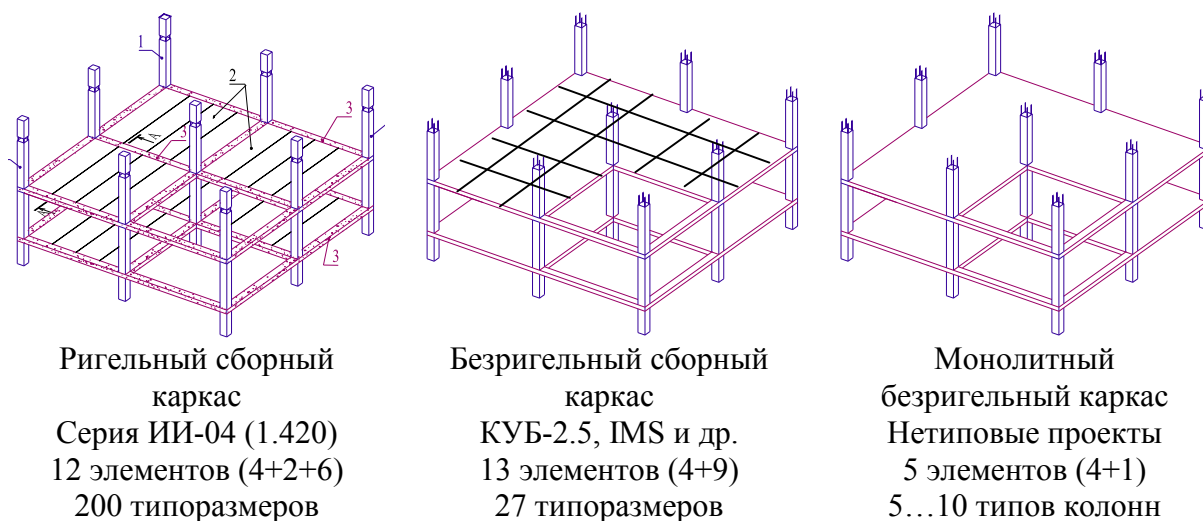


Рис. 1.10. Сравнение железобетонных каркасов: количество элементов приведено на одну ячейку из четырех колонн

Таким образом, монолитный каркас со сборными колоннами обладает преимуществом перед другими конструктивными системами. Отметим также, что чем меньше в конструктивной ячейке элементов, тем меньше типоразмеров и дешевле производство и монтаж.

Одним из конструктивных начал Шухова В.Г. был следующий принцип: количество ступеней передачи нагрузок от пролетной конструкции на опоры (основание) должно быть минимальным. По сути, этот принцип означает уменьшение числа элементов и узлов, что обеспечивает надежность и живучесть конструкции.

Количество ступеней передачи нагрузок в традиционном каркасе одноэтажного промышленного здания: 1 – кровля – покрытие (прогоны); 2 – покрытие – стропильные фермы; 3 – стропильные фермы – подстропильные фермы; 4 – подстропильные фермы – колонны; 5 – подкрановые балки – колонны; 6 – колонны – фундаменты; 7 – фундаменты – основание. Итого 7 ступеней.

Количество ступеней передачи нагрузок в здании с висячим сетчатым покрытием Шухова (рис. 1.11): 1 – кровля – покрытие; 2 – покрытие – колонны; 3 – колонны – фундамент; 4 – фундамент – основание. Итого 4 ступени.

Здания с висячими сетчатыми покрытиями были реализованы Шуховым на Всероссийской промышленной и художественной выставке в Нижнем Новгороде в 1895 году, на котельном заводе фирмы Барии. Им были также разработаны проекты зданий с купольными сетчатыми покрытиями.

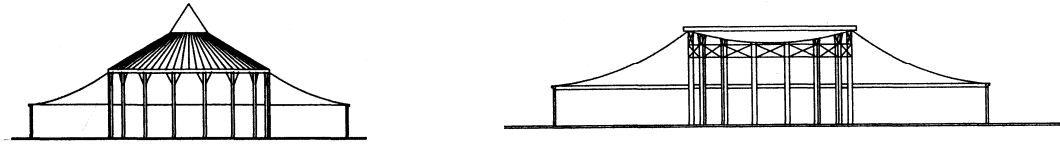


Рис. 1.11. Сетчатые покрытия В.Г.Шухова, 1895 г.

При широком промышленном строительстве в СССР применялись одноэтажные производственные здания с унифицированными размерами. Количество сборных элементов несущих конструкций здания при различных сетках колонн указано в табл. 1.5 [5, с. 92].

Таблица 1.5

Элементы каркаса	Количество сборных элементов при сетке колонн, м				
	6 × 12	6 × 18	12 × 12	12 × 18	12 × 24
Фундаменты	187	141	91	73	58
Фундаментные балки	72	72	36	36	36
Колонны	187	141	91	73	58
Стропильные фермы	150	100	78	52	39
Подкрановые балки	288	192	144	96	78
Итого:	884	646	440	330	269

Примечание: данные для здания 72 × 144 м с мостовым краном без фахверков.

Таким образом, переход от сетки 6×12 м к сетке 12×24 м позволяет сократить число элементов 3,3 раза.

Снижение веса конструкций добиваются применением эффективных конструкционных материалов (см. табл. 1.2) и рациональных архитектурно-конструктивных форм. Так, например, снижение веса каменных стен с 1900 до 800 кг/м³ позволяет уменьшить толщину стен на 57% и их вес на 82%. В развитии керамических кирпичей и камней прослеживается четкая направленность на увеличение пустотности и теплосопротивления с одновременным увеличением размеров для снижения трудоемкости кладки.

Аналогично шла эволюция утеплителей в направлении снижения их плотности γ и коэффициента теплопроводности λ_0 : от засыпных утеплителей (шлак, керамзит, пемза и пр.) к эффективным минераловатным, полимерным и вакуумным утеплителям, а в перспективе к суперлегким материалам с микропористой структурой (табл. 1.6).

Из данных табл. 1.6 видно, что в результате совершенствования утеплителей их необходимая толщина снизилась с 350–600 до 6–20 мм, то есть в 50 раз. В результате снижаются нагрузки на нижележащие конструкции, возрастает полезная площадь при фиксированной площади застройки (за счет утонения ограждающих стен). По удельной стоимости наиболее де-

шевые и часто применяемые в строительстве утеплители из минваты, ППС и ППУ.

Таблица 1.6

Утеплитель	γ , кг/м ³	λ_0 , Вт/(м·°C)	t , м	Цена, тыс.руб/м ³	Удельная цена, руб/ t
Шлак доменный	400–1000	0,12–0,20	0,35–0,58	0,5	250–300
Керамзит	400–800	0,12–0,18	0,35–0,53	1,5	700–800
Пенобетон	300–800	0,08–0,17	0,24–0,50	2,5	800–1000
Арболит	400–800	0,07–0,17	0,20–0,50	3,8	1000–1500
Фибролит	300–600	0,07–0,12	0,20–0,35	4,0	1000–1500
Минвата	100–300	0,056–0,084	0,16–0,25	2,0–3,5	700–1000
Пеностекло	100–200	0,04–0,08	0,12–0,24	9,0–15,0	2000–2400
Пенополистирол	20–150	0,038–0,050	0,11–0,15	1,0–4,0	150–600
Пенополиуретан	20–80	0,029–0,041	0,09–0,12	5,0–10,0	500–1000
Вакуумная панель	–	0,002–0,008	0,006–0,02	2–2,5 за м ²	2000–2500
Покрытие ЖКТ	–	0,0015*	0,004*	300–500	1200–2000
Аэрогели	1–100	0,017	0,05	150	6000
Микрорешетки	0,9	нет данных	–	нет данных	–
Аэрографит	0,2	нет данных	–	нет данных	–

Примечания: требуемая толщина t из расчета на сопротивление теплопередаче $3,4 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$; * – по ЖКТ не подтвержденные данные.

Жидкокерамическая теплоизоляция (рис. 1.12 а): взвесь вакуумных керамических (0,01 мм) и силиконовых (0,02 мм) шариков в жидкой латексной композиции, состоящей из синтетического каучука, акриловых полимеров и неорганических пигментов. ЖКТ является разработкой NASA (покрытие RE-THERM), отечественные аналоги – краски «Корунд», «Астра-тек», «Теплостоп» (цена 300–500 руб./л). В интернете выложены заключения (например, НИИСФ, БашНИИстрой) по краскам ЖКТ с подтвержденными значениями $\lambda_0=0,02–0,025 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$, что на порядок больше заявляемых. Видимо, промышленные аналоги чудо-краски отличаются по свойствам от космических разработок.

Аэрогели относятся к классу мезопористых материалов, в которых полости занимают 90–99 % объёма, а плотность составляет от 1 до 150 кг/м³. По плотности аэрогели уступают только металлическим микрорешеткам 0,9 кг/м³ и аэрографиту 0,2 кг/м³. По структуре аэрогели представляют собой древовидную сеть из объединенных в кластеры наночастиц размером 2–5 нм и пор размерами до 100 нм (рис. 1.12 б). Аэрогель – это хрупкое, стеклообразное вещество, напоминающее твердую пену или «замороженный дым». Это весьма прочный материал – образец аэрогеля может выдержать нагрузку в 2000 раз больше собственного веса. Аэрогели, в особенности кварцевые, – хорошие теплоизоляторы, но они также очень гигроскопичны. Благодаря чрезвычайно низкой теплопроводности около 0,017 Вт/(м·К), меньшей, чем теплопроводность воздуха 0,024 Вт/(м·К),

они применяются в строительстве в качестве теплоизолирующих и теплоудерживающих материалов. Температура плавления кварцевого аэрогеля составляет 1200 °С.

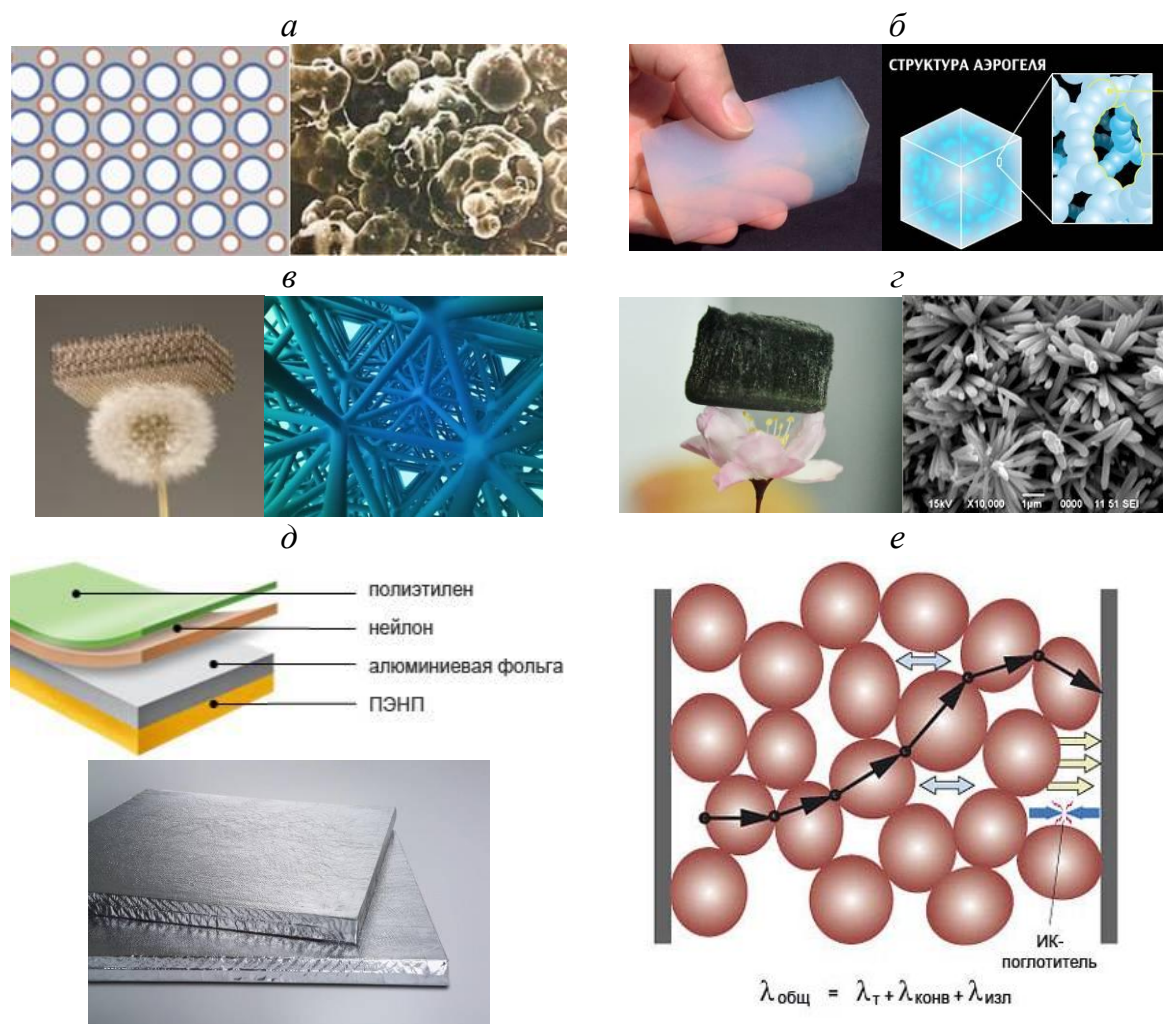


Рис. 1.12. Жидкокерамическая теплоизоляция (а); аэрогель («замороженный дым») (б); металлическая микрорешетка («воздушный металл») (в); аэрографит (г); вакуумная изоляционная панель (д); три механизма передачи тепла: теплопроводность, конвекция, излучение в вакуумной изоляции (е)

Металлические микрорешётки состоят из сетки взаимосплетённых полых элементов. Диаметр каждого элемента около 100 микрометров, толщина его стенки – 100 нанометров (рис. 1.12 в). Получают «воздушный металл» из полимерного аэрогеля, представляющего собой структуру правильных восьмигранников – октаэдров. На следующем шаге изготовления эту структуру покрывают сплавом никеля и фосфора химическим способом. Такое покрытие превращает отверстия в полимерной заготовке в частотол из полых металлических трубочек, толщину которых можно легко изменять, увеличивая или уменьшая продолжительность никелирования. Готовая структура заполнена воздухом приблизительно на 99,99 %. Металлические микрорешётки отличаются очень низкой плотностью

0,9 мг/см³, самой низкой для твёрдого вещества. Механически эти микро-решётки ведут себя как эластомеры, которые после значительного сжатия почти полностью восстанавливают свою форму. Инженеры предлагают, чтобы новое вещество практически применялось в тепловой изоляции, электрических батареях и продуктах, которые должны подавлять звук, вибрацию и ударную энергию.

«Воздушный» металл Шедлера открывает новое направление в материаловедении под названием «структурная архитектура». Новый материал сравнивают с большими структурами, имеющими относительно малый вес. Металлические сооружения, такие как Эйфелева башня, Шуховская радиомачта или висячий мост «Золотые ворота» в Сан-Франциско, невероятно легки и характеризуются малым, точно рассчитанным весом в точках распределения усилий в их структуре. По словам инженеров Шедлера сочетание наноразмеров с возможностью кроить архитектуру микро-решетки – ключ к получению новых уникальных клеточных материалов.

Аэрографит (графеновый аэрогель) представляет собой синтетическую пену, состоящую из трубчатых волокон углерода. Плотность материала составляет 0,18 кг/м³, что позволяет назвать данный материал самым легким на сегодняшний день. Первое сообщение о новом материале было опубликовано в июне 2012 г. Его структура представляет собой взаимосвязанную сеть углеродных трубок диаметром в несколько микронов, и толщиной стенки около 15 нм (рис. 1.12 з). Благодаря своей структуре из взаимосвязанных трубок, аэрографит более устойчив к растяжению, чем кремниевые аэрогели. Он выдерживает значительную упругую деформацию и обладает очень низким коэффициентом Пуассона. Образец размером 3 мм восстанавливает исходную форму даже после сжатия до 0,1 мм. Предел прочности данного материала зависит от его сжатия и составляет 160 кПа для плотности 8,5 мг/см³ и 1,0 кПа при 0,18 мг/см³. Для сравнения – предел прочности для аэрогеля равен 16 кПа при плотности 100 мг/см³.

Графеновый аэрогель может поглотить органические материалы, в том числе и нефть, по весу превышающие в 900 раз его собственный вес с высокой скоростью поглощения. Один грамм аэрогеля поглощает 68,8 грамма нефти всего за одну секунду, что делает его привлекательным материалом для использования в качестве поглотителя разлитой в океане нефти и нефтепродуктов. Графеновый аэрогель имеет потенциал для использования в системах аккумулялирования энергии, в качестве катализатора для некоторых химических реакций и в качестве наполнителя для сложных композитных материалов.

Вакуумная теплоизоляционная панель состоит из пористого материала-наполнителя, помещенного в непроницаемую оболочку. Воздух в панели откачивается до давления от 0,1 до 100 Па, после чего оболочка герметизируется (рис. 1.12 д). Вакуумные изоляционные панели основаны на следующем физическом принципе: теплопроводность газов практически не

зависит от давления до тех пор, пока длина свободного пробега молекулы газа не становится сравнимой с размерами полости, в которой находится газ. Использование мелкодисперсных пористых материалов позволяет решить задачу создания утеплителей с малым значением коэффициента теплопроводности при гораздо менее жестких требованиях к конструкции теплоизоляционной системы и степени разрежения воздуха. Кроме того, наполнитель воспринимает внешнее давление и поддерживает стенки панели. Внешнее давление 10^5 Па означает, что атмосферный столб весом около тонны давит на оболочку панели размером 30 см^2 .

Чем меньше размеры пор или пустот материала и разветвленное его структура, тем раньше в нем достигается условие высокого вакуума и лучше его теплофизические свойства. Так, в микропористом материале с размером пор 10^{-8} м механизм передачи тепла через молекулы воздуха практически исключается уже при давлении 100 Па. Так, например, для экструзионного ППС коэффициент теплопроводности резко снижается при давлении 0,1–1,0 Па, в то время как для микропористого кремнезема это происходит уже при давлении 10–100 Па. Наиболее перспективны для вакуумной изоляции кремнегели с размером частиц $5 \cdot 10^{-3}$ мм и пористостью до 95 %, а также перлит с высокой степенью пористости до 95 %. Коэффициент теплопроводности этих материалов не превышает 0,003 Вт/(м·К) до значений давления газа 100 Па для кремнегеля и 10 Па для перлита. При использовании дымного кремнезема или аэрогеля утеплитель может сохранять свойства при давлении 1000–10000 Па (0,01–0,1 атмосферного), что увеличивает надежность вакуумной панели.

Вакуумная технология позволяет исключить все три механизма передачи тепла: теплопроводность, конвекция, излучение (рис. 1.12 *e*). Современная технология изготовления пленочных упаковочных материалов позволяет производить теплоизоляцию с вакуумированием для массового применения в строительстве. Коэффициент теплопроводности данных изделий может достигать значения 0,002 Вт/(м·К), что более чем на порядок ниже традиционно используемых в строительстве утеплителей. Малая толщина и легкость панелей делает их перспективным материалом для плореновации зданий (рис. 1.13).

Основная проблема вакуумной оболочки – проницаемость торцевых швов для газа и влаги. Проницаемость оболочки и сварного соединения для водяных паров и газов изменяется с температурой. Высокие температуры увеличивают проницаемость. Чем меньше молекула газа, тем быстрее она проникает внутрь панели и сильнее влияет на теплопроводность. Так, если поместить панель в полиуретановую оболочку (такой метод применяется в холодильниках), это помогает продлить время жизни изделия, так как внутри ее тяжелые молекулы, выделяемые пластиком, проникают с трудом. Из-за большого размера они не становятся таким же хорошим пе-

реносчиком теплоты, как молекулы азота или кислород. Аналогично для водяных паров: чем выше влажность воздуха вокруг панели, тем быстрее внутрь ее проникает влага и тем выше будет концентрация водяных паров, когда достигается равновесие.



Рис. 1.13. Утепление здания вакуумными изоляционными панелями

Уменьшение в два раза толщины панели настолько же сокращает время службы, поскольку размер поверхности и сварных соединений остается прежним, а изоляционный объем вдвое меньше. Хотя скорость проникновения газов через оболочку и сварное соединение такое же, давление внутри оболочки будет расти в два раза быстрее, так как ее объем в два раза меньше. Для продления жизни вакуумных панелей используют поглотители влаги и газов, тщательно подобранные к их количеству и типу. Поглотители могут значительно увеличить стоимость панели и, как правило, включают соли тяжелых металлов, небезопасные для окружающей среды.

Условие герметичности определяет предпочтительные области применения панелей в замкнутых системах, например, в трехслойных стеновых панелях. Если в их традиционной конструкции необходим слой утеплителя не менее 15 см, то благодаря вакуумным панелям его толщина уменьшится до 2 см. При этом изделие будет защищено с двух сторон от механических повреждений слоями бетона. Упростится конструкция стены, так как снизятся требования к прочности гибких связей между слоями бетона. Возможно использование вакуумных панелей между слоями кирпичной кладки, а также для утепления перекрытий верхнего и первого этажей.

Схема теплоизоляции пола первого этажа следующая: на бетонную плиту укладывается полиэтиленовая пленка, затем плита экструдированного пенополистирола, на которой лежат два слоя вакуумных панелей тол-

щиной по 2 см каждая, что необходимо для устранения мостиков холода через стыки панелей. Затем еще одна плита экструдированного пенополистирола, покрытая полиэтиленовой пленкой. Общее термическое сопротивление системы составляет $11,8 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

К конструкционным утеплителям типа газобетона, кирпича предъявляются взаимно противоположные требования: большой прочности (и, следовательно, плотности) для обеспечения несущей способности и малой плотности для выполнения функции теплоизолятора. Техническое противоречие может быть разрешено в пространстве, когда стеновые блоки делаются на слои: один слой выполняет функции теплоизоляции, другой – несущие. Дополнительно может быть предусмотрен и декоративный отделочный слой. В качестве примера на рис. 1.14 показаны блоки «теплостен», блоки несъемной пенополистирольной или арболитовой опалубки.

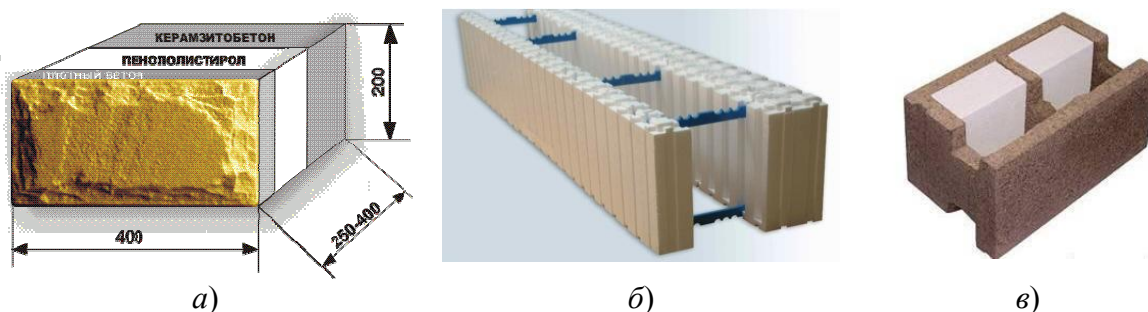


Рис. 1.14. Слоистые стены, образованные блоками «теплостен» (а), несъемной ППС-опалубкой (б), несъемной арболитовой опалубкой (в)

Увеличение сопротивления материалов прямой путь к снижению веса конструкций и повышению их идеальности (см. табл. 1.2). Современные рецептуры бетонов резко повысили их прочность. Высокопрочный бетон прочностью 60–100 МПа получают на основе цемента высоких марок, промытого песка и щебня прочностью не ниже 100 МПа. При использовании химических добавок и микрокремнезема прочность бетона может быть доведена до прочности углеродистых сталей 200–300 МПа.

Все шире применяется арматура из высокопрочной стали и пластика. Арматура композитная стеклопластиковая (АКС, FRP) имеет предел прочности 1200–1300 МПа, не ржавеет, не проводит тепло, является диэлектриком, при замене арматуры А-III дает выигрыш в весе в 9 раз ($\gamma=1,9 \text{ т}/\text{м}^3$). Среди недостатков отмечены малое относительное удлинение 2,2% и низкий модуль упругости 55000 МПа. Применение стеклопластбетона, который является «прозрачным» для магнитного поля и стоек к агрессивным средам, оправдано для следующих конструкций: изоляторные траверсы ЛЭП, электролизные ванны, сваи, фундаменты, мосты, склады минеральных удобрений, конструкции для магнитной резонансной томографии.

Выигрыш в прочности дают армированные конструкции: каменные; железобетонные; деревянные; фибробетонные с распределенной в бетоне стальной, базальтовой, стеклопластиковой фиброй. Применяются сварные швы, армированные легированными присадками.

Армирование является частным случаем получения прочных композитных материалов. Без композитов невозможны были бы полеты самолетов и космических кораблей. Построим морфологический ящик для строительных би-композитов, то есть материалов, состоящих из двух компонентов (табл. 1.7).

Таблица 1.7

	Грунт	Дерево	Камень	Бетон	Сталь	Стекло	Ткань	Полимер	Углерод
Грунт	–	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8
Дерево	2.1	–	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8
Камень	3.1	3.2	–	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8
Бетон	4.1	4.2	4.3	–	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8
Сталь	5.1	5.2	5.3	5.4	–	5.5	5.6	5.7	5.8
Стекло	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	–	6.6	6.7	6.8
Ткань	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	–	7.7	7.8
Полимер	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	–	8.8
Углерод	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	–

Композитные материалы могут быть классифицированы по структуре на дисперсные, волокнистые, слоистые, вложенные. Например, железобетон является вложенным композитом (стальная арматура вложена в бетон, номер 4.4 в табл. 1.7), трубобетон – слоистым композитом, а сталефибробетон – волокнистым композитом.

Еще в древности был построен первый саманный дом из смеси соломы и глины. В древнем Вавилоне соединили глину с тростником, а в древней Греции вставляли железные прутья в мраморные колонны и балки. При строительстве храма Василия Блаженного в Москве каменные плиты скрепляли железом (прототип железобетона). Современные слоистые материалы – фанера, биметаллы; волокнистые – стеклопластики, углепластики, металлы, армированные различными волокнами, фибробетон; матричный материал – это железобетон в виде матрицы из стальной арматуры и наполнителя бетона.

Древний монгольский лук был композитным для решения технического противоречия: лук должен быть длинным, чтобы не ломаться при изгибе, и коротким, чтобы удобно было стрелять с лошади. Но короткий лук ломается при заданной дальности стрельбы 300 м. Противоречие было разрешено применением композитного материала: со стороны сжатия лук был изготовлен из рога буйвола, со стороны растяжения – из сухожилий оленя.

С учетом структуры количество виртуальных вариантов би-композитов в табл. 1.7 увеличивается до 288, но только часть из них применяется в

строительной практике. Такие материалы как, например, стеклопластбетон, полимербетон являются сложными композитами, так как бетон и стеклопластиковая арматура сами по себе являются композитами. Подробнее остановимся на некоторых широко известных в строительстве композитах.

1.3. Грунтобетон – суглинок в комплексе с полиминеральной активной смесью (ПМАС), разработанный в Санкт-Петербургском государственном университете путей сообщения, имеет прочность при сжатии 10–20 МПа, морозостойкость F100.

1.7. Известна версия об искусственном происхождении блоков египетских пирамид, весом от 2 до 40 тонн, с идеально тонкими швами. Исследования французского химика-материаловеда Иосифа Давидовица 1982 года и Глеба Носовского 2005 года доказали, что блоки не вырезались в каменоломнях, а бетонировались на месте из геополлимерной смеси. Геополлимерный бетон получают из измельченной смеси любой горной породы методом трамбования во влажном состоянии. До сих пор на берегах Каира из донного ила Нила изготавливают каменные изделия. В институте химической физики РАН сделали спектральный анализ образцов, привезенных Носовским, и установили в спектре много металлов, например, титана и мало Si и Al, что не характерно для естественного гранита. Микроснимки показали, что структура рыхлая с пленкой между кристаллами полевого шпата и слюды, отчетливо видны органические волокна, предположительно овечья шерсть. Геополлимерная гипотеза объясняет идеальную подгонку камней друг к другу, различные размеры и вес блоков, форму блоков с вырезанными углами и с поворотом в углах, повышенную поверхностную прочность камней, а также четкие отпечатки-рисунки и надписи, глубиной до 10 см с вертикальными гранями (выдавливались в мягкой штукатурке).

2.3. Различные виды деревобетона для изготовления стеновых блоков и панелей, теплоизоляционных плит, армированных плит перекрытий (фибrolит, арболит, дюрисол).

Арболит (по ГОСТ 19222-84) – разработан и стандартизирован в 60-е годы в СССР, где было построено более 100 арболитовых заводов. В качестве органического заполнителя применяется измельчённая древесина (деревобетон), костра льна или конопли (костробетон), дроблёная рисовая соломка или дроблёные стебли хлопчатника. Плотность 400–850 кг/м³, теплопроводность 0,07–0,17 Вт/(м·°C), предел прочности на сжатие M5–M50. К недостаткам арболита следует отнести пониженную влагостойкость.

Фибrolит – изготавливается из цементного или магнезиального вяжущего, древесной шерсти и добавок, применяется с конца 20-х годов XX века. Древесную шерсть минерализуют раствором хлористого кальция, жидкого стекла или сернистого глинозема. Марки по плотности 400–600, теплопроводность 0,07–0,12 Вт/(м·°C), водопоглощение фибrolита 35–45 %.

3.2. Гипсокартон (англ. drywall) – лист, состоящий из двух слоёв строительной бумаги (картона) и сердечника из гипса с наполнителями. Предназначается для устройства обшивок, перегородок, потолков в зданиях с сухим и нормальным влажностным режимом. Гипсокартон изобрел в XIX веке в Америке владелец бумажной фабрики Августин Сакетт. Современный гипсокартон запатентовал американский инженер К. Утсман.

4.6. Тканевая несъемная опалубка (патент № 2323308, 2008 г., Ивановский государственный химико-технологический университет) сшивается из базальтовых и льняных тканей и является оболочкой для монолитных конструкций. Ткани создают архитектурную форму, выполняют функции гидро-, шумо-, теплоизоляции, отделочного материала (см. также цементированные штаны в кинофильме «Джентльмены удачи»).

4.7. Полимербетон (пластбетон, пластоцемент) – общее название бесцементных бетонов, содержащих в своём составе органическое связующее (обычно эпоксидную смолу) и большое количество дисперсного наполнителя (талька, аэросила, кварцевой муки, гранитной крошки и др.). У полимербетонов повышенная прочность, водонепроницаемость, морозостойкость, сопротивление истиранию, стойкость к действию агрессивных жидкостей и газов. Применяется для герметизации резервуаров, при изготовлении наливных полов, электролизных ванн, труб, в производстве мебели (столешницы, раковины), а также как отделочный материал (искусственный камень). Прочность на сжатие 70–110 МПа, прочность на растяжение – 5–11 МПа; морозостойкость F300–F500.

К этой же группе следует отнести полистиролбетон – разновидность легкого бетона, пористым наполнителем которого служит вспененный полистирол. Характеристики полистиролбетона: плотность 200–600 кг/м³; класс по прочности на сжатие B0,5–B2,5; морозостойкость F25–F100; теплопроводность 0,11–0,19 Вт/м·°C.

6.7. Композитная арматура (англ. fibre-reinforced plastic rebar, FRP rebar) – стержни из стеклянных (6.7), базальтовых (3.7.), углеродных (9.8) волокон, пропитанных полимерным связующим, с выполненными на поверхности поперечными или спиральными ребрами. Арматуру, изготовленную из стеклянных волокон, называют стеклопластиковой (АСП), из базальтовых волокон – базальтопластиковой (АБП), из углеродных волокон – углепластиковой.

4.5. Армирование бетона стекловолокном, применяемое в Европе с 70-х годов позволяет повысить прочность на растяжение в 4–6 раз, сопротивление удару – в 8–10 раз. Плиты из стеклобетона при прочности, равной железобетонным, могут иметь толщину в два раза меньше, а площадь в 4 раза больше. Стоимость производства снижается на 10%.

Введением в бетон 5 % оптического волокна получен так называемый «литракон» – прозрачный бетон. Технология производства бетона со стеклянными волоконно-оптическими нитями предполагает послойное наложение

мелкозернистого раствора и стекловолокна. Из-за сложности изготовления цена прозрачного бетона довольно высока – около € 4000 за м² при толщине 200 мм.

8.8. Углепластики (или карбон, от carbon – углерод) – полимерные композиционные материалы из переплетённых нитей углеродного волокна 0,005–0,010 мм в диаметре, расположенных в матрице из полимерных (например, эпоксидных) смол. Плотность от 1450 кг/м³, по прочностным характеристикам превосходит высокопрочную сталь, например 25ХГСА. Вследствие дороговизны в строительстве в качестве конструкционного материала не применяют, используют для усиления элементов.

8.7. Полимерные тканевые мембраны – полимерные рулонные материалы, армированные тканями изделиями или сетками, или ткань, пропитанная полимерным составом. Применяется для паро-, гидроизоляции, ветрозащиты, дренажа, устройства тентовых сооружений. Во Франции надувные цилиндрические баллоны из ткани, пропитанной каучуком, длиной до 30 м и диаметром до 3 м используют для отливки бетонных труб на месте.

Первое купольное сооружение с пленочно-тканевым покрытием было выполнено в 1967 г. для Международного туристического центра «Волга» близ Казани. Полусферический купол диаметром 43 м и высотой в 12 м вмещал ресторан, бар и киноконцертный зал на 600 человек.

В настоящее время тканевые мембраны часто используют в строительстве. Например, здание отеля Бурдж-эль-Араб в Дубае, высотой 321 м, построенное на искусственном острове, имеет форму паруса «доу» арабского судна и самый высокий в мире атриумный вестибюль, высотой 180 м, образованный балконами номеров и полотнищем стеклоткани (рис. 1.15). Таким образом, архитектурный замысел паруса воплотился в конструкцию, которая, кроме того, позволила проводить отделочные работы не на жаре. Температуру внутри холла понижали очень медленно в течение полугода, чтобы не образовался конденсат и не испортилась отделка (в интерьере 8000 м² отделаны сусальным золотом).

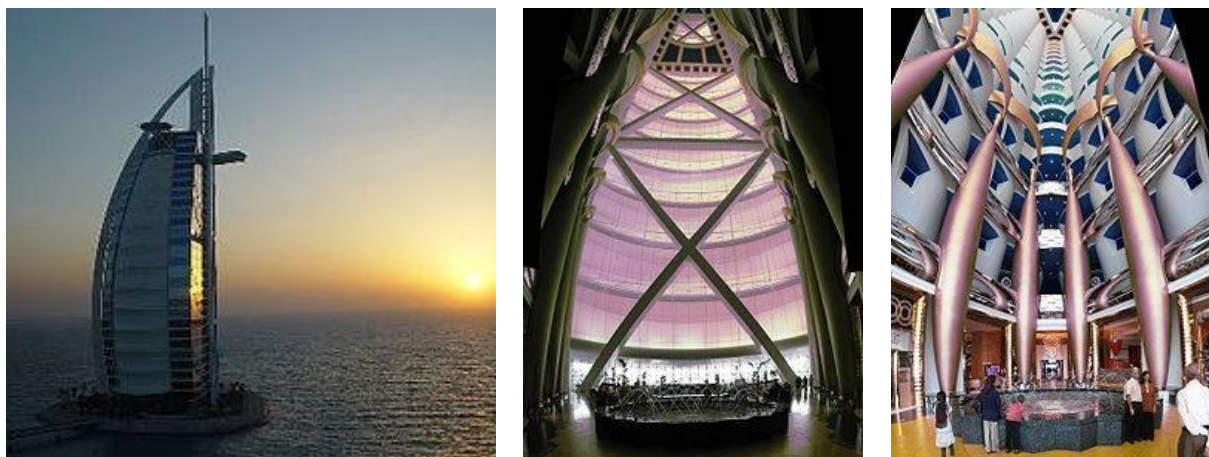


Рис. 1.15. Отель Бурдж-эль-Араб в Дубае (Арабская башня)

Пленочные конструкции были применены при строительстве ботанического сада «Эдем» в Великобритании, 2001 г. Сооружение состоит из нескольких геодезических куполов, площадью 22 000 м², под которыми собраны растения со всего мира (рис. 1.16). Купола имеют каркас из стальных труб диаметром 193 мм, образующих шестиугольные рамы с наружными панелями из термопластика ETFE (этилентетрафторэтиленовых «подушек» из ЭТФЭ-пленки), пропускающими ультрафиолетовые лучи. Для жесткости каркас поддерживается системой треугольных структур из тетраэдров. Только шестиугольники не могут образовать криволинейную поверхность, нужны вставки из правильных пятиугольников. Для создания геодезического купола нужно не менее 12 пятиугольников.



Рис. 1.16. Геодезические купола «Эдема»

Пленка ETFE в 100 раз легче стекла, образует конструкции весом 5 кг на кв. метр, самоочищающийся материал на 99 %, пропускает 85 % ультрафиолета. Является самозатухающей, при плавлении не образует расплавленные капли и не выделяет газы. Материал применяется для спортивных сооружений (стадионы, арены, бассейны, теннисные корты, гольф-центры), гражданских зданий (фасады, атриумы, крыши, павильоны, оранжереи), а также для теплиц.

Сферические постройки обладают минимальным показателем компактности², поэтому их форма оптимальна с точки зрения энергозатрат. Но реализация такой формы в традиционных конструкциях (дерево, бетон, металл) весьма проблематична. Технологичные конструкции такой формы используют тентовые и пленочные материалы с легким металлическим или пластиковым каркасом. Преимущества подобных конструкций заключаются в их транспортабельности, легкости, быстросборности, мобильности, дешевизне. Сферические постройки могут быть использованы для сезонного строительства (вахтовые поселки, экспедиции, временные поселения на курортах, фестивалях и т.д.), причем с минимальным давлением на окружающую среду (рис. 1.17).

² Показатель компактности – это отношение площади ограждающих конструкций к отапливаемому объему здания.



Рис. 1.17. Сферические постройки

По технологии ETFE был построен национальный плавательный центр «Водяной куб» в Пекине (рис. 1.18). Фасад сооружения длиной в 170 м и высотой 30 м покрыт 3 000 голубых «пузырей» разнообразных размеров и форм площадью до 70 кв.м. Архитектурное решение австралийской компании PTW. Высокотехнологичная «оболочка» из ETFE-пленки улавливает до 90 % солнечной энергии и использует ее для подогрева воды в бассейне.



Рис. 1.18. Плавательный центр «Водяной куб» в Пекине

По сравнению со стеклом ETFE на 99 % легче, стоит вдвое меньше, имеет лучшие качества температурной изоляции и пропускает больше ультрафиолета, что для растений чрезвычайно важно. Срок службы ЭТФЭ-пленки – 25 лет, она выдерживает нагрев до 130 °С (возможно, к сроку замены фольги ETFE будет изобретен новый, еще более подходящий для данных нужд материал). Панели скреплены по периметру и наполнены воздухом, образуя, таким образом, большую воздушную подушку, предохраняющую оранжереи от потери тепла. Материал ETFE, похожий на тефлон) устойчив к большинству загрязнений, которые просто смываются дождем. Ремонт ЭТФЭ-пленки очень прост – приклейка заплат или смена всей «подушки».

Конструкции «Эдема» вдохновили инженеров на проектирование купола над целым городом. Купол над Хьюстоном по проекту будет иметь высоту 500 м, диаметр 1,6 км, площадь 6,3 км² и состоять из 100 тыс. ЭТФЭ-

панелей стороной 4,5 м, выдерживающих напор ветра 240 км/ч. Чтобы купол не потерял устойчивость предусматривается поддерживающая структура из 354 тыс. распорок. Фундамент в виде заанкеренного кольца потребует 30 млн тонн бетона. В отличие от «Эдема», где были применены самые большие в мире поддерживающие леса, элементы купола поддерживаются при помощи дирижаблей, а монтируются вертолетами. Для вентиляции города предусмотрены окна, расчеты показали, что температура под куполом может быть ниже наружной на 15 °С, что дает гигантскую экономию на кондиционировании воздуха.

Автор геодезического купола – Ричард Бакминстер Фуллер (1895–1983) – американский архитектор, дизайнер, инженер и изобретатель, получил патент на купол в 1954 году, а в 1965 разработал проект купола над Манхэттеном. Он доказал, что теплый воздух в куполе может поднять его, тем самым возможны парящие сооружения и целые города. Этот эффект создает определенные трудности при сооружении фундамента, который должен быть якорем купола. В честь Фуллера были названы открытые недавно углеродные структуры – фуллерены (рис. 1.19).

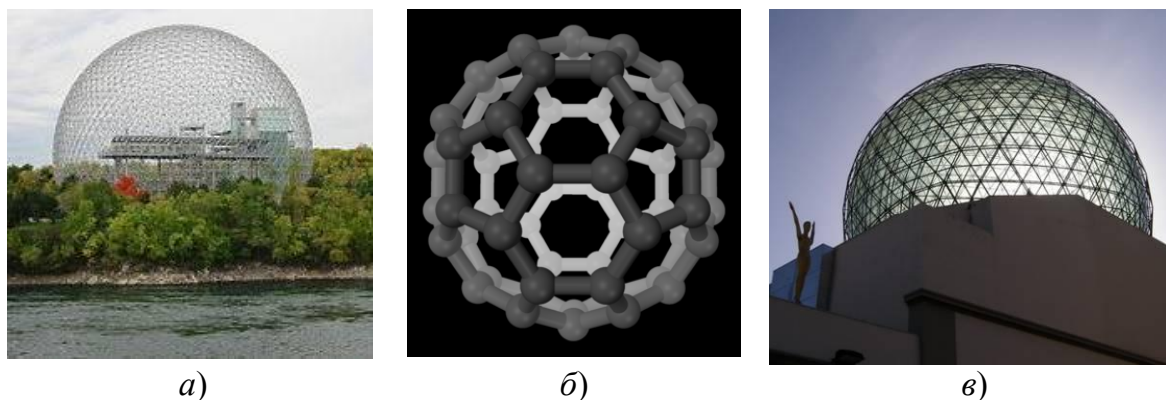


Рис. 2.16. Биосфера Фуллера – павильон США на Экспо-67, ныне музей «Биосфера» в Монреале, Канада (а), молекула Бакминстерфуллерена C_{60} (б), фонарь музея Сальвадора Дали в Испании (в)

Еще в 1984 году в Канаде запроектировали купол для поселка нефтяников, покрывающий площадь в 14 гектаров в провинции Альберта, 58° с.ш., где зимой температура опускается ниже минус 40° С, а летом заедает мощкара. Купол высотой 100 м выполнен из тефлоновой пленки и пропускает почти полный спектр света. Стоимость строительства довольно высока – 10 млн фунтов стерлингов (ИиР №12, 1984).

Тканево-полимерные мембраны широко применяются при устройстве кровель. Поливинилхлоридные (ПВХ) гидроизоляционные мембраны состоят из двух слоев пластифицированного поливинилхлорида, разделенных армирующей сеткой из полиэстера. Кровельные ПВХ-мембраны по сравнению с обычными битумными и битумно-полимерными материалами

имеют следующие преимущества: устройство до минус 20 °С при помощи автоматических сварочных аппаратов; устойчивы к химическим, механическим и термическим воздействиям; эластичны до минус 60 °С; технологичны и долговечны.

Переходя к ИКР для здания или сооружения уместно привести размышления основателя системотехники строительства А.А. Гусакова [6] о показателе эффективности капитального строительства в виде отношения активной и пассивной частей основных фондов. Под активной частью подразумевается «начинка» здания в виде технологического оборудования, а под пассивной – сам «футляр» здания. Для большинства производственных зданий доля активной части составляет около 40%. Необходимо стремиться повышать это отношение до 100%, то есть проектировать здания с наименьшими затратами на «футляр». Причем сам «футляр» не должен мешать модернизации «начинки».

В качестве примеров можно вспомнить ввод в работу эвакуированных во время войны заводов без «футляра», а также металлургические цеха инженера В.Г.Шухова, позволяющих модернизировать производство с многократным повышением производительности без изменения «футляра». Последнее достигалось разделением функций крановых эстакад и каркаса здания, применением сводчатых покрытий, исключающих протечки и коррозию [7, 8].

Снижение стоимости «футляра» напрямую связано с повышением конструкционных возможностей материалов с одновременным снижением их веса и/или расхода.

Повышение степени идеальности для строительных технологий можно оценить показателем

$$U = V/N \rightarrow \infty,$$

где V – объем продукции; N – количество технологических операций.

В качестве примера рассмотрим состав операций по устройству рулонной кровли: подготовка основания; устройство пароизоляции; устройство теплоизоляции; устройство выравнивающей стяжки; грунтовка стяжки; подготовка материалов; вертикальное и горизонтальное транспортирование материалов; нанесение клеящей мастики; наклейка гидроизоляционного ковра; устройство примыканий ковра и водостоков; нанесение защитного слоя. Переход к наплаваемым рулонным материалам исключил такие трудоемкие и опасные операции как приготовление, подача и нанесение горячей битумной мастики, но при этом появилась пожароопасная операция плавления заранее нанесенного слоя мастики газовыми горелками. При использовании растворителей обеспечивается пожаробезопасность операции наклейки. Верхний слой кровли стал покрываться рулонами с заранее нанесенным защитным слоем в виде минеральной крошки.

Современные кровли из ПВХ-мембран предусматривают сварку рулонов горячим воздухом, что исключает возгорание и операции, связанные с приготовлением и нанесением клеящих составов. Кроме того при использовании жесткого утеплителя исключаются операции устройства и грунтовки стяжки, не нужна и защита мембраны от внешних воздействий. В случае использования кровельных сборных плит остаются лишь три операции: укладка плит; изоляция стыков плит; устройство примыканий и водостоков.

Более общий показатель идеальности технологии

$$U = V/T \rightarrow \infty,$$

где V – объем продукции; T – общие трудозатраты (вместо T можно рассматривать некоторые производные от трудоемкости в виде продолжительности, стоимости работ).

Пути снижения трудозатрат на строительной площадке связаны с укрупнением конструкций, повышением их заводской или предмонтажной готовности, сокращением числа и трудоемкости монтажных операций. Укрупненные блоки позволяют сократить сроки монтажа, но требуют мощных кранов. Заводская отделка конструкций обычно более качественная, так как производство работ благоприятнее в заводских условиях.

Примеры реализации линии укрупнения изделий и конструкций:

а) кирпич → камень → блоки → крупные блоки → кирпичные панели → железобетонные панели → объемные блоки → конструктивно-технологические блоки (блоки покрытий, технологические блоки котельных и пр.);

б) монтаж фермы → монтаж двух ферм со связями → монтаж блока покрытия со связями, прогонами, кровлей, технологическим оборудованием;

в) полистовой монтаж резервуаров → рулонный монтаж резервуаров → монтаж цельносварных резервуаров;

г) надвигка пролетов мостов, изготовленных на берегу или льду;

д) укрупнение двух лестничных площадок и марша в один монтажный элемент;

е) подъем в вертикальное положение башенных и мачтовых сооружений, собранных на уровне земли.

Примеры повышения заводской и предмонтажной готовности:

а) объемные блоки квартир, блоки сантехкабин с отделкой и оснащением на заводе;

б) укрупнительная сборка большепролетных ферм из отправочных марок на строительной площадке;

в) панели наружных стен со встроенной системой отопления (неудачный опыт с нарушением правила ремонтпригодности);

г) фасадные панели стен с декоративным фактурным слоем, изготовленным на заводе;

- д) метод подъема готовых перекрытий или этажей (перекрытий со всеми перегородками);
- е) предварительная навеска монтажной оснастки на конструкцию;
- ж) конвейерный метод монтажа блоков покрытий с полным оснащением на уровне земли.

Интересен опыт Главюжуралстроя по комплексно-блочной системе строительства. В 1963 году при строительстве нагревательных колодцев блюминга 1300 объемные железобетонные блоки начинались оборудованием в мастерских «Уралмонтажавтоматика» и в готовом виде поставлялись на стройку. Строительство газокompрессорной станции в пос. Ургала велось из объемных блок-боксов. Трансформаторные подстанции жилых районов монтировались готовыми в металлокаркасе с обшивкой профнастилом. В 1987 г. блоки для вентиляционных помещений цеха прицепов ЧЗАТП были переданы «Промстройвентиляции» на установку оборудования. Спроектированы блок-контейнеры для городка строителей из 16-ти блоков на 25 человек (площадь застройки – 325 м², объем – 845 м³, жилая площадь – 158 м²). Из шести блоков собирается жилой дом общей площадью 90 м², жилой – 59 м².

Здание Кислогубской приливной электростанции запроектировали из легких конструкций в благоприятных условиях и впервые в мире доставили на плаву (ТиН №7/1985).

В 2010 году в Челябинске был сдан в эксплуатацию региональный кардиоцентр на 167 коек, построенный блочным методом, позволяющим исключить ряд монтажных операций, значительно снизить трудозатраты на специальных и отделочных работах.

Типовой состав операций при монтаже конструкций: подготовка и оснастка; захват; перемещение; наводка по вертикали; ориентирование по горизонтали; установка; выверка; временное закрепление; постоянное закрепление; геодезическая съемка пространственного положения.

Примеры сокращения числа и трудоемкости монтажных операций:

- а) безвыверочный монтаж стальных колонн на фрезерованную плиту;
- б) безвыверочный монтаж опалубки при устройстве монолитных стен с цоколями, выполненными на предыдущем этапе бетонирования;
- в) одиночные и групповые кондукторы для монтажа колонн; штепсельный или болтовой стык колонн; муфтовое либо цанговое соединение арматуры вместо ванной сварки;
- г) кондукторы для монтажа стеновых панелей: калиброванные штанги; стальные ленты с упорами; фиксаторы.
- д) пакетный подъем монтажных элементов;
- е) навеска монтажной оснастки на конструкцию на уровне земли.

Вопросы для самостоятельной подготовки

1. Предложите простые формулы для оценки степени идеальности конструкций фундамента, моста, дороги, опоры ЛЭП.
2. Каким образом можно использовать дешевые природные материалы (воду, грунт, солому, песок, глину, камни и пр.) в конструкциях и сооружениях?
3. Какими коэффициентами можно оценить идеальность строительного стекла, цемента, арматуры, пароизоляции?
4. При помощи табл. 1.7 предложите новый композит. Спрогнозируйте его строительные свойства и области применения.
5. Как взаимосвязаны проектное решение, строительные материалы, технология и правила эксплуатации жилого здания с точки зрения достижения идеального результата?
6. Важно ли разделять несущие и ограждающие функции в конструкциях зданий или выгоднее их совмещать? Проанализируйте различные варианты конструктивных систем жилых зданий с этой точки зрения.
7. Предложите сооружения, которые целесообразно возводить укрупненными блоками или целиком.
8. Придумайте, как возводить многоэтажные строения без помощи монтажного крана.
9. Предложите способ повышения идеальности железобетонной колонны без существенного изменения технологии ее изготовления (используйте эффект обоймы).
10. Сформулируйте идеальный конечный результат для кинофильма, картины, науки, религии.

1.3. Закон полноты частей системы

Необходимым условием принципиальной жизнеспособности ТС является наличие и минимальная работоспособность основных частей системы.

Каждая ТС должна включать четыре части: двигатель, трансмиссию, рабочий орган и орган управления. Двигатель получает энергию от источника энергии, а рабочий орган непосредственно воздействует на изделие (рис. 1.20).

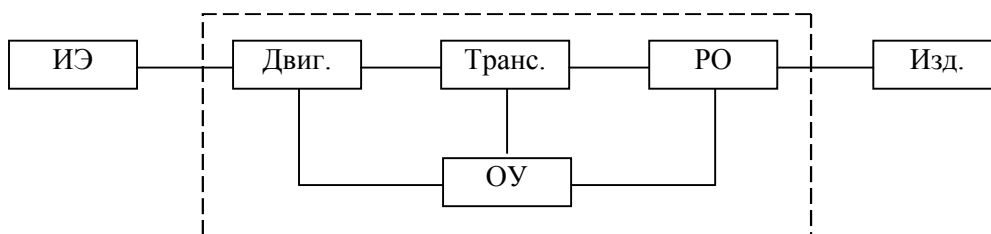


Рис. 1.20. Схема технической системы (выделена пунктиром)

Обычная оболочка здания является неполной ТС в которой, источник энергии в виде силы тяжести преобразуется в несущих конструкциях

(Д + Тр) во внутреннее напряженно-деформированное состояние, создавая защищенное помещение (РО) для деятельности людей (И). Оперативно управлять напряженно-деформированным состоянием конструкций мы не можем, что приводит к частым авариям в результате, допущенных ошибок, повреждений, износа конструкций или внезапных запроектных воздействий (природного или техногенного характера). Ремонт, усиление или замена конструкций изменяет их состояние, но не оперативно. Диагностика и ремонт зданий – довольно сложный и длительный процесс.

Каждый вид инженерного оборудования здания представляет собой законченную ТС, имеющую источник энергии (например, газ), двигатель (газовый тепловой котел), трансмиссию (трубы), рабочий орган (батареи или конвертеры), орган управления (различные автоматы), изделие (обогреваемое помещение).

Неполная ТС оболочки здания может быть дополнена до полной ТС. Например, здание аэропорта на насыпном острове в Японии, где осадки зданий достигают нескольких сантиметров в год, снабжено системой подъема всего здания на фундаментах с увеличением высоты дверных проемов и пр. Известные решения по защите зданий от землетрясений будут рассмотрены далее.

В измерительных ТС (рис. 1.21) требуется «ловить» информацию в виде энергетического потока, который исходит от изделия и движется к датчику, далее через трансмиссию к преобразователю и, наконец, к приемнику энергии (ПЭ). С недавнего времени двойные разделительные полосы стали наносить на дорогу с бугорками краски. При этом водитель не только видит, но и слышит наезд на разделительную полосу.

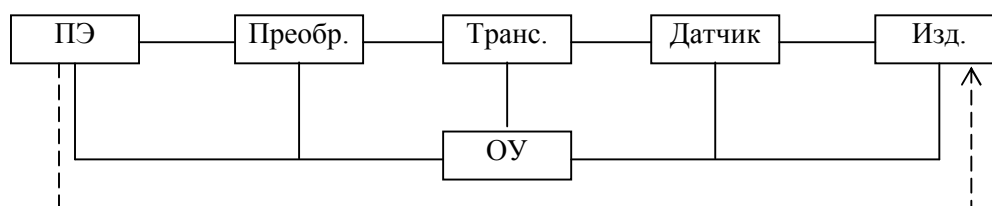


Рис. 1.21. Схема измерительной технической системы (выделена пунктиром обратная связь)

Известна система мониторинга сооружений в виде опико-волоконных датчиков, вмонтированных в тело конструкции. При возникновении трещины волокно рвется, световой сигнал прерывается, что улавливает приемник энергии в виде фотодетектора. При визуальном контроле приемником энергии служит глаз, а датчиком какое-либо явление, которое может быть зрительно зафиксировано.

Рулонные кровли имеют недостаток в виде трудностей определения местоположения повреждений. Пятна от протечек кровли на потолке не дают

точной локализации разрыва гидроизоляционного ковра. Предложено решение в виде двухслойного рулонного материала, причем подложка имеет белый цвет и при разрыве черного верхнего слоя место разрыва становится заметно.

Вопросы для самостоятельной подготовки

1. Какие органы управления Вы можете предложить для технической системы «здание»? Какие параметры здания нуждаются в управлении?
2. Возможно ли использовать микроструктуру строительных материалов для управления напряженно-деформированным состоянием конструкций?
3. Как использовать имеющиеся в здании инженерные коммуникации для целей контроля за состоянием несущих конструкций?
4. Сформулируйте функции «умного дома» с точки зрения идеальности и полноты частей системы.

1.4. Закон энергетической проводимости системы

Необходимым условием принципиальной жизнеспособности ТС является сквозной проход энергии по всем частям системы. Следствие из закона: чтобы часть системы была управляемой, необходимо обеспечить энергетическую проводимость между этой частью и органом управления. Передача энергии от одной части ТС к другой может быть вещественной (шестерня), полевой (магнитное поле) и вещественно-полевой (поток заряженных частиц). Необходимо стремиться к использованию в ТС одного вида поля на все процессы работы и управления в системе.

Разработанный в Японии способ использования ветровой энергии для обогрева тепляков (ЗС №3, 1988) предусматривает превращение этой энергии непосредственно в тепло, минуя промежуточную стадию получения электроэнергии. Ветровая установка вращает колесо компрессора, который сжимает воздух, нагревая его до 170°C за счет сжатия. Такое прямое превращение энергии оказалось в шесть раз эффективнее по сравнению с методом использования электричества.

Если вещества частей системы можно менять, то плохо управляемое поле заменяют на хорошо управляемые по цепочке (рис. 1.22).

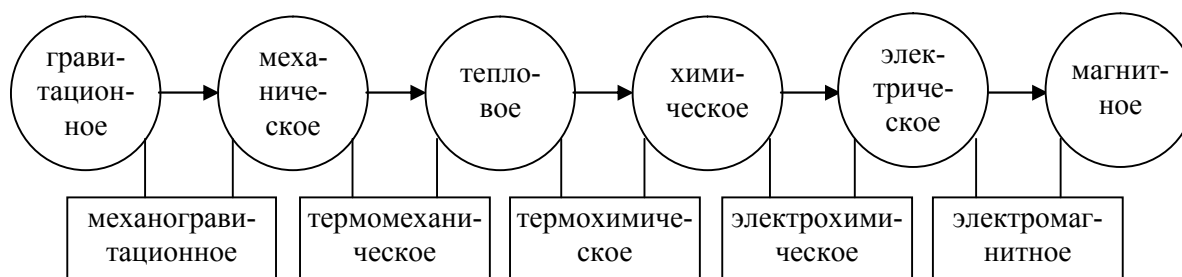


Рис. 1.22. Последовательность для применения энергетических полей

Причем могут рассматриваться также механогравитационные, термомеханические, термохимические, электрохимические, электромагнитные взаимодействия. При зимнем бетонировании сначала использовали «тепляки» и химические добавки (соли), затем перешли к электропрогреву, инфракрасному разогреву и индукционному нагреву в электромагнитном поле. При использовании в бетоне стальной фибры с точкой Кюри индукционный нагрев может автоматически отключаться при достижении температуры фибры, равной точке Кюри.

В больших помещениях складов, ангаров, где нет необходимости отопления зимой, но периодически работают люди предложено использовать для обогрева СВЧ-излучение длиной волны 1 см. Излучение поглощается молекулами воды в подкожном слое, а возникающие тепловые ощущения такие же, как обычно. Для обогрева квартиры достаточно 60 Вт, что равно мощности одной электролампы. Эта идея была описана А. Беляевым в фантастической повести «Изобретения доктора Вагнера». В Германии СВЧ-излучатель используют для защиты помещений кондитерских, кафе, складов от насекомых.

В 1930-е годы изобретатель А. Требелев, конструкторы А. Баскин и А. Кириллов сделали сенсационное изобретение. Они создали проект «подземохода», область применения которого обещала быть просто фантастической (рис. 1.23). Например, подземная лодка доходит до нефтяного пласта и плывет от одного «озера» к другому, разрушая на своем пути горные перемычки. За собой она тянет нефтепровод и, достигнув, наконец, нефтяного «моря», начинает оттуда качать «черное золото».



Рис. 1.23. Подземоход Требелева

В качестве прототипа для своей конструкции инженеры взяли обычного земляного крота. Скорость движения крота под землей 70–120 м/ч. Несколько месяцев при помощи рентгена они изучали, как он проделывает подземные ходы, и создали свой аппарат «по образу и подобию» этого животного. Кое-что, конечно, пришлось переделать: лапы с когтями заменить более привычными фрезами – примерно такими же, как у угледобывающих комбайнов. Первые испытания лодки-крота прошли на Урале, в рудниках под горой Благодать. Скорость агрегата Требелева не превышала

12 м/ч, к тому же конструкция оказалась недостаточно надежной и дальнейшие разработки были признаны несвоевременными. Копирование механической работы крота оказалось затеей малоэффективной.

В 1948 году морской офицер М.И. Циферов получил авторское свидетельство СССР на изобретение подземной торпеды – аппарата, способного самостоятельно двигаться в толще земли со скоростью 1 м/с или 3 600 м/ч. Циферов предложил способ бурения с помощью скрытого взрыва. Им была сконструирована специальная головка бура, напоминающая гигантское сверло с режущими кромками. В пороховом отсеке располагался заряд, взрывающийся от электрического запала. В момент взрыва пороховые газы создавали в камере сгорания давление в 2–3 тыс. атмосфер! С огромной силой они вырывались из узких щелей головки (дюз), их реактивные потоки вращали бур, так как тангенциально направленные дюзы создают турбинный эффект. Как только отгорала одна шашка, из специального отсека подавалась новая. Радиоуправляемый механизм может перекрыть часть дюз и снаряд сворачивает в сторону. Он может сделать «петлю», в которую можно закачать воду и получить пар от горячих недр земли.

Когда запас взрывчатки кончался, взрывался последний заряд для самоэвакуации бура: бур вылетал вверх и попадал в пневмоловитель. В забой же отправлялся новый бур с полным зарядом. На большой глубине бур подвешивается на трос. Однако штанга или трос, на которых висит бур, при погружении более чем на 10–12 км могут оборваться, не выдержав собственного веса. Чтобы преодолеть это ограничение, Циферов предложил еще и подземную... ракету. Она была перевернута, чтобы выжигать и активно выталкивать грунт из проделываемой скважины.

Ракету можно использовать при исследовании внутреннего строения планеты, поиске полезных ископаемых, оконтуривании месторождений, в том числе и на шельфе. Подземными ракетами можно быстро проделать углубления для свай, опор ЛЭП или причальных мачт дирижаблей. Но изобретение «повисло» в межведомственных барьерах и только в 1968 году, в день, когда шла подготовка к запуску «Союза-6» Циферов запустил свою ракету в «антикосмос».

В том же году состоялось совещание у министра газовой промышленности, на котором обсуждался невиданный проект прокладки тоннелепроводов с помощью ракет Циферова. Их предполагалось выполнять в глиняных пластах на глубине 100–200 м, после чего пропускать по тоннелям газ, охлажденный до отрицательной температуры, который должен проморозить уплотненные стенки тоннеля. Если бы эта идея была претворена в жизнь, то отпала бы необходимость расходовать массу металла, уходящего на трубы нефтегазопроводов, тянущихся на тысячи километров.

Было получено 50 а.с. на изобретения, способ и устройство запатентовано в 10-ти странах, в том числе в США, Великобритании, Германии, Японии, Италии. Как только Комитет развития техники реактивного движения при ГКНТ признал нецелесообразным дальнейшее поддержание за-

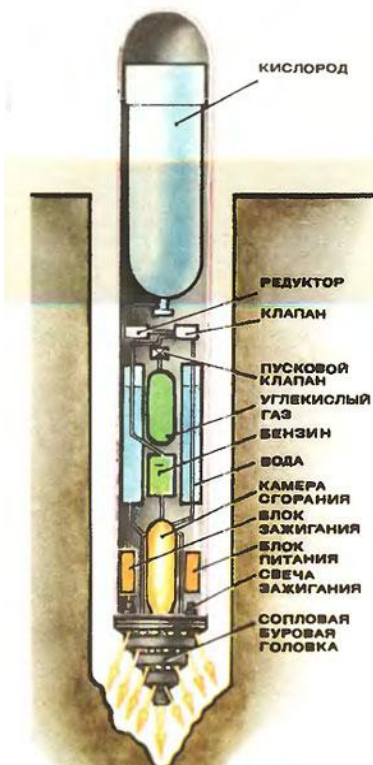


Рис. 1.24. Ракета Циферова

рубежных патентов, американская фирма «Флейм Джет партнерс» запустила копию циферовского бура в Калифорнии для разведки полезных ископаемых. (На каждого Циолковского есть свой Вернер фон Браун, пока Королев на нарах). Теперь Россия вместо миллионных доходов от продажи лицензий имеет лишь моральное удовлетворение. Первая публикация о подземной ракете была в 1966 году, но о Циферове вспомнили только после Чернобыльской аварии, когда необходимо было прямо с вертолета запустить несколько разведывательных ракет и взять пробы грунта на радиоактивность. Сын Циферова Владимир в мелиоративных целях запустил с вертолета целую серию подземных ракет.

Подземная ракета В.М. Циферова, работает на жидком топливе из смеси бензина, кислорода и... воды (рис. 1.24). Главные качества этого снаряда – простота в изготовлении и дешевизна в эксплуатации. В заводских условиях необходимо изготавливать только головку с соплами. Что же

касается корпуса, то его можно сделать из обычной трубы, причем редукторы, вентили и даже камера сгорания заимствуются от стандартных механизмов. Новая ракета способна за минуту «пробурить» десятиметровую скважину диаметром 500 мм. Сравнение с механической буровой установкой ЛБУ-50Г показывает, что реактивное буровое устройство обладает в 17 раз меньшим весом и требует почти в 3 раза меньшего расхода горючего и при этом отличается производительностью в 6–9 раз большей. Таков эффект перехода от механического «кротового» принципа действия к химическому реактивному, при этом управляемость бурения не ухудшается.

Примером перехода от механического поля к электрическому является разрядно-импульсная технология (РИТ) формования свай в грунте. Она заключается в том, что скважину, заполненную мелкозернистым бетоном или цементным раствором, обрабатывают серией высоковольтных электрических разрядов (рис. 1.25).

При этом возникает электрогидравлический эффект, в результате которого формируется тело сваи, цементируется и уплотняется окружающий грунт. Первоначальный диаметр скважины (130–300 мм) в результате обработки расчетной серией разрядов может быть увеличен более чем в два

раза. Динамическое воздействие за пределами зоны обработки незначительно и не оказывает негативного воздействия на усиливаемые конструкции и рядом стоящие здания.

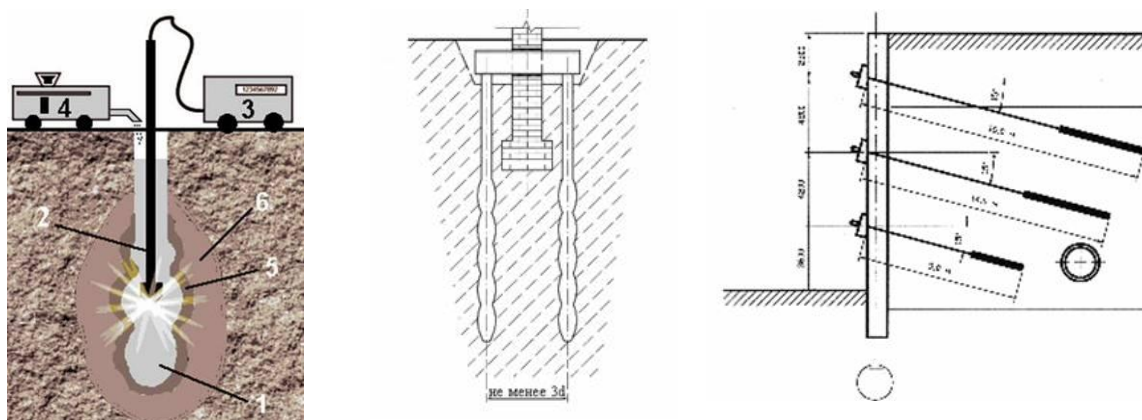


Рис. 1.25. Разрядно-импульсная технология устройства свай: а) способ; б) РИТ-сваи усиления; в) РИТ-анкера для крепления стенок выемки: 1 – ствол сваи после обработки; 2 – излучатель энергии; 3 – разрядная станция; 4 – растворонасос; 5 – зона цементации грунта; 6 – зона уплотнения грунта

Несущая способность этих свай в 2–3 раза выше, а стоимость 1 т несущей способности в 1,5–2 раза меньше, чем у буронабивных свай, изготовленных с использованием традиционных технологий.

На примере, устройства свай можно проследить всю цепочку применения энергетических полей (см. рис. 1.22). Падающий молот (гравитационный механизм) – механическое вдавливание при помощи полиспадов – пневматический или гидравлический молот – устройство свай методом замораживания – химическое закрепление грунта (химическая свая) – электрическая РИТ-технология устройства свай – электромагнитный молот (разгоняется в соленоиде) – электромагнитная свая, как свернутая би-система «свая-молот», пропитанная электролитом, которая сама разгоняется в соленоиде [10, с. 143]. На очереди применение для закрепления грунтов электроосмоса и других электромагнитных эффектов в сочетании с феррочастицами или магнитными жидкостями. Близкий пример – определение положения трещин в результате гидравлического разрыва пластов при нефтедобыче при помощи добавления феррочастиц в жидкость, используемую для гидроразрыва. Положение трещин определяют магнитной съемкой.

Подобным образом может быть решена задача определения диаметра свай, изготавливаемых по струйно-цементной технологии. Способ заключается в подаче струи цементного раствора под большим давлением в грунт для формирования грунтоцементной сваи. Если добавить в цементный раствор магнитные частицы, то диаметр можно установить магнитной

съемкой, а по изменению электросопротивления сваи – судить о наборе необходимой прочности.

Указанный прием может быть использован и для других способов закрепления грунта в зависимости от его вида. Для закрепления трещиноватых скальных, кавернозных, гравийно-галечниковых грунтов применяются: цементация, глинизация и битумизация; для песчаных и лессовых грунтов – силикатизация и смолизация; для водонасыщенных глинистых грунтов – методы электрохимического воздействия; для лессов – термическая обработка; для плывунов – электроплавление; для слабых грунтов – искусственное замораживание и др.

Еще один пример использования химической энергии взрыва описан в журнале «Техника-молодежи» №4 за 1991 год. При строительстве космодрома Байконур в 1955–1956 гг. местоположение старта из соображений маскировки было перенесено с возвышенности в низину. При этом геологию нового места строительства изучить не успели. Первым сюрпризом были ломовые глины на глубине 7 м – скрепер не берет, поэтому из 1,3 млн кубометров в теплое время сняли только 0,3. Но сроки первого старта никто не отменял. Внедрили линейно-уступчатый метод отрывки котлована, работали одновременно 15 экскаваторов и 250 самосвалов с выработкой 15–18 тыс. кубов в сутки, что позволило сократить сроки на 75 дней.

Второй сюрприз обнаружила геологическая скважина: с проектной глубины котлована 50 м под напором пошла вода, на отметке минус 37 м оказался водонапорный слой. Уменьшить высоту старта на 13 метров – значит ухудшить отвод газовой струи ракеты. Московские ученые предложили понижать уровень грунтовых вод иглофильтрами и насосами. Промышленность обещала поставить необходимое оборудование в течение года. Это значит – график работ насмарку! С бюрократической точки зрения положение строителей безопасное: сиди и жди, пока придумают вожди.

Один из руководителей стройки сидел в раздумьях у геоскважины, бросал камешки на мокрый песок и вдруг заметил – упадет камень – и на несколько минут песок вокруг него высыхает – вода отжимается. Решение найдено! На свой страх и риск пробурили шпур, заложили камуфлетные заряды по 150 кг в каждый шпур. Взрыв отбил воду на 10 суток, за это время успели снять грунт, заложить дренаж и забетонировать фундаментную плиту.

Далее приведены примеры перехода к более эффективным энергетическим полям в технологических процессах.

Способ получения торкрет-бетона, заключающийся в распылении и зарядке униполярным электричеством цемента и воды и подаче двух противоположенных заряженных потоков цемента и воды в реактивную камеру (а.с. 120753, 1959 г., использование электрического поля).

Сталефибробетон помимо возможности его разогрева электромагнитными полями путем индуцирования в фибре вихревых токов и перемагничивания (коэрцитивное трение) позволяет при изготовлении фибробетона ориентировать стальную фибру, например, по линии наибольших растягивающих напряжений (а.с. 647425, 718268, использование магнитного поля).

Щит опалубки по а.с. 883524 в виде гибкого матраца, заполненного ферромагнитным материалом, твердеющем в магнитном поле, с помощью того же поля щит опалубки можно сделать греющим. Если применить материал с точкой Кюри – температурой, при которой ферромагнетик становится парамагнетиком, можно исключить перегрев бетона.

Устройство для заделки каверн в бетонной трубе – тележка с эластичной чашей, наполненной бетонной смесью перемещается по трубе, останавливается напротив дефекта, и чаша поджимается сжатым воздухом (а.с. 1071863). Описанный способ, основанный на использовании малоэффективного механического поля, был усовершенствован в Венгрии.

Венгерский способ ремонта канализационных труб с использованием химического поля. Участок трубы, подлежащий ремонту, закупоривается с двух сторон и заполняется специальным раствором, который просачивается через трещины в грунт. Через 20–60 минут раствор отсасывают и заливают другой реактив, заставляющий первый раствор затвердеть. По стенкам трубы, в трещинах, в грунте создается водонепроницаемый слой.

Ржавчина занимает больший объем, чем железо примерно в 6 раз. Каменные блоки колокольни собора святого Павла в Лондоне (постройка 1675–1710 гг.) были скреплены железными скобами поверх рядов в желобках. Образовавшаяся за сотни лет ржавчина подняла ряды камней и колокольню перекосило. Сила ржавчины такова, что подняла бы стену высотой 2 250 м.

Можно ли использовать это свойство ржавчины? Купол над читальным залом Британского музея (постройка 1854–1858 гг.) держится ржавчиной. Чугунные детали его решетки скрепили замазкой из железных опилок с нашатырем. Смесью превратилась в ржавчину, затвердела и плотно заполнила щели между деталями.

В журнале «Техника и наука» №12 за 1986 год описан случай из строительной практики. Прораб дал задание за два дня сделать 500 отверстий в монолитном бетоне под проводку. Смекалистый рабочий закрепил в электродержателе для ручной сварки два сварочных электрода через асбестовые прокладки и, получив, таким образом, подобие кислородного копья для резки, только на основе не химического горения, а электрической дуги, успешно выполнил задание прораба.

Электроосмос – движение растворов в капиллярах под действием электрического поля используют:

- а) для обезвоживания пластичных бетонных смесей;

б) для уменьшения трения между бетонной смесью и прокатными валами или поверхностью скользящей опалубки (а.с. 308172);

в) для просушки отсыревших фундаментов и стен.

Дополнительные эффекты использования электроосмоса – растворенные в воде соли откладываются на поверхности, упрочняя материал. По сетке, которая служит катодом, после просушки наносят штукатурку, таким образом установку для осушения можно использовать многократно.

Использование акустических полей значительно облегчает поиск утечек газа или жидкости из трубопроводов, в том числе под землей. Методом акустической эмиссии можно не только определять качество материалов, но и следить за состоянием инструментов во время их работы. Метод издавнее применяли лесорубы: качество древесины определяли по звуку от удара обухом топора по стволу.

Закономерен переход от физических полей к биологическим принципам. Классический, но далекий от строительства пример – обнаружитель взрывчатых веществ (ВВ), основанный на обучении пчел. Их тонкое обоняние используется так: при запахе ВВ подается питание и пчелы высовывают хоботки. После некоторого обучения пчелы начинают реагировать на молекулы ВВ в воздухе, как «собаки Павлова». Это и регистрирует прибор, в котором закреплены пчелы.

В университете Девиса (США, Калифорния) использовали бактерию *Bacillus pasteurii*, которая в процессе своей жизнедеятельности приводит к концентрации кальцита CaCO_3 вокруг песчинок с последующим их цементированием. Вводя питательные вещества и кислород можно превратить сыпучий песчаный грунт в камень. Таким образом, создана биологическая технология стабилизации грунтов для спасения зданий и ландшафтов.

Вопросы для самостоятельной подготовки

1. Рассмотрите последовательное применение полей (см. рис. 1.22) в технологиях сноса зданий, санитарно-технических, кровельных, изоляционных работ.
2. Соберите информацию о применении энергоэффективных полей в приборах для строительного контроля (см. сайты поставщиков приборов: interpribor.ru, stroypribor.ru, priborcom.ru, condtrol.com).
3. Спрогнозируйте развитие технологии бетона с учетом линии применений энергетических полей.
4. Какие поля можно использовать в задаче снижения сил сцепления скользящей опалубки с бетоном?
5. Предложите области применения магнитных порошков и жидкостей в строительстве.
6. Проанализируйте возможности применения в строительстве энергии ветра, солнца, волн, приливов, тепловой энергии грунта и водоемов.

1.5. Закон увеличения степени динамичности

Закон динамизации технических систем: в процессе развития ТС происходит повышение ее динамичности и управляемости.

Пути увеличения динамичности систем:

- развитие рабочего органа ТС по линии динамизации тела и вещества (рис. 1.26);
- переход к системам со сменными элементами;
- переход к системам с изменяющимися элементами;
- переход от статической устойчивости к динамической устойчивости;
- переход от постоянного поля к импульсному и переменному.

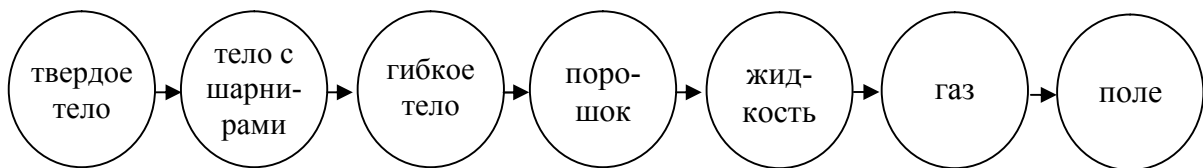


Рис. 1.26. Последовательность увеличения степени динамичности системы

Еще в 1987 году западногерманская фирма «Аккерман-Фрюауф» начала выпуск автомобильного прицепа, раскладывающегося в довольно большой дом. В сложенном виде конструкция выглядит как большой контейнер. Гидравлическая система за три минуты раскладывает контейнер в надежную постройку.

В первоначальной конструкции ленточных самоходных бетоноукладчиков не было шарниров. Затем ленточный транспортер сделали поворотным в плане, а не только по высоте. Следующим шагом динамизации стала поворотная башня. Введение шарниров повысило производительность машины.

Для увеличения производительности экскаватора при разработке твердых грунтов предложен ковш с вращающимися зубьями (а.с. 1054507). Для улучшения обзора машиниста экскаватора кабину расположили на стреле, несущей ковш (а.с. 1097763). Во Франции выпускается кран с передвигающейся вверх-вниз кабиной для облегчения работы крановщика.

Разработана динамичная стрела крана, похожая на трубку противогоза с дисками и эластичным кожухом. Диски пронизаны стальными канатами с системой гидропривода, что позволяет стреле изгибаться, словно лебединая шея. Это позволяет выполнять монтаж «за углом» или «через окно».

В телескопической стреле автокрана было разрешено противоречие: стрела должна быть длинной, чтобы обеспечить большой вылет при монтаже; стрела должна быть короткой, чтобы не мешать движению автокрана.

Еще одно противоречие: площадь опоры крана должна быть большой, чтобы обеспечить устойчивость; площадь опоры крана должна быть ма-

лой, чтобы обеспечить транспортные габариты – решается устройством выдвижных опор (аутригеров).

А как можно разрешить еще одно противоречие? Противовес крана должен быть тяжелый, чтобы увеличить грузоподъемность; противовес должен быть легкий, чтобы уменьшить вес крана, облегчить его перевозку и передвижение. Одно из решений показано на рис. 1.27. Другое решение связано с «изготовлением» противовеса на месте из блоков, щебня, металлических гранул и пр. Возможен вариант грунтового анкера или жесткого крепления крана к фундаменту.

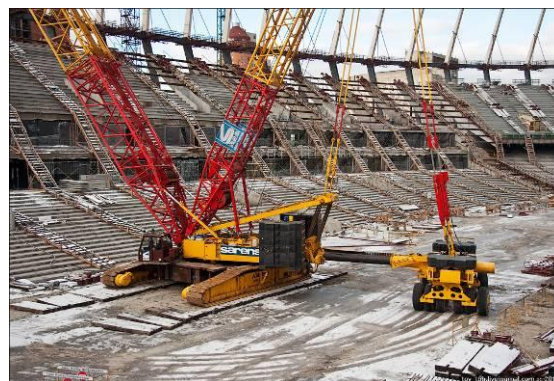
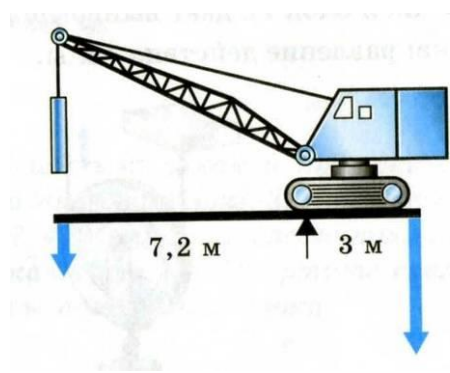


Рис. 1.27. Задача противовеса крана

Шарниры часто используют для монтажа строительных конструкций. По а.с. 11126678 предложена шарнирная конструкция и способ ее одновременного подъема путем вытягивания в сторону за край конструкции (рис. 1.28 а). Подобный способ монтажа показан в голливудском фильме, где римские воины, потянув за канаты, подняли с уровня земли деревянный каркас защитных стен лагеря (как известно, каждый лагерь римских легионов представлял собой крепость).

Вспомогательные надуваемые «подушки» могут применяться для подъема-раскрытия шарнирных конструкций типа тетраэдра (рис. 1.28 б). Последовательное раскрытие структуры из тетраэдров позволяет построить высотное сооружение без помощи крана.

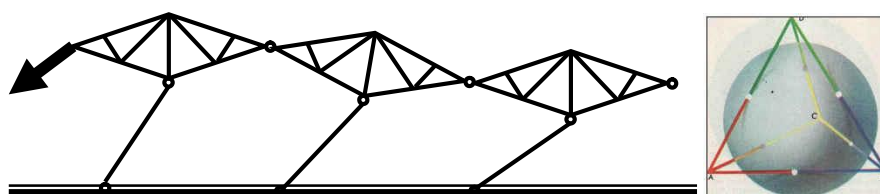


Рис. 1.28. Способы одновременного подъема шарнирной конструкции:
а – «римский» способ; б – способ подъема-раскрытия шарнирного тетраэдра

Способы монтажа мачтовых, башенных и арочных сооружений также основаны на применении шарниров (рис. 1.29, 1.30). Различают несколько

способов монтажа: поворот вокруг неподвижного шарнира; поворот вокруг подвижного шарнира; поворот вокруг нескольких шарниров; метод «падающей стрелы».

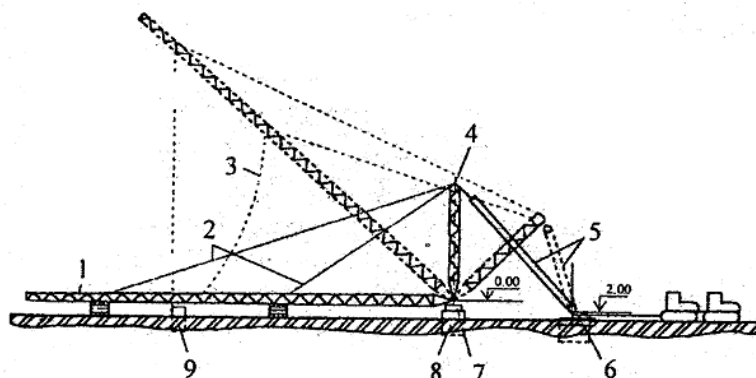


Рис. 1.29. Монтаж мачты методом падающей стрелы: 1 – мачта; 2 – подъемные тросы; 3 – оттяжки; 4 – «падающая стрела»; 5 – подъемный полиспаст; 6 – якорь; 7 – шарнирная опора; 8 – фундамент мачты; 9 – временная опора анкера

Методом поворота были смонтированы несущие рамы дворца спорта «Юность» в Челябинске. Таким способом удобно строить трибуны стадионов, а не городить «частокол», поддерживающий ступени опалубки. Альтернативой методу надвигки пролета моста служит метод поворота пролета вокруг неподвижного шарнира. Таким образом возможно строительство моста рядом с дорогой без затруднений движения по ней.

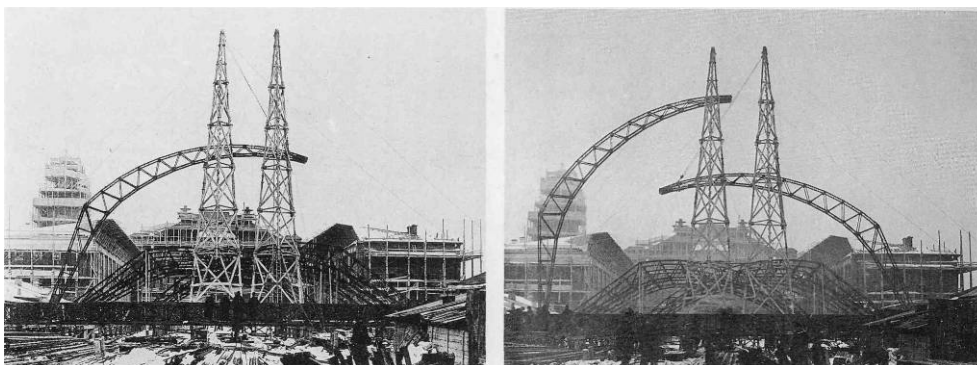


Рис. 1.30. Монтаж арок дебаркадера Киевского вокзала в Москве методом поворота вокруг неподвижного шарнира, 1915 г.

Много запатентованных решений связаны с динамизацией конструкций жилища: дом на колесах; дом, складывающийся в гармошку (а.с. 1026056); дом с подвижными перегородками, стенами, крышей. Примером служит проект реконструкции летнего театра в Ялте с веерной раздвижной крышей из шести лепестков. Шарнирные стеновые ограждения в виде раскладывающихся мехов гармони, укрупненные в секции длиной более 10 м, используют при быстром монтаже стен зданий теплоэлектростанций.

В настольной игре «пятнашки» за счет одного свободного поля возможно расставить все 15 фишек в любом месте квадрата 4×4. На этом принципе может существовать здание с подвижными комнатами, как в плане, так и по высоте. Для чего это нужно? Жилые комнаты могут быть передвинуты летом ближе к наружным стенам, а зимой внутрь здания. Парковка для автомобилей может обойтись без проездов, которые «съедают» пространство. Современные автоматические парковки в Японии выполнены по принципу объемных «пятнашек» и занимают минимум места в городе.

Гибкие конструкции из ткани и полимеров были описаны выше. Следующим шагом развития таких конструкций могут быть водо- или газонаполненные строительные элементы. Можно представить себе купол или стены в виде аквариума, а также парящие конструкции, наполненные газом легче воздуха. Продолжение линии динамизации предполагает смену цвета, прозрачности или фазового состояния вещества, заполняющего гибкие элементы. Надуваемые крыши могут сбрасывать снег и сосульки, изменять свою геометрию, подстраиваясь под осадки и ветровую нагрузку. Гибкие пластиковые трубы, пленочные электронагреватели, гибкие солнечные батареи и коллекторы уже готовы к применению и ждут своих архитекторов «гибких конструкций».

Изобретена краска, меняющая свой цвет в зависимости от температуры и влажности. Зимой дом будет оранжевого теплого цвета, а летом – голубоватого прохладного.

В Дубае запроектировано 80-этажное здание Dynamic Tower – первое здание в мире, способное изменять свой внешний вид. Здание будет вращать свои этажи на 360 градусов вокруг одной массивной и неподвижной колонны с помощью 79-ти энергетических ветровых турбин, расположенных на каждом этаже (рис. 1.31).



Рис. 1.31. Динамичное здание Dynamic Tower

Системным эффектом³ такого здания является возможность динамического согласования его аэродинамических свойств с параметрами ветрового потока, что может быть использовано для снижения ветровых нагрузок или сознательного управления ветровым потоком, например, с целью аэрации улиц в условиях городского смога.

Вопросы для самостоятельной подготовки

1. Попробуйте динамизировать части здания: фундамент, стены, окна, перекрытия, крышу, инженерные системы.
2. В США часто возникает задача перевозки индивидуального жилого дома на новое место. Каким должен быть дом, приспособленный к таким перевозкам?
3. Предложите шарнирную конструкцию, дающую преимущества при ее транспортировании, монтаже, сносе.
4. Сформулируйте технические противоречия для бульдозера. Как их можно разрешить, используя прием динамизации?
5. Возможно ли создание универсальной строительной машины со сменными рабочими органами?
6. В книге «Путешествие Гулливера» описан летающий город, который мог загораживать солнце в бунтующих поселениях. Придумайте гуманные назначения передвижных или плавающих городов.

1.6. Закон перехода в надсистему

Закон перехода в надсистему: исчерпав возможности развития, ТС включается в надсистему в качестве одной из ее частей; при этом дальнейшее развитие идет на уровне надсистемы. При переходе в надсистему исходная система сохраняется как часть в структуре системы более высокого ранга.

Один из механизмов усложнения системы с повышением идеальности и с дальнейшим переходом в надсистему – линия развития системы «моно-би-поли-моно» (рис. 1.32).

В 1932 году инженеры Н.В. Никитин и Ю.В. Кондратюк разработали проект ветроэлектростанции в Крыму на вершине горы Ай-Петри (высота 1 324 м над уровнем моря, среднегодовая скорость ветра – 89 м/сек). На вращающейся башне высотой 165 м предусматривалось установить два ветродвигателя диаметром 100 м. Проект победил на конкурсе за счет перехода к бисистеме из двух ветрогенераторов на одной башне с повышением мощности ВЭС в два раза.

³ Системный эффект – непропорционально большое усиление свойств элементов при объединении в систему. Например, устойчивость катамарана больше устойчивости двух лодок (математически это можно выразить так: $1 + 1 > 2$). Системное качество – появление нового свойства у системы. Системный эффект появляется в результате соединения функции, структуры и организации. Под организацией понимается алгоритм совместного функционирования элементов системы во времени и в пространстве.

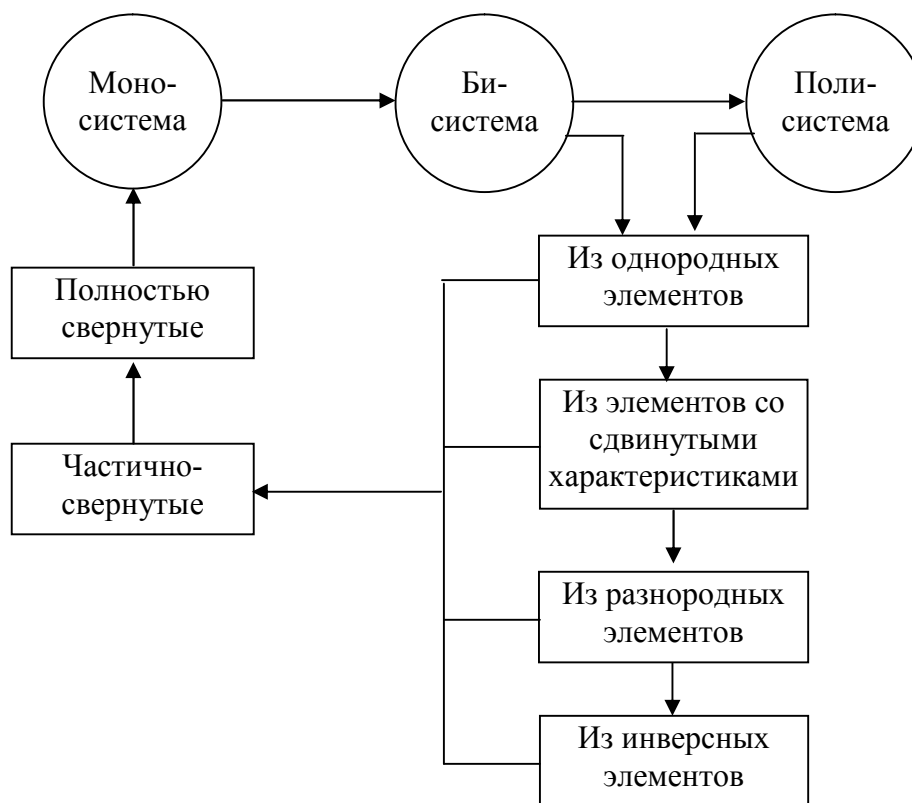


Рис. 1.32. Линия развития «моно-би-поли»

Прочность сварных соединений можно повысить, погружая в сварочную ванну прутки присадочного металла. Прутки, подобно стальной арматуре в железобетоне, упрочняют сварной шов (а.с.12896339, бисистема со сдвинутыми характеристиками).

Датская фирма «Портланд-цемент» предложила большие зубчатые колеса из бетона. Только самый верхний слой зубьев сделан из металла (ТиН №7, 1984), получилась бисистема со сдвинутыми характеристиками. Кроме экономии металла повышается общая коррозионная стойкость шестерен.

В Швеции создали новый изоляционный материал для среднего листа тройных окон. Он снижает потери тепла на две трети. Речь идет о так называемом алькогеле, который образуют смесь малых крупинок кварца и метанола. После перемешивания, выдерживания и плавления в автоклаве получают прозрачный лист легче пробки. Обычное стекло он заменить не может из-за своей хрупкости и малой прочности (ИиР №8, 1984, полисистема со сдвинутыми характеристиками).

В стендовой технологии изготовления плит перекрытий формы укладываются пакетом с установкой электронагревателей между ними. Тонкостенные конструкции образуют в пакете массив, в котором интенсивно протекает процесс экзотермии цемента (полисистема из однородных элементов).

В технологии строительства методом подъема перекрытий или этажей пакет плит перекрытий, последовательно изготавливаемый на уровне земли, воспринимает неограниченные нагрузки от грузоподъемных и транспортных механизмов, что позволяет монтировать элементы этажа при помощи тяжелых автопогрузчиков или кранов. Возникает и дополнительный эффект (сверхэффект), позволяющий дополнительно уплотнить грунтовое основание здания при подъеме и опускании пакета плит, тем самым исключив осадки основания (полисистема из однородных элементов).

Термоактивное подвижное покрытие для прогрева свежешелюженных протяженных бетонных конструкций (а.с. 1076420) в виде шарнирно-соединенных секций. По а.с. 831764 геометрическая форма токопроводящей шины позволяет осуществлять прогрев бетона по различным режимам (полисистема из однородных элементов).

Жесткий многоугольник по а.с. 742372, объединяющий стрелы кранов для синхронизации подъема при групповом использовании кранов (полисистема из однородных элементов).

В Польше построена многоканальная дымовая труба для ТЭС «Белхатув» в виде пачки из шести стальных труб, охваченных железобетонным футляром. Высота сооружения 300 м, диаметр 25 м; внутри расположен лифт для обслуживания и ремонта (полисистема из однородных элементов).

Патент №66807 Румынии совместил вместе дымовую трубу и водонапорную башню, экономя площадь и средства. Получен сверхэффект – вода подогревается дымом, так что отпала необходимость в бойлере (бисистема из разнородных элементов).

Установка для непрерывного разделения бетонной смеси на исходные сырьевые материалы Японской фирмы «Дайрикон Энджиниринг» при объединении с БРУ образует инверсную бисистему: изготовление и утилизация бетонной смеси.

Так называемая инверсная эксплуатируемая кровля с перевернутыми слоями: сначала гидроизоляция, затем утеплитель и пригруз в виде тротуарной плитки или газона – позволяет размещать на кровле кафе, автостоянки, детские и спортивные площадки и т.д. Сверхэффект такого решения заключается в защите кровельной мембраны от механических повреждений, температурных и атмосферных воздействий. Причем функцию защиты выполняет теплоизоляция, повышая, таким образом, степень идеальности конструкции.

Моно-би-поли переходы мы можем наблюдать в древних постройках: отдельно стоящий камень «менгир» – это моносистема, П-образное построение из двух опор «дольмен» – это бисистема, объединение П-образных построений «кромлех» – это полисистема. Самый знаменитый кромлех – Стоунхендж в Британии (около 2000 лет до н.э., вес камней 25–

50 тонн) – совмещает в себе все три типа древних мегалитических построек (рис. 1.33).

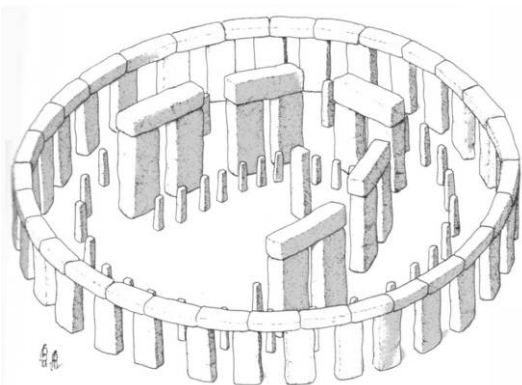


Рис. 1.33. Стоунхендж

Поскольку законы развития ТС рекуррентны, то есть взаимно проникаемы, переход зданий по линии «моно-би-поли» сопровождается увеличением степени их идеальности, например, появлением системного эффекта в виде новых функций. Составим морфологический ящик возможных дополнительных функций зданий. При этом следует рассматривать здания на уровне подсистем, систем и надсистем. Сама ТС «здания» включает в

себя стандартно несущую оболочку (каркас), инженерные системы и дополнительную «начинку», состав которой зависит от назначения здания.

В подсистеме здания выделяют основание, фундаменты, несущие конструкции, ограждающие конструкции, инженерные системы, архитектурные элементы, оборудования согласно назначению здания. В надсистеме здания, под которой понимается город, имеются здания и сооружения, энергетическая система, транспортная инфраструктура, информационная система, система многофункционального обслуживания населения, остатки биосферы (скверы, парки, реки) и, наконец, само население. Соответственно основные функции города могут быть сведены к следующим: защита, энергоснабжение, транспортирование, информирование, обслуживание, сохранение остатков биосферы. Отдельно может быть рассмотрена эстетическая функция города, хотя для отдельного человека важнее эстетика здания или группы зданий, или микрорайона. С учетом вышеизложенного составим морфологическую таблицу возможных путей повышения идеальности зданий (табл. 1.8).

Таблица 1.8

Функции города	Системные переходы объекта «здание»							
	Здание	Би-, поли-здание	Мега-здание	Город	Мега-город	Планта	Кольцо Нивена	Сфера Дайсона
Защита	+	+	+	+	+	+	++	+++
Энергия	–	–	+	+	+	+	++	+++
Транспорт	–	+	+	+	+	+	+	+
Информация	+	+	+	+	+	+	+	+
Обслуживание	+	+	+	+	+	+	+	+
Биосфера	–	–	+	+	–	–	+	++
Эстетика	+	+	+	+	+	+	+	+

Примечание: сфера Дайсона – гипотетический астроинженерный проект Ф. Дайсона, в виде тонкой сферической оболочки большого радиуса со звездой в центре. Предполагается, что развитая цивилизация может применять подобное сооружение для максимального использования энергии центральной звезды и для решения проблемы жизненного пространства. Кольцо Нивена – узкая модификация сферы Дайсона в виде рукотворного кольца. В связи с недавними событиями (Челябинский метеор) заметим, что сфера Дайсона обеспечивает защиту планеты от астероидной опасности.

Согласно таблице современным зданиям не хватает функций энергообеспечения, транспортирования, озеленения. Современные здания, построенные в XXI веке, постепенно обретают эти функции. Все более широкое применение находят стандарты «зеленого строительства», например, СТО НОСТРОЙ 2.35.4–2011 «Зеленое строительство. Здания жилые и общественные. Рейтинговая система оценки устойчивости среды обитания».

Появляются энергоактивные здания, использующие солнечную радиацию, энергию ветра, осадки. Излишки энергии владельцы здания могут продавать в городскую сеть. Современные строения активно реагируют на землетрясения, наводнения, ураганы. Например, предложен дом на понтоне и раздвижных сваях, всплывающий при наводнениях.

Повышению идеальности зданий способствует придание им дополнительных транспортных, эвакуационных функций (что особенно важно для высотных и протяженных зданий). Возможность этого появляется при переходе к би- и полисистемам. Например, 88-этажные башни «Петронас» в Малайзии (1996) соединены переходом на уровне 42-го этажа (рис. 1.34 *а*). «Небесный мост» совмещает несколько функций: дополнительный путь эвакуации при пожаре, транспортный переход, смотровая площадка, элемент силовой конструкции.



Рис. 1.34. Башни «Петронас» (*а*), отель Marina Bay Sands (*б*) с бассейном-аттракционом на крыше (*в*)

Переход к полисистеме из трех 60-этажных зданий отеля Marina Bay Sands (Сингапур, 2010), соединенных между собой платформой в виде гондолы под названием Skypark (Небесный парк) позволил решить сразу

несколько задач (рис. 1.34 б). Бассейн и парк, расположенные на высоте 200 метров с видом на Сингапур, отлично выполняют коммерческие функции (вход в отель стоит 100 долл.). «Небесный парк» совмещает противопожарные, транспортные, конструкционные, эстетические функции. Большой противопожарный запас воды не простаивает зря, а приносит доход как бассейн, смотровая площадка и, своего рода, аттракцион (рис. 1.34 в).

Проектирование зданий как части надсистемы города позволило бы облегчить решение транспортной проблемы. Здания можно использовать как опоры для создания системы эстакад для наземного транспорта, например, для струнного городского транспорта А. Юницкого (рис. 1.35 а, б), или объединение подземных парковок под зданиями в транспортную систему, разгружающую городские улицы от транспорта (рис. 1.35 в).

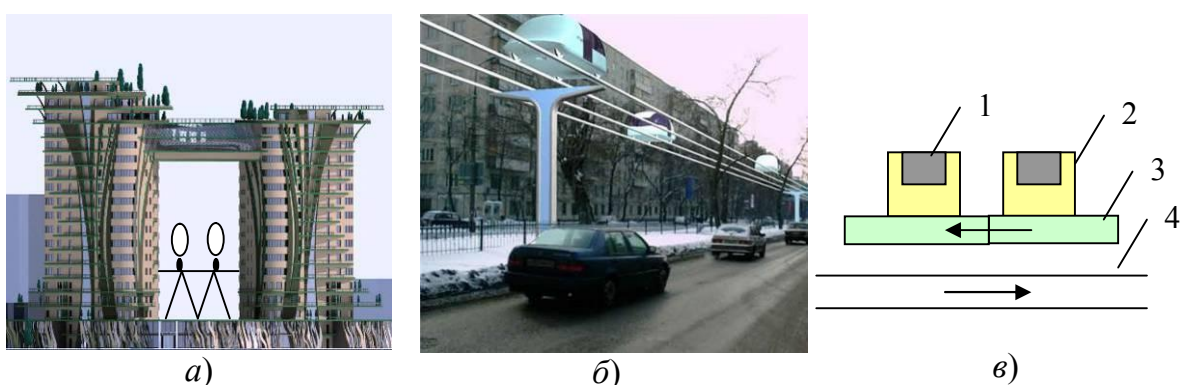


Рис. 1.35. Эстакады для струнной транспортной системы (а, б); объединение подземных парковок туннелями для транспорта (в), вид в плане: 1 – здание; 2 – подземная парковка; 3 – туннель подземного транспорта; 4 – улица

Надсистемный эффект может быть получен при ориентации криволинейных зданий-зеркал вокруг приемника солнечной энергии. Энергоэффективные здания, использующие ресурсы надсистемы, позволяют в 10 раз снизить энергопотребление на отопление за счет оптимальной формы, усиленной теплоизоляции, специальных окон, использования солнечной энергии и рекуперации тепла в системе вентиляции (рис. 1.36).

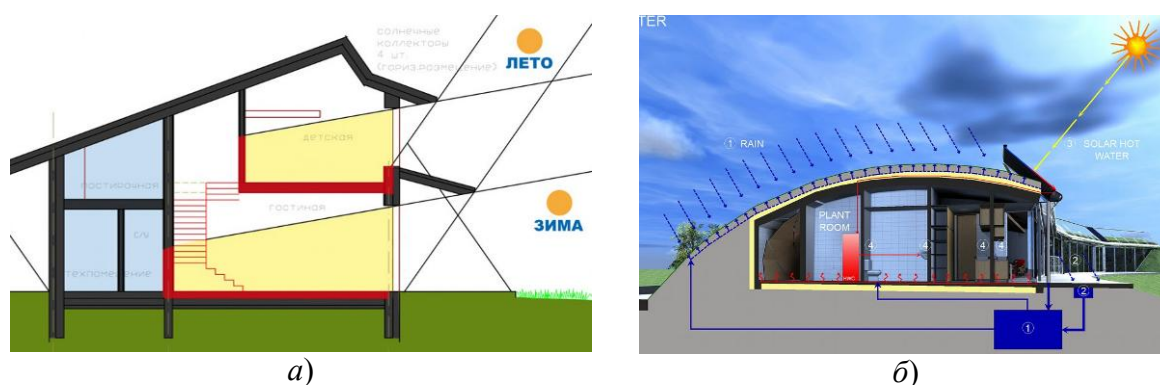


Рис. 1.36. Энергоэффективные здания с использованием солнечной энергии (а, б) и атмосферных осадков (б)

Сбор дождевой воды, применение тепловых насосов и бережливых бытовых технологий позволяет создать «умный дом», не требующий больших затрат на эксплуатацию.

Здание целиком может выполнять информационные функции. Футбольный стадион «Альянс Арена» в Мюнхене (2005), фасад которого состоит из подвеченных ЭТФЭ-подушек на общей площади 66 000 м², по цвету фасада извещает своих болельщиков, какая команда играет (это можно определить за 75 км).

Транспортные задачи решает проект плавающего города-корабля, своеобразный «Ноев ковчег» XXI века (рис. 1.37). Его поселенцами могут быть туристы, ученые-океанологи, рыбаки. Пробразами таких городов будущего являются стационарные морские платформы для добычи полезных ископаемых на шельфе.

В Японии компанией «Тасаи Корпорейшн» разработан проект мегаздания X-Seed 4000 (рис. 1.37).



Рис. 1.37. Плавающий город «Водяная лилия» на 50 тыс. жителей

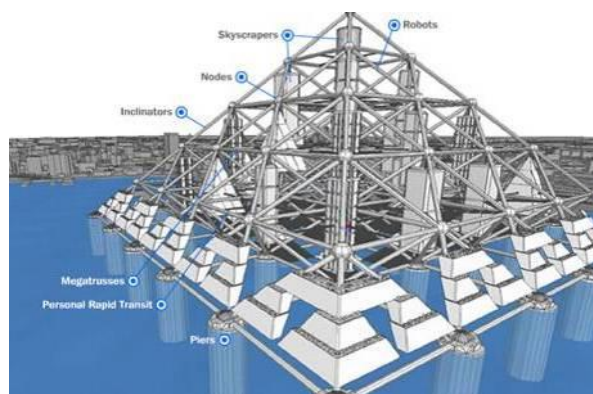


Рис. 1.38. Проект японской башни X-Seed 4000 высотой 4000 м

Переход к полисистеме позволяет решить ряд важных проблем, связанных с освоением шельфа, общественным транспортом, защитой от стихий. Гиперструктура в виде пирамиды обеспечивает транспортные потоки от каждого узла в 3–8 направлениях, обеспечивая устойчивость при землетрясениях, ураганах и цунами.

Сооружение высотой в 800 этажей и 4000 м может вместить до одного миллиона жителей. Благодаря 600-метровому фундаменту конструкция сможет размещаться прямо над морем. Предусматривается использование солнечной энергии для энергообеспечения и поддержания микроклимата в зданиях, которые подвешены к мегакаркасу. Помимо тысяч квартир и офисов в X-Seed 4000 будут развлекательные центры, парки и леса. Предполагаемая стоимость постройки – 600–900 миллиардов долларов в ценах 2006 года.

Примечательно, что еще в 1966–1967 годах главный конструктор Останкинской телебашни Н.В. Никитин совместно с В.И. Травушем по заказу японской компании разработал проект стальной сетчатой башни-оболочки высотой 4 километра в Токио.

Проект X-Seed 4000 попадает под определение аркологии. Аркология (слово-гибрид из двух слов: архитектура и экология) – архитектурная концепция, учитывающая экологические факторы при проектировании среды обитания человека. Основные принципы аркологии развиты итало-американским архитектором Паоло Солери. В более узком смысле под аркологией понимают идею о том, что путём строительства больших, самодостаточных, хорошо спланированных, многоуровневых конструкций (гиперструктур), вмещающих в себе население целого города, можно уменьшить негативное воздействие поселений на окружающую среду. Гиперструктуры называются также аркологиями (рис. 1.39).

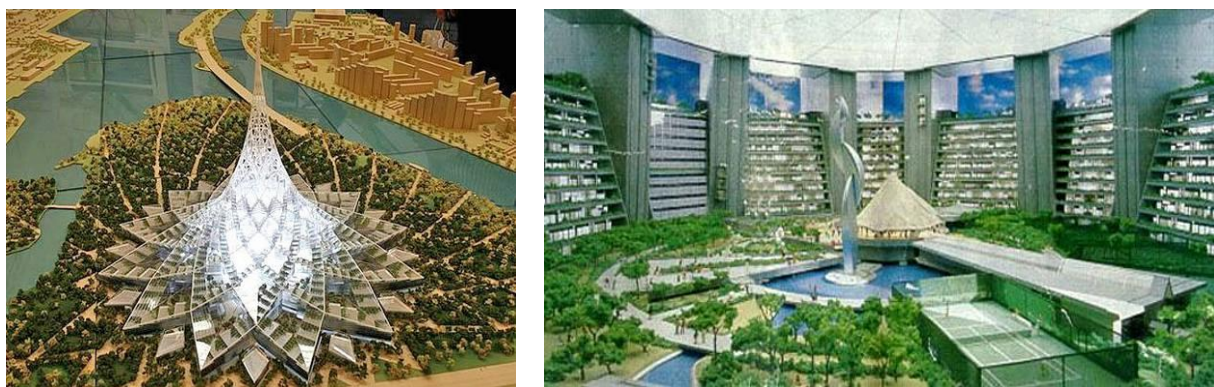


Рис. 1.39. Примеры аркологий

Аркология может выполнять защитные функции на новом уровне. При этом защищенными оказываются не только помещения зданий, но и территории общего пользования, или даже пространство всего города (см. купол над Хьюстоном). Даже северные города смогут радовать своих жителей садами и парками с теплолюбивыми растениями, причем круглый год.

Аркологии имеют и нежелательные эффекты (факторы расплаты): дороговизна строительства; резкое возрастание рисков при катастрофах; в них рискованно размещать энергостанции и опасные производства; большая нагрузка на окружающую среду; отказ от естественной биосферы. Среди положительных эффектов аркологий отметим: удобство жизнеобеспечения; решение транспортных проблем; концентрация поселения при недостатке места; снижение потребностей, например, в автомобилях и теплой одежде; создание искусственных биосферных объектов (парки, пруды и пр.).

Среди двух альтернатив: или бесприродный технический мир или природно-технический мир – автор отдает предпочтение второму пути в виде

малоэтажной ландшафтно-усадебной урбанизации, которая является для нашей большой страны естественным путем развития (на каждого жителя РФ приходится около 12 га земли).

Вопросы для самостоятельной подготовки

1. Примените «моно-би-поли» переход в технологии монтажных работ (пакетный монтаж, монтаж спаренных конструкций, монтаж двумя кранами и пр.).
2. Сформулируйте новые требования надсистемы города к городским зданиям и сооружениям. Предложите новые функции, которые могут выполнять здания и сооружения в «умном городе».
3. Какие дополнительные функции могут появиться у зданий и сооружений, объединенных в би- и полисистемы?
4. Каким образом городские здания могли бы помочь в решении транспортных проблем больших городов?
5. Перечислите аргументы «за» и «против» аркологий. В чем состоит концепция ландшафтно-усадебной урбанизации России?

1.7. Закон перехода на микроуровень

Развитие рабочих органов идет сначала на макро-, а затем на микроуровне. Иными словами, вместо колес, валов, шестеренок должны работать молекулы, атомы, ионы, которые легко управляются полями с помощью физико-химических эффектов.

Возможны три направления (три линии) перехода с макро- на микроуровень:

увеличение степени дробления вещества;

увеличение степени дробления вещества с пустотой (переход к КПМ – капиллярно-пористым материалам);

замена вещественной части системы на полевую (переход к действию «вещество плюс поле» или только к полю).

Линия увеличения степени дробления вещества показана на рис. 1.40.

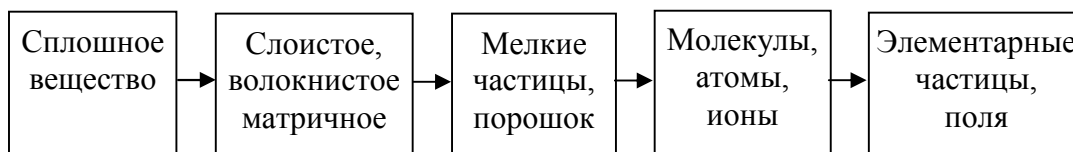


Рис. 1.40. Линия увеличения степени дробления вещества

По линии дробления вещества в области строительства прослеживается глобальный тренд, подчиняющийся также законам динамизации и увеличения идеальности: пещера → дом в скале → каменные блоки → кирпичи → бетон → пластик → пена → воздушный купол → воздушная завеса → силовое поле. Причем в рамках каждого этапа происходит вложенная эволюция по линиям дробления, введения пустоты и управляемых полей.

Стеновые каменные материалы, бетоны и пластики становятся все более пустотными, в капилляры вводятся вещества, управляемые полями. При этом противоречие легкости и прочности устраняется переходом к би- и полисистемам (армированные и слоистые элементы), к надсистемам (разделение свойств несущего каркаса и ограждений) или на микроуровень (пленочные конструкции с подпором воздуха). Идеальное вещество для защитных функций, давно исследованное фантастами, – это силовое поле.

Интересно, что условие индустриализации строительства требует укрупнения конструкций и повышения их заводской готовности по линии: кирпичи → виброкирпичные панели → бетонные блоки → железобетонные панели → блоки на комнату → блоки покрытия (две фермы с покрытием) → строительно-технологические блоки (мобильные котельные) → целые сооружения. Но противоречия здесь нет: микроуровневая технология строительных материалов напрямую не связана с монтажом крупными блоками, цель которого состоит в снижении трудоемкости и сокращении сроков работ.

Бетон – это, по сути, микроуровневая технология, основанная на теории искусственных конгломератов с максимально плотной «упаковкой» заполнителей и обеспечением больших сил сцепления их вяжущим. Применение в бетоне минеральных наполнителей: золы ТЭЦ, молотого песка, диатомиита – увеличивает прочность бетона в 1,5–2 раза. Чем выше удельная поверхность минерального наполнителя, тем он эффективнее повышает гидравлическую активность и образует центры кристаллизации в контактной зоне цемента, позволяя снизить его расход (БиЖБ 5/1987).

Введение пустот, пор, пены позволяет экономить материал и получать новые свойства. Пена – это хороший и дешевый изолятор. Полиуретановая пена в строительстве используется для герметизации швов, утепления конструкций, заделки трещин, снижения шума (например, при заполнении металлических ванн водой). Применяется как звукоизолирующий наполнитель корпуса вибратора (а.с. 188228). Кроме того, пена – отличный улавливатель пыли, гаситель звуковых колебаний, пламени.

Предложено моделирование оболочек, куполов, резервуаров при помощи пены и мыльных пузырей (а.с.464907).

Из псевдопены получена легкая и прочная конструкция, состоящая из множества шариков, заключенных в тонкую оболочку (а.с.134988). Какой следующий шаг развития этой конструкции по ЗРТС?

Из пеностекла (сипора) получается хороший утеплитель плотностью 50–200 кг/м³. Теплопроводность пеностекла 0,065 Вт/м²·К, материал не гниет, имеет низкую гигроскопичность, хорошо обрабатывается и клеится. Шарики и щебень из пеностекла можно использовать для изготовления легкого бетона.

Пена может применяться для гашения кинетической энергии. Грунтовая полоса безопасности аэродрома, на которую может выскочить самолет, замерзает зимой и пересыхает летом. Для остановки самолета предложена синтетическая пена на основе карбоновых кислот. Самолет на скорости 100 км в час останавливается через 50–60 м. Сверхэффект изобретения – при проливе топлива пена его впитывает, обугливается, но не горит (ИиР №1, 1984).

Эволюция греющей опалубки происходила в направлении дробления нагревателей с целью повышения равномерности температуры на палубе опалубки: от стержневых нагревателей (ТЭНов), к греющему кабелю, проводам, пластинам и к сплошному греющему покрытию (рис. 1.41).

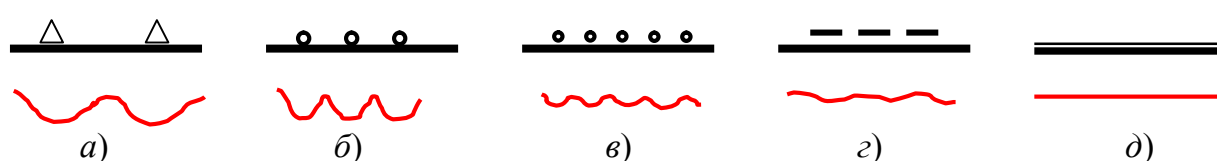


Рис. 1.41. Развитие конструкции греющей опалубки и графики температуры на палубе: а) стержневые нагреватели; б) греющий кабель; в) провода; г) пластины; д) греющее покрытие

На пористый заполнитель бетонной смеси наносят токопроводящий слой толщиной 0,10–0,15 мм, укладывают смесь и осуществляют электропрогрев. Повышается равномерность прогрева, из заполнителя выделяется вода и воздух, что увеличивает пористость и теплосоппротивление бетона и позволяет снизить водоцементное отношение. Нагрев осуществляется быстрее, так как в обычных условиях температура заполнителя на 5–10 °С отстает от температуры растворной части.

Микроуровневое уплотнения бетонной смеси осуществляется при добавке бисерного полистирола. Форму закрывают крышкой, которая служит ограничителем объемного увеличения смеси. При вспучивании бисерного полистирола при пропарке происходит уплотнение смеси на микроуровне (а.с. 1650642).

Функцию крепления могут выполнять болты (уровень 1), застежки типа «репейник» (уровень 2), ферропорошок в магнитном поле (уровень 3), сварка и пайка, химический клей (уровень 4), когезионные молекулярные силы сцепления (уровень 5), магнитное поле (уровень 6).

Настоящий переворот в технике и технологии может произвести нанотехнология Эрика К. Дрекслера, описанная в журнале «Техника – молодежи» №12 за 1989 год. Нанотехнология основывается на идее студента Массачусетского технологического института о переводе технических систем с макро- на микроуровень и его работах с конца 70-х годов в Стэндфордском университете по созданию молекулярных машин (рис. 1.42).

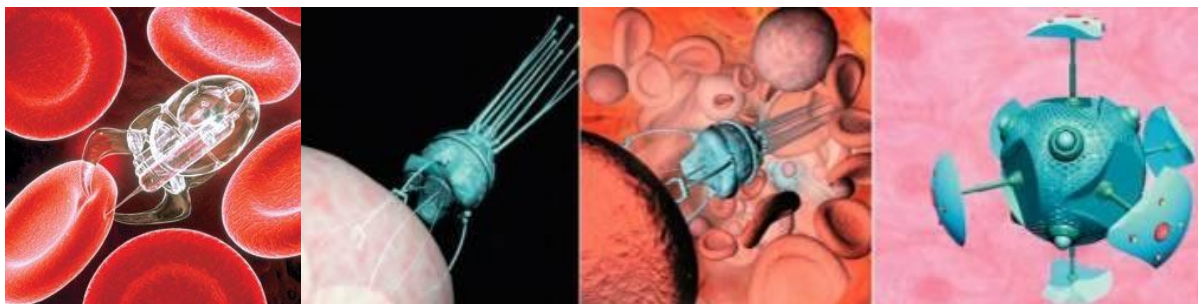


Рис. 1.42. Молекулярные наномшины Дрекслера

Нанотехника состоит из ассемблера, репликатора и нанокomпьютера. Ассемблер, то есть сборщик, должен уметь из любых атомов или молекул строить технические системы любого назначения – двигатели, станки, вычислительные устройства, средства связи и т.д. Это будет универсальный молекулярный робот с программой управления на «перфолентах» в виде цепочек РНК или ДНК. Процесс смены программы ассемблера напоминает заражением клетки вирусом. Ассемблер состоит из 10 тысяч узлов, каждый из которых составлен примерно из 100 атомов, итого около 1 млн атомов (по размеру примерно 1/30 бактерии). Внешне сборщик похож на ящик с рукой – манипулятором длиной в сотню атомов. Сам манипулятор прост, но он может оперировать сменными инструментами любой сложности. Инструменты сборщика – это молекулы с реакционными центрами, способными связывать молекулы. Внутри сборщика размещены устройства для движения манипулятора, замены инструментов в его захвате, система управления.

Как рибосомы в клетках сборщики будут работать в растворе молекул-заготовок и «топлива» – молекул с большим запасом химической энергии. У быстрых ферментов скорость обработки равна миллиону частиц в секунду. То же будет и у сборщика. «Рука» его примерно в 50 млн раз короче руки человека. Если сохранять эквивалент инерционных нагрузок, она сможет двигаться во столько же раз быстрее.

В наноинженерии очень опасны хаотические тепловые колебания атомов и молекул, поэтому нужен толстый манипулятор – конус 30 нанометров в диаметре и 100 нм в длину – из атомов углерода по типу алмазной решетки. При этом тепловые деформации манипулятора составят около половины диаметра атома.

Как управлять наносборщиком? По радио или с помощью света, используя различные фотофизические и фотохимические эффекты. К тому же свет может являться источником энергии.

Репликатор – это копировщик, самовоспроизводящее наноустройство. Пусть он в тысячу раз сложнее сборщика и состоит примерно из 1 млрд атомов. При скорости работы 1 млн атомов в секунду он собирает свою

копию за тысячу секунд (примерно за это время делится клетка микроба). Через 10 часов в растворе со строительными и «топливными» молекулами будут плавать уже 70 млрд копировщиков. Эта тонна сложнейших устройств получена всего за сутки без всяких затрат человеческого труда! А вторую тонну уже можно получить за 15 минут, только подавай раствор. За неделю можно «вырастить» мост через Берингов пролив.

Нанокomпьютер основан на двоичном коде, который реализуется двумя положениями линейных карбиновых молекул из 7–8 звеньев длиной 1 нм. Эти «стерженьки» скользят по каналам, которые пересекаются под прямым углом, так что один стерженок может перекрывать путь другого. Указанное пересечение каналов достаточно для создания логической ячейки. В таком исполнении запоминающее устройство, емкостью 1 млрд байт, займет объем бактерии – один кубический микрон. Длительность вычислительного цикла (движения стерженька в канале матрицы) – 50 пикосекунд. Поэтому быстроедействие такой механической системы будет выше, чем у современных микрокомпьютеров.

Процесс создания ракетного двигателя по нанотехнологии будет похож на процесс выращивания биоматериала. В большой бак помещается подложка (основание) с «зародышем» в виде нанокomпьютера с «чертежами» всего двигателя. В бак подают раствор копировщиков, запрограммированных на функции сборщиков. «Прилипающие» к зародышу сборщики получают приказы, и через несколько часов в жидкости вырастает «кристаллическая структура» двигателя.

Затем насосы, подключенные к баку, заменяют взвесь сборщиков раствором строительных материалов. Компьютер зародыша дает команду, и часть сборщиков расцепляются и вымываются, оставляя ходы и каналы, которые будут заполняться нужными атомами и молекулами. Специальные «усики» сборщиков каркаса интенсивно гребут, создавая в каналах ток жидкости, содержащей топливо и стройматериалы и выносящей из рабочей зоны отходы и тепло.

Где требуется максимальная прочность, сборщики складывают из углерода алмазную решетку. В местах, критичных по тепловой и коррозионной стойкости, из окиси алюминия создается кристаллическая решетка сапфира. Где напряжения не велики, сборщики экономят материалы, меньше заполняя поры. Используя принцип скользящих волокон, конструкция может сжиматься подобно мускулам, меняя силу и направление тяги.

Вся работа завершается менее чем за сутки без участия человека. Вес конструкции в 10 раз меньше, чем у двигателя, созданного по обычной технологии, нет ни единого шва, ни одного болта. Конструкция более похожа на драгоценный камень. Поистине инопланетная технология! Помните фантастические фильмы, где космические корабли инопланетян похожи на живые организмы. В одном из произведений Станислава Лема на чужой планете была встречена цивилизация микророботов, летающих по-

добно мошкаре и соединяющихся между собой. Создавая мощное электромагнитное поле, туча этих микромашин стирала память людей, и они действовали как младенцы.

Когда будет создан один-единственный репликатор, произойдет переворот в жизни людей: в строительстве, науке, образовании, медицине и т.д. Кардинально изменится процесс строительства: города и дороги будут расти как трава, без участия людей. Здания и сооружения будут иметь оптимальную форму и минимальный расход материалов, так как исчезнут многочисленные ограничения, связанные с удобством изготовления, транспортирования, монтажа.

Нанотехника восстановит озоновый слой, очистит от загрязнений атмосферу, почву, воду, демонтирует заводы, рудники, плотины, запечатает в вечные самовосстанавливающиеся контейнеры радиоактивные отходы. В пустынях вырастут леса из фотосинтетических элементов, которые дадут электроэнергию, пищу, универсальное биологическое топливо – АТФ (аденозинтрифосфатную кислоту). Ужасные следы промышленной деятельности исчезнут, большую часть планеты покроют сады и естественные экосистемы.

Произойдет новая научная революция. Наноприборы, научное оборудование и натурные модели будут спроектированы и реализованы «в металле» за считанные секунды. На них одновременно с большой быстротой пойдут миллионы параллельных экспериментов любой сложности, результаты которых обобщит искусственный наноинтеллект. Принципиально иным станет образование. Дети получают карманные наноконструкторы, создающие движущиеся модели животных, машин, космических процессов, которыми они смогут сами управлять.

Неузнаваемо изменится и медицина. Последовательно проверяя и, если надо, «исправляя» молекулы, клетку за клеткой, орган за органом, наномашинки вернут здоровье любому больному, а затем не допустят никаких заболеваний и патологий, в том числе и генетических. Продолжительность жизни увеличится до сотен лет.

Идея Дрекслера – это достойная цель жизни, изобретение высшего уровня, которое может кардинально изменить жизнь на планете. Однако технический прогресс без духовного развития человека может привести к гибели всей цивилизации.

Линия увеличения степени дробления «смеси» вещества с пустотой представлена на рис. 1.43.

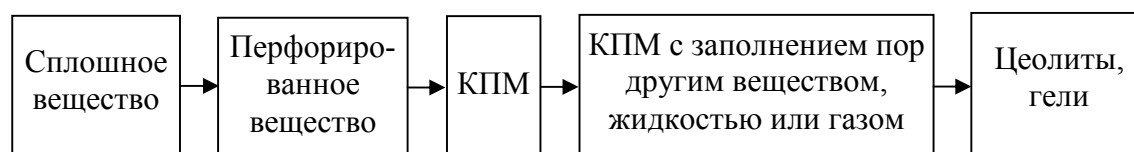


Рис. 1.43. Линия развития пор в веществе

Сначала в сплошное вещество вводится одна или несколько полостей; затем вещество становится перфорированным; далее наблюдается переход к капиллярно-пористым материалам (КПМ), в поры которых вводят другие вещества. Например, пористый материал с огнезащитным покрытием, которое выделяется из пор материала при повышении температуры.

При строительстве Байконура столкнулись с пониженной несущей способностью грунта – основания ракетного старта (см. выше). Сначала выполнили объединение четырех отдельных фундаментов для кранов с общим фундаментом сооружения. Но этого оказалось недостаточно, тогда было предложено уменьшить вес железобетонной конструкции старта, введя в нее полости. При этом прочность конструкции была обеспечена.

Стеновые строительные материалы (кирпичи, бетонные блоки, бетон) развиваются по линии увеличения пустотности (рис. 1.44), но при этом возникает противоречие между их прочностью и теплосоппротивлением, которое разрешается в пространстве переходом к слоистым конструкционно-теплоизоляционным материалам, на микроуровне – переходом к сверхпрочной пористой структуре, или в надсистеме – разделением функций несущего каркаса и ограждений.

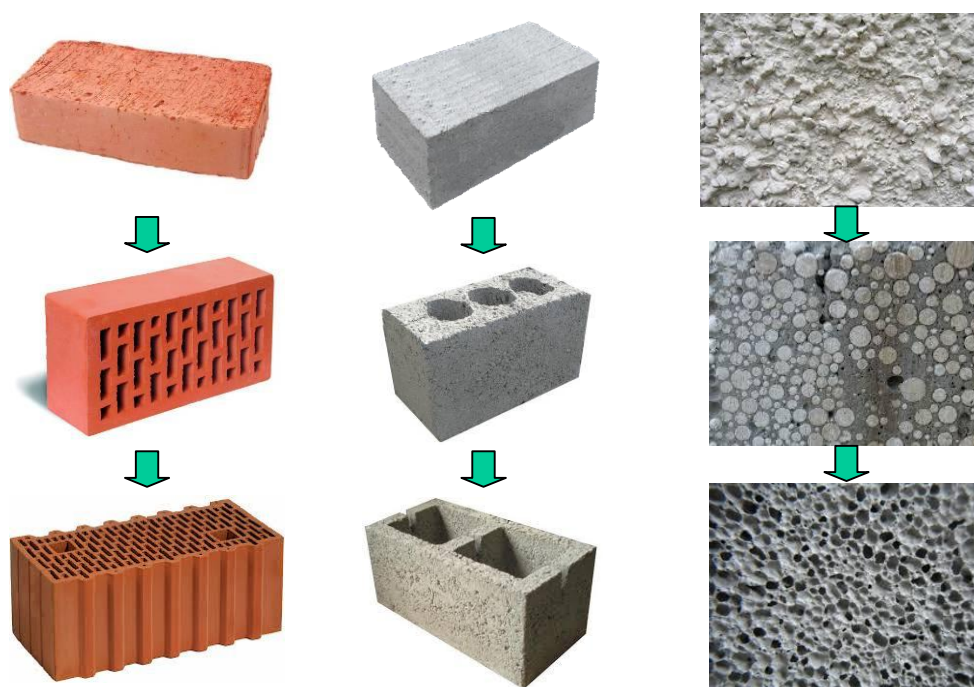


Рис. 1.44. Увеличение пустотности кирпича, блоков и бетона

Развитие пористых стеновых материалов и утеплителей в строительстве было рассмотрено табл. 1.6. Согласно линии развития следующим шагом должен быть капиллярно-пористый материал с определенной структурой, например, повышающей паропроницаемость материала от внутренней поверхности к наружной за счет величины пор. Далее очевиден переход к за-

полнению пор другим веществом, например, клеем, который будет выделяться из поверхностного слоя стеновых блоков, скрепляя их. Также может быть осуществлен принцип самообновления красок на фасаде. Далее приведены примеры перехода к КПМ.

Способ изготовления пористых огнеупоров, при котором для создания направленной пористости используют выгорающие шелковые нити. Следующий шаг – заполнить поры огнезащитным составом.

По а.с. 283264 огнеупорный пористый кирпич, пропитанный азотистым материалом, используется для дозированной подачи газообразного азота в расплав чугуна.

По а.с. 770809 для повышения долговечности стеновых блоков их пропитывают раствором жидкого стекла, обработанного в магнитном поле.

По а.с. 1051026 в вакуумном захвате используют материал с капиллярами, заполненными магнитной жидкостью; под действием магнитного поля жидкость поднимается, создавая разрежение.

По а.с. 737706 огнестойкий КПМ пропускает газ (дым), но задерживает открытое пламя. На этом же принципе может быть устроена паропроницаемая гидроизоляция.

Современные технологии позволяют получать пористые материалы из металлов и их сплавов с пористостью до 98% и размером пор от десятков микрон до десятков миллиметров. Например, для изготовления оптических зеркал используют пористую медь, вес которой составляет всего 17% веса монолитной меди. Для изготовления деталей ракетных двигателей, работающих при температуре 4 000 °С и выше (точка плавления самого тугоплавкого металла вольфрама – 3 900 °С) применяют пористый вольфрам с заполнением пор медью, которая испаряясь поглощает тепло.

Вопросы для самостоятельной подготовки

1. Каким образом нужно организовать пористую структуру материала, чтобы он наилучшим образом выполнял ограждающие функции?
2. Какие поля имеются в наличии в современных зданиях? Как их можно использовать в жизненном цикле строительных конструкций?
3. Соберите информацию об эволюции технологии бетона. Какие вещества и физико-химические взаимодействия были использованы в бетоне с развитием строительной науки?
4. В строительстве широко применяются пенобетон, пеностекло, вспененные полимеры. Какие еще строительные материалы могут быть модернизированы введением пустот?
5. Составьте двумерную морфологическую таблицу: по вертикали – «материал, образующий поры (капилляры)», по горизонтали – «вещество, заполняющее поры (капилляры)». Проанализируйте полученные варианты материалов с точки зрения их свойств и области применения.

1.8. Закон согласования ритмики частей системы

Необходимым условием принципиальной жизнеспособности технической системы является согласование (или сознательное рассогласование) частоты колебаний или периодичности работы всех частей системы (рис. 1.45). Из данного закона вытекает ряд правил:

1. Действие поля должно быть согласовано (или рассогласовано) с собственной частотой изделия или инструмента.
2. Частоты используемых полей должны быть согласованы.
3. Если два действия (например, изменение и измерение) несовместимы, то одно действие осуществляется в паузах другого.
4. Использование резонанса для измерения характеристик системы.
5. Переход к динамическому согласованию и рассогласованию частот.

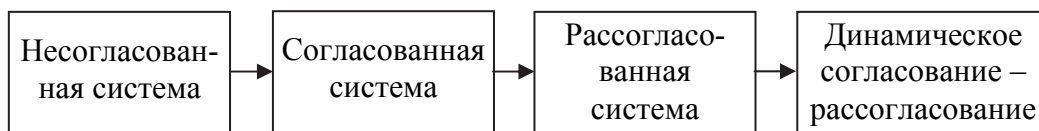


Рис. 1.45. Линия развития ТС «Согласование и рассогласование»

Страшные разрушения землетрясения в Мехико в 1985 году были обусловлены совпадением колебаний, возникших при землетрясении, с собственными колебаниями участков грунта под многими частями города, а также собственными колебаниями ряда зданий. Резонанс усилил воздействие в шесть раз, что привело к разрушению даже сейсмостойких зданий. В результате землетрясения, погибло около 10 тыс. человек, ранено 30 тыс., 412 зданий были разрушены, а более 3 000 серьезно повреждены. Отсюда практический вывод: при строительстве зданий в сейсмических зонах нужно неуклонно следить за тем, чтобы частота собственных колебаний новых зданий не совпали с частотой сейсмических колебаний грунта.

Существует несколько способов борьбы с резонансом:

- а) изменение частоты собственных колебаний;
- б) введение внешнего действия в противофазе к вредному;
- в) самонейтрализация вредного действия путем его разделения на два, сдвига одного из них по фазе и их столкновение;
- г) введение дополнительных грузов со смещающимся центром тяжести.

Для сейсмозащиты зданий разработаны различные демпфирующие устройства (рис. 1.46). Сейсмический амортизатор – это разновидность сейсмической изоляции для защиты зданий и сооружений от потенциально разрушительных землетрясений. Недавно сейсмические амортизаторы Metallic roller bearings были установлены в жилом 17-этажном комплексе в Токио (Япония).

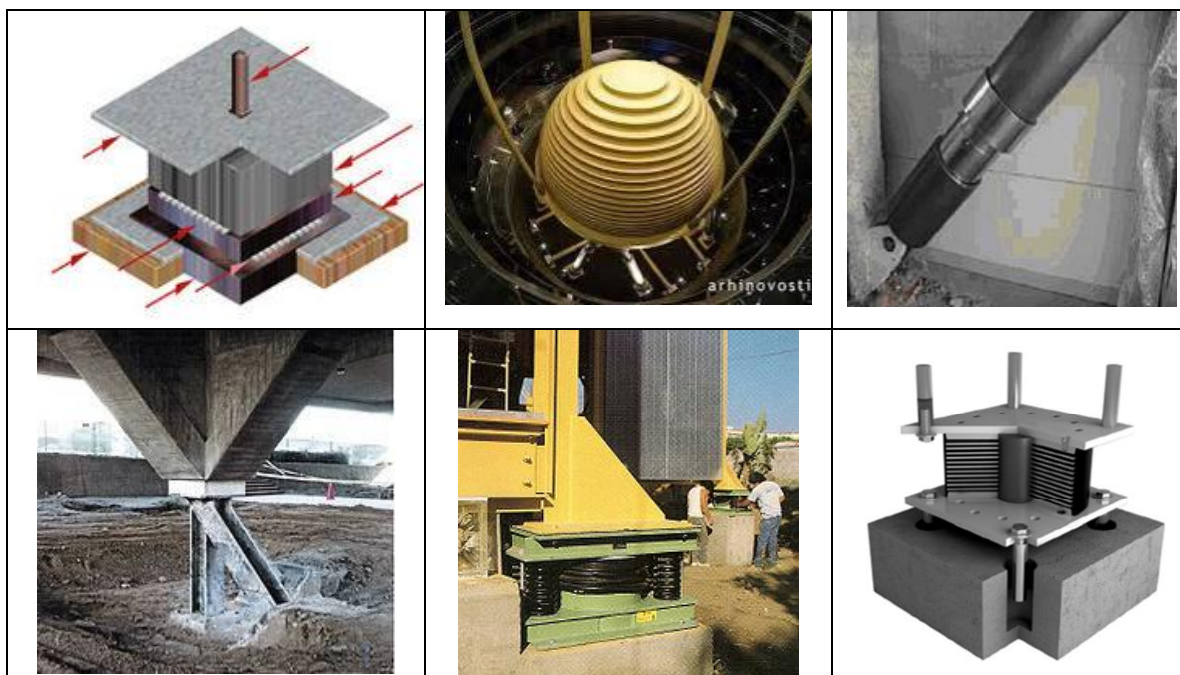


Рис. 1.46. Устройства сейсмозащиты зданий: сейсмический амортизатор; инерционный демпфер; гистерезисный демпфер; приподнятое основание; пружинный демпфер; резино-металлическая опора со свинцовым сердечником

Инерционный демпфер (Tuned mass damper), называемый также инерционный гаситель, представляет собой массивный блок, установленный на высотном здании или другом сооружении, который колеблется с резонансной частотой данного объекта с помощью специального пружиноподобного механизма под сейсмической нагрузкой. Для этой цели, например, инерционный демпфер небоскреба «Тайбэй 101» оборудован двумя маятниковыми подвесками, на 92-ом и 88-ом этажах, весящими 660 тонн каждая.

Гистерезисный демпфер (Hysteretic damper) предназначен для улучшения работы зданий и сооружений под сейсмической нагрузкой за счёт диссипации сейсмической энергии проникающей в эти здания и сооружения. Различают четыре группы гистерезисных демпферов: жидкостный вязкоупругий демпфер; твердый вязкоупругий демпфер; металлический вязкотекучий демпфер; демпфер сухого трения.

Демпфирование вертикальной конфигурацией (Building elevation control) предназначено для улучшения работы зданий и сооружений под сейсмической нагрузкой за счёт предотвращения резонансных колебаний с помощью дисперсии сейсмической энергии проникающей в эти здания и сооружения. Пирамидальные постройки не перестают привлекать внимание архитекторов и инженеров также благодаря их большей устойчивости при ураганах и землетрясениях.

Многочастотный успокоитель колебаний (Multi-frequency quieting building system) или, сокращенно, МУК является системой устройств для

вибрационного контроля здания, которая колеблется с определёнными резонансными частотами данного объекта под сейсмической нагрузкой. Каждый МУК включает в себя ряд междуэтажных диафрагм, обрамленных набором выступающих консолей с различными периодами собственных колебаний и работающих как инерционные демпферы.

Приподнятое основание здания (Elevated building foundation) является инструментом вибрационного контроля в сейсмостойком строительстве, основанным на многократных отражениях, дифракциях и диссипациях сейсмических волн в процессе их распространения внутри основания, передача сейсмической энергии в верхнюю часть здания оказывается сильно ослабленной.

Свинцово-резиновая опора (Lead rubber bearing) – это сейсмическая изоляция, предназначенная для улучшения работы зданий и сооружений под сейсмической нагрузкой за счёт интенсивного демпфирования сейсмической энергии, проникающей через фундаменты в эти здания и сооружения. На фото справа показано испытание свинцово-резиновой опоры сделанной из резинового цилиндра со свинцовым сердечником.

Пружинный демпфер (Springs-with-damper base isolator) является изолирующим устройством, подобным по замыслу свинцово-резиновой опоре. Два небольших трехэтажных дома с такими устройствами, расположенными в Санта Монике (Калифорния), были успешно «проэкзаменованы» Нортриджским землетрясением в 1994 году.

Фрикционно-маятниковая опора (Friction pendulum bearing) – это сейсмическая изоляция, состоящая из следующих элементов: сферически вогнутая поверхность скольжения; сферический ползунок; ограничительный цилиндр.

Сухая кладка массивных стен, которую применяли древние инки, можно считать одним из первых в истории устройств пассивного виброконтроля зданий (Мачу-Пикчу в Перу). Необычайно тщательная и плотная подгонка каменных блоков (так, что между блоками нельзя просунуть и лезвия ножа) без использования строительных растворов создавало своеобразный демпфер сухого трения [15]. Благодаря этим особенностям кладка инков не имела резонансных частот и точек концентрации напряжений, обладая дополнительной прочностью свода. При землетрясениях небольшой и средней силы такая кладка оставалась практически неподвижной, а при сильных – камни «плясали» на своих местах, не теряя взаимного расположения и при окончании землетрясения укладывались в прежнем порядке.

Если внимательно рассмотреть кладку стен собора Святой Софии в Стамбуле (строительство 532–537 гг., быв. г. Константинополь), можно заметить, что между рядами больших каменных блоков укладывали ряды кладки из тонких кирпичей. Последние служили своеобразной «смазкой», снижающей колебания стен при землетрясениях. Но такое решение, как

оказалось, не обеспечивает сейсмозащиту постройки. Через несколько лет после окончания строительства землетрясение разрушило часть собора. Собор также пострадал от землетрясения 989 года, в особенности разрушению подвергся его купол. Здание подперли контрфорсами, от которых оно утратило свой прежний вид.

В странах Востока деревянные пагоды не разрушались при землетрясениях. Древние строители подвешивали к потолку длинные деревянные шесты с грузом на конце. Частоту колебаний этого маятника подбирали такой, чтобы во время землетрясения она раскачивалась в противофазе самой постройкой, помогая гасить колебания.

Подобные устройства применяют сегодня для снижения ветровых колебаний. В США, Японии, Китае и других странах строятся небоскребы высотой более 500 м. Каркас здания должен выдерживать на большой высоте напор ветра 150 км в час. Как предотвратить раскачивание зданий? В одном из нью-йоркских небоскребов на верхнем этаже установлен скользящий противовес массой 365 тонн, который нейтрализует воздействие ветровой нагрузки и демпфирует колебания каркаса.

В Японии реализовано более простое решение: на крыше небоскреба устанавливается огромный резервуар с водой. Из-за огромной массы и инерционности жидкость реагирует на сотрясения с запозданием и ветровые колебания в значительной степени гасятся. Резервуар с водой используется также в противопожарных целях.

Способ гашения сейсмических колебаний в грунте по а.с. 1067147 осуществляется при помощи специальных экранов, образуемых путем введения в грунт магнетопроницаемого вещества, и пропуска через экран импульсов электрического тока.

По а.с. 589482 вибрацию в фундаментах, возникающую при работе технологического оборудования, предложено нейтрализовать с помощью возбуждаемых в фундаментах противофазных колебаний специальной автоматической установкой.

В многожильном проводе воздушных линий электропередач один провод имеет больший диаметр, чтобы при ветре колебаться «невпопад» и тем самым гасить общие колебания (а.с. 714509).

Явление резонанса можно использовать для достижения определенных целей:

- определения жесткости высотного сооружения по резонансной частоте колебаний (а.с. 720330);
- проверки прочности металлического анкера, вбитого в грунт и работающего на вырыв (а.с. 358515);
- определения внутренних напряжений в стройматериалах (а.с. 315507);
- контроля качества уплотнения насыпи (а.с. 717623).

Кроме согласования ритмики работы элементов системы можно рассмотреть согласование в более широком аспекте: формы, геометрии,

структуры, свойств, функций системы. Далее приведены несколько таких примеров.

Вибропитатель по а.с. 1303416, оснащенный электродами для электро-разогрева бетонной смеси, имеет гиперболическую форму для создания наилучшего режима обогрева (согласование формы).

Звукоизоляционная панель с порами таких размеров, которые обеспечивают резонанс с поглощаемыми частотами (согласование частот колебаний).

При бетонировании массивных конструкций (блоков плотин, фундаментов) в центральную часть укладывают охлажденную бетонную смесь, либо смесь, приготовленную на цементе с низким тепловыделением, так как ядро массива быстро разогревается от экзотермии, что ведет к трещинообразованию (согласование свойств материалов).

Наибольшая мощность требуется для разогрева бетонной смеси. Поэтому объем укладываемой порции бетона и перерыв между укладкой рассчитывают таким образом, чтобы поднять температуру бетона до заданной до начала укладки следующей порции (согласование ритмики работы).

По а.с. 1158722 полосовые электроды на опалубке сначала коммутируют по схеме сквозного электропрогрева, затем по мере роста электросопротивления бетона переключают на схему периферийного электропрогрева (согласование технологического режима со свойством изделия).

Удаление опалубки из зоны обогрева при продолжении тепловой обработки бетона в тепляках позволяет ускорить оборачиваемость опалубки и сократить сроки строительства (рассогласование последовательности операций).

В сборном каркасе «КАНСПА» (Румыния) и «КУБ-2.5» (Россия) сочленение изгибаемых железобетонных элементов производится в местах наименьших усилий, на расстоянии $1/3$ пролета (согласование структуры, а именно мест расположения стыков с эпюрой изгибающих моментов).

При изготовлении железобетонных плит перекрытий в вертикальных кассетных формах конусные распорки между стенками формы образуют в готовых плитах отверстия, которые используются для строповки плит при монтаже и установки подкосов для временного крепления панелей стен (согласование функций на этапах изготовления и монтажа).

Одно из разновидностей согласования ритмики – совмещение транспортных и рабочих движений. Далее приведены несколько примеров из области зимнего бетонирования.

Превращение автобетоносмесителя из транспортного средства в технологический реактор, в котором транспортирование совмещается с приготовлением и тепловой обработкой бетонной смеси.

Совмещение подачи и пароразогрева бетонной смеси в пневмонагнетателе.

Устройство для непрерывного электроразогрева бетонной смеси в виде ленточного конвейера с подвешенными пластинчатыми электродами (а.с. 282108) или лоткового вибропитателя со встроенными электродами (а.с. 1303416).

Еще одно оригинальное решение, использующее принцип согласования. Как заставить предприятие не загрязнять воду? По закону Франции водозабор предприятия располагают ниже по течению, а водосброс отработанной воды – выше по течению. Хочешь чистой воды? Позаботься об очистке стоков.

Вопросы для самостоятельной подготовки

1. Предложите способы изменений собственных частот колебаний сооружения с целью их согласования или рассогласования с внешними динамическими воздействиями.
2. Найдите информацию о способах противодействия сооружений землетрясениям из истории строительства.
3. При динамических испытаниях сооружений в них возбуждают колебания при помощи довольно массивной и дорогой вибромашины. Придумайте, как это сделать для дымовой трубы без использования вибромашины.
4. Для решения каких задач в строительстве может быть использовано явление резонанса?
5. Известно, что электросопротивление бетонной смеси при электропрогреве увеличивается с потерей свободной воды. Как нужно согласовать изменение электрического поля и параметров трансформатора, чтобы температура прогрева не уменьшалась?
6. Каким образом согласовать форму железобетонных колонн, чтобы они не выступали за габариты стен в квартирах?

1.9. Закон увеличения степени вепольности.

Использование вещественно-полевых ресурсов

Развитие технических систем идет в направлении увеличения степени вепольности: невепольные системы стремятся стать вепольными, а в вепольных системах развитие идет путем увеличения количества элементов, числа связей между элементами, повышения чувствительности элементов. Веполь (от слов «вещество» и «поле») – это минимальная работоспособная система, состоящая из двух вещественных объектов (обычно, это инструмент и изделие) и поля их взаимодействия.

Металлические детали по технологии погружают в горячий раствор солей при температуре около 100°C . Пластмассовые линзы диаметром по 5 см позволили снизить на 40 % расход энергии на подогрев ванны, устранить брызги, парение. Форма двояковыпуклой линзы выбрана для того, чтобы кружки соскальзывали друг с друга и не сбивались в кучи (введение второго вещества с геометрическим эффектом).

В Японии для предотвращения обрыва проводов ЛЭП от налипания снега предложено надевать на них диски из пластмассы с интервалом менее метра. Снежная «муфта», разделенная дисками на участки, осыпается под действием собственного веса. Аналогичный способ можно предложить для борьбы с сосульками на крышах: натянуть нити, которые будут обрываться при росте сосулек, или установить горизонтальный кабель, стряхивающий или расплавляющий лед (введение вещества и поля).

Уровень, отличающийся высокой различимостью показаний, на основе явления муара, возникающего, когда свет проходит через две решетки, наложенные одна на другую (переход к бисистеме с появлением нового эффекта).

Способ определения массы вещества в резервуаре путем возбуждения резонансных колебаний системы резервуар-вещество и измерения частоты, по величине которой находят массу (введение поля с согласованием по резонансу).

Способ выравнивания осевших зданий путем отрывки траншеи ниже глубины основания здания и сообщения грунту ультразвуковых колебаний. При этом магнитный излучатель колебаний крепят на фундаменте (введение инструмента и поля).

Для исключения перегрева проволоки при изготовлении предварительно напряженных железобетонных изделий предложено нагревать нерасходный жаропрочный стержень, который при нагреве удлиняется и в таком виде соединяется с проволокой. Охлаждаясь, стержень укорачивается и растягивает проволоку (введение второго вещества-посредника).

Для изобретательского решения задачи нужно использовать вещественно-полевые ресурсы (ВПр), которые содержатся в самой системе или в окружающей среде. ВПр классифицируют по виду – на вещественные, энергетические и информационные, временные и пространственные, функциональные и структурные; по источнику – на ВПр инструмента, изделия, среды и отходов; по готовности – на готовые и производные.

Прогрев кузова автомобиля с бетонной смесью или раствором выхлопными газами от двигателя. Прогрев бетоновода выхлопами двигателя бетононасоса (энергетический ресурс).

Способ усиления изгибаемых железобетонных конструкций по а.с. 595468 путем создания растягивающих усилий в сжатой зоне при нагреве арматуры до 200–400 °С пропусканием через нее электротока (вещественный ресурс).

Наиболее технологичный способ монтажа основан обычно на использовании особенностей самой конструкции (структурный ресурс). Телескопический метод монтажа гиперболических башенных сооружений В.Г. Шухова (рис. 1.47) заключается в последовательном подъеме при помощи лебедок секций башни с установкой блоков на смонтированной сек-

ции. Монтаж напоминает выдвигание секций трубы телескопа или подзорной трубы.

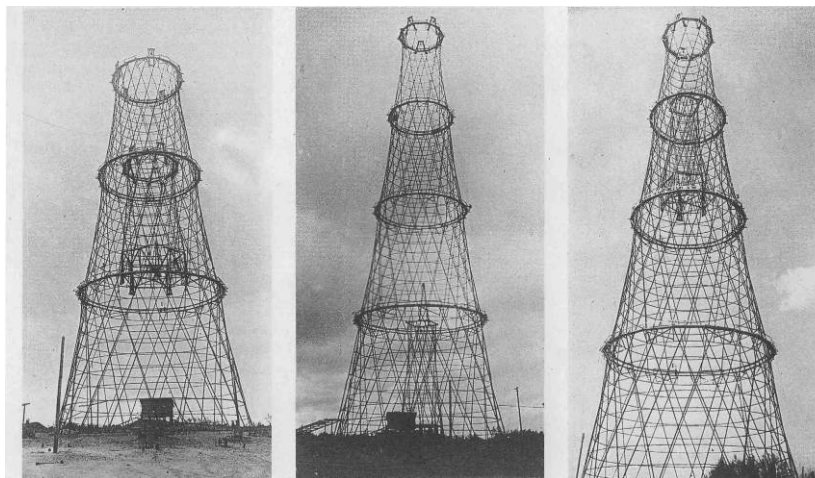


Рис. 1.47. Телескопический монтаж опоры ЛЭП НиГРЭС на р. Оке, 1925 г.

Другой пример – использование башни монтажного крана для временной опоры при монтаже большепролетного покрытия. Если фундамент приставного башенного крана соединить с фундаментом возводимого сооружения, то можно получить определенную экономию за счет снижения удельного давления на основание (ресурс инструмента).

При расширении зданий ТЭС торцевая стена не демонтируется, а перемещается по путям мостового крана после удлинения каркаса здания. Конвейерный метод монтажа блоков покрытия промышленных зданий предусматривает перемещение готовых блоков по путям мостовых кранов (функциональный ресурс изделия).

Для монтажа резервуара водонапорной башни используется сам ствол башни как опорная и направляющая конструкция (рис. 1.48). При этом облегчается устройство резервуара на уровне земли (ресурс изделия).

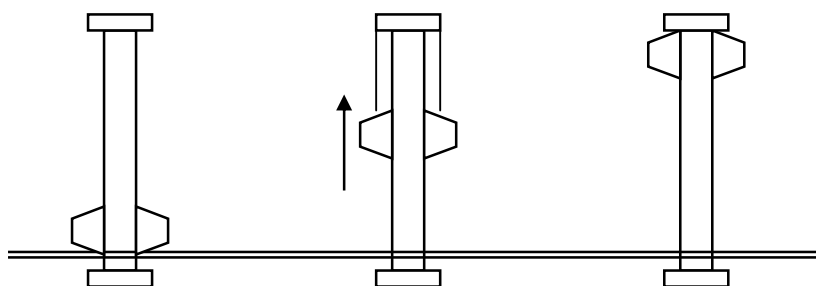


Рис. 1.48. Принцип монтажа резервуара водонапорной башни

Наклейка рулонного ковра на свежесделанную асфальтобетонную стяжку позволяет использовать тепло горячего асфальта при устройстве кровли в зимних условиях. При устройстве насыпи для скоростных железных дорог укладывают разогретый до 200°C керамзит, затем в пространст-

во между зернами керамзита нагнетают растворную смесь, которая быстро твердеет (ресурс – тепловое поле).

Устройство поручней на наружных лестницах в виде сухотруба, снабженного полугайками Ротта, для быстрого подключения к ним пожарных шлангов в случае возгорания горючей кровли (ресурс – пространство и форма).

Способ внутреннего термовакуумного воздействия на бетонную смесь междуэтажных перекрытий тепловыми трубами напольно-потолочной системы отопления (структурный ресурс системы).

Водонаполненная кровля в районах с жарким климатом для защиты рулонного ковра от солнечной радиации и поддержания микроклимата помещений (ресурс внешней среды – дождевая вода). Запас воды может использоваться и в противопожарных целях.

Поверхность арматурного стержня делается ребристой. Если её сделать винтовой, то можно соединять арматуру встык гайками (ресурс формы).

Перфорация рулонного кровельного материала для наклейки его «пятнами» с целью удаления паровоздушной смеси из подкровельного пространства. Перфорированный первый слой укладывается на основание насухо, затем до укладки второго слоя наносится слой мастики, которая проникает сквозь отверстия и склеивает первый слой «пятнами». После устройства вентиляционных продухов на коньке и карнизных свесах получается вентилируемое подкровельное пространство. Рулонный материал сам обеспечивает заданное распределение мастики без участия человека (структурный ресурс).

Опоры пирса для обслуживания судов в Новороссийске выполнены из железобетонных колец диаметром 10 м и толщиной стенки 20 см, заполненных колотым камнем. Экономия достигает около 7 тыс. кубометров сборного и монолитного железобетона.

Рассмотрим несколько примеров использования промышленных отходов для изготовления строительных материалов.

С XIX века известен шлакощелочной бетон на вяжущих из тонкомолотых гранулированных шлаков и заполнителей. Для изготовления шлакощелочного вяжущего сырьевая база практически не ограничена, так как могут быть использованы шлаки доменные, электротермофосфорные, мартеновские, конверторные, алюмотермического производства и другие виды шлаков черной и цветной металлургии. В качестве щелочного компонента, обеспечивающего твердение бетона, применяются едкие щелочи (натр едкий технический, гидроксид калия технический), сода кальцинированная техническая, калий углекислый технический, натрий фтористый, растворимые стекла с силикатным модулем от 0,6 до 3. Кроме указанных технических продуктов могут быть использованы щелочесодержащие отходы промышленных производств металлообрабатывающей, химической, медицинской, целлюлозно-бумажной промышленности и др.

Расчеты показывают, что на территории России и стран СНГ запасы шлаковых отвалов достигают сегодня более 500 млн тонн. В настоящее время в только в Москве ежегодно образуется, с учетом осадок очистных сооружений и загрязненных грунтов, более 19 млн тонн отходов производства и потребления.

В нашей лесной стране древесные отходы – щепки, опилки, стружки, ветки, солома – активно используются для изготовления стройматериалов. Различные виды деревобетона для изготовления стеновых блоков и панелей, теплоизоляционных плит, армированных плит перекрытий (фибrolит, арболит, дюрисол) были описаны в разделе 1.2. Приведем еще несколько примеров.

Французская фирма «Лавенир» добилась хорошего сцепления отходов с раствором путем термо- и химической обработки опилок при температуре 800 °С. Из опилкобетона изготавливают многослойные панели для зданий высотой до 15 м. Финская фирма «Акотек» разработала древесно-цементные блоки 250×45×12 см массой 80 кг для возведения теплых стен (ТиН №10, 1987).

В России разработана технология коробетона, прочность которого достаточна возведения двухэтажных домов. Для справки: только на европейском Севере России образуется 3 млн тонн отходов коры. Кора в 25 раз дешевле керамзита. Рентабельность производства коробетона достигает 500 % (ИиР №5, 1997).

В Туркмении разработан барханный бетон. Пескобетон – смесь песка с известью и водой – пропаривают при температуре 175 °С и давлении 8 атм. По а.с. 1413082 смесь песка и цемента перемалывают, добавляют воды и алюминиевой пудры и сушат при температуре 90 °С (ИиР №6, 1991).

Один из путей утилизации отходов реализуется в технологии капсуляции КАПСИМЭТ, разработанной институтом материаловедения и эффективных технологий (ИМЭТ). Капсуляция – новое направление получения композиционных материалов, которое является одним из наиболее перспективных, энергосберегающих подходов к созданию эффективных материалов и изделий. Капсулированный композиционный материал представляет собой дисперсный или омоноличенный конгломерат, основным структурообразующим элементом которого является частица (ядро) материала, покрываемая оболочкой вещества другой природы. В зависимости от размера частиц дисперсий и толщины оболочек покрывающих реагентов технологию капсуляции разделяют на нанокапсуляцию, микрокапсуляцию и макрокапсуляцию.

Примером нанокапсуляции является наноцемент – продукт измельчения, совмещенного с механо-химической активацией портландцементного клинкера и полимерного модификатора с минеральными добавками (песок, зола, шлак), до оптимального уровня дисперсий 400–600 м²/кг. В результате модификации получено облегчение цементных частиц нанооболочкой

полимерного вещества толщиной 30–100 нм. Реализация технологии мало-клинкерных наноцементов позволяет:

- снизить удельные затраты топлива на выпуск тонны цемента на 40–60 кг; снизить выбросы тепла и CO₂ цементными заводами на 30–40 %;
- в 1,5–1,7 раз увеличить объемы производства на любом цементном заводе без строительства переделов по обжигу клинкера – только за счет развития помольных отделений;
- увеличить сроки возможного хранения цементов с двух месяцев, по международному и российскому стандартам, до года и более;
- получать бетоны высокой и сверхвысокой прочности (выше класса В60) с высокой водонепроницаемостью (W18–W20), повышенной стойкостью к воздействию сульфатов, хлоридов и слабых кислот;
- обеспечить экономию 30–50% арматуры в высокопрочных и сверхпрочных бетонах; экономить от 500 до 1500 руб. на кубометр бетона в зависимости от номенклатуры изделий;
- снизить расход цемента при строительстве различных зданий и сооружений в 1,3–2 раза, увеличить скорость оборота опалубки – от 2 до 3 раз, снизить общую стоимость каркаса здания – от 20 до 40 %.

Суть процесса макрокапсуляции заключается в применении интенсивных центробежных воздействий на различные дисперсии в виде песка, крупки, керамзита или щебня, при котором обеспечивают интенсивное перемещение частиц материалов на внутренней поверхности специальных смесителей (капсуляторов) и активное, за несколько десятков секунд, втирание жидкого пленкообразующего материала в верхние слои частиц с формированием прочной капсулы.

Накопленный опыт исследований макрокапсуляции при производстве легких крупнопористых бетонов позволяют отметить следующие особенности этих материалов: небольшую объемную массу; хорошие теплоизоляционные свойства; высокую воздухопроницаемость; способность фильтровать воду; низкую себестоимость бетонной смеси. Указанные свойства крупнопористых бетонов определили области применения этих материалов: возведение ограждающих конструкций; производство фильтрационных бетонов для дорожного строительства, гидротехнических бетонов и дренажа (рис. 1.49).

Разработанная в ИМЭТ концепция (табл. 1.9) предлагает полную переработку ТБО и предусматривает следующие этапы [14]:

- 1) сортировка отходов с извлечением вторичного сырья;
- 2) частичная реализация вторичного сырья;
- 3) переработка оставшегося вторсырья в изделия;
- 4) переработка пищевых отходов в комплексные, минеральные удобрения для сельского хозяйства и их реализация;
- 5) сжигание остатка сортировки твердых бытовых отходов с получением тепла и электроэнергии и их реализация;

б) нейтрализация золошлакового остатка и получение из него материалов и изделий для благоустройства и дорожного строительства и их реализация.

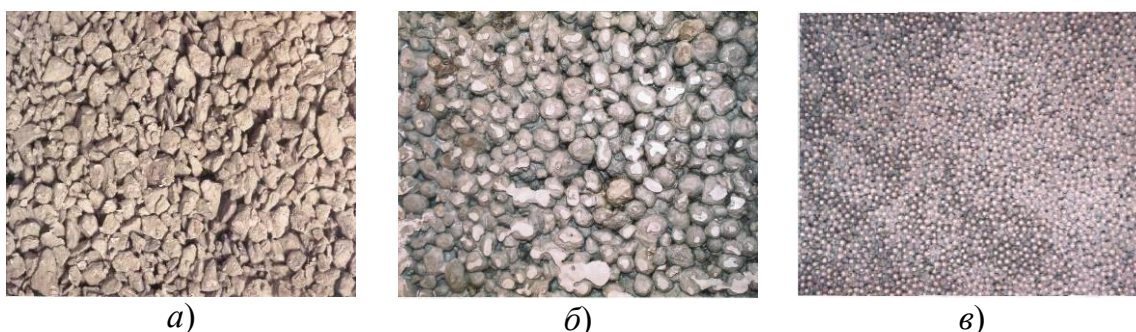


Рис. 1.49. Виды легких бетонов системы КАПСИМЭТ:

а) легкий конструкционный бетон М25–М50 (щебень + цемент), плотность 1200–1800 кг/м³; б) особо легкий конструкционно-теплоизоляционный бетон М10–М25 (керамзит + цемент), плотность 300–900 кг/м³; в) сверхлегкий теплоизоляционный бетон М3–М10 (пеностекло + цемент), плотность 150–300 кг/м³

Таблица 1.9

Материалы и изделия на основе отходов ТБО

Виды отходов	Наименование и мощность технологических линий	Выпускаемая продукция
1	2	3
Отходы дерева, сельского хозяйства и пластмасс	Технологическая линия по производству изделий из экологически чистых древесно-наполненных пластмасс (ЭДНП) для строительства и мебельной промышленности. Мощность 3 600 т/год	Отделочные плитные изделия, мебельная доска, плинтусы, наличники, подоконные плиты, внутренние перегородки зданий, двери, элементы полов и потолков
Отходы минеральных дисперсий и пластмасс	Технологическая линия по производству изделий из экологически чистых супернаполненных пластмасс (СНП) на основе минеральных наполнителей, резины и термопластов. Мощность 7 200 т/год	Негорючая опалубка, плитные и листовые материалы, трубы, электрозащитные кожуха, черепица
Отходы стекла	Технологическая линия по производству особо легкого заполнителя из отходов стекла для теплоизоляции (гранулы пеностекла). Мощность 30 тыс. м ³ /год	Особо легкий заполнитель для производства строительных блоков, теплоизоляционный наполнитель в ограждающие конструкции зданий и сооружений
Отходы бумаги и картона	Технологическая линия по производству теплоизоляционных материалов и переработке их в тароупаковочную продукцию. Мощность 3 тыс. т/год	Теплоизоляционные перегородки, тароупаковочная продукция, поддоны, листовые материалы

1	2	3
Отсев мелкой фракции после сортировки	Складирование части отсева после сортировки мелкой фракции для компостирования. Мощность 10 тыс. т/год	Удобрение для озеленения и благоустройства города
То же	Технологическая линия по термической переработке отходов методом пиролиза, мощностью 25 тыс. т/год	Тепло, электроэнергия
Пищевые отходы (биоразлагаемые отходы)	Технологическая линия по переработке отходов в комплексные минеральные удобрения. Мощность 75 тыс. т/год	Комплексное гранулированное удобрение пролонгированного действия для сельского хозяйства
Зола и шлаки мусоросжигательных заводов	Технологическая линия по обезвреживанию токсичных зол и шлаков мусоросжигательного производства и их переработки в строительные материалы и изделия (зола и шлак). Мощность 20 тыс. т/год	Искусственный щебень для использования при изготовлении изделий из архитектурного бетона (тротуарные плиты, брусчатка, бордюрный камень, балясины, вазоны и др.)

Наполнителем для получения ЭДНП служат древесные опилки, стружка и другие отходы сельского хозяйства древесно-растительного происхождения – стебли зерновых культур, шелуха, тростник и пр., а в качестве полимерного связующего применяются термопласты: полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид и их отходы.

Изделия из ЭДНП обладают абсолютной экологической чистотой, высокими прочностными и эксплуатационными характеристиками, имеют низкое водопоглощение, биологически стойки, не разрушаются бактериями, грибом, термитами, хорошо поддаются механической обработке. По физико-механическим и эксплуатационным показателям изделия из ЭДНП превосходят изделия из древесины, ДСП, ДВП, ОСП, асбестовых плит (рис. 1.50).

Разработанная технология позволяет получать изделия широкой номенклатуры для строительства и народного хозяйства из минерало- и супернаполненных пластмасс на основе термопластов (полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид и их отходы) и наполнителей (кварцевый песок, тальк, мел, слюда и т.д.). Физико-механические и пластические свойства полимерных композиций можно изменять в широких пределах путем направленного изменения природы надмолекулярных структур. При этом в зависимости от вида наполнителя достигается существенное улучшение прочности, огнестойкости, тепло- и электрофизических свойств, снижение токсичности при горении изделий.

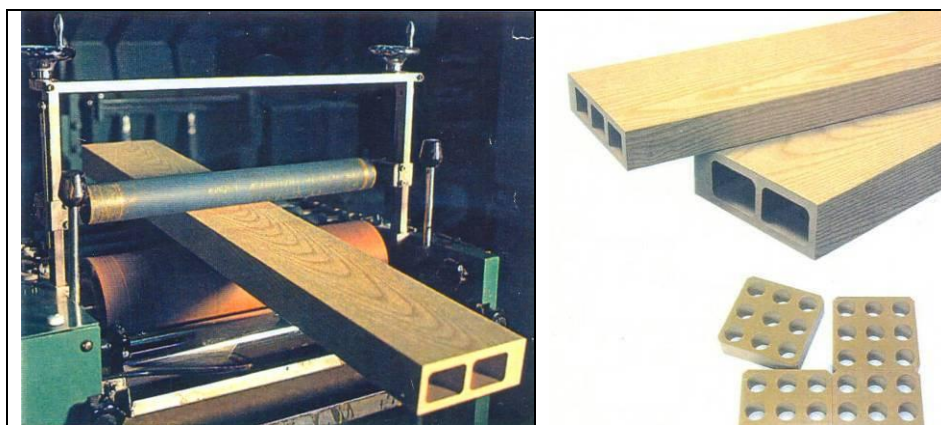


Рис. 1.50. Образцы изделий из древесно-наполненных пластмасс, полученные методом экструзии

Некоторые зарубежные технологии переработки мусора с оценкой их эффективности по критерию выбросов двуокиси углерода:

- строительство островов из мусора, Сингапур, сокращение выбросов двуокиси углерода 3%;
- изготовление кирпичей из переработанного мусора, Тайвань, сокращение выбросов менее 1%;
- отопление при помощи тепловых насосов и жидких фекалий с температурой 10 °С, Норвегия, сокращение выбросов 1%;
- плазменное сжигание отходов с получением электроэнергии, Великобритания, сокращение выбросов 3%;
- сжигание отходов с получением биоугля в виде гранул, использование этого суперудобрения дает значительный прирост урожая, Австралия, сокращение выбросов двуокиси углерода 21%.

Далее приводятся примеры применения дешевых ресурсов (пены, воздуха, земли, льда и пр.) для достройки веполей.

Сотрудники английского химзавода «Прекор» скупают испорченные жиры и масла и превращают его в пенопластмассу, содержащую 95% воздуха. Коттедж из «протухшего жира» отапливается только за счет тепловой энергии ламп, холодильника, телевизора и людей.

Способ уплотнения оконных и дверных стыков пенополиуретановой пеной с производительностью 1 погонный метр за 5–6 сек. Взаимодействие низкомолекулярного полиэфира с диизоцианатом и водой приводит к реакции полимеризации с выделением углекислого газа и увеличением объема в 20 раз (Латвийская передвижная установка ППУ отмечена медалью ВДНХ в 1983 г.).

Изготовление кровли цилиндрического резервуара на днище и подъем её сжатым воздухом без механизмов; подъем сжатым воздухом купольного сооружения или сооружения в виде шарнирного тетраэдра.

Атмосферный двигатель в виде трубы диаметром 1 м и высотой 100 м создает перепад давления 0,01 атм., дает мощность 30 кВт и расход возду-

ха 30 м³/мин. Этой энергии хватит, чтобы в цокольном этаже 30-этажного здания разместить прачечную. «Вентилятор наоборот» можно применить в отелях вместо вакуумных систем для уборки пылесосами: в панелях стен установлены штуцера всасывающей системы: экономично и пожаробезопасно.

История атмосферной электростанции начинается с идеи французского инженера Бернарда Дюбо, который 20-х годах прошлого века предложил установить турбину в высокой трубе. Через 50 лет немецкий инженер Йорк Шлях экспериментально подтвердил эту идею, построив первую такую электростанцию в Испании. В основу ее работы положены два принципа парниковый и каминный. Огромный парник нагревается солнцем, горячий воздух устремляется в трубу, установленную в центре парника, и вращает генератор тока. Чтобы система могла работать и ночью, предусмотрен теплонакопитель в виде системы водонаполненных труб (используются ресурсы в виде солнечной энергии и теплого воздуха).

Инженер из Индии предложил использовать в качестве телеантенн высокие ... деревья. Опыты показали, что кокосовые и финиковые пальмы, кипарисы, эвкалипты, манговые и хлебные деревья вполне могут заменить металлические антенны. Кипарисы обеспечивают хорошую связь в диапазоне УКВ на расстояние 30 км.

Студенческий строительный отряд взял большой подряд на устройство бетонных полов в коровнике. Проблема состояла в изготовлении бетонной смеси в больших объемах в деревне. Вручную замешивать бетон очень долго, маленькие бетономешалки делу не помогут. В распоряжении ребят был экскаватор «Беларусь» и автобетоносмеситель (АБС). В холме отрыли траншею шириной 3 метра, чтобы заехал КамАЗ-АБС. Сверху на балках приспособили воронку, рядом сделали запас заполнителей и цемента. Сверху через воронку экскаватором подвали составляющие смеси в АБС, машина делала замес и доставляла смесь на место укладки. В результате из отдельных системных ресурсов получился БРУ. Работа закипела!

Несколько примеров русской смекалки и интуитивного выхода на идеальные решения, описаны в воспоминаниях Б.Н. Христенко. На Троицком мясокомбинате строили водовод длиной 1 200 м из чугунных труб диаметром 200 мм, заложенных на глубину 2,2 м. Бригаду землекопов возглавил бывший зэк с опытом работы на канале Волга-Дон. Для экономии труда рыли траншею с вертикальными стенками, без откосов. Стенки, конечно, обваливались, но это происходило, когда на участке траншеи уже были заложены трубы и законопачены их стыки. Кроме того, оставляли целики грунта длиной 3 метра, в них делали сквозной подкоп, чтобы мог пролезть человек и протянуть трубу (рис. 1.51). Какой главный ресурс использован в этом примере? Ресурс русской смекалки! Иногда говорят: смекалки, основанной на лени. Нет, не на лени, а на экономии энергии, так необходимой в суровом климате.

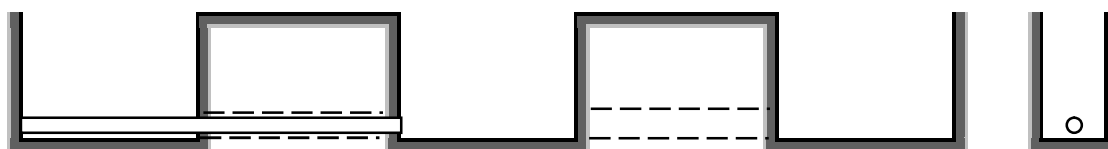


Рис. 1.51. Продольный и поперечный разрезы траншеи трубопровода

Другой водовод пересекал реку Увелку, и нужно было проложить его по дну реки. Способ подсказал один рыбак: если делать последовательные прорубы во льду, то вода будет замерзать глубже и постепенно отступать, так можно добраться до дна (рис. 1.52). Таким способом прокопали половину русла с одной стороны реки, затем половину русла с другой стороны.

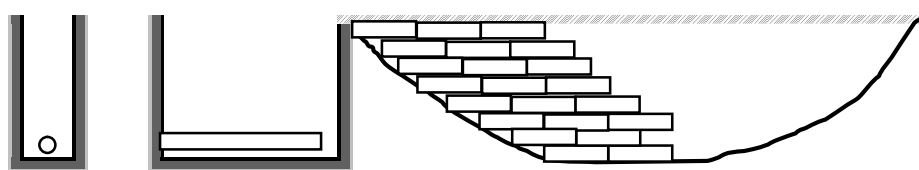


Рис. 1.52. Способ пересечения траншеей русла реки

Еще один пример. Строили железобетонный резервуар для воды объемом 300 кубов, высота резервуара 7 м (из них 4 под землей), диаметр 8 м. Для экономии труда решили использовать вертикальные стенки котлована в качестве наружной опалубки. Сделали матрицу в виде деревянного круга диаметром 8 м. По шаблону вырыли котлован, плотные грунты позволяли отставить стенки выемки вертикальными. По мере отрывки котлована стенки закрывали влажной мешковиной и рубероидом, чтобы не обрушились. Затем устроили внутреннюю деревянную опалубку, забетонировали днище, пока бетон не схватился, начали бетонировать стенки. Тем самым избежали рабочих швов, грозящих протечками. Потом поднимали стенки выше земли на 3 метра уже по обычной технологии.

В 1810 году архитектор Н.А. Львов при царе Павле I предложил строить землебитные дворцы для экономии российских лесов. «Из земли без всяких примесей и связей перекрытия для этого специально устроены, а также для дешевого сельского жилья». Таким образом, технология землебитных строений, стен, опорных конструкций, строительным материалом которых служит земляной грунт, была разработана в конце XVIII века в России, но, по понятным причинам, не внедрялась (за исключением военных сооружений).

Дешевые энергетические ресурсы также активно используются в строительстве. В 1984 году в Голландии запроектировали жилой квартал, отапливаемый солнечной энергией, улавливаемой коллекторами и хранимой в подземном накопителе тепла. Солнечные коллекторы устанавливаются на крышах 96-ти зданий, нагревают воду, которая подается по трубам в мас-

сив грунта 40×20 м, прогревая его до 60 °С. Зимой это тепло передается в радиаторы отопления.

Американские инженеры построили в Бостоне восьмизэтажный дом-термос, который использует тепло, выделяемое оборудованием, начиная от компьютеров и закипания кофеварками, а также тепло от двух тысяч человек, работающих в здании (человек выделяет около 63 килокалорий в час). Тепло аккумулируется в трех железобетонных резервуарах, вмещающих по 850 тыс. литров воды каждый. Кроме того в здании установлена система вентиляции с рекуперацией тепла, солнечные батареи, тепловые насосы. Чистый доход от экономии энергии достигает 400 тыс. долл. ежегодно при стоимости установки системы 8 млн долл. (ИиР №11, 1984).

В Швеции опробована установка, которая передает тепло от водяных солнечных коллекторов ... соли. Семь тонн кальциевой соли в вакуумном контейнере, установленном в подвале дома, прекрасно аккумулируют тепло. В зимнее время в контейнер подается вода в виде капель тумана, происходит экзотермическая реакция и образуется пароводяная смесь с температурой 50 °С, которая поступает в радиаторы отопления (ТиН №5, 1985).

Для снижения потерь тепла сквозь окна в Германии изобретены шторы из полупрозрачной пленки, особые для зимы и для лета. Зимняя штора не пропускает тепло из комнаты наружу, отражает его назад. Со стороны улицы штора прозрачна для длинноволнового и инфракрасного излучений, что позволяет использовать солнечную энергию. Летние же шторы, наоборот, мешают теплу проникать в помещение с улицы (ИиР №9, 1984). Сейчас используется более идеальное решение: энергоэффективные окна с тройным остеклением, причем одно или два стекла выполнены с низкоэмиссионным покрытием, отражающим инфракрасное излучение нагревательных приборов.

Вопросы для самостоятельной подготовки

1. Предложите веполь для решения задачи определения горизонтальности конструкции при помощи пузырькового уровня, если уровень нужно установить за небольшим отверстием в стене (пузырька не видно)?
2. Опишите все имеющиеся ВПР на строительной площадке. Какие из них могут быть использованы для решения насущных задач?
3. Продумайте комплексное решение сбора, переработки и использования ТБО в рамках концепции «умный город». Как заинтересовать городских жителей в сортировке ТБО? Возможно бытовые машинки для измельчения пластиковых отходов в порошок для 3D-принтеров для печати новых бытовых предметов – это путь решения проблемы? Но как быть с другими отходами?
4. В течение недели или месяца записывайте затраты времени на ежедневные дела. После анализа записей Вы обнаружите значительные резервы времени. Временной ресурс, пожалуй, самый главный в жизни человека.

1.10. Линии геометрической эволюции объектов

Линию геометрической эволюции можно разделить на три самостоятельных направления: линии эволюции свойств поверхности; линия эволюции геометрической формы; линия эволюции внутреннего объема [16].

Линия эволюции геометрической формы предполагает переход от точки к линии, от линии к поверхности и от поверхности к объему (рис. 1.53).

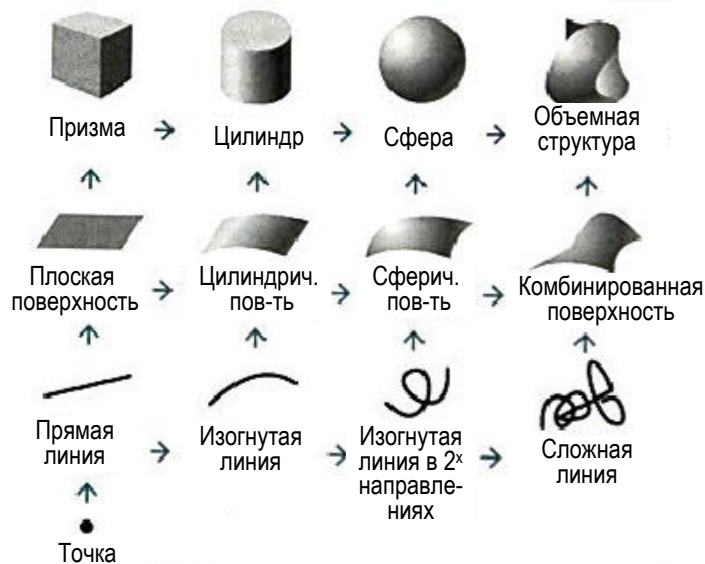


Рис. 1.53. Линия эволюции геометрической формы

Эволюция геометрической формы в строительстве связана как с требованиями архитектурной выразительности, так и с конструктивной необходимостью и свойствами применяемых строительных материалов. Перекрытие больших пролетов до изобретения железобетона было возможно только устройством арок и куполов из каменных блоков и кирпича. Новые материалы позволили строить плоские перекрытия. Совершенствование конструкций вновь дало возможность выполнить сложные криволинейные формы (рис. 1.54), но уже на другой материальной основе (железобетон, сталь, пластики). Эволюцию архитектурных и конструктивных форм можно проследить в источниках [4, 8, 11, 12, 18, 19].

Наращивание одного из главных параметров сооружений, а именно перекрываемого пролета, ставило перед материаловедом и конструкторами все новые задачи, связанные с увеличением прочности материалов с одновременным снижением их веса и поиском оптимальных форм конструкций, обеспечивающих минимальные напряжения в материале и монтажную технологичность. Вместе с тем, архитекторы и конструкторы сталкивались с противоречием эстетического восприятия и простоты формы здания: чем сложнее форма, тем лучше визуальная экология, но хуже экономичность и энергоэффективность.

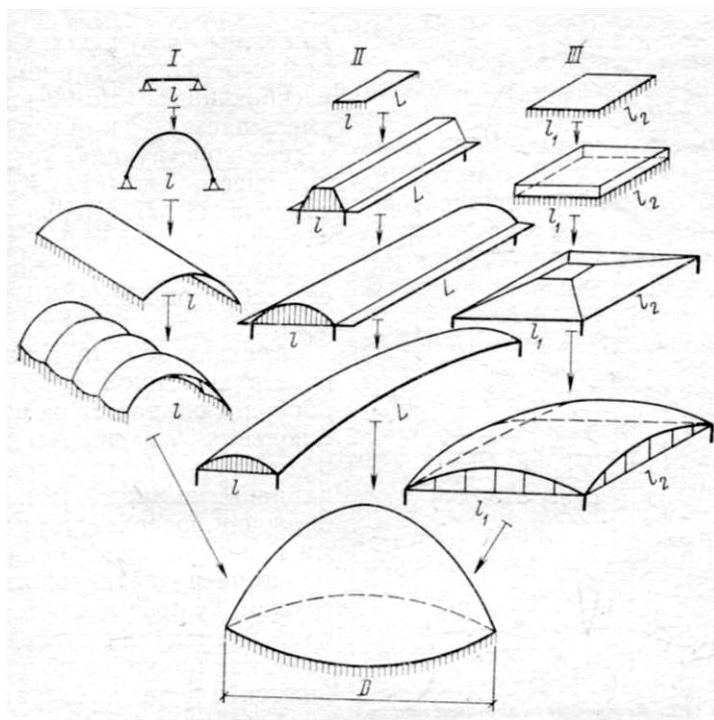


Рис. 1.54. Линии эволюции геометрической формы балки и плиты

Форма здания влияет на коэффициент компактности в виде отношения площади поверхности к отапливаемому объему здания. Коэффициент компактности из соображений энергосбережения должен быть минимальным. Для различных зданий он нормируется от 0,25 (для 16-этажных и выше) до 0,9 – для двух- и одноэтажных домов с мансардой. Минимальным отношением площади поверхности к объему обладает шар, в этой связи переход к купольным сооружениям оправдан с позиций энергозатрат.

При одинаковой площади помещений, высоте здания и одном и том же уровне теплоизоляции ограждающих конструкций, трансмиссионные потери тепловой энергии через оболочку здания сложной формы (рис. 1.55 б), на 20 % выше по сравнению со зданием квадратной формы из-за более развитой поверхности теплоотдачи.



Рис. 1.55. Сравнение двух форм зданий по энергоэффективности

Если рассмотреть последовательный переход от круглого в плане здания к квадратному по отношению площадей круглой и квадратной частей, то максимальное увеличение теплотерь составит 12,8 %. Понятно, что

строительство круглых и шарообразных зданий будет экономично только на основе внедрения новых принципов конструирования и инновационных строительных материалов. Пока же традиционные многоэтажные здания и сблокированные дома (таунхаусы) выигрывают в энергоэффективности отдельно стоящим домам, что выражается значением упомянутого коэффициента компактности.

В 1897 году В.Г. Шухов⁴ в книге «Стропила» провел анализ английских, французский и американских стропил и разработал аналитические принципы наилучшего использования материала. При решении задачи оптимизации стропил получено уравнение кривой рациональной стропильной конструкции: арка в виде очерченной по кривой параболы.

Шуховские гиперболические башни (см. рис. 1.8) нашли неожиданные применения в кораблестроении России и США (мачты кораблей «Андрей Первозванный», «Вест Вирджиния» и др.). В отличие от сплошных мачт, они в какой-то мере были «прозрачны» для снарядов противника. Если опорную стойку выполнить по привилегии (патенту) Шухова в виде шарнирного закрепления прямолинейных стержней на обручах и поместить внутрь баллон, то гиперболическая стойка обретает способность «вырастать» при нагнетании в баллон воздуха (а.с. 479871).

Еще одно применение гиперболоид Шухова нашел в способе ремонта отверстий в деревянных шпалах. По а.с. 765529 вытачивают деревянную втулку в виде однополосного гиперболоида, затем ее высушивают и спрессовывают до цилиндрической формы, устанавливают в отверстия и смачивают. Вставка разбухает, возвращаясь к первоначальной форме, и намертво заглушает отверстие. Это красивое решение получено сочетанием двух эффектов: физического – разбухания дерева, и геометрического – применения особой формы заготовки.

Известно, что Владимир Григорьевич делал расчеты всех своих сооружений, что иногда выливалось в серьезные математические исследования с целью оптимизации конструкций. При анализе резервуаров В.Г. Шухов изучил соотношение площадей различных фигур (куба, шара, усеченного конуса, цилиндра) и нашел оптимальную технологичную форму вертикального цилиндрического резервуара с переменной толщиной стенки на песчаной подушке с окомляющим фундаментом, который был построен в России в 1878 г. Заметим для современных студентов, что база знаний знаменитого инженера была обусловлена отличной успеваемостью по математике и геометрии в Императорском Московском техническом училище

⁴ Шухов Владимир Григорьевич (1853–1939) – инженер-конструктор, автор проектов первых российских нефтепроводов, разработал теоретические и практические основы проектирования, строительства и эксплуатации магистральных трубопроводов, изобретатель первой в мире промышленной установки крекинга нефти, первых в мире стальных гиперболоидных и сетчатых оболочек.

(ныне Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана).

Впоследствии технология резервуаростроения перешла на сварку. В 1939 г. в СССР был построен первый резервуар емкостью в тысячу кубометров. Но сваривать отдельные листы между собой на строительной площадке слишком трудоемко. Инженер М.И. Бейлин предложил изготавливать стенку, дно и крышку резервуара на заводе, сворачивать их в рулоны и перевозить к месту монтажа (а.с. 71464). На месте рулоны разворачивают и сваривают. Резервуар изготавливается вместо месяцев за несколько дней.

По патенту США № 3451182 предлагается сооружать мачты и башни путем вытягивания ленты из спирально уложенной катушки. Но чтобы вытянуть ленту, нужен кран высотой не менее башни. Выход был найден в а.с. 536308 СССР: на первом витке делается косой срез, тележка, упираясь своей вершиной в косой срез и оставаясь на земле, начинает движение по окружности. По мере движения тележки витки, один за другим, поднимаются, образуя высотное сооружение [11].

Методом намотки можно изготавливать отдельные конструкции и целые сооружения: колонны, трубы, башни, мачты. По а.с. 207754 и 644658 было предложено изготавливать корпуса мелких судов и автобусов крестообразной намоткой полимерных жгутов, пропитанных синтетическими смолами. Наматываемые металлические ленты можно подвергать пластическому деформированию дробеструйной обработкой – внешний слой при этом удлиняется и образует дополнительный натяг (напряжение) в каждом витке (а.с. 462627). Дымовые и вентиляционные трубы из полимерных композиционных материалов и технология их изготовления методом намотки разработаны профессором ЮУрГУ В.М. Асташкиным.

Геометрические приемы оказываются необходимыми при решении транспортных задач. Запатентованная в Англии веерообразная взлетно-посадочная полоса позволяет выполнять разбег по искривленным дорожкам, затем уже выходить на прямую полосу для взлета. А в это время на центральную прямую полосу могут садиться другие самолеты (ИиР №12, 1984). Диагональная (по отношению к продольной оси корабля) полоса для взлета и посадки авианосцев позволила резко сократить количество аварий при столкновении самолетов с надпалубными постройками корабля. Архитектор современных транспортных развязок должен обладать развитым пространственным воображением и умением рассчитывать экономичные многоуровневые пересечения дорог.

Лента Мёбиуса обычно применяется для удвоения площади или длины рабочей грани бесконечного ремня при неизменных габаритах. Но если вместо ленты использовать многогранник, соединенный в бесконечный ремень со сдвигом на одну или несколько граней, то площадь ремня увеличится в N раз, где N – число граней (а.с. 324137). Если рабочий орган бетоносмесительной установки выполнить в виде ленты Мёбиуса, то ин-

тенсивность перемешивания возрастет, так как вектор силового воздействия будет менять свое направление от 0 до 360° за каждый оборот вала.

Эволюция шаровых конструкций, видимо, начинается от периода создания египетских пирамид, где при раскопках были найдены каменные шары диаметром 12–40 см из очень твердой породы, называемой долеритом. Возможно они применялись для перевозки блоков весом до 20 тонн и балок перекрытий весом до 420 тонн, которые применялись при строительстве пирамид.

Стеклянные полые микросферы диаметром от 15 до 150 мкм с толщиной стенки от 0,5 до 2 мкм, покрытые отражающей алюминиевой пленкой, заполненные газом SO₂ – это новый перспективный вариант теплоизоляции, например, для криогенной техники. В строительстве чаще применяют шарики из дешевого вспененного полистирола.

По линии эволюции свойств поверхности происходит переход от гладкой поверхности к выступам и впадинам, затем к мелкопрофилированной поверхности и, далее, к поверхности с особыми свойствами. Например, от грунтовой поверхности дороги перешли к асфальтобетону, а от гладкого бетонного покрытия – к шероховатой поверхности. Следующий шаг по линии развития – переход к гладкой поверхности со свойством липкости к колесу. В гоночных автомобилях используется липкая резина без протектора. В строительстве другая проблема – налипание грязи на фасады. В современных зданиях фасады успешно сопротивляются загрязнению пылью, песком и пр.

В исследовательском центре НАСА в 1981 году обнаружили, что канавки V-образной формы глубиной 0,05 мм, выполненные на фюзеляже самолета, на 10% снижают его аэродинамическое сопротивление. Аналогичная поверхность плохообтекаемых кузовов автомобилей может дать экономию 15% топлива. Микроканавки можно выполнить наклейкой на транспорт специальной пластиковой ленты (ИиР №12, 1984). Почему бы не применить данный способ для высотных сооружений или мостов?

Линия эволюции внутреннего объема предусматривает последовательные переходы от сплошного тела к введению пустоты, разделению на несколько объемов, затем – на множество объемов и, наконец, введению полостей и сил. Например, бампер автомобиля выполнялся сначала монолитным, затем с полостью, полость заполнялась сотовым или пористым наполнителем. Следующим закономерным шагом является активный бампер с подушкой безопасности, действующий аналогично активной броне танка.

Если крышу арктического дома выполнить из полого перфорированного шарового сегмента, то она будет хорошо сохранять тепло, а образующаяся корка льда будет сама растрескиваться и соскальзывать вниз.

Эволюция структуры строительных материалов достаточно подробно рассмотрена в предыдущих разделах. Объем конструкции зависит от напряженного состояния. Если работают только верхний и нижний пояса, то

материал из неработающего объема удаляют: изгибаемый двутавр, многопустотная железобетонная плита и пр. Именно поэтому наиболее экономичными оказываются конструкции, работающие на напряжение одного знака: растяжение или сжатие (стойки, фермы, ванты, подвесы и пр.).

Интересно развить классификацию методов монтажа, описанную в учебнике [17]. Направления перемещения при монтаже подразделяют на вертикальное, горизонтальное, радиальное и сложное. Построим морфологическую таблицу таких перемещений (табл. 1.10).

Таблица 1.10

Вид перемещения	Направление по отношению к объекту:			
	типа I	типа II	типа III	типа IV
↑↓ Вертикальное	↑ ○ Подъем	○ ↓ Опускание	○ ↑ Подтягивание	↓ ○ Втягивание
←→ Горизонтальное	○→ Выталкивание	→○ Подтягивание	○← Втягивание	→○ Надвижка
↖ ↘ Радиальное	↖ ○ Поворот вверх	○ ↘ Поворот вниз	○ ↗ Выталкивание поворотом вверх	↘ ○ Выталкивание поворотом вниз
↖ ↘ Радиальное с верт. (гориз.)	↖ ○ Поворот вверх с гор. перемещ.	○ ↘ Поворот вниз с опусканием	○ ↗ Подтягивание с поворотом	↘ ○ Надвижка с поворотом
↖ ↘ Поворот в двух плоскостях	↖ ○ Поворот вверх и вокруг	○ ↘ Поворот вниз и вокруг	○ ↗ Выталкивание поворотом вверх и вокруг	↘ ○ Выталкивание поворотом вниз и вокруг
↖ ↘ Сложное перемещение	↖ ○ Сложное перемещение вверх	○ ↘ Сложное перемещение вниз	○ ↗ Сложное подтягивание	↘ ○ Сложное втягивание

В строительстве некоторые методы монтажа имеют свои устоявшиеся названия, например, подращивание, надвижка, поворот вокруг неподвижного шарнира, поворот со скольжением.

Перечисленные в табл. 1.10 способы могут быть классифицированы еще глубже, например, по признакам «монтаж частями» и «монтаж целиком». Далее возможны комбинации методов, которые называют сложными способами монтажа. Например, для высотных зданий с развитой подземной частью применяется метод монтажа «вверх и вниз». Так четыре под-

земных этажа 72-этажного здания SEG Plaza в г. Шэньчжень (Китай) строились сверху вниз одновременно с возведением надземной части, что сократило сроки возведения здания на полгода.

Метод подъема перекрытий, развитый в эпоху СССР в Армении, реализует выжимание или подтягивание отдельных перекрытий, их пакетов или готовых этажей по горизонтальным направляющим (колоннам). Преимуществом данного метода является возможность ускорить изготовление перекрытий, этажей и выполнить уплотнение основания здания динамическими нагрузками при подъеме.

Разработан способ подрачивания конструкций зданий без применения кранов не по вертикали, а по винтовой линии. Непосредственно на фундаменте собирают конструкцию и передвигают ее по виткам уже отстроенных этажей. Интересная параллель – по легенде Вавилонская башня также строилась на основе винтовой линии.

Перспективным является метод опускания подземных сооружений, в котором может быть применена инверсная скользящая опалубка: скользит вниз сама конструкция, а опалубка остается на месте. Мостовой пролет может быть построен не традиционным методом надвигки, а способом поворота готового пролета, собранного рядом с препятствием. Методом выжимания от земли возможно смонтировать большепролетное покрытие (рис. 1.56) [17].

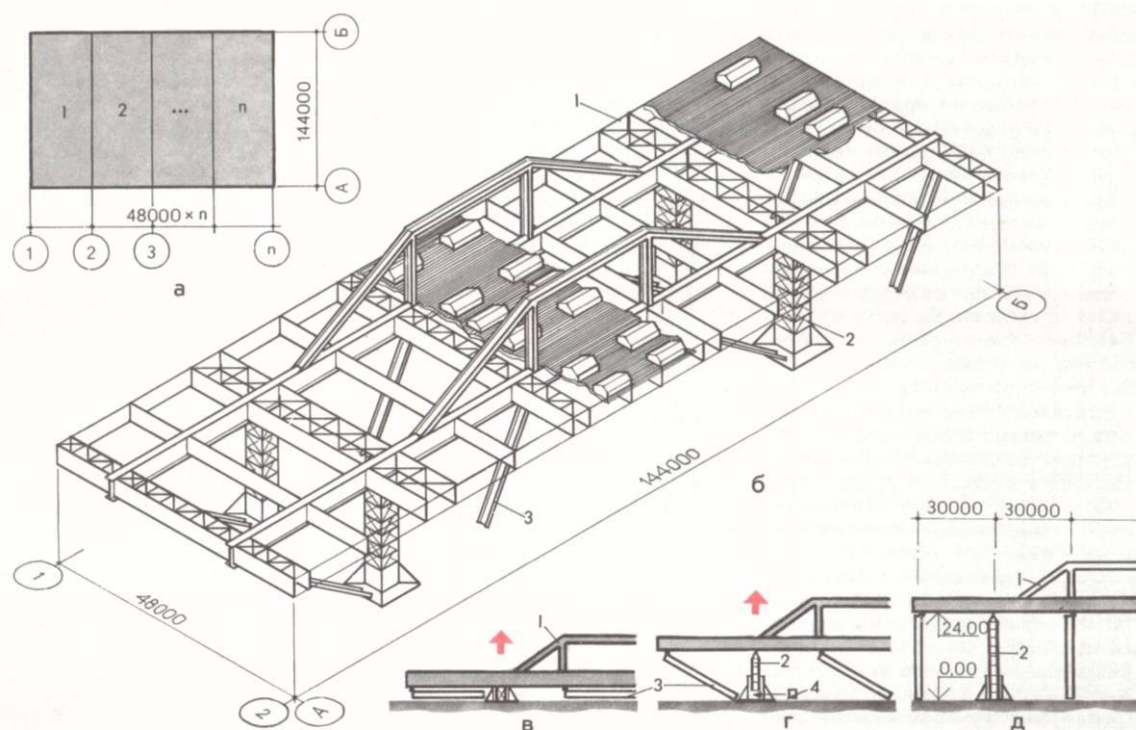


Рис. 1.56. Метод монтажа покрытия: *а* – план покрытия; *б* – промежуточный этап подъема; *в–д* – схемы монтажа по этапам; 1 – монтируемый блок; 2 – подъемное устройство; 3 – колонны; 4 – подрачиваемый элемент подъемника

Геометрическая форма имеет и экономическое значение. Так было установлено, что отклонения от плоскостности опорных граней контрольных кубов бетона на 0,5 мм при допуске 0,1 мм приводит к сбросу прочности при испытаниях на прессе на 15–25% и увеличению вариации в три раза, что, в итоге, приводит к повышению расхода цемента на 10–15% для обеспечения нормируемой прочности бетона изделий (БиЖБ №1, 1987).

Геометрические эффекты собраны и классифицированы Викентьевым И.Л. и Ефремовым В.И. [11] на основе изучения более 1,2 млн формул изобретений.

Вопросы для самостоятельной подготовки

1. Определите места в табл. 1.10 таким методам монтажа, как подрачивание, наращивание, надвигка, поворот вокруг неподвижного шарнира, поворот вокруг подвижного шарнира (поворот со скольжением), пошаговая сборка и передвижка.
2. Каким образом при помощи геометрических эффектов снизить ветровые нагрузки на высотные сооружения?
3. В строительстве существует проблема загрязнения фасадов пылью, песком. Как разрешить эту проблему?
4. Предложите способы разрешения противоречия эстетического восприятия и простоты формы здания: чем сложнее форма, тем лучше визуальная экология, но хуже экономичность и энергоэффективность.
5. Соберите материалы для анализа эволюции конструктивных форм балки, плиты, колонны, купола, структурного покрытия. Как конструктивные формы повлияли на архитектурный облик зданий?
6. Сравните различные формы зданий по коэффициенту компактности. Оцените перспективы строительства круглых и шарообразных зданий.
7. Устраните при помощи стальных шариков противоречие, присущее строительной технике, работающей на больших уклонах и по бездорожью: для повышения устойчивости центр тяжести должен как можно ниже, в то же время низкий клиренс ухудшает проходимость по ухабистой дороге.

II. ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОЙ АНАЛИЗ РУЛОННОЙ КРОВЛИ

2.1. Введение в ФСА

Функционально-стоимостный анализ (ФСА), как метод повышения полезного эффекта объекта на единицу совокупных затрат за его жизненный цикл, широко применяется в промышленно развитых странах. Области применения ФСА: оптимизация конструкции машин и оборудования, технологий, организационных структур фирм и их подразделений, методов организации производства. Этот метод достаточно глубоко разработан, описан в литературе. Для выполнения ФСА в рамках семестровой работы магистранта достаточно изучить настоящее пособие и пособие [22].

Основные задачи ФСА:

достижение оптимального соотношения между полезным эффектом объекта и совокупными затратами за его жизненный цикл;

нахождение совершенно новых технических решений за счет применения функционального подхода;

снижение расхода различных видов ресурсов по стадиям жизненного цикла объекта за счет ликвидации или сокращения вспомогательных и вредных (ненужных) функций объекта.

Основные принципы проведения ФСА:

принцип функционального подхода, т.е. рассмотрения объекта исследования с позиций тех функций, для выполнения которых он создается;

принцип стоимостной оценки, заключающийся в непрерывной экономической оценке возникающих технических решений;

принцип системного подхода к объекту ФСА: рассмотрение объекта как системы во взаимосвязи с другими системами и надсистемами;

принцип комплексного подхода предполагает исследование факторов, определяющих качество и затраты в комплексе и одновременно всех видов: конструкция, технология, организация производства, использование, ремонт;

принцип соотношения важности функций и затрат на их реализацию: с помощью этого методического приема осуществляется экономическая диагностика того или иного технического решения;

принцип коллективного труда предполагает, что при проведении ФСА требуется знание и техники, экономики, психологии, управления, поэтому его проводят специалисты разных профилей;

принцип активации творчества предусматривает применение для поиска новых решений специальных методов: мозговой штурм, синектика, МФО, морфологический анализ, функционально-идеальное моделирование.

Для технических объектов в качестве основного метода применяется ТРИЗ и его инструменты: законы развития технических систем, вепольный анализ, алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ), приемы разрешения противоречий, фонды физических, химических, геометрических эффектов и др.

2.2. История развития кровли и описание объекта ФСА

История развития кровли

В истории развития кровли выделим три этапа.

1. Эра природных материалов: пещера, шалаш из растительных материалов, шкур животных, покрытие жилищ битумным сланцем, обмазка глиной.

2. Эра искусственных материалов, подражающих природным: изделия из дерева вместо растительных материалов, плотная кошма, войлок вместо шкур, глиняная черепица вместо сырой глины, картон пропитанный дегтем или битумом вместо природных битумов.

3. Эра специальных искусственных материалов: металлические листы, асбоцементные листы, ондулин, рулонные битумные материалы, полимерные мембраны и пр.

Первый системный подход к кровле: в древнеримском «домусе» уклон кровли делали внутрь двора для заполнения бассейна дождевой водой. В старой Европе крыши делали с крутым уклоном (до 75%) из архитектурных соображений, а чердачное пространство обычно не использовалось. В 1640 г. фр. архитектор Ф. Мансара использовал чердак для жилых и хозяйственных нужд, но широкое развитие мансарды получили лишь в XIX веке. Плоские крыши появились в XX веке, архитектурные функции выполняли высокий парапет, террасы или технические надстройки (для машинных отделений лифтов). Переход на малоуклонные и плоские крыши в эпоху «оголённого» конструктивизма, когда функция здания определяла его облик, привел к развитию рулонных и мастичных кровель.

Еще в XII веке на Руси клали в кровлю свинцовые листы, соединенные фальцем. В XIV веке на крышах использовалась листовая медь. Черное и луженое (покрытое оловом) железо стало использоваться в кровлях с XVI века, а в XVIII изобрели эмалирование металлов. В XIX веке на смену луженому железу приходит оцинкованное, для покрытия цинком используют горячий метод, распыление порошка и гальванический метод. В особых случаях применяли листовый цинк или латунь с позолотой сусальным, огневым или гальваническим способами.

По легенде рулонные кровельные материалы зародились, когда лапоть случайно упал в деготь. В «Урочном положении» графа Н.И. де-Рошефора, изд. 1916 г., описан кровельный толь войлочный и картонный. Указано, что лучшие сорта толя готовятся из шерстяного тряпья, худшие – из соломенной бумаги. Края рулонов прибивают кровельными гвоздями к треугольному бруску, а сверху наклеивают полоску толя (бруски и полосы продавались готовые). Сверху наносится мастика и крупный песок.

Рулонные материалы делят на пять поколений, не считая кровельный толь. Первое представлено рубероидом на картонной основе. Отличие его от толя заключается в нанесенном на обе стороны покровном составе из нефтяного битума. Второе поколение – это наплавляемые битумные материалы на картонной основе. Такие негнилостойкие материалы запрещены к применению в РФ с 1998 года. Материалы третьего поколения выполнены на стеклотканной основе с пропиткой окисленным битумом. Четвертое поколение – это битумно-полимерные материалы на негниющей основе с пропиткой модифицированным полимером битумом. И, наконец, к пятому поколению относят полимерные материалы с основанием из искусственных волокон, часто усиленных специальным армированием. Полимеры применяются следующие: этилен-пропилен-диен-мономер (ЭПДМ); поливинилхлорид (ПВХ); полиэтилен (ПЭ) высокой и низкой плотности (ПВП и ПНП); термопластичный полиолефин (ТПО).

Несмотря на разнообразие у полимерных мембран есть общие свойства: высокая гибкость (до минус 60–70⁰С); растяжимость до 800 %; высокая прочность на разрыв и прокол; высокая химическая стойкость; высокая долговечность (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Характеристика рулонных материалов

Поколение материала	Основа	Пропитка	Кол-во слоев	Срок службы, лет
1	бумага, картон	деготь, битум	4–5	4–5
2	картон	битум	3–4	5–8
3	стеклоткань, холст	окисленный битум	2–3	10–12
4	то же, полиэстер	битумно-полимерная	1–2	15–25
5	армированный полиэстер	полимерная	1	25–50

Цель проведения ФСА: модернизация объекта «рулонная кровля».

Данные по объекту анализа

Рассмотрим типовое решение рулонной малоуклонной кровли (рис. 2.1). Известные нежелательные эффекты (НЭи):

НЭи1 – низкая контролеспособность многослойной конструкции, что приводит к частым дефектам и протечкам, затрудняет эксплуатационный контроль и обслуживание;

НЭи2 – высокая пожароопасность кровли;

НЭи3 – недостаточная долговечность (4–12 лет при использовании битумных материалов);

НЭи4 – большое количество стыков, примыканий, увеличивающих вероятность дефектов и протечек;

НЭи5 – повреждение несущих конструкций при протечках в результате отказов кровли;

НЭи6 – при неорганизованном или дефектном водостоке падающая вода увлажняет и повреждает стены, особенно в зонах цоколя и карниза;

НЭи7 – образование льда, сосулек на карнизах создает угрозу для людей и имущества;

НЭи8 – подтаивание снега на карнизах (при недостаточной теплоизоляции) создает ледяные плотины, что приводит к протечкам по стенам;

НЭи9 – разряжение над кровлей при сильном ветре отрывает ковер.

Условия применения объекта, ограничения (температура, влажность, давление, место, время и т.д.): температура – от минус 40 до плюс 70 ⁰С (при нагреве солнечной радиацией); влажность до 100%, эксплуатация на открытом воздухе, воздействия осадков, температуры, солнца, ветра и пр.

Стадия жизненного цикла (ЖЦ) изделия: производство, эксплуатация.

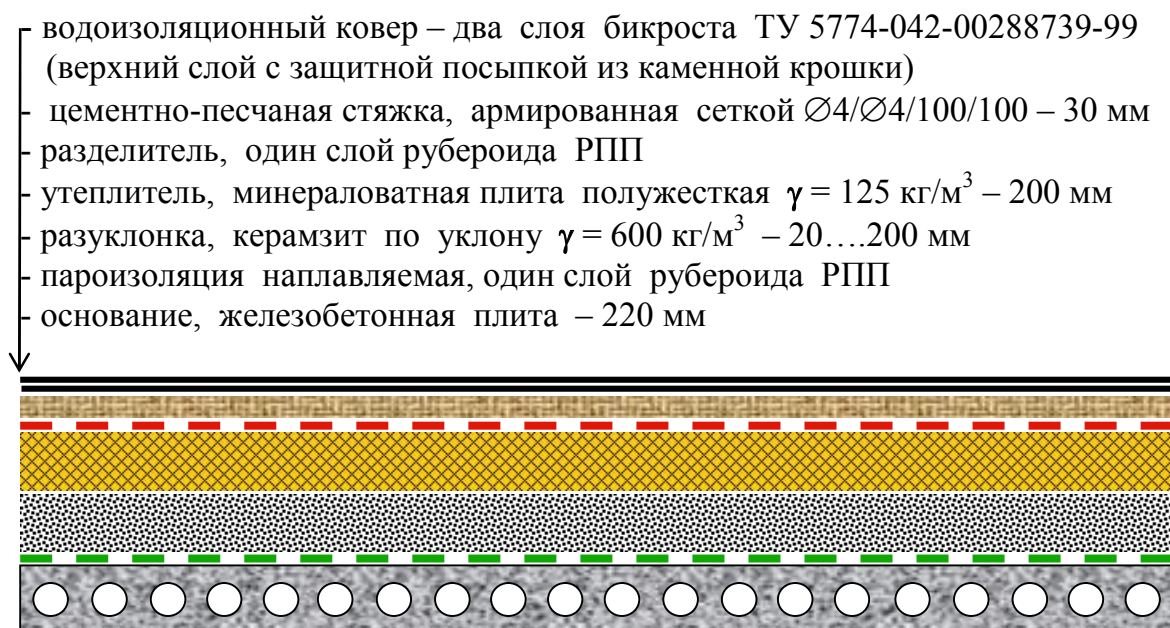


Рис. 2.1. Типовое решение рулонной кровли

2.3. Структурный анализ объекта

Элементы системы и надсистемы

Элементы системы «кровля»:	Элементы надсистемы:
1. Основание	1. Помещения здания
2. Пароизолятор	2. Конструкции здания
3. Разуклонка	3. Осадки (дождь, снег, лед, пыль)
4. Теплоизолятор	4. Крышные системы
5. Разделительный слой	5. Обслуживающий персонал
6. Стяжка	6. Птицы
7. Водоизоляционный ковер	7. Растения, семена растений
8. Водоотводящие устройства	8. Солнце
9. Деформационные швы	9. Воздух, пар, ветер
10. Оборудование кровли	10. Тепловое поле внешнее (холод, жара, пожар).

Ресурсы системы

Различают ресурсы пространства, времени, элементов системы и надсистемы, энергии, информации.

Ресурсы пространства: толщина кровли в пространстве не ограничена, что позволяет выполнять зазоры между слоями, например, для вентиляции подкровельного пространства, сбора воды, размещения дополнительных систем.

Ресурсы времени: время между сроками выпадения снега и его таяния; между началом обледенения карниза и сходом льда и снега с кровли; время, обусловленное производительностью водостоков при сильном ливне.

Ресурсы элементов системы: материалы слоев, влага (паровоздушная смесь), воздух внутри слоев. Ресурсы надсистемы: материалы элементов надсистемы, осадки, воздух, крышные системы, конструкции здания.

Ресурсы энергии: потенциальная энергия гравитационного характера от веса слоев кровли, осадков, предметов на кровле, энергия падающих осадков, тепловая энергия помещений и внешней среды, радиация солнца, энергия ветра, энергия движения грунта, градиенты температуры, влажности, давления воздуха и пара, энергия движения воды и снега, энергия, выделяемая различными крышными системами (кондиционеры, вентканалы, дымовые трубы, крышные котельные, противообледенительные, снегозадерживающие системы и пр.).

Ресурсы информации: актуально иметь информацию о состоянии слоев кровли, наличия осадков на кровле, обледенения карнизов, засоренности водостоков. Информация о состоянии кровли запаздывает: мы наблюдаем следы от протечек на конструкциях уже как следствие.

Компонентная схема объекта анализа (рис. 2.2)

К крышным системам относят: молниеотвод, антенны, вентиляционные устройства, дымовые трубы, стены (например, противопожарные), смотровые, вертолетные площадки и пр. К водоотводящим устройствам относятся: водосточные желоба, воронки и трубы, карнизные водостоки, переливы, внутренние водостоки и т.д.

К оборудованию кровли относят: ходовые дорожки, ограждения, снегозадерживающие устройства, фонари, систему вентиляции подкровельного пространства (вентзазоры, каналы, продухи, аэраторы), кабельную систему противообледенения и пр.

Поскольку оборудование кровли представляет собой отдельные технические системы со своими функциями, эти элементы рассматривать при анализе кровли не будем. Ковер может быть рассмотрен как совокупность слоев, в том числе защитный слой, включая примыкания и противопожарные полосы.

Растения взаимодействуют с кровлей через опавшие листья, семена, корни и выделения. Птицы взаимодействуют с кровлей через выделения (помёт) и механически (повреждения, наносимыми клювами).

Помещения здания включают в себя все то, что там находится: людей, мебель, оборудование, воздух, пар, инженерные системы и пр.

Ветер, наружный воздух, пар, газы могут рассматриваться отдельно в каждом конкретном случае. Однако надо помнить, что все это, как бы, перемешено в одной среде.

Внешнее тепловое поле может быть рассмотрено как холод, жара, пожар. Известно, что солнечное излучение сильно нагревает темную кровлю, в связи с чем, рулонную кровлю покрывают минеральной посыпкой светлого тона.

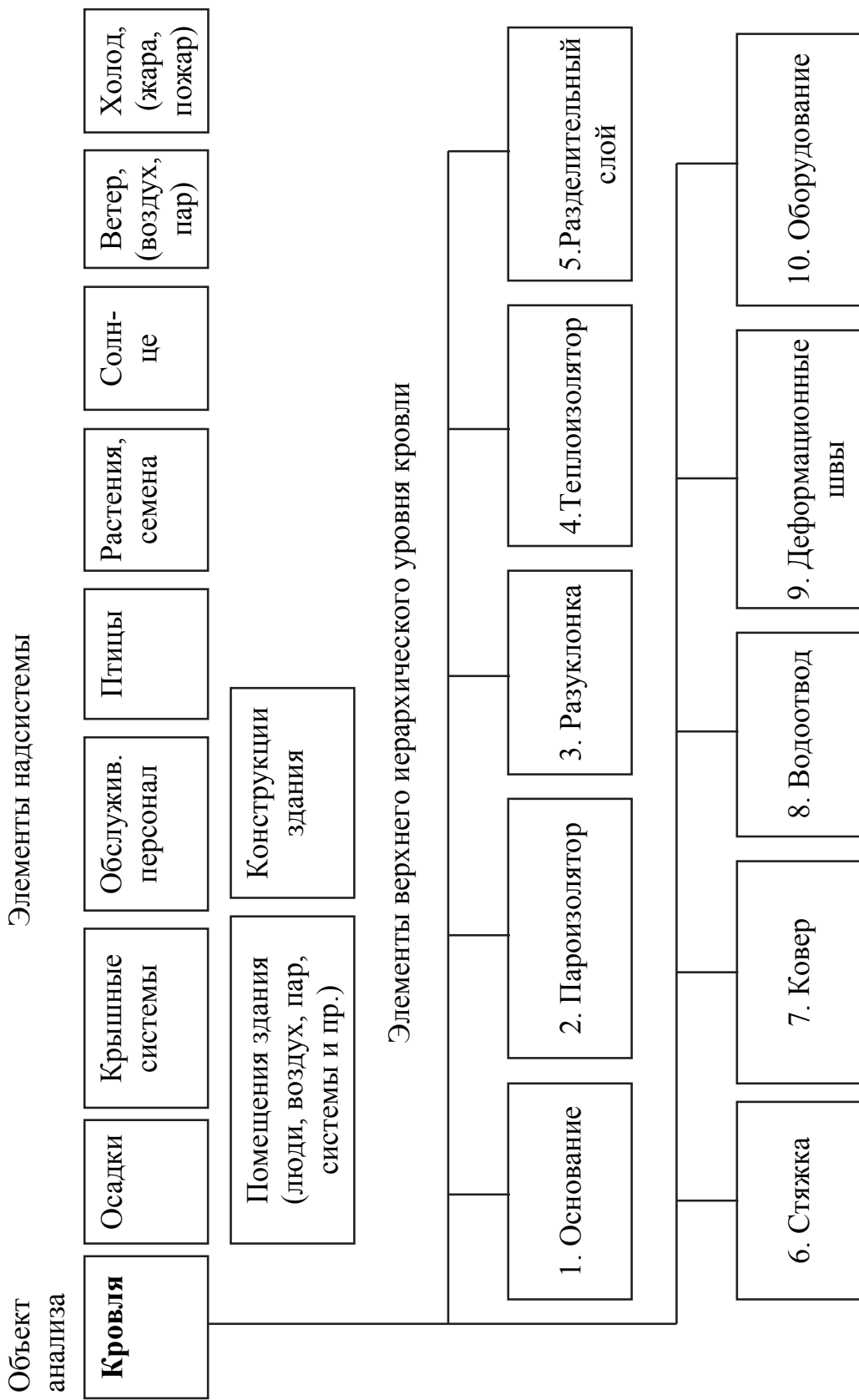


Рис. 2.2. Компонентная модель рулонной кровли

Определение связей для кровли

Описание связей объекта с элементами надсистемы (табл. 2.2):

- C1 – основание (покрытие) отделяет помещение от кровли;
- C2 – основание опирается на несущие конструкции здания;
- C3 – на основание опираются на крышные системы; НЭ1: крышные системы проходят сквозь кровлю (в зазоры может проникать вода);
- C4 – обслуживающий персонал контролирует состояние основания со стороны помещения;
- C5 – пароизолятор не пропускает пар из помещений в кровлю; НЭ2: перекрытия «не дышат», влага скапливается в основании;
- C6 – пароизолятор опирается на конструкции через основание;
- C7 – разуклонка опирается на конструкции через основание;
- C8 – разуклонка создает уклоны для сбора воды в водостоки;
- C9 – теплоизолятор защищает основание (покрытие) от холода и жары;
- C10 – теплоизолятор опирается на конструкции через основание;
- C11 – НЭ3: теплоизолятор напитывается влагой при устройстве кровли и протечках ковра;
- C12 – НЭ4: птицы могут выщипывать теплоизолятор;
- C13 – теплоизолятор не пропускает холод и жару в (из) помещения;
- C14 – разделитель опирается на конструкции через основание;
- C15 – стяжка опирается на конструкции через основание;
- C16 – НЭ5: стяжка увлажняется при устройстве кровли, протечках ковра;
- C17 – крышные системы опираются на стяжку;
- C18 – НЭ6: персонал может повредить стяжку при больших нагрузках;
- C19 – НЭ7: растения при развитии на кровле повреждают стяжку;
- C20 – НЭ8: холод и жара приводят к растрескиванию стяжки (при отсутствии температурных деформационных швов); НЭ9: холод затрудняет устройство мокрых стяжек;
- C21 – ковер защищает помещения от осадков;
- C22 – ковер опирается на конструкции через основание;
- C23 – ковер не пропускает осадки к основанию и помещениям; НЭ10: при протечках ковра повреждается основание и конструкции;
- C24 – НЭ11: крышные системы «протыкают» ковер, в зазоры может проникать вода; требуется устройство герметичных примыканий;
- C25 – НЭ12: обслуживающий персонал может повредить ковер;
- C26 – НЭ13: птицы могут повредить ковер (отверстия);
- C27 – НЭ14: растения повреждают ковер;
- C28 – НЭ15: солнце нагревает и повреждает ковер;
- C29 – НЭ16: ветер может оторвать ковер;
- C30 – НЭ17: холод (жара), пожар могут повредить ковер;
- C31 – НЭ18: внутренний водосток может протечь в помещении;
- C32 – НЭ19: водостоки могут увлажнить конструкции;

С33 – водоотвод удаляет осадки; НЭ20: при засорении водоотвода осадки скапливаются на ковре, возможны протечки;
С34 – обслуживающий персонал очищает водостоки от грязи;
С35 – НЭ21: птицы засоряют водостоки (помет, перья, кости);
С36 – НЭ22: растения засоряют водостоки (листья, семена);
С37 – НЭ23: сильный ветер может оторвать элементы водоотвода;
С38 – НЭ24: холод образует ледяные пробки и сосульки на водостоках;
С39 – НЭ25: осадки скапливаются у выступающих деформационных швов;
С40 – НЭ26: птицы могут повредить обделку деформационных швов;
С41 – НЭ27: растения повреждают обделку деформационных швов;
С42 – НЭ28: солнце нагревает и повреждает обделку деформационных швов;
С43 – НЭ29: ветер может сорвать обделку деформационных швов;
С44 – НЭ30: холод (жара), пожар могут повредить обделку деформационных швов.

Описание связей объекта с элементами надсистемы (табл. 2.3):

Св1 – основание (покрытие) «держит» пароизолятор; НЭв1: неровности основания повреждают пароизоляцию; НЭв2: на пористую и влажную поверхность основания плохо приклеивается пароизолятор;
Св2 – пароизолятор не выпускает пар из основания; НЭв3: влага накапливается в основании;
Св3 – пароизолятор держит разуклонку; НЭв4: при дефектах пароизолятора влага накапливается в материале разуклонки;
Св4 – НЭв5: при дефектах пароизолятора влага накапливается в материале теплоизолятора;
Св5 – разуклонка опирается на основание через пароизолятор;
Св6 – разуклонка опирается на пароизолятор;
Св7 – разуклонка держит теплоизолятор;
Св8 – разуклонка создает уклоны для сбора воды в водостоки; НЭв6: нарушение уклонов приводит к застою воды и протечкам;
Св9 – теплоизолятор опирается на основание через разуклонку и пароизолятор;
Св10 – теплоизолятор держит разделительный слой; НЭв7: ненадежное крепление разделительного слоя к теплоизолятору;
Св11 – разделительный слой опирается на основание через теплоизолятор, разуклонку и пароизолятор;
Св12 – разделительный слой разделяет теплоизолятор от стяжки;
Св13 – стяжка опирается на основание через разделительный слой, теплоизолятор, разуклонку и пароизолятор;
Св14 – стяжка держит ковер; НЭв8: химическое воздействие асфальтобетонной стяжки на ПВХ-мембраны; НЭв9: на пористую и влажную поверхность стяжки плохо приклеивается ковер;
Св15 – в стяжке расположены деформационные швы;

Св16 – ковер опирается на основание через стяжку, разделительный слой, теплоизолятор, разуклонку и пароизолятор;
Св17 – ковер опирается на стяжку; НЭв10: вогнутые поверхности стяжки могут приводить к расслаиванию ковра;
Св18 – ковер подводит воду к водоотводам; НЭв11: защитная посыпка ковра засоряет водостоки;
Св19 – ковер перекрывает деформационные швы;
Св20 – элементы водоотвода опираются на основание через ковер, стяжку, разделительный слой, теплоизолятор, разуклонку и пароизолятор;
Св21 – водоотвод располагается в пониженных местах разуклонки;
Св22 – деформационные швы разрезают основание и все слои кроме ковра;
Св23 – НЭв12: в случае закрепления с двух сторон деформационного шва ковер растягивается в швах и может порваться.

Описание связей

Следующим шагом приступают к описанию связей. При этом указывают код связи, взаимодействующие элементы, тип связи (вещественная, полевая), тип поля (гравитационное, механическое, акустическое, тепловое, химическое, электрическое, магнитное, биологическое, информационное), положительное и отрицательное действие и сопутствующий нежелательный эффект. В пособии мы ограничимся описанием лишь части связей между элементами кровли и надсистемы (табл. 2.4).

Связь С1 между основанием и помещением вещественная: основание кровли (перекрытие) отделяет помещение от внешней среды. Связь С2 между основанием и конструкциями здания вещественная и полевая (гравитационное поле): основание кровли опирается на конструкции здания.

Связь С3 между основанием и крышными системами вещественная и полевая (гравитационное поле): крышные системы опираются на основание кровли, но при этом имеется и отрицательное взаимодействие: крышные системы, опираясь на основание, проходят сквозь кровлю, то есть протыкают ее. При этом возникает нежелательный эффект, связанный с образованием зазоров между кровлей и элементами крышных систем и возможными протечками через них (НЭ1). Но это отрицательное действие нужно отметить не для связи С3, а для связи крышных систем с кровлей.

Таким образом необходимо подробно описать все установленные взаимосвязи элементов кровли и элементов надсистемы.

Помимо табличной формы полезно изобразить графическую структуру связей. При анализе связей перечисляют отрицательные и ненужные связи, находят элементы, которые могут быть объединены в единый функциональный блок, а также элементы, которые могут быть удалены из системы. Отрицательные связи помечают как нежелательные эффекты (НЭ).

Таблица 2.2

Матрица взаимосвязей элементов кровли с элементами надсистемы

Элементы кровли	Элементы надсистемы											
	Помещения	Конструкции	Осадки	Крышные системы	Обслуживание	Птицы	Растения	Солнце	Ветер, (воздух, пар)	Холод, (жара, пожар)		
1. Основание	C1	C2		C3	C4							
2. Пароизоляция	C5 НЭ2	C6										
3. Разуклонка		C7	C8									
4. Теплоизоляция	C9	C10	C11 НЭ3		НЭ12	C12 НЭ4				C13		
5. Разделительный слой		C14										
6. Стяжка		C15	C16 НЭ5	C17	C18 НЭ6		C19 НЭ7			C20 НЭ8, 9		
7. Ковер	C21	C22	C23 НЭ10	C24 НЭ1	C25 НЭ11	C26 НЭ13	C27 НЭ14	C28 НЭ15	C29 НЭ16	C30 НЭ17		
8. Водоотвод	C31 НЭ18	C32 НЭ19	C33 НЭ20		C34	C35 НЭ21	C36 НЭ22		C37 НЭ23	C38 НЭ24		
9. Деформационные швы			C39 НЭ25			C40 НЭ26	C41 НЭ27	C42 НЭ28	C43 НЭ29	C44 НЭ30		

Таблица 2.3

Матрица взаимосвязей элементов кровли между собой

Элементы кровли	Элементы кровли								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Основание		Св1 НЭВ1, 2							
2. Пароизолятор	Св2 НЭВ3		Св3 НЭВ4	Св4 НЭВ5					
3. Разуклонка	Св5	Св6		Св7			Св8 НЭВ6		
4. Теплоизолятор	Св9				Св10 НЭВ7				
5. Разделительный слой	Св11			Св12					
6. Стяжка	Св13						Св14 НЭВ8, 9		Св15
7. Ковер	Св16	Св24 НЭВ13				Св17 НЭВ10		Св18 НЭВ11	Св19
8. Водоотвод	Св20		Св21						
9. Деформац. швы	Св22						Св23 НЭВ12		

Таблица 2.4

Описание взаимосвязей элементов кровли с элементами надсистемы

Код	Элементы связи	Вещественная	Полевая	Тип поля	Положительное действие	Отрицательное действие	НЭ
C1	основание-помещение	+	-	-	о. отделяет п.	-	-
C2	основание-конструкции	+	+	гравитация	о. опирается на к.	-	-
C3	основание-крышные системы	+	+	гравитация	на о. опираются с.	-	-
C4	основание-персонал	-	+	информация	п. контролирует о.	п. может повредить о.	НЭ6
C5	пароизолятор-пар	+	-	-	п. не пропускает п.	влага скапливается в о.	НЭ2
C6	пароизолятор-конструкции	+	+	гравитация	п. опирается на к.	-	-
C7	разуклонка-конструкции	+	+	гравитация	р. опирается на к.	-	-
C8	разуклонка-вода	+	+	гравитация	р. создает уклоны для сбора воды		
C9	теплоизолятор-помещение	+	+	тепловое	т. защищает п. от холода и жары	-	-
C10	теплоизолятор-конструкции	+	+	гравитация	т. опирается на к.	-	-
C11	теплоизолятор-влага (строительная)	+	-	-	-	т. напитывается влагой	НЭ3
C12	теплоизолятор-птицы	+	-	-	-	п. выпивают т.	НЭ4
...

Анализ связей

Отрицательные связи взаимодействия кровли с элементами надсистемы (нежелательные эффекты):

НЭ1: крышные системы «протыкают» ковер; требуется устройство герметичных примыканий;

НЭ2: помещения «не дышат», влага скапливается в основании;

НЭ3: теплоизолятор напитывается влагой при устройстве кровли и протечках ковра;

НЭ4: птицы могут выщипывать теплоизолятор;

НЭ5: стяжка увлажняется при устройстве кровли и протечках ковра;

НЭ6: персонал может повредить стяжку при больших нагрузках (например, при складировании ремонтных материалов);

НЭ7: растения при развитии на кровле повреждают стяжку и другие слои;

НЭ8: холод и жара приводят к растрескиванию стяжки (при отсутствии температурных деформационных швов);

НЭ9: холод затрудняет устройство мокрых стяжек;

НЭ10: при протечках ковра повреждается основание и конструкции;

НЭ11: персонал может повредить ковер при чистке кровли от снега или при обслуживании;

НЭ12: обслуживающий персонал может повредить теплоизолятор давлением, если теплоизолятор недостаточно жесткий;

НЭ13: птицы могут повредить ковер;

НЭ14: растения повреждают ковер;

НЭ15: солнце нагревает и повреждает ковер (ультрафиолет);

НЭ16: ветер может оторвать ковер;

НЭ17: холод (жара), пожар могут повредить ковер;

НЭ18: внутренний водосток может протечь в помещении;

НЭ19: водостоки могут увлажнить конструкции;

НЭ20: при засорении водоотвода осадки скапливаются на ковре, возможны протечки;

НЭ21: птицы засоряют водостоки (помет, перья, кости);

НЭ22: растения засоряют водостоки;

НЭ23: ветер может повредить элементы водоотвода;

НЭ24: холод образует ледяные пробки и сосульки на водостоках;

НЭ25: осадки скапливаются у деформационных швов;

НЭ26: птицы могут повредить обделку деформационных швов;

НЭ27: растения повреждают обделку деформационных швов;

НЭ28: солнце нагревает и повреждает обделку деформационных швов;

НЭ29: ветер может сорвать ковер или обделку деформационных швов;

НЭ30: холод (жара), пожар повреждают обделку деформационных швов.

Из указанных нежелательных эффектов (отрицательных связей) к стяжке относятся 5, к коверу – 8, к водоотводу – 7, к деформационным швам – 6. Большинство НЭ связаны с негативными воздействиями надсистемы (окружающей среды) на ковер и водоотводящие устройства. Если водоизоляционный ковер будет защищен другими слоями кровли (инверсные, зеленые кровли) и водоотвод будет внутренним, то большинства НЭ можно избежать.

Отрицательные связи взаимодействия элементов кровли между собой (нежелательные эффекты внутренние):

НЭв1: неровности основания повреждают пароизоляцию;

НЭв2: на пористую и влажную поверхность основания плохо приклеивается пароизолятор;

НЭв3: при избыточном выполнении функции пароизолятором влага накапливается в основании;

НЭв4: при недостаточном выполнении функции и при дефектах пароизолятора влага накапливается в материале разуклонки;

НЭв5: при недостаточном выполнении функции и при дефектах пароизолятора влага накапливается в материале теплоизолятора;

НЭв6: нарушение уклонов приводит к застою воды и протечкам;

НЭв7: ненадежное крепление разделительного слоя к теплоизолятору;

НЭв8: химическое воздействие асфальтобетонной стяжки на ПВХ-мембраны;

НЭв9: на пористую и влажную поверхность стяжки плохо приклеивается ковер;

НЭв10: вогнутые поверхности стяжки приводят к расслаиванию ковра;

НЭв11: защитная посыпка ковра засоряет водостоки;

НЭв12: при двусторонней приклейке ковер растягивается в деформационных швах и может порваться;

НЭв13: вздутия ковра при выходе пара из слоев и при нагреве увлажненных слоев кровли (расширение паровоздушной смеси при нагреве).

Три внутренних НЭ связаны с накоплением влаги в слоях кровли. При устройстве вентилируемой кровли указанные НЭ устраняются.

Ненужные связи: нет.

Элементы объекта, которые можно объединить в один функциональный блок: разуклонка, утеплитель и стяжка могут быть объединены. При этом можно выполнить монолитный вариант (пенобетон, пористая поверхность которого должна быть огрунтована), либо сборный вариант (газоблоки, пеностекло и другие жесткие утеплители). Второй вариант требует изготовления блоков сложной геометрии для создания уклонов и огрунтовки пористых поверхностей.

Элементы, которые можно удалить из системы: разуклонка, разделительный слой, стяжка.

2.4. Функциональный анализ

Формулирование главной полезной функции (ГПФ) объекта

Формулировка ГПФ может вызывать определенные затруднения. Главное правило для определения функций выражается формулой: $F = Д + ОФ + ОМВН$, где F – функция; $Д$ – действие; $ОФ$ – объект функции; $ОМВН$ – обстоятельства места, времени, направленности действия. Действие, выражаемое глаголом в неопределенной форме, должно сопровождаться изменением параметров объекта функции. Глагол не должен быть привязан к конкретной технологии или объекту, например, лучше «дыривить», а не «сверлить».

Алгоритм формулирования главной полезной функции показан на рис. 2.3. Формулировка ГПФ с использованием алгоритма, расписанная по этапам, приведена в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Этапы формулирования ГПФ

Этап (по рис. 2.3)	Текущая формулировка функции
1	Помещения здания (в том числе, воздух, пар, инженерные системы, люди), конструкции здания, осадки, крышные системы, обслуживающий персонал, птицы, растения, солнце, ветер, воздух, пар, холод, жара, пожар (внешнее тепловое поле)
2	Помещения здания, конструкции здания, осадки
3	Ограждать помещения и конструкции здания от осадков и других внешних воздействий
4	Да
5	Водоизоляционный ковер, теплоизолятор
6	Для защиты помещений и конструкций здания от осадков и других внешних воздействий. Для сохранения комфортных условий (микроклимата) в помещениях здания для деятельности людей.
7	Помещения здания, конструкции здания, осадки, солнце, ветер, холод (жара), пожар (внешний). Ограждать помещения и конструкции здания от осадков и других внешних воздействий
8	Водоизоляционный ковер, теплоизолятор
9	Да
11	Окончательная формулировка ГПФ: Ограждать помещения и конструкции здания от осадков и других внешних воздействий

При формулировке ГПФ учитывались следующие соображения. ГПФ в формулировке «не пропускать осадки, холод (жару), ветер в помещения и к конструкциям здания» не соответствует определению функции, принятому в ФСА: функция – это действие одного материального объекта по изменению или сохранению параметров другого материального объекта.

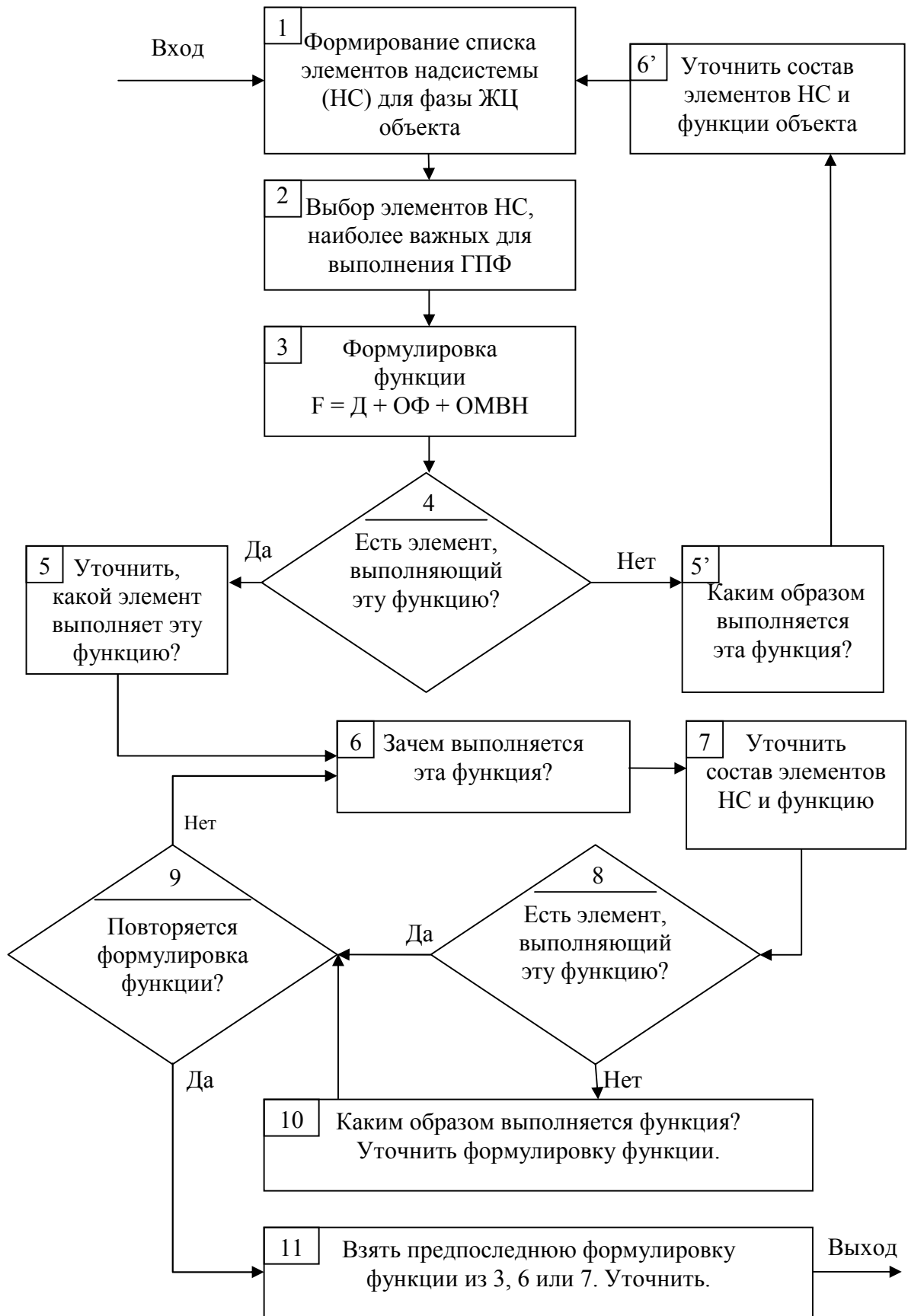


Рис. 2.3. Алгоритм формулирования главной полезной функции

Какие параметры осадков, холода, ветра изменяются при действии кровли? Никакие. Какие параметры помещений и конструкций сохраняются при действии кровли? Температура, влажность, давление, скорость движения воздуха.

Поэтому ГПФ кровли – ограждать помещения и конструкции здания от осадков и других воздействий внешней среды. Для защиты требуется многофункциональное, многослойное покрытие. Но способов защиты много (броня, бегство, отпор и пр.), здесь речь идет о том, чтобы не пропускать проникновение, ограждать (броня).

Под кровлей понимается многослойное покрытие. Покрытия различают совмещенные с кровлей и чердачные (вентилируемые). Чердаки могут быть непроходными и проходными (по высоте).

Внешние функции кровли (покрытия).

Главная полезная функция:

1. Ограждать помещения и конструкции здания от осадков и других внешних воздействий.

Дополнительные внешние функции:

2. Ограждать слои покрытия от воздействий внутренней среды (пара, конденсата, механических воздействий, внутреннего пожара).
3. Нести (воспринимать и передавать) нагрузки и деформации от осадков, ветра, температуры, осадок основания здания.
4. Создавать нагрузку на нижележащие конструкции здания.
5. Пропускать в помещении свет (световые фонари).
6. Пропускать в помещении воздух (аэрационные фонари).
7. Пропускать через себя конструкции (стены, фонари) и инженерные устройства (вентканалы, дымовые трубы, стойки антенн, молниезащиты).
8. Пропускать из помещений пар (паровоздушную смесь) наружу.
9. Удалять с кровли воду.
10. Создавать доступ к кровле для осмотра, ТО и ремонта (ремонтопригодность).
11. Не вредить природе, быть приспособленным к утилизации и переработке (экологичность).
12. Не вредить человеку (безопасность).
13. Сохранять элементы, структуру во времени до срока ТО и ремонта (безотказность).
14. Сохранять элементы, структуру во времени до окончания срока эксплуатации (долговечность).
15. Не мешать пользователям здания и обслуживающему персоналу (эргономичность).
16. Вызывать эстетические эмоции людей, иметь художественную выразительность (эстетичность).

17. Быть приспособленным к повторным, типовым решениям (стандартизация, унификация).

18. Не создавать аэродинамические нагрузки на здание и крышные элементы при ветре.

Нейтральные внешние функции.

19. Создавать площадку для воздействия солнечной радиации.

Вредные внешние функции.

20. Создавать площадку для деятельности птиц, развития растений.

Функциональный анализ объекта

Функциональную модель объекта удобно оформлять в виде таблицы (табл. 2.6) с указанием носителя функции, формулировки функции, ее ранга, ресурса и сопровождающих нежелательных эффектов.

Таблица 2.6

Функциональная модель объекта

Носитель функции (НФ)	Код и формулировка функции по правилу $F = Д + ОФ + ОМВН$	Ранг	Ресурс	НЭ
1	2	3	4	5
Кровля (покрытие)	F01. Ограждать <i>помещения (и их содержимое) и конструкции здания</i> от осадков и других внешних воздействий	ГПФ	А(Н)	НЭ1... НЭ30
	F02. Нести (воспринимать и передавать) нагрузки и деформации от осадков, ветра, температуры, осадок основания здания	Д	А	НЭ1, 11, 12, 14, 23, 24, 29
	F03 ... F018 (см. п. 3.2)	Д	А	см. п.2.4
	F019. Создавать площадку для воздействия солнечной радиации, накопления осадков	Н	А	НЭ 8, 10, 15, 25
	F020. Создавать площадку для деятельности птиц, развития растений	Вр	А	НЭ 7, 26, 27
1. Основание	F1.1. Держать кровлю, осадки и пр.	В	А	НЭв1, 2
	F1.2. Ограждать <i>помещения</i> от кровли и внешней среды	О	А	–
	F1.3. Опирается на <i>конструкции</i> здания	О	А	–
	F1.4. Не пропускать пожар снаружи	В	А	–
	F1.5. Пропускать <i>пар</i> из помещения	О	А	НЭв3
2. Пароизолятор	F2.1. Не пропускать <i>пар</i> в слои кровли	О	Н	НЭв3–5
	F2.2. Держать разуклонку	В	А	–
	F2.3. Опирается на основание	В	А	–
	F2.4. Накапливать влагу в основании	Вр	И	НЭв3
3. Разуклонка	F3.1. Направить осадки к водостокам	В	А(Н)	НЭв6
	F3.2. Держать теплоизолятор	В	А	–
	F3.3. Опирается на пароизоляцию	В	А	–
	F3.4. Накапливать строительную влагу	Вр	И	НЭв4

Окончание табл. 2.6

1	2	3	4	5
4. Тепло- изолятор	F4.1. Ограждать <i>помещения и конструкции</i> здания от холода (жары)	О	А	–
	F4.2. Держать разделительный слой	В	А	–
	F4.3. Опираются на разуклонку	В	А	–
	F4.4. Накапливать строительную ⁵ влагу	Вр	И	НЭв5
5. Раздели- тельный слой	F5.1. Не пропускать влагу из стяжки в пористый теплоизолятор	В	А	–
	F5.2. Держать стяжку	В	А	НЭв8
	F5.3. Опираются на теплоизолятор	В	А	НЭв7
	F5.4. Пропускать пар из теплоизолятора	В	Н	НЭв5
6. Стяжка	F6.1. Держать ковер, осадки и др. объекты	В	А	НЭв9, 10
	F6.2. Опираются на разделительный слой	В	А	НЭв8
	F6.3. Не пропускать пожар снаружи	В	А	–
	F6.4. Пропускать пар из нижних слоев	В	Н	–
7. Водо- изоляци- онный ковер	F7.1. Ограждать <i>помещения и конструкции</i> здания от осадков	О	А(Н)	
	F7.2. Держать осадки и др. объекты без проколов и разрывов (ограждать)	О	А	–
	F7.3. Направлять осадки к водостокам (ограждать)	О	А	НЭв11
	F7.4. Не пропускать ветер, радиацию, пыль	О	А	
	F7.5. Опираются на стяжку	В	А	–
	F7.6. Не пропускать пар из нижних слоев (следствие – вздутие ковра)	Вр	И	НЭв13
8. Водоот- вод	F8.1. Удалять осадки с ковра (<i>от помеще- ний и конструкций</i>)	О	А(Н)	–
	F8.2. Держать осадки без повреждений	В	А	–
	F8.3. Опираются на ковер и конструкции	В	А	–
	F8.4. Направлять осадки на рельеф или ливневую канализацию	В	А	–
9. Дефор- мационные швы	F9.1. Деформироваться (изменять размеры) при воздействии холода (жары), осадок основания	В	А	НЭв12
	F9.2. Опираются на конструкции	В	А	–
	F9.3. Держать осадки, слои кровли и обделку швов	В	А	–
	F9.4. Разделять кровлю на части	В	А	–
	F9.5. Накапливать осадки около швов (если швы возвышаются над кровлей)	Вр	И	

⁵ Различают парообразную влагу, которая проникает из отапливаемых помещений, и строительную влагу, которая поступает с атмосферными осадками при строительстве (см. п. 4.5 СП 17.13330.2011).

Ранг выполнения внешних функций (для кровли в целом): ГПФ – главная полезная функция, Д – дополнительная, Вр – вредная, Н – нейтральная. Ранг выполнения внутренних функций (для элементов): О – основная, В – вспомогательная, Вр – вредная, Н – нейтральная. Ресурс функции (уровень ее выполнения): А – адекватный, Н – недостаточный, И – избыточный.

Главная полезная функция (ГПФ) – полезная функция, выполняемая всей системой. Основные функции – полезные функции, объекты которых совпадают с объектом ГПФ (табл. 6 выделены курсивом). Вспомогательные функции – полезные функции, объектами которых являются носители основных функций. Вредные функции – функции, ухудшающие выполнение ГПФ, основных или вспомогательных функций. Нейтральные функции – функции, объекты которых выполняют вспомогательную функцию и не влияющие на уровень выполнения основных и вспомогательных функций.

Обозначения нежелательных эффектов: НЭ – нежелательный эффект внешний, связанный с надсистемой; НЭв – нежелательный эффект внутренний.

Анализ функциональной модели объекта

1. Вредные функции кровли и ее элементов:

Кровля: F020. Создавать площадку для деятельности птиц, развития растений.

Пароизолятор: F2.4. Накапливать влагу в основании.

Разуклонка: F3.4. Накапливать строительную влагу.

Теплоизолятор: F4.4. Накапливать строительную влагу.

Водоизоляционный ковер: F7.6. Не пропускать пар из нижних слоев.

Деформационные швы: F9.2. Разрывать ковер при деформациях; F9.5. Накапливать осадки около швов.

2. Функции с недостаточным ресурсом:

Кровля: F01. Ограждать помещения и конструкции здания от осадков и других внешних воздействий (при плохом качестве исполнения).

Пароизолятор: F2.1. Не пропускать пар в слои кровли.

Разуклонка: F3.1. Направить воду к водостокам (при плохом исполнении).

Разделительный слой: F5.4. Не пропускать пар из теплоизолятора.

Водоизоляционный ковер: F7.1. Не пропускать осадки в здание (при плохом исполнении).

Водоотвод: F8.1. Удалять воду с ковра (при плохом исполнении).

3. Функции с избыточным ресурсом – все вредные функции.

4. Некоторые особенности функций.

Нейтральная функция кровли F019 по созданию площадки для воздействия солнечной радиации, накопления осадков может быть и полезной, если разместить на кровле солнечные коллекторы, водонагреватели или

батареи, выполнить кровлю «зеленой», или водонаполненной. Накапливание снега на кровле полезно с точки зрения увеличения теплоизолирующих свойств и снижения влияния низких температур на водоизоляционный ковер. Кровля может целенаправленно использоваться в энергоэффективных домах для накапливания воды с целью ее дальнейшего использования.

5. Задачи по результатам функционального анализа.

1) Устранить или ослабить вредную функцию кровли F020: создавать площадку для деятельности птиц, развития растений.

2) Устранить или ослабить вредные функции F3.4 и F4.4 уклонообразующего слоя (разуклонки) и теплоизолятора: накапливать строительную влагу, а также F2.4 – накапливать влагу в основании.

3) Устранить или ослабить вредную функцию водоизоляционного ковра F7.6: не пропускать пар из нижних слоев.

4) Устранить или ослабить вредную функцию деформационных швов: F9.5: накапливать осадки около швов.

Первая задача решается отпугиванием птиц и созданием гладких кровель со специальным покрытием, на которых не собирается пыль и грязь.

Устранить вредные функции F3.4 и F4.4 по накапливанию влаги позволяет устройство вентилируемой кровли с чердаком или вентилируемым подкровельным слоем.

Третья задача решается устройством вентилируемой кровли или применением паропроницаемого материала для водоизоляционного ковра.

Устранить вредную функцию F9.5 удастся, если не будет уступов между поверхностью кровли и обделкой деформационных швов.

По результатам анализа также очевидно, что элементы, выполняющие только вспомогательные функции (разуклонка, разделительный слой, стяжка, деформационные швы) нужно свертывать.

Матрица «функции–элементы» и анализ значимости функций

Для соотнесения значимости функций и затрат на их выполнение необходимо определить значимость функций.

Используем расчетно-экспертный метод определения значимости функций (элементов) кровли – метод парных сравнений. Каждый элемент сравнивается с другим попарно, результаты отмечают так: если элемент важнее другого, ставят (+), если нет (–), если элементы равнозначны (±). Затем подсчитывают количество (+) и (–), а за (±) ставят полбалла, результат дает значимость функции в баллах (табл. 2.7).

Значимость элемента определяют по формуле

$$V_i = (k_i / \sum k_i) 100\%.$$

Таким образом, главными элементами (функциями) кровли являются ковер, водоотвод, теплоизолятор и деформационные швы.

Используем также метод определения значимости функций по количеству основных и вспомогательных функций и по их значимости, назначае-

мой в баллах экспертным методом. Результаты анализа и расчетов приведены в табл. 2.8.

Таблица 2.7

Матрица парных сравнений и определения значимости элементов

Элементы кровли	Элементы кровли									$\Sigma+$	V_i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1. Основание	0	-	-	-	±	±	-	-	-	1	2,6
2. Пароизолятор	+	0	±	-	+	+	-	-	-	3,5	9,2
3. Разуклонка	+	±	0	-	+	+	-	-	-	3,5	9,2
4. Теплоизолятор	+	+	+	0	+	+	-	-	+	6	15,8
5. Раздел. слой	±	-	-	-	0	-	-	-	-	0,5	1,3
6. Стяжка	±	-	-	-	+	0	-	-	-	1,5	3,9
7. Ковер	+	+	+	+	+	+	0	±	+	8,5	22,4
8. Водоотвод	+	+	+	+	+	+	±	0	+	8,5	22,4
9. Дефор. швы	+	+	+	-	+	+	-	-	0	5	13,2
$\Sigma-$	1	3,5	3,5	6	0,5	1,5	8,5	8,5	5	38	100%
Приоритет	9	5	6	3	8	7	1	2	4		

Используем также метод определения значимости функций по количеству основных и вспомогательных функций и по их значимости, назначаемой в баллах экспертным методом. Результаты анализа и расчетов приведены в табл. 2.8.

Как видим результаты анализа значимости по табл. 2.7 и 2.8 несколько отличаются. Установлено, что самые высокие приоритеты имеют водоизоляционный ковер, водоотвод, теплоизоляция. Для дальнейшего анализа используем результаты первого метода (см. табл. 2.7).

Принцип действия системы и описание физических явлений

Функция – это действие одного материального объекта по изменению или сохранению параметров другого материального объекта. Формулировка ГПФ кровли: ограждать помещения и конструкции здания от осадков и других внешних воздействий. Параметры помещений и конструкций, на которые влияет кровли: температура, влажность, давление, скорость движения воздуха.

Принцип действия – конкретный физический способ преобразования функционального параметра, реализующий главную функцию. Принцип действия кровли – создание материальных преград для внешних воздействий. Нагрузки воспринимает и передает на нижележащие конструкции основание. От холода и жары ограждает теплоизолятор, от осадков – гидроизоляционный ковер, от накопления осадков – водоотводящие устройства. Основание (перекрытие) также защищает от внешнего пожара.

Теплоизолятор также не пропускает тепло из помещения в кровлю, что очень важно для того чтобы не таял снег и не образовывался лед.

Таблица 2.8

Матрица «функции–элементы» и анализ значимости функций (элементов)

Характеристики функций элементов кровли	Элементы кровли										
	Основание	Паро-изолятор	Разуклонка	Тепло-изолятор	Раздел. слой	Стяжка	Ковер	Водоотвод	Деформация мащ. швы		
Внешние функции	1-8, 11-14	1-7, 11-14	1-7, 11-14	1-7, 11-14	1-7, 11-14	1-7, 11-14	1-8, 11-14, 15-20	3-8, 11-14, 15-18	3-8, 11-14, 18		
Внутренние функции	1.1-1.5	2.1-2.4	3.1-3.4	4.1-4.4	5.1-5.4	6.1-6.4	7.1-7.6	8.1-8.4	9.1-9.5		
Ранги внутренних функций	O (3), B(2)	B(3), Bp	B(3), Bp	O, B(2), Bp	B(4)	B(4)	O (4), B, Bp	O, B(3)	B(4), Bp(1)		
Ресурс функций	A	A, H	A, A(H)	A	A, H	A, H	A, A(H)	A, A(H)	A		
Значимость, балл	33	9	9	15	12	12	39	18	12		
Значимость, %	21	6	6	9	7,5	7,5	24,5	11	7,5		
Приоритет	2	8	7	4	6	5	1	3	9		

Примечание: значимость в баллах: основная (O) – 9 баллов; вспомогательная (B) – 3 балла; вредная (Bp) – 0 баллов. Правила счета: ранги функций O, B(2), Bp; их значимость $v=9+2\cdot3+0=15$ баллов. Относительная значимость вычисляется в процентах по формуле

$$V_i = \left(v_i / \sum v_i \right) 100\%$$

У «воздушной» кровли принцип действия отличается: от осадков, ветров и холода ограждают струи теплого воздуха, которые создаются системой воздуходувок. Но от воздействий солнца такая кровля не защищает.

При описании физических механизмов и явлений, происходящих с участием кровли, следует рассмотреть: водонепроницаемость, водопоглощение, паропроницаемость, вентиляцию подкровельного пространства, восприятие и передачу нагрузок (напряженно-деформированное состояние).

Водонепроницаемость – это свойство материала или изделия не пропускать через себя воду под давлением, которое измеряется в метрах водяного столба, атмосферах или барах.

Водопоглощение – способность материала или изделия впитывать и удерживать в порах и капиллярах воду. Массовое водопоглощение численно выражается в процентах как отношение массы воды, поглощенной образцом при полном насыщении, к массе сухого образца.

Паропроницаемость – способность материала пропускать или задерживать пар в результате разности парциального давления водяного пара при одинаковом атмосферном давлении по обеим сторонам материала. Паропроницаемость характеризуется величиной коэффициента паропроницаемости и измеряется в мг/(м·ч·Па).

Вентиляция подкровельного пространства – это процесс удаления влажного воздуха из слоев кровли. Процесс вентиляции характеризуется кратностью воздухообмена и скоростью движения воздуха.

Вентиляционная система кровли должна выполнять несколько основных функций: удаление паров, проникающих из жилых помещений; предотвращение конденсации влаги; выравнивание давления воздуха внутри и снаружи; стабилизация температуры и уменьшение результатов воздействия солнечного тепла на кровлю.

Особенность современных полимерных мембран состоит в том, что они способны выпускать избыточное давление водяного пара, создаваемое в кровельной конструкции. Например, паропроницаемость ПВХ-мембраны превосходит паропроницаемость битумного рулонного материала в 18 раз.

Требуемое сопротивление паропроницанию пароизоляционного слоя определяется, исходя из условий недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции при расчете за годовой период эксплуатации. В кровельной конструкции должен обеспечиваться баланс пара в системе. Поэтому паропроницаемость пароизоляционного слоя должна быть ниже, чем паропроницаемость гидроизоляционного слоя.

Материал для пароизоляционного слоя и количество слоев определяют с учетом температурно-влажностного режима в ограждаемых помещениях и климатических условий в районе строительства, расчет производят в соответствии с требованиями СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий».

2.5. Стоимостной анализ

Выбор документов для обоснования стоимостного анализа

Для обоснования стоимостного анализа используем ЕНиР сборник Е7 «Кровельные работы».

Используем следующие параграфы данного документа:

Е7-4-2 очистка основания от мусора;

Е7-4-5 огрунтовка основания;

Е7-13-1 устройство рулонной пароизоляции;

Е7-14 устройство засыпки керамзита по маячным рейкам;

Е7-14 укладка теплоизоляционных плит из ППС;

Е7-3-1 укладка рулонного материала насухо;

Е7-15 устройство цементно-песчаных стяжек по утеплителю;

Е7-14 ПР-4 устройство температурных швов в стяжке;

Е7-2-1 наклейка наплавляемых рулонных материалов;

Е7-4-11 обделка свесов и примыканий рулонными материалами;

Е7-4-10 устройство защитного слоя из гравия;

Е7-4-8 обделка водосточных воронок;

Е7-9-1,2 установка ухватов по стенам и навеска водосточных труб.

Результаты стоимостного анализа

Результаты стоимостного анализа по трудоемкости и расценкам на устройство слоев кровли приведены в табл. 2.9.

Таблица 2.9

Результаты стоимостного анализа системы, на 100 кв. м кровли

Элементы кровли	Трудоемкость		Затраты		Обоснование
	чел-ч	%	руб.	%	
1. Основание	1,05	1,2	0-80	1,2	Е7-4-2, Е7-5-2
2. Пароизолятор	6,7	7,4	4-49	7,0	Е7-13-1
3. Разуклонка	9,4	10,4	6-30	9,7	Е7-14-16
4. Теплоизолятор	13,5	15,0	9-04	14,0	Е7-14-8
5. Раздел. слой	3,0	3,3	2-01	3,1	Е7-3-1
6. Стяжка	18,25	20,3	13-44	20,8	Е7-15-7, Е7-4-5, Е7-14 ПР-4
7. Ковер	21,3	23,7	15-80	24,4	Е7-2-1, Е7-4-11, Е7-4-10
8. Водоотвод	8,0	8,9	6-47	10,0	Е7-9, Е7-4-8
9. Дефор. швы	8,7	9,7	6-30	9,8	Е7-14 ПР-4, Е7-4-11
Итого	89,9	100%	64-65	100%	–

Примечание: подготовка основания включает очистку и огрунтовку. Устройство ковра включает наклейку рулонного материала, обделку примыканий и устройство защитного слоя. Устройство стяжки включает дополнительно устройство температурных швов и огрунтовку. Устройство деформационных швов включает дополнительно обделку примыканий.

Матрица «значимость функций – стоимость функций»

Характеристики функций и затрат элементов кровли	Элементы кровли										Деформация мащ. швы
	Основание	Пароизоляция	Разуклонка	Теплоизоляция	Раздел. слой	Стяжка	Ковер	Водоотвод	Деформация мащ. швы		
Значимость функций, %	2,6	9,2	9,2	15,8	1,3	3,9	22,4	22,4	22,4	13,2	
Приоритет функции	8	6	5	3	9	7	1	2	4		
Трудоёмкость, %	1,2	7,4	10,4	15,0	3,3	20,3	23,7	8,9	9,7		
Затраты, %	1,4	7,0	9,7	14,0	3,1	20,8	24,4	10,0	9,8		
Приоритет затрат	9	7	5	3	8	2	1	4	6		
Превышение затрат	–	–	0,5	–	1,8	16,9	2,0	–	–		
Кол-во НЭв (НЭ)	3	3	2	1(2)	3	2(5)	2(8)	(7)	1(6)		

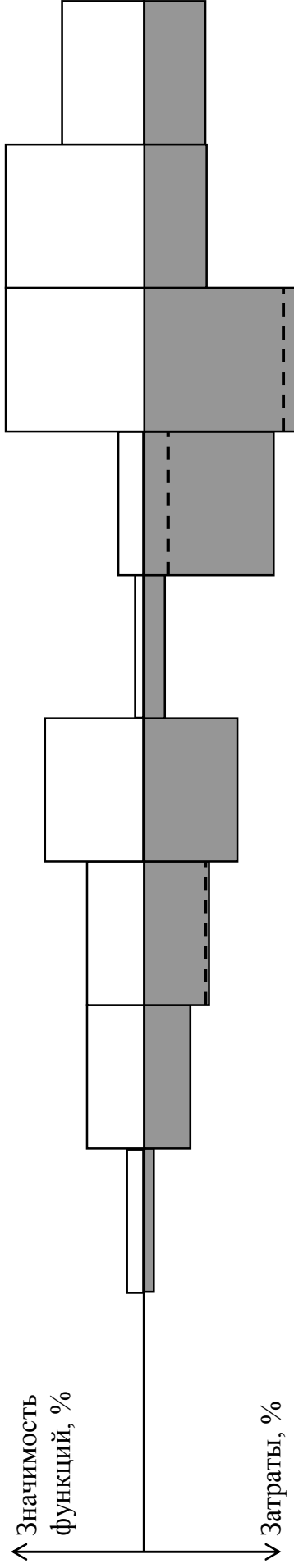


Рис. 2.4. Диаграмма соотношения функций и затрат

Из диаграммы соотношения значимости функций и затрат следует, что наибольшие несоответствия присущи стяжке.

2.6. Параметрический анализ

Документы для параметрического анализа:

СП 17.13330.2011 Кровли;

СП 71.13330.2012 Изоляционные и отделочные покрытия;

СНиП 3.04.01-87 Изоляционные и отделочные покрытия;

СП 31-101-97 Проектирование и строительство кровель;

ГОСТ 30693-2000 Мастики кровельные и гидроизоляционные.

Параметрический анализ элементов рулонной кровли

Таблица 2.11

Требования к параметрам элементов кровли

Элемент	Параметр	Значение параметра	Обоснование
1	2	3	4
1. Основание	1.1. Прочность	проект	проект
	1.2. Влажность	4%	2.23 СНиП 3.04.01
	1.3. Ровность	±10 мм	2.6 СНиП 3.04.01
	1.4. Толщина затирки по плитам	10–15 мм	3.3.6 СП 31-101
2. Пароизолятор	2.1. Паропроницаемость	проект	ТУ
	2.2. Толщина	проект	проект
	2.3. Прочность приклейки	0,5 МПа	2.13 СНиП 3.04.01
3. Разуклонка	3.1. Уклоны	±0,2 %	2.6 СНиП 3.04.01
	3.2. Прочность	проект	проект
	3.3. Влажность	4–5%	2.38 СНиП 3.04.01
4. Теплоизолятор	4.1. Теплосоппротивление	проект	проект
	4.2. Водопоглощение	проект	ТУ
	4.3. Прочность: плитного	0,06	3.3.1 СП 31-101
	монолитного	0,15	То же
	4.4. Деформативность	10%	То же
	4.5. Ширина швов между плитами	2 мм	2.38 СНиП 3.04.01
	4.6. Толщина	–5...10%	То же
	4.7. Уклон	±2%	То же
	4.8. Ровность	±5 мм	То же
	4.9. Нахлест плит	±5%	То же
4.10. Уступы между плитами	5 мм	То же	
5. Разделительный слой	5.1. Водопроницаемость	проект	ТУ
	5.2. Толщина	проект	проект
	5.3. Прочность крепления	0,5 МПа	2.13 СНиП 3.04.01
6. Стяжка	6.1. Ровность	±5 мм	2.6 СНиП 3.04.01
	6.2. Влажность	5%	2.23 СНиП 3.04.01
	6.3. Прочность: асфальтобетон	0,8 МПа	3.3.1 СП 31-101
	ц.п. раствор	5 МПа	То же
6.4. Толщина	±10%	2.6 СНиП 3.04.01	

1	2	3	4	
	6.5. Толщина грунтовки	0,3–0,7 мм	То же	
	6.6. Высота бортиков примыкания	100 мм	3.3.14 СП 31-101	
7. Ковер	7.1. Водонепроницаемость	проект	ТУ	
	7.2. Толщина (кол-во слоев)	1–4	прил. Д СП 17.13330	
	7.3. Толщина защитного слоя	3–5 мм	5.17 СП 17.13330	
	7.4. Нахлест рулонов	100 мм	2.17 СНиП 3.04.01	
	7.5. Прочность приклейки	0,1 МПа	5.15 СП 17.13330 ГОСТ 30693-2000	
		0,5 МПа	2.13 СНиП 3.04.01	
	7.6. Прочность на прокол	проект	ТУ	
	7.7. Гибкость при температуре	проект	ТУ	
	7.8. Растяжимость	проект	ТУ	
	7.9. Огнестойкость	проект	ТУ	
	7.10. Заведение на вертикал. пов-ти	250 мм	5.15 СП 17.13330	
	7.11. Заведение на парапет	450 мм	5.28 СП 17.13330	
	7.12. Ширина слоев усиления:	– карниза	250 мм	5.31, 5.32 СП 17.13330
		– конька	150–250	
		– ендовы	500–750	
7.13. Уклон скатов	1,5–25%	4.3 СП 17.13330		
7.14. Толщина слоя мастик	0,8–2 мм	2.23 СНиП 3.04.01		
7.15. Площадь точечной (полосовой) приклейки нижнего слоя	25–35%	3.4.13 СП 31-101		
8. Водоотвод	8.1. Производительность, кол-во	1 на 700 м ² , не менее 2-х	проект	
	8.2. Удельная площадь стоков	1,5 см ² /1 м ²	9.7 СП 17.13330	
	8.3. Понижение уровня воронок	15–20 мм	5.25 СП 17.13330	
	8.4. Отступ воронок от парапета	600 мм	То же	
	8.5. Высота здания при неорганизованном водостоке	1–2 этажа	9.1 СП 17.13330	
	8.6. Вынос карниза	600 мм	9.3 СП 17.13330	
	8.7. Кабельная система противобледенения	на стоках и карнизе	9.14 СП 17.13330	
9. Деформационные швы	9.1. Удельное количество	6×6 (4×4) м	5.9 СП 17.13330	
	9.2. Ширина полос рулонов	150 мм	5.10 СП 17.13330 2.19 СНиП 3.04.01	
		9.3. Ширина швов (температурно-усадочных)	не более 10 мм	5.9 СП 17.13330

2.7. Функционально-идеальное моделирование

Поэлементное функционально-идеальное моделирование, свертывание элементов кровли

I. Элемент «**основание**» можно не делать, если:

а) нет кровли, осадков и др. объектов;

б) кровля сама себя держит (воспринимает нагрузки от веса осадков и других объектов на кровле);

решение: кровля сама является несущим элементом (кровельные плиты покрытия, сэндвич-панели); воздушная кровля – воздуходувки сдувают осадки, надувная кровля (рис. 2.5);



Рис. 2.5. Надувная кровля

в) кровлю держат оставшиеся элементы объекта: теплоизолятор, разуклонка, стяжка или элементы надсистемы: конструкции здания;

решение: применение несущих конструкций покрытия, совмещающих функции кровли (профлисты, сэндвич-панели, кровельные плиты и пр.).

II. Элемент **«пароизоляция»** можно не делать, если:

а) нет необходимости не пропускать пар в слои кровли;

решение: проветриваемый чердак, вентилируемое подкровельное пространство (вентилируемая кровля);

б) паровоздушная смесь сама себя не пропускает в слои кровли;

решение: пар полностью удаляется из помещения системой вентиляции и не проникает в кровлю;

в) пар не пропускают в слои кровли оставшиеся элементы объекта: основание, разуклонка, стяжка, ковер или элементы надсистемы: конструкции здания, крышные системы;

решения: инверсная кровля с размещением ковра по основанию; паронепроницаемая стяжка по основанию; паронепроницаемые плиты покрытия или пароизоляция со стороны помещений.

III. Элемент **«разуклонка»** можно не делать, если:

а) не надо направлять осадки к водостокам (нет необходимости в уклонах водоизоляционного ковра);

решение: осадки удаляются с кровли или направляются к водостокам другим образом (вакуумирование, насосы, зеленая кровля, дренаж); водоизоляционный ковер настолько надежен, что уклоны не нужны;

б) водоизоляционный ковер сам направляет осадки к водостокам (обеспечивает заданные уклоны);

решение: скатная крыша или покрытие; динамизация ковра (наклоняется, надувается, прогибается и образует уклоны); в ковре имеются многочисленные водостоки;

в) заданные уклоны обеспечивают оставшиеся элементы объекта: «основание», «теплоизолятор» или «стяжка» или элементы надсистемы: конструкции здания (плиты покрытия);

решение: уклоны образованы плитами утеплителя, монолитным утеплителем-стяжкой или плитами покрытия; осадки удаляются специальной системой (см. пункт «а»).

IV. Элемент **«теплоизолятор»** можно не делать, если:

а) нет необходимости не пропускать холод (жару) в здание;

решение: неотапливаемое здание, холодный чердак;

б) холодный (жаркий) воздух сам себя не пропускает в здание;

условное решение: здание под землей, снегом, водой;

в) холод (жару) не пропускают в здание оставшиеся элементы объекта: основание, разуклонка, стяжка или элементы надсистемы: конструкции здания, растения, крышные системы;

решения: монолитная разуклонка или стяжка из теплоизоляционного материала; зеленая кровля; эксплуатируемая кровля с теплым покрытием; снежная кровля.

V. Элемент **«разделительный слой»** можно не делать, если:

а) нет теплоизолятора или стяжки;

решение: ковер устраивается по теплоизолятору или по теплой стяжке;

б) влага стяжки сама себя не пропускает к теплоизолятору (нет влаги);

решение: сухая стяжка из двух листов ЦСП или ХЦЛ; асфальтобетонная стяжка;

в) влагу стяжки не пропускают к теплоизолятору оставшиеся элементы объекта: теплоизолятор, стяжка; или элементы надсистемы;

решение: огрунтовка теплоизолятора; применение теплоизолятора с низким водопоглощением (например, экструдированный ППС), теплоизолятора с гидроизоляционным покрытием; вакуумирование мокрой стяжки в процессе ее устройства.

VI. Элемент **«стяжка»** можно не делать, если:

а) нет ковра, осадков и др. объектов на кровле;

б) ковер сам себя держит (воспринимает нагрузки от веса осадков и других объектов на кровле);

решение: ковер образован жесткими материалами, изделиями;

в) ковер держат оставшиеся элементы объекта: теплоизолятор, разуклонка или элементы надсистемы: конструкции здания (плиты покрытия);

решение: устройство ковра по теплоизолятору или по утепленным плитам покрытия.

VII. Элемент **«водоизоляционный ковер»** можно не делать, если:

а) нет необходимости не пропускать осадки в здание;

решение: осадки собираются внутри здания и используются;

б) осадки сами себя не пропускают в здание;

решение: агрегатные или химические превращения (испарение, замораживание, затвердевание и пр.); ледяной ковер;

в) осадки не пропускают в здание оставшиеся элементы объекта: основание, разуклонка, теплоизолятор, стяжка или элементы надсистемы: конструкции здания, растения, крышные системы;

решение: монолитный или сборный паро-, тепло- и гидроизолятор в одном материале.

VIII. Элемент **«водоотвод»** можно не делать, если:

а) нет необходимости удалять осадки с ковра;

решение: осадки собираются и используются;

б) осадки сами себя удаляют с ковра;

решение: агрегатные или химические превращения (испарение, замораживание, затвердевание и пр.);

в) осадки удаляют с ковра оставшиеся элементы объекта: основание, разуклонка, теплоизолятор, стяжка, деформационные швы или элементы надсистемы: конструкции здания, растения, крышные системы;

решения: неорганизованный водоотвод; водоотвод через деформационные швы; зеленая кровля; система, сдувающая осадки; впитывание воды всей кровлей с последующим удалением вакуумом, использованием или превращением.

IX. Элемент **«деформационные швы»** можно не делать, если:

а) не нужно деформироваться (изменять размеры) при воздействии холода (жары), осадок основания;

решение: при деформациях кровля не повреждается;

б) кровля сама деформируется (без повреждений);

решение: деформируемая кровля или ковер (с компенсаторами деформаций);

в) деформируются оставшиеся элементы объекта: основание, разуклонка, теплоизолятор, стяжка, ковер или элементы надсистемы: конструкции здания;

решения: конструкции здания обеспечивают деформации кровли без устройства швов.

Функционально-идеальные модели

Функционально-идеальное моделирование предполагает свертывание тех элементов системы, которые выполняют вспомогательные функции, либо вызывают много нежелательных эффектов, либо отличаются большой трудоемкостью и стоимостью изготовления. Модели приведены в табл. 2.12.

Функционально-идеальные модели

Возможные решения (ссылки на рисунки)	Свернутые элементы (функции)	Свернутые НЭ
1. Утепленные плиты покрытия (рис. 2.7, 2.12, 2.13)	Теплоизолятор	НЭв 1–3, НЭ 4, 5
2. Кровля с вентилируемым холод- ным чердаком (рис. 2.6, 2.8)	Теплоизолятор, разделитель- ный слой, стяжка	НЭв 1–10, НЭ 3–9
3. Совмещенная вентилируемая кровля (рис. 2.7, 2.10, 2.12)	То же	НЭв 1–10, НЭ 3–9
4. Вентиляция подкровельного про- странства (рис. 2.9, 2.11)	Нет	–
5. Паронепроницаемый теплоизоля- тор + вентилируемая кровля	Пароизолятор	НЭв 3–5
6. Паронепроницаемая стяжка + вентилируемая кровля	Нет	–
7. Воздуходувки для удаления осад- ков, «воздушная» кровля	Все элементы	НЭ 1–30
8. Инверсная кровля (рис. 2.16)	Пароизолятор, стяжка, раздели- тельный слой	НЭв 3–5, 7– 10, НЭ 5–9
9. «Зеленая» кровля	Водоотвод (частично), разук- лонка	НЭв 4, 6
10. «Снежная» кровля	Теплоизолятор (частично)	–
11. «Ледяная» кровля	Водоотвод, разуклонка	НЭв 4, 6
12. Динамизация уклонов кровли	Разуклонка	НЭв 4, 6
13. Абсолютно водонепроницае- мый ковер	Разуклонка	НЭв 4, 6
14. Вакуумная система водоотвода	Разуклонка	НЭв 4, 6
15. Монолитный или сборный уте- плитель с разуклонкой (рис. 2.17, 2.18)	Разуклонка, стяжка	НЭв 4, 6, 8, 10
16. Водонаполненная кровля	Теплоизолятор, водоотвод, раз- уклонка	НЭв 4–6,
17. Сухая стяжка	Разделительный слой	–
18. Жесткий теплоизолятор с нулевым водопоглощением	Разделительный слой, стяжка	НЭв 5, 7–10
19. Разуклонка из профилей (рис. 2.16)	Вентиляционный зазор	НЭ 2
20. Утеплитель с вентканалами (рис. 2.11)	Вентиляционный зазор	НЭ 2
21. Теплоизолятор со слоем стяжки (рис. 2.15)	Защитный слой, пригруз	–
22. Кровельные плиты покрытия, сэндвич-панели (рис. 2.10, 2.13)	Все слои кровли переносятся в надсистему (конструкцию), ос- нование	НЭ 2

Схемы (эскизы) и анализ возможных решений

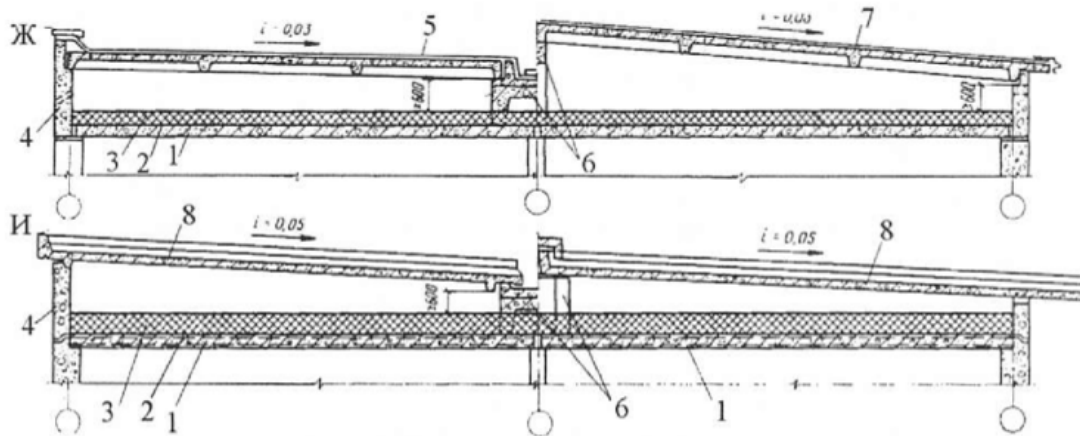


Рис. 2.6. Схемы вентилируемых крыш с рулонной (ж) и безрулонной (и) кровлей (варианты с организованным и неорганизованным водостоками):
 1 – железобетонное покрытие, 2 – пароизоляция, 3 – утеплитель, 4 – фризная панель с вентиляционным отверстием, 5 – кровельная панель, 6 – опорный элемент, 7 – рулонная гидроизоляция, 8 – кровельная панель безрулонной крыши

Преимущества данной схемы (рис. 2.6) связаны, прежде всего, с устройством вентиляционного зазора и холодного непроходного чердака. Утеплитель хорошо проветривается, влага в нем не задерживается. Однако данное решение не отвечает требованиям ремонтпригодности: чтобы заменить пароизоляцию и утеплитель, необходимо демонтировать кровельные панели.

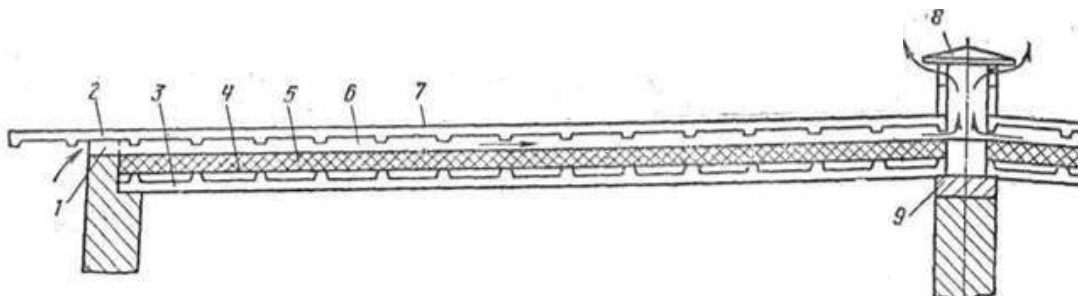


Рис. 2.7. Совмещенная вентилируемая кровля из прокатных панелей:
 1 – приточное отверстие, 2 – верхняя прокатная панель, 3 – несущая прокатная панель, 4 – пароизоляционный слой, 5 – теплоизоляционный слой, 6 – вентилируемая прослойка, 7 – рулонный ковер, 8 – оголовок вентиляционной шахты, 9 – прокатная плита

Преимущества совмещенной схемы (рис. 2.7) заключаются в дешевизне, простом устройстве вентиляционного зазора, причем утеплитель просушивается и снизу. Недостаток решения связан с требованиями ремонтпригодности: чтобы заменить пароизоляцию и утеплитель, необходимо демонтировать верхнюю прокатную панель.

При выполнении покрытия из мелкогазонаполненных плит с решением холодного чердака возникает необходимость устройства множества промежуточных опор, которые мешают вентиляции чердака. Приходится выполнять стены внутри чердака решетчатыми (рис. 2.8). Как видим, данное решение трудоемко и применимо, прежде всего, для индивидуального малоэтажного строительства. Чердак здесь полупроходной, что позволяет, в случае надобности, заменить пароизоляцию и утеплитель, но для этого нужно оставить проходы в решетчатых стенах.

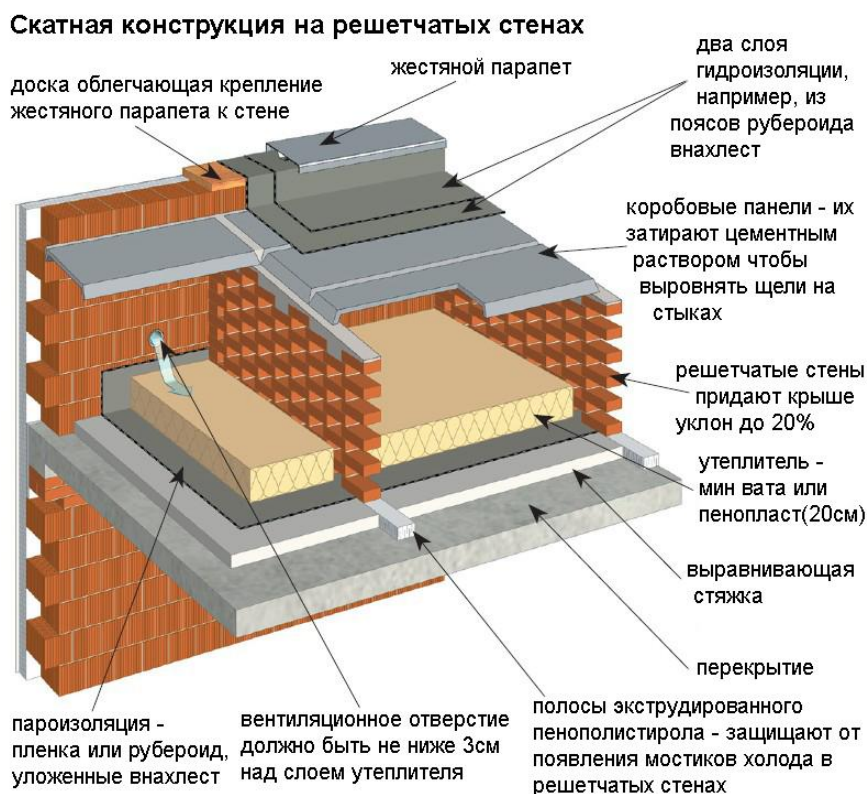


Рис. 2.8. Вариант вентилируемой кровли с решетчатыми опорными стенками

Устройство вентилируемого зазора совмещенного кровельного покрытия может быть выполнено с применением традиционного кровельного материала – асбоцементных волнистых листов (рис. 2.9). Для этого под водоизоляционным ковром устраивают армированную стяжку, которую опирают на асбоцементные листы. Зазоры, образованные волнами АЦЛ, соединяются с вентиляционным каналом по контуру кровли. Последние должны иметь продухи на карнизах и коньке кровли.

Недостатки указанного решения связаны с многослойностью кровельного покрытия, большими трудозатратами изготовления, необходимостью устройства армированной стяжки, при повреждении которой волнистые листы могут быть раздавлены. Указанное решение пригодно и для ремонта увлажненной кровли, которую разбирают, на влажный утеплитель укладывают волнистые АЦЛ, выполняют систему вентиляции и новый ковер.

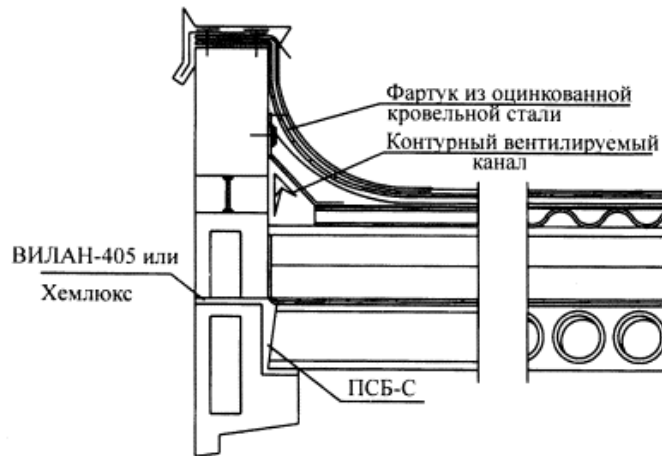
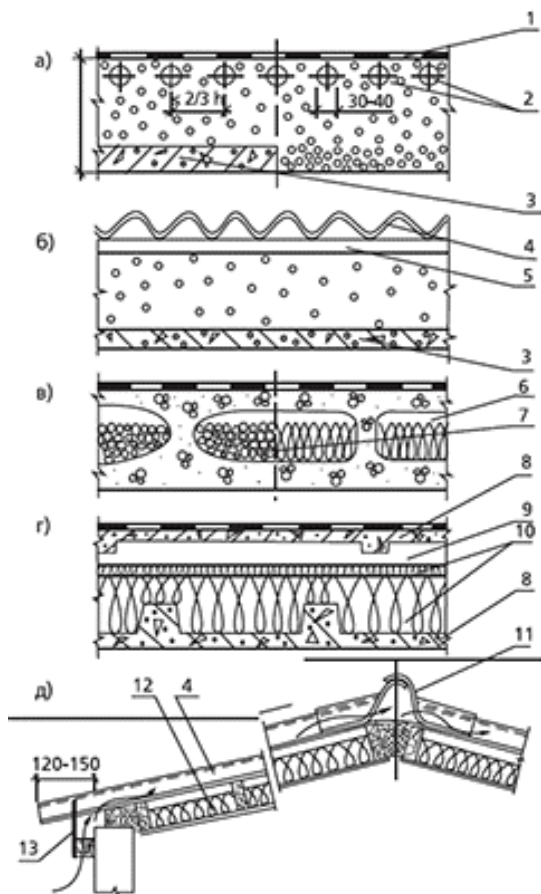


Рис. 2.9. Вариант вентилируемой кровли с применением асбестоцементных листов: состав слоев сверху вниз: 1 – гидростеклоизол, 2 – цементная стяжка с армированием, 3 – рубероид РПП, 4 – волнистые асбестоцементные листы, 5 – сухая стяжка из ЦСП 20 мм, 6 – разуклонка из песка по слою пергамина, 7 – пенополистирол ПСБ-С, 8 – пароизоляция, 9 – железобетонная плита



а) легкобетонные панели с вентилируемыми каналами; б) легкобетонные панели, совмещенные с железобетонными плитами и кровлей из волнистых асбестоцементных листов; в) керамзитобетонные панели с крупными пустотами, частично заполненными утеплителем; г) крыши из двух ребристых железобетонных панелей с утеплителем и вентилируемой воздушной прослойкой; д) каркасные асбестоцементные утепленные панели с кровлей из волнистых асбестоцементных листов;

1 – водоизоляционный ковер; 2 – вентилируемые каналы в верхней зоне утеплителя; 3 – железобетонная плита; 4 – асбестоцементные волнистые листы либо ондулин; 5 – деревянные бруски; 6 – вентилируемый воздушный канал над утеплителем; 7 – легкий керамзитовый гравий; 8 – несущие железобетонные плиты; 9 – вентилируемая воздушная прослойка; 10 – минераловатные двухслойные плиты; 11 – коньковые асбестоцементные изделия; 12 – асбестоцементные панели с деревянным каркасом, минераловатным утеплителем, закрытым сверху ветрозащитным нетканым материалом; 13 – защитная гребенка из металлического листа, асбестоцемента или ЦСП

Рис. 2.10. Вентилируемые совмещенные крыши из крупных панелей

На рис. 2.10 приведены варианты вентилируемых совмещенных крыш из крупных панелей. Легкобетонные панели, толщина которых подбирается из расчета на теплосоппротивление и прочность, оборудуются вентканалами в верхней части (а). Керамзитобетонные панели с большими внутренними пустотами, частично заполненными утеплителем. Над утеплителем оставляют зазоры для его вентиляции (в). Крыши из двух ребристых железобетонных панелей с утеплителем внутри и вентилируемой воздушной прослойкой (з) – решение аналогичное рис. 2.7. Каркасные асбестоцементные панели с кровлей из волнистых асбестоцементных листов (д).

Указанные решения имеют неочевидный нежелательный эффект: при искусственной вентиляции помещений под вентилируемой кровлей в помещениях должно быть пониженное давление, иначе теплый воздух будет «выдавлен» в воздушную прослойку кровли.

По закону повышения степени идеальности нужно организовать вентканалы без введения дополнительных элементов в систему. Этому принципу удовлетворяет кровельное решение PAROC (рис. 2.11), в котором пазы для вентиляции образованы прямо в утеплителе.

Главным недостатком этого решения является дополнительные затраты на изготовление нестандартных плит утеплителя с пазами и устройство трехслойного теплоизолирующего слоя и крышных дефлекторов.

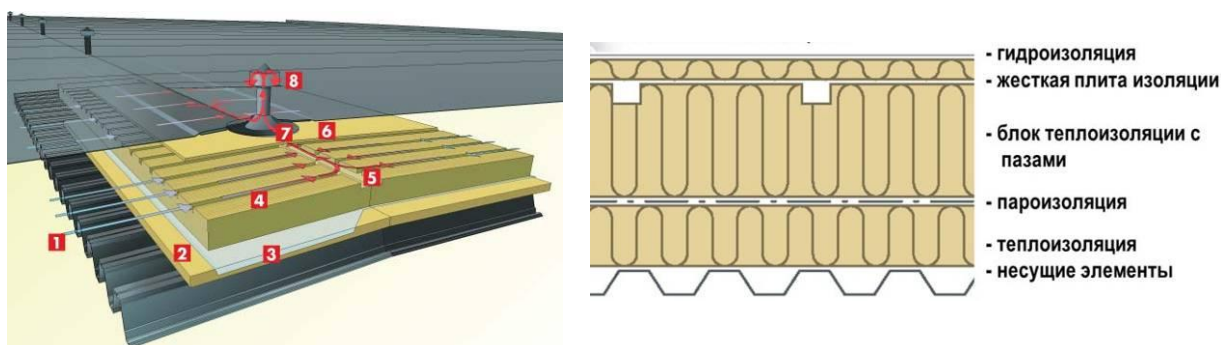


Рис. 2.11. Совмещенная вентилируемая кровля системы PAROC:

1 – основание, 2 – несущие плиты теплоизоляции (PAROC ROS 40) 3 – пароизоляция, 4 – плиты теплоизоляции с пазами для вентиляции (PAROC ROS 40g), 5 – вентилируемый канал, выходящий к дефлекторам, 6 – жесткие плиты теплоизоляции (PAROC ROB 80t), 7 – гидроизоляционный ковер, 8 – дефлектор (или аэратор)

Дальнейшая свертка системы по законам повышения степени идеальности и переходам в надсистему приводит к различным вариантам кровельных панелей, в которых совмещены все функции слоев кровли: основания, паро- и теплоизоляции, вентзазора и т.д. (рис. 2.12). Такое решение отвечает требованиям индустриального производства из крупных элементов повышенной заводской готовности. Недостатком кровельной панели коробчатого сечения является сложность ее изготовления и неремонтопригодность.

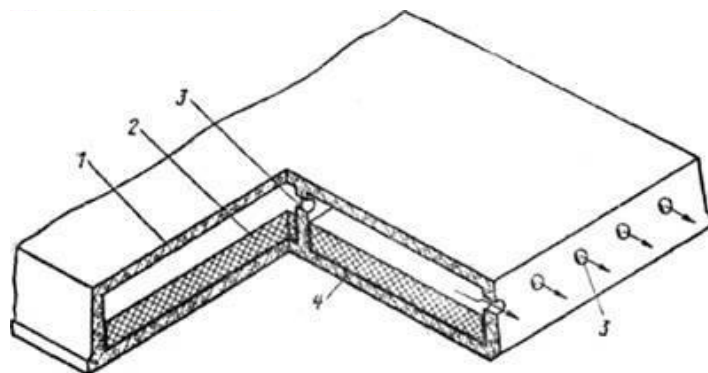


Рис. 2.12. Совмещенная вентилируемая панель коробчатого сечения:
 1 – коробчатая секционная панель из железобетона, 2 – жесткий или гибкий утеплитель, уложенный с вентилируемым зазором, 3 – вентиляционное отверстие, 4 – пароизоляционный слой

Еще один вариант совмещения функций покрытия и кровли, отвечающий требованиям индустриального строительства, – это кровельные сэндвич-панели (рис. 2.13). Близкое к идеальному решение предназначено, главным образом, для производственных зданий, сооружений суперблоков с оборудованием, блочных домов для строителей, вахтовиков.

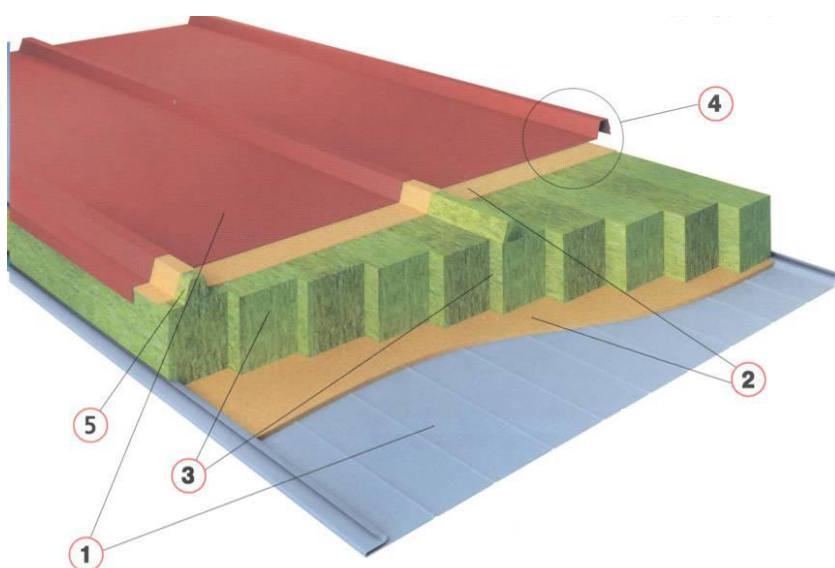


Рис. 2.13. Кровельные сэндвич-панели
 1 – оцинкованная тонколистовая сталь с многослойной защитой и полимерным покрытием, 2 – синтетический клей на полиуретановой основе, 3 – ламели базальтовой минваты, 4 – замковое соединение, 5 – трапециевидная ламель из минеральной ваты

Недостатком панелей является возможность проникновения пара и влаги внутрь конструкции через незащищенные торцы. Следовательно, торцы таких панелей должны быть герметичными.

Наиболее слабым местом традиционного кровельного покрытия является верхний гидроизоляционный слой, который подвергается воздействию неблагоприятных факторов: температурные колебания, ультрафиолетовые лучи, механические повреждения и т.д. Инверсионная конструкция кровель подразумевает размещение утеплителя над слоем гидроизоляции (рис. 2.14). Важно, что при этом предотвращается возникновение конденсата, что дает возможность не устраивать пароизоляцию кровли.

Инверсионную кровлю, как правило, устраивают в качестве основы для эксплуатируемых кровель, что позволяет устраивать зоны отдыха, автостоянки, кафе, что особенно актуально для больших городов.

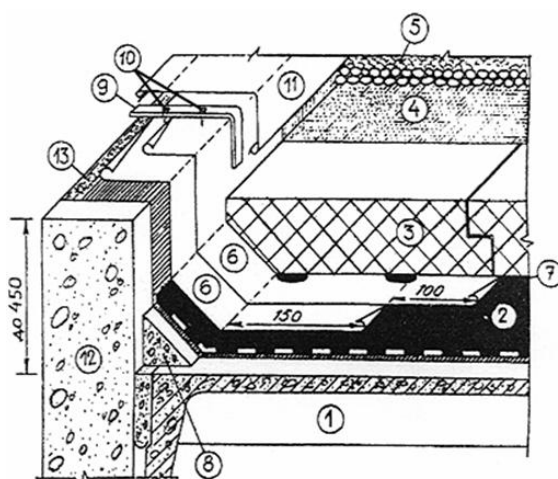


Рис. 2.14. Конструкция инверсионной кровли:

1 – железобетонная плита покрытия; 2 – основной водоизоляционный ковер; 3 – теплоизоляция из экструзионного пенополистирола; 4 – фильтрующий слой; 5 – пригруз из гравия; 6 – дополнительный водоизоляционный ковер; 7 – точечная приклейка теплоизоляции; 8 – бортик из лёгкого бетона; 9 – костыли 40×4 мм через 600 мм; 10 – дюбели; 11 – оцинкованная кровельная сталь; 12 – стена; 13 – грунтовка

Для расширения возможностей строительства плоских инверсионных кровель были разработаны теплоизоляционные плиты Roofmate, совмещающие в себе функции теплоизоляции, пригруза и верхнего жесткого покрытия (рис. 2.15).



Рис. 2.15. Плиты теплоизоляции Roofmate

Плиты состоят из теплоизоляции Styrofoam и защитного слоя модифицированного цементного раствора толщиной 10 мм на лицевой поверхности. Концепция была разработана и запущена в производство в США в 1977 году. Плиты Roofmate позволяют исключить засыпку изоляции по всей поверхности крыши. При сильных ветрах устойчивость плит обеспечивается специальной формой соединений плит и перевязкой при укладке, а также фиксацией плит по периметру крыши.

Преимущества плит Roofmate: могут монтироваться без устройства пригруза; обеспечивают возможность эксплуатации кровли; устанавливаются независимо от погодных условий; могут сниматься и использоваться повторно.

Множество проблем кровли связаны с необходимостью устройства разуклонки. В последнее время распространение получил метод устройства разуклонки при помощи подконструкции (рис. 2.16) из профиля ПП 75×50×5, либо подобного, с устройством по верху него настила из двух слоев плоского хризотилцементного листа толщиной 10 мм (АЦЛ), либо профлиста. Достоинством данного метода является возможность применения вместо жесткого кровельного утеплителя более дешевого мягкого минераловатного утеплителя, поскольку в этом случае всю нагрузку несет на себе подконструкция из профиля.



Рис. 2.16. Варианты устройства сборных разуклонок

Для создания уклонов, способствующих быстрому удалению воды с кровли к точкам сброса, также применяются клиновидные плиты теплоизоляции (рис. 2.17). Область применения клиновидных плит довольно широка: они служат для создания разуклонки в ендовах, создания уклонов у вентиляционных шахт и зенитных фонарей, а также применяются как создание дополнительного уклона для быстрого отвода воды от парапетов (контруклона) к водосточным воронкам. Как правило, клиновидные плиты представляют собой набор плит типа «А» и «В» с уклоном 1,7 %, которые используются для создания основного уклона на кровле от ендовы до конька. Плиты типа «J» и «К» с уклоном 3,4 % применяются в основном для создания разуклонки между воронками, а также для отвода воды от парапета, зенитных фонарей, кровельных вентиляторов.

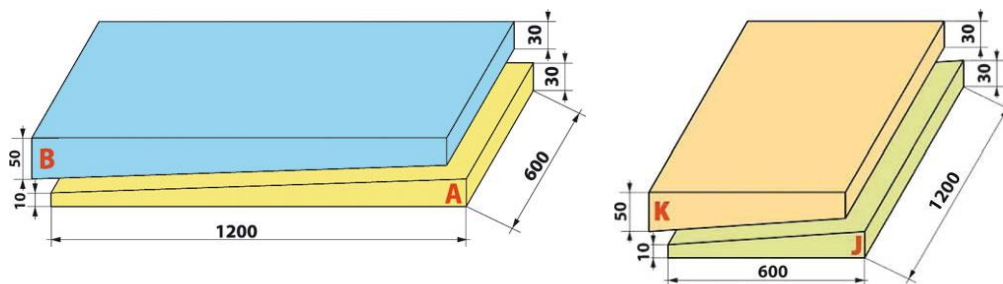


Рис. 2.17. Варианты устройства разуклонок из клиновидных плит теплоизоляции

Плоская теплоизоляционная плита используется для набора необходимой толщины и может укладываться как под клиновидную плиту, так и поверх нее (рис. 2.18).

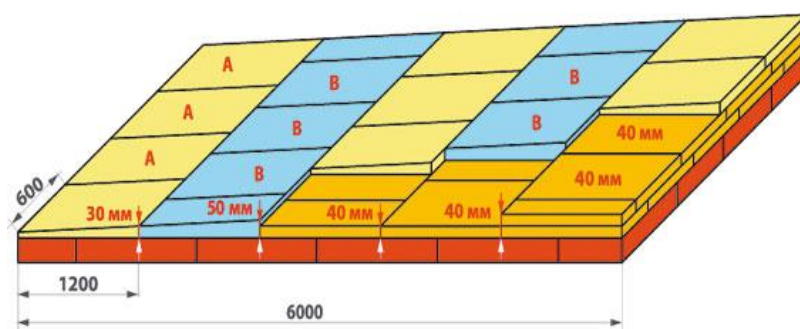


Рис. 2.18. Создание уклона с помощью клиновидных плит

Специальная раскладка плит из набора «Техноплекс-клин» применяется для создания дополнительного уклона (контруклона 3,4%) для быстрого отвода воды к водосточным воронкам в ендовах и около парапетов (рис. 2.19).

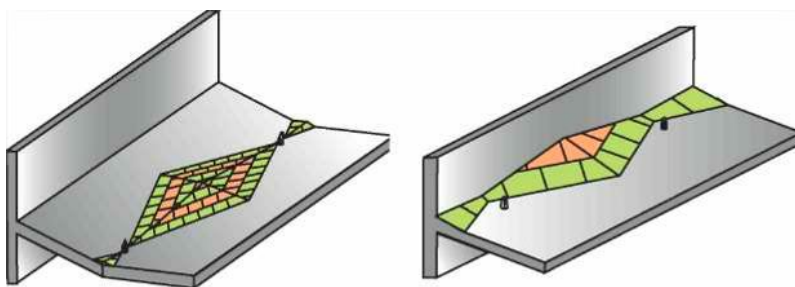


Рис. 2.19. Раскладки клиновидных плит для устройства контруклона между воронками в ендовах и около парапетов

Преимущества применения клиновидной теплоизоляции для формирования уклона: снижение нагрузок на основание; отсутствие «мокрых» процессов; сокращение трудозатрат на выполнение уклонов.

При неправильной разуклонке происходит образование застойных зон и развитие растительного слоя на кровле. Одна из главных причин сокращения срока службы кровельного покрытия связана с образованием застойных зон (луж) на поверхности кровли. Многократные процессы замо-

раживания-оттаивания воды в застойных зонах приводят к преждевременному выходу из строя гидроизоляционного покрытия.

Застойные зоны создают условия для возникновения растительного слоя. В местах частого образования луж при их высыхании из-за наличия пыли и грязи происходит постепенное формирование «корки», при попадании в которую семян может начаться рост сорняков. Это приводит к повреждению корнями растений кровельной конструкции.

Анализ технических противоречий

ТП-1: покрытие должно пропускать пар из помещений (ограждающие конструкции «дышат», если нет их паро- и гидроизоляции, как например, для влажных помещений); покрытие не должно пропускать пар из помещений, так как при этом увлажняются слои кровли и вздувается водоизоляционный ковер.

Решения:

а) вентилируемый чердак;

б) кровля с вентилируемым подкровельным пространством, устройством вентиляционных отверстий в карнизе, на коньке и аэрационных патрубков:

– частичная приклейка первого слоя водоизоляционного ковра с вентиляцией подкровельного пространства;

– устройство вентканалов в уклонообразующем слое (разуклонке), утеплителе или стяжке;

– устройство вентзазора при ремонте эксплуатируемой кровли и высушивании утеплителя (см. прил. В СП 17.13330).

ТП-2: слои кровли (основание, теплоизолятор, стяжка) должны иметь каналы для вентиляции подкровельного пространства и удаления паровоздушной смеси; слои кровли не должны иметь каналов для вентиляции по противопожарным соображениям (чтобы не создавать тягу).

Решения:

а) устройство каналов в негорючих слоях кровли;

б) разрешение во времени: в начале пожара заглушки перекрывают каналы (если выполнить их из воска, то перекрытие каналов обеспечит сам пожар).

ТП-3: утеплитель должен быть мягким, чтобы быть дешевым и должен быть плотным, чтобы не деформироваться от нагрузок на ковер.

Решения:

а) нижний толстый слой мягкий, верхний тонкий слой твердый;

б) утеплитель с изменяемой по высоте сечения плотностью;

в) утеплитель со специальным покрытием типа стяжки.

ТП-4: разуклонка (уклонообразующий слой) должна быть, чтобы образовывать уклоны для стока воды, разуклонки быть не должно, так как она утяжеляет кровлю и усложняет работы.

Решения:

- а) разуклонка выполнена из металлического легкого профиля;
- б) разуклонка выполнена из клиновидных плит утеплителя;
- в) монолитный утеплитель, выполняющий функцию разуклонки;
- г) разуклонка обеспечена плитами покрытия;
- д) динамичная, например, надувная разуклонка (при обслуживании кровли разуклонка сдувается).

ТП-5: паропроницаемость слоев ограждающей конструкции должна увеличиваться от внутренних слоев к наружным, чтобы влага не накапливалась в конструкции, но верхний гидроизоляционный ковер обычно паро- непроницаем.

Решения:

- а) инверсная кровля с нижним расположением ковра;
- б) ковер из материала с повышенной паропроницаемостью (ПВХ- мембрана);
- в) удаление пара из слоев кровли.

ТП-6: чердак нужно устраивать, чтобы обеспечить вентиляцию, удаление паровоздушной смеси и нормальный влажностный режим теплоизолятора, но неэксплуатируемый чердак – это лишние затраты.

Решения:

- а) инверсная кровля с нижним расположением ковра;
- б) совмещенная кровля;
- в) удаление пара из слоев кровли;
- г) применение теплоизолятора с нулевым водопоглощением;
- д) эксплуатируемый чердак.

Анализ эволюции кровли по законам развития технических систем

Закон повышения идеальности

В табл. 2.1 были приведены данные по развитию рулонных материалов, из которых видно, что количество слоев кровли снизилось с 4–5 до одного с одновременным улучшением полезных свойств гидроизоляции, технологичности и долговечности. Постоянно растет идеальность утеплителей (см. табл. 1.6).

На сегодняшний день эффективным утеплителем считается ППС, но переход к вакуумным утеплителям, аэрогелям, аэрографиту обеспечит дальнейший рост идеальности.

Пенополистирол – газонаполненный пенопласт на основе полистирола. В современных производствах вспенивание полистирола осуществляется за счёт использования высококипящих жидкостей (изопентан, метилхлорид и др.), которые вводят при полимеризации стирола, в полистирольный «бисер». При нагревании, например, в горячей воде, бисер вспенивается, образуя предвспененные гранулы, которые после сушки вылёживания спекаются в объёмные блоки при температурах 140–170 °С и давлени-

ях 150–200 кгс/см². Блоки затем режут на нужные размеры. В промышленности используется также экструзионный пенополистирол с непрерывным методом получения и повышенными прочностными характеристиками.

Большинство утеплителей из вспененных пластмасс, как правило, имеют коэффициент теплопроводности 0,035–0,048 Вт/м·К при температуре 25 °С. Но вспененным пластмассам присуще водопоглощение. Так гранулированный пенополистирол, изготовленный беспресовым методом, увеличивает свое водопоглощение до 350 % по массе. Понятно, что при таком количестве поглощенной воды, ни о каком нормативном значении коэффициента теплопроводности и речи быть не может.

В качестве показателя идеальности кровли в целом может использоваться удельный вес квадратного метра кровли, а также приведенные затраты на изготовление и эксплуатацию кровли.

Идеальность повышается при выполнении кровлей дополнительных функций по обслуживанию надсистемы «здания» или суперсистемы «города». Это могут быть функции накопления осадков, нейтрализации вредных выбросов, использования солнечной энергии, озеленения, городского транспорта, обслуживания населения, информационных коммуникаций, туристических аттракционов и т.д.

Закон энергетической проводимости системы.

Переход к управляемым полям

Рассмотрим применение энергетических полей по линии МАТХЭМ.

Механическое поле (М) – обычная механическая кровля с гравитационным удалением осадков. Функциональность может быть повышена сбором воды в бассейн, как в древнеримском «домусе», или для технических нужд (смыв в унитазах, полив газонов, мойка автомобилей и пр.).

Акустическое поле (А) – использование колебаний элементов кровли для удаления осадков, сбрасывания снега, борьбы с обледенением.

Тепловое поле (Т) – испарение, замораживание осадков; использование нагрева от солнечной радиации для теплоснабжения здания или борьбы с обледенением; использование градиента температуры для тепловых насосов.

Химическое поле (Х) – химическое растворение, закрепление, превращение с использованием химических свойств осадков и элементов кровли. Например, если в городе выпадают кислотные дожди, то можно сделать кровлю-аккумулятор. Возможно также использовать гальванический способ восстановления защитных покрытий кровли.

Проектируя кровлю, нужно помнить об электрохимической коррозии: при контакте железа и цинка в присутствии влаги цинк будет постепенно разрушаться, предохраняя железо от коррозии, а при контакте железа и олова все происходит наоборот ($\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$, $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$). Поэтому оловянные покрытия защищают сталь только до тех пор, пока не нарушится их целостность. С этим явлением еще в древности столкну-

лись мореходы, когда обнаружили, что в морской воде железные гвозди быстро разрушаются при контакте с медными листами обшивки кораблей.

Для усиления необходимых свойств в материал современных кровельных мембран включены специальные добавки:

- микроармирующие добавки – увеличивают прочность;
- гидратирующие добавки – заполняют микротрещины и проколы при впитывании воды (самозалечивание);
- антипирены – улучшают противопожарные свойства;
- антиоксиданты – повышают долговечность;
- стабилизаторы – увеличивают стойкость к ультрафиолетовому излучению;
- красители и пигменты – обеспечивают цвет.

Электрическое поле (Э) – кабельная система противообледенения, солнечные коллекторы и батареи, кровля с гальванической парой для генерации электрической энергии.

Магнитное поле (М) – магнитные крепления кровельных систем для того, чтобы не «дырявить» кровлю. Вместо сложных механических креплений, например, ограждения на стальной кровле крепят тязами к коньковым элементам и слуховым окнам. Магнитное крепление защитной посыпки для того, чтобы она не смывалась водой и не засоряла водостоки.

Линию МАТХЭМ можно достроить до МАТХЭМБИ.

Биологическое поле (Б) – использование бактерий на кровле для уничтожения осадков, выращивания пищи и т.д.; «зеленые» кровли снижающие нагрев, выбросы углекислоты, впитывающие влагу; выращивание на кровле газонов и растительной пищи; микрозаповедники природы в городах.

Информационное поле (И) – сейчас в информационной сети города кровли используют для размещения антенн сотовой связи и интернет-коммуникаторов; с развитием воздушного городского транспорта кровли могут быть использованы для остановок и стоянок транспорта, обслуживания пассажиров, рекламы. Новые информационные функции кровли – экран, монитор, сигнал, картина, книга.

Различные физические поля используются при контроле качества и обследовании кровель⁶. Эти методы делят на две группы: методы проникающих сред и электрофизические методы. При *дымовом методе* под ковер закачивают дымовоздушной смеси при помощи дымогенератора и компрессора. Смесь выходит в атмосферу через повреждения и визуально обнаруживается. *Вакуумный метод* позволяет дать количественную оценку проницаемости кровли по расходу воздуха, удаляемого из камеры разряжения. *Газовый метод* является разновидностью дымового. В вентилируемую прослойку под кровлей подается индикаторный газ (например, фре-

⁶ Жолобов А.Л. Малоуклонные кровли. Комплексная оценка конкурентоспособности современных методов устройства и ремонта. – Ростов-на-Дону: РГСУ, 2013. – 173 с.

он), который обнаруживается специальными датчиками. Эффективность описанного метода может быть повышена, если выходящий через дефекты газ будет изменять цвет жидкости, покрывающей испытываемый участок кровли.

Оросительный метод заключается в разбрызгивании воды и последующем визуальном определении протечек на потолочной поверхности покрытия. Небольшие протечки можно выявить при помощи влагомера, проверяя влажность материалов покрытия. *Гидростатический метод* – это традиционный метод испытаний малоуклонных кровель с внутренним водостоком. Испытания осуществляют водой, заполняя ее кровлю с закупоренными водостоками.

Описанные методы довольно трудоемки и имеют существенные недостатки. Более идеальными являются электрофизические методы. *Метод разности потенциалов* предусматривает поиск скрытых протечек измерением разности потенциалов в различных точках переменного электрического поля, создаваемого на поверхности кровли с помощью низковольтного импульсного генератора, один из выводов которого соединен с основанием кровли, другой с электропроводящим контуром. Последний укладывается на смоченную поверхность кровли в виде электрического провода. *Высоковольтный метод* по физической сути подобен низковольтному методу. Отличие заключается в том, что на поверхность кровли подается высоковольтный заряд с безопасным по величине электротоком.

Емкостный метод применяют для определения участков повышенного содержания влаги на глубине до 50 мм. Метод основан на создании переменного электрического поля и измерении его напряженности в верхних слоях покрытия с помощью электронных влагомеров емкостного типа.

Инфракрасный метод позволят определить местонахождение скопления влаги поиском зон повышенных температур поверхности кровли, поскольку увлажненные участки имеют более высокую теплопроводность и теплоемкость, чем сухие участки. Инфракрасное сканирование кровли тепловизором осуществляют после захода солнца.

Радиоизотопный метод основан на проверке присутствия водородных молекул (водяного пара) в верхних слоях кровли. Метод осуществляют при помощи радиоизотопного влагомера, который определяет влажность материала по количеству отраженных нейтронов.

Закон повышения динамичности

Динамизация вещества и тела

Твердое вещество: кровли из штучных и листовых материалов.

С шарнирами: изменяющийся уклон кровли для сбрасывания осадков, направления скатов по солнцу или ветру, управления ветровым напором; поворот кровли вокруг вертикальной оси для оттаивания обледенения, рекламы, направления на солнце солнечных батарей и коллекторов; фермы

и структуры с шарнирами изменяют форму крыши, раздвигаются, складываются в гармошку.

Гибкое вещество: рулонная и мастичная кровли, материалы с памятью формы, биметаллы, пьезокристаллы для сбрасывания льда, сосулек.

Порошок: насыпной утеплитель, разуклонка, защитный слой, пригруз; магнитная защитная посыпка, порошковая кровля, затвердевающая после устройства, при утилизации снова превращается в порошок.

Жидкое вещество: самонивелируемая наливная (мастичная) кровля; водонаполненная кровля, кровля-бассейн, пожарный резервуар; водяное охлаждение кровли; циркуляция воды в инверсной, зеленой кровле.

Газ: воздушная кровля (воздушные струи сдувают осадки и сохраняют тепло); надувная кровля (уклоны образуются при нагнетании воздуха под ковер); кровля поддерживаемая давлением воздуха (воздухоопорная конструкция); кровля из газонаполненных панелей термопластика ETFE.

Поле: идеальная кровля в виде силового поля, применение полей по линии МАТХЭМ (см. выше).

Вакуум: удаление осадков вакуумом; бисистема «кровля – антикровля» (вакуумная воронка засасывает осадки).

Сменные элементы

Летом и зимой разный состав кровли; доутепление и быстрый ремонт плитами Roofmate; элементы, удобные для демонтажа без повреждения; смена цвета кровли.

Изменяющиеся элементы

Убираемые тенты из парусины над древнеримским Колизеем; сдвигаемые, складные, поднимаемые крыши стадионов, выставочных и концертных залов; фазовые переходы вещества элементов кровли.

Динамическая устойчивость

Быстро вращающаяся кровля (полоса, струна) сбрасывает осадки; положение кровли стабилизирует ветровой поток.

Переменное поле

Колебания температуры, света, ветра, электричества, магнетизма для улучшения функционирования кровли.

Переход в надсистему

Выполнение функций надсистемы

Бассейн, пожарный резервуар, накопитель воды для технических нужд, солнечная электростанция, эксплуатируемая кровля (кафе, стоянка, сквер, вертолетная площадка и пр.), огород, ферма, химический завод для переработки вредных осадков, удаления пыли.

Объединение с другими системами

Выполнение дополнительных полезных функций для здания: энергоснабжение, вентиляция, инсоляция, охлаждение и пр. Объединение с транспортной, информационной, обслуживающей системами города.

Моно-би-поли переходы

Бисистема из двух водоизоляционных ковров для резервирования функции гидроизоляции, причем нижний ковер одновременно выполняет функцию пароизоляции. Требуется также двойной водослив: в уровне верхней и нижней гидроизоляции. Такое решение уже частично реализовано в эксплуатируемых кровлях (рис. 2.20).

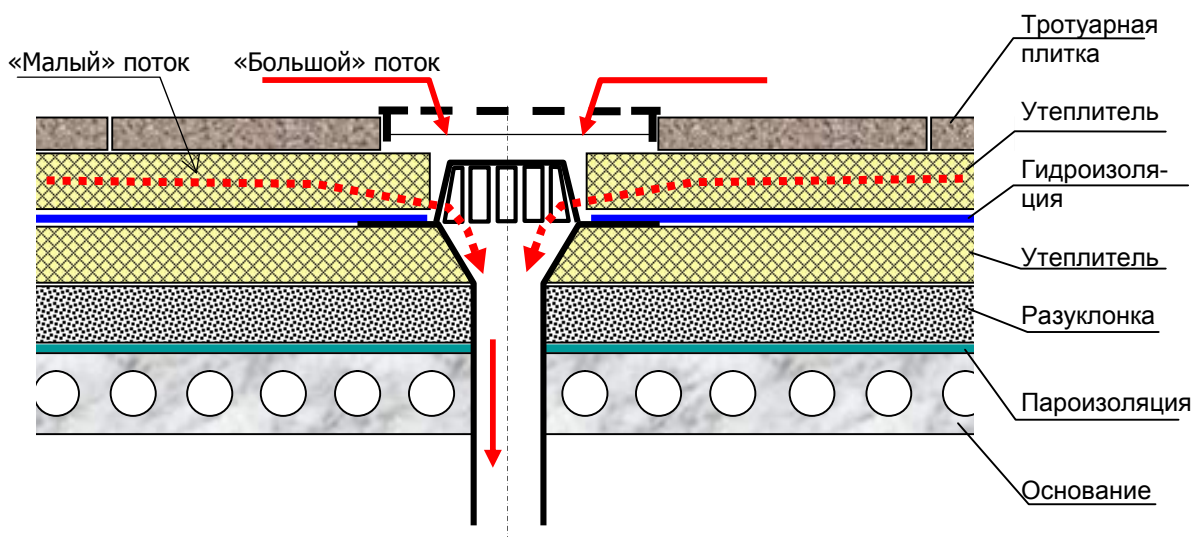


Рис. 2.20. Водоотвод с эксплуатируемой кровли

Бисистема из однородных элементов: теплоизоляция из двух слоев позволяет укладывать плиты с перевязкой швов для устранения сквозных щелей, а также разместить между ними гидроизоляционный слой (см. рис. 20), обеспечивая благоприятные условия его эксплуатации (защита от температурных колебаний, механических повреждений). Двойной слой теплоизоляции позволяет также применить в нижнем слое более дешевые мягкие утеплители.

Бисистема из элементов со сдвинутыми характеристиками: на основной площади может быть применен более дешевый рулонный материал, а в примыканиях, на карнизе, коньке, ендовах, где чаще происходят протечки, – более дорогой и долговечный материал. Обычно эту задачу решают применением дополнительных слоев гидроизоляции, что менее идеально.

Полимерная мембрана из ПВХ Flagon SR произведена методом соэкструзии, который позволяет выпускать однослойную мембрану, каждая из двух сторон которой отличается по цвету. Это означает, что любые случайные проколы или разрывы материала, которые могут произойти на внешнем светлом слое материала во время укладки, становятся незамедлительно заметными, так как чёрный внутренний слой виден сквозь них. Такие материалы называют с сигнальным слоем.

Бисистема из элементов с разнородными характеристиками: полоса ковра может быть паронепроницаемой, а смежная полоса ковра, наоборот, паропроницаемой для удаления паровоздушной смеси из слоев кровли.

Сейчас эта проблема решается устройством вентилируемого зазора или каналов.

При несовместимости материала гидроизоляционной мембраны с битумом или асфальтобетоном нижний ее слой покрывают СБС-модифицированным битумом, что позволяет совмещать мембрану (например, Resitrix GA) с любыми битумными материалами и удешевлять монтаж за счет применения многофорсуночных газовых горелок.

Бисистема ковра из разных материалов, позволяющая при их взаимодействии через осадки получать электроэнергию, тепло, восстанавливать защитные покрытия.

Бисистема из элементов с инверсными характеристиками: сочетание кровли и вакуумной системы, которая может применяться для проверки герметичности кровли после изготовления и для удаления воды и пара в стадии эксплуатации.

Полисистема из многослойного ковра, в котором верхний слой после его износа легко снимается и удаляется (дешевая недолговечность вместо дорогой долговечности).

Объединение трех крыш в единую конструкцию: отель Marina Bay Sands в Сингапуре из трех зданий, на общей крыше которых размещен парк и бассейн. В одной конструкции выполняются несколько функций: конструктивная, ограждающая, эстетическая, бассейн, пожарный резервуар, путь эвакуации при пожаре, аттракцион, успешный бизнес-проект. Идеальность повысилась намного, получен сверхэффект ($1+1+1 > 3$).

Объединение всех крыш в транспортную систему города, например, устройством на них станций для струнной транспортной системы Юницкого. Использование крыш для единой информационной системы (сотовая связь, интернет, TV и пр.). Повсеместные зеленые крыши для снижения температуры в городе (эффект горячего асфальта и бетона) и снижения выбросов углекислоты.

Объединение всех крыш в единую крышу – проект купола над Хьюстоном. Большие затраты на купол компенсируются снятием многих проблем, связанных с осадками, ветром. Концепция зданий под общим куполом может значительно измениться.

Переход на микроуровень

Переходы от твердого вещества к полям

Эти переходы были описаны в пункте динамизации. Идеальная кровля – это силовое поле. Промежуточное решение – сдувание осадков теплым воздухом. Аналог решения – воздушно-тепловая завеса в тамбуре или у цеховых ворот.

Линия увеличения пустотности

Развитие идет от сплошного вещества к образованию полости (вентиляционный зазор), далее к перфорированию, капиллярно-пористым материалам (КПМ) и, наконец, к КПМ с заполнением пор и управлением свой-

ствами материала при помощи полей. Перфорирование кровли может преодолеть один ее существенный недостаток: непредсказуемые места протечек, что выражают поговоркой «вода сама путь найдет». Наличие в кровле замкнутых полостей обеспечит локализацию отказа кровли. Переход к КПП позволят сделать гидроизоляционный ковер с самозалечиванием проколов и разрывов, которые вскроют микрокапсулы с клеевым составом. Для ускорения самозалечивания микрокапсулы могут содержать клей и отвердитель.

Свойством самозалечивания обладают гидроизоляционные маты из бентонитовой глины, которая при увлажнении увеличивается в объеме в 14–16 раз. Бентонитовый мат представляет собой рулонный материал толщиной от 5 до 10 мм. Бентонитовые гранулы запакованы между двумя слоями водонепроницаемого текстильного материала. По своим свойствам 6 мм слой бентонита соответствует 500 мм жирной глины.

Таким свойством обладают и современные пароизоляционные материалы, например, Alutrix FR, выполненный из алюминиевой фольги. Нижняя сторона фольги покрыта самоклеющимся полимербитумным составом, обладающим способностью к самозалечиванию при проколах. Рулонный гидроизоляционный материал НОВАпласт-Бент имеет гидратирующие добавки, которые заполняют микротрещины и проколы при впитывании воды.

Ученые Иллинойского университета создали антикоррозионное покрытие, которое автоматически залечивает царапины и другие мелкие дефекты (рис. 2.21, А).

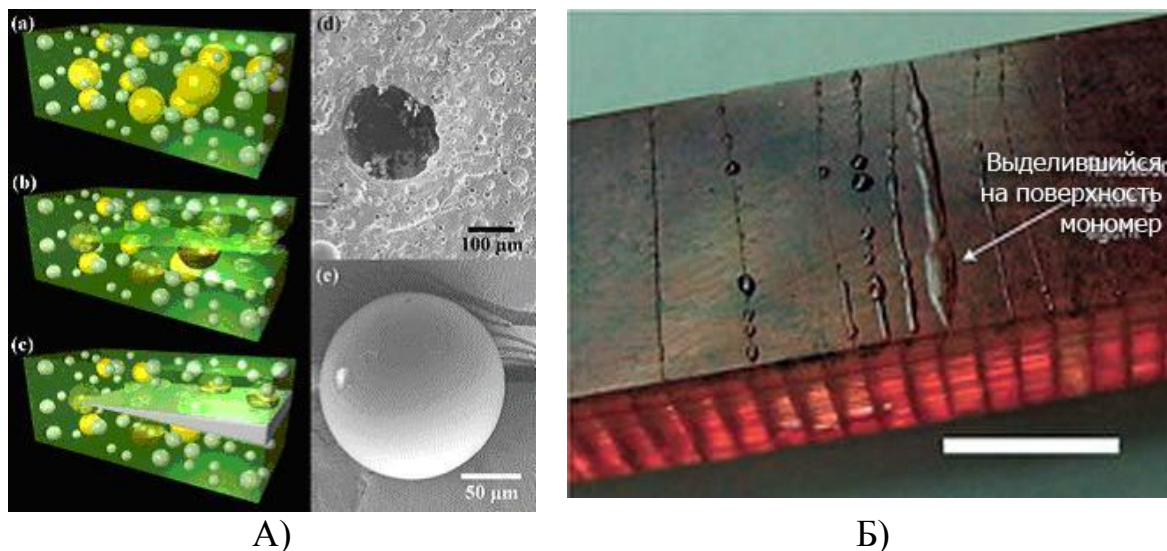


Рис. 2.21. Композиты со свойством самозалечивания:

А – однократное самозалечивание; Б – многократное; а) матрица композита с микрокапсулами катализатора и полимера; б) трещина в матрице высвобождает полимер из микрокапсул; в) трещина, залеченная полимером; д) увеличенный фрагмент поверхности с пустой микрокапсулой; е) полная микрокапсула

Материал представляет собой полимер, в который вкраплено множество сферических полиуретановых микрокапсул диаметром от десяти до ста микрометров. Часть этих капсул содержит компоненты того же полимера, которые затягивают трещины, другая часть заполнена катализатором. Аналогично может быть выполнено и кровельное покрытие.

Недостаток такого метода самозалечивания очевиден: материал при повторном разрыве в одном и том же месте уже не сможет быть восстановлен. Предложена новая система ремонтного состава, которая может многократно залечивать одно и то же место. В образце эпоксидной смолы выполнены ортогональные каналы диаметром 200 мкм. Для этого слой за слоем формировался «бутерброд» из смолы и специальных чернил, которые впоследствии испарялись. После чего каналы были заполнены маловязким мономером, на поверхность образца был нанесен дополнительный слой смолы, а на него – частицы катализатора.

После повреждения под действием капиллярных сил мономер вытекает из каналов на поверхность и при контакте с катализатором полимеризуется, затягивая края трещин и восстанавливая целостность материала. Процесс повторяется и при последующих повреждениях (рис. 2.21, Б).

Развитием подобных систем является катализатор в виде микродобавок в материал покрытия и использование вместо катализатора солнечного света, кислорода или воды.

Линия переходов от точки к линии, поверхности и объему

Современные кровельные мембраны, например ЭПДМ-мембрана Resitrix Classic, имеют поверхность покрытую теснением, что способствует рассеиванию тепловой и световой энергии и обеспечивает хороший коэффициент сцепления с обувью.

Точечное расположение водостоков требует выполнения разуклонки, что весьма трудоемко. На карнизах и в ендовах водосточные желоба расположены по линии. Следующий шаг – удаление осадков со всей поверхности кровли, что позволит выполнять абсолютно плоскую конструкцию.

Развитие кровельных материалов шло от условной точки к поверхности: штучные материалы в виде черепицы → листовые материалы → листы длиной на весь скат → рулонные материалы → непрерывная мастичная кровля. При этом главный параметр кровли – герметичность, повышался. Одновременно произошел переход от крутых скатов к малоуклонным и плоским кровлям, что позволило сократить общую стоимость строительства и уйти от проблем, связанных с наружным водостоком (замачивание стен, обледенение карнизов, опасность схода снега и льда с крыши).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение вспомним о моральной ответственности ученого и инженера за плоды своего труда. Среди современных этических проблем развития науки и техники чаще всего выделяют три [20]. Первая связана с развитием электронных средств массовой коммуникации, оказывающих огромное влияние на сознание и поведение людей. Вторая относится к ядерным технологиям, как в области вооружений, так и в использовании ядерной энергии в мирных целях. Третья проблема лежит в области биотехнологии, которая вплотную приблизилась к созданию новых форм жизни.

К указанным этическим проблемам следует прибавить и создание искусственного интеллекта, не обремененного ограничениями морального плана. Об этом еще в прошлом веке предупреждал Станислав Лем в фантастическом рассказе «Дознание» об эксперименте с заменой астронавтов человекоподобными роботами. Мы же, строители, ответственны за создание искусственной среды обитания человека, так как мощностно техногенеза, по утверждению В.И. Вернадского [21] сравнялась с мощностью геологических процессов, и биосфера постепенно переустраивается в ноосферу⁷ – новое планетное явление. Человечество стоит перед выбором: либо бесприродный технический мир (техносфера), либо духовный мир разума (ноосфера) в гармонии с природой. За выбор будут ответственны, прежде всего, творцы техники – ученые и инженеры.

В послании президента США Американскому обществу гражданских инженеров в 1895 году образ инженера представлен как генератора и главного субъекта технических изменений, главной силой в общественном прогрессе, как рационального мыслителя свободного от предубеждений и групповых интересов. В Уставе Объединения американских инженерных союзов, принятом почти век спустя, помимо статей об обязанности инженера быть компетентным, честным, беспристрастным, порядочным, справедливым, говорится об личной ответственности инженера за безопасность гражданского общества.

В России также был принят профессиональный кодекс инженеров-строителей (МДС 12-6.2000), в котором указаны этические нормы. В частности в кодексе говорится, что специалист ответственен перед своей профессией; своими действиями он не должен допускать дискредитации профессии за счет некачественного выполнения работ или невыполнения обязательств, которые могут привести к нанесению материального и морального вреда обществу, государству, заказчику. Статистика строительных

⁷ Ноосфера (от греч. разум и шар) – сфера разума; сфера взаимодействия общества и природы, в границах которой разумная человеческая деятельность становится определяющим фактором развития. Идею ноосферы выдвинули фран. ученые Э. Леруа и П. Тейяр де Шарден, прослушав в Париже в 1923 году лекции Вернадского по геохимии.

аварий свидетельствует об актуальности профессионального кодекса инженеров-строителей.

Известный афоризм К. Воннегута: «Что бы ученые не делали, у них все равно получается оружие» подтверждается на протяжении всей истории с пугающей закономерностью. Даже, казалось бы, чисто научный инструмент – телескоп, открывший новые пути к познанию космоса, Галилей представил сенаторам Венецианской республики как средство, позволяющее видеть вражеские корабли издалека. В дневнике Леонардо да Винчи имеется запись, посвященная изобретению им подводного аппарата: «Как и почему не пишу я о своем способе оставаться под водой столько времени, сколько можно оставаться без пищи. Этого не обнаружю и не оглашу я из-за злой природы людей, которые этот способ использовали бы для убийств на дне морей, проламывая дно кораблей и топя их вместе с находящимися в них людьми» [20].

Славянский гений Никола Тесла видел причину войн в разности энергетических потенциалов различных стран. Целью своей жизни он поставил выравнивание энергетических потенциалов путем предоставления всем народам планеты доступа к бесплатной и неисчерпаемой электромагнитной энергии. Этим объясняется его сотрудничество в военном плане с потенциальными противниками: США, Россией, Германией, Великобританией. Величайший ученый был уверен, если не будет возможности успешно напасть ни на одно государство, то войны прекратятся. Но его эксперименты с беспроводной передачей энергии на любые расстояния закончились, по одной из версий, Тунгусским взрывом. Оценив мощь своего изобретения, Тесла написал: «Я не тружусь более для настоящего, я тружусь для будущего... Я мог бы расколоть земной шар, но никогда не сделаю этого. Моей главной целью было указать на новые явления и распространить идеи, которые и станут отправными точками для новых исследований».

К сожалению, множество современных ученых и инженеров заняты совершенствованием оружия. Одни считают это своим патриотическим долгом, другие реализуют свои творческие способности, третьи – осваивают военный бюджет. Сердце каждого – арена борьбы добра со злом, и у каждого есть выбор. В этой связи А. Эйнштейн, размышляя о судьбах ученых Германии 30-х годов, метко заметил, что проблема нашего времени – не атомная бомба, а человеческое сердце.

В подтверждение данных положений приведем слова академика В.А. Легасова, высказанные им вскоре после аварии на Чернобыльской АЭС [20]. «Мы сильно увлеклись техникой. Прагматически. Голой техникой. Это охватывает многие вопросы, не только безопасности... Я пришел к такому парадоксальному выводу: та техника, которой наш народ гордится, которая финишировала полетом Гагарина, была создана людьми, стоявшими на плечах Толстого и Достоевского... Люди, создававшие тогда технику, были воспитаны на величайших гуманитарных идеях. На прекрасной

литературе. На высоком искусстве. На прекрасном и правильном нравственном чувстве... Это высокое нравственное чувство было заложено во всем: в отношениях друг с другом, отношении к человеку, к технике, к своим обязанностям. Все это было заложено в воспитании тех людей. А техника была для них лишь способом выражения нравственных качеств, заложенных в них. Они выражали свою мораль в технике. Относились к создаваемой и эксплуатируемой технике так, как их учили относиться ко всему в жизни Пушкин, Толстой, Чехов».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Альтшуллер, Г.С. Творчество как точная наука / Г.С. Альтшуллер. – М.: Сов. радио, 1979. – 184 с.
2. Металлические конструкции. Общий курс: учебник для вузов / Е.И. Беленя, В.А. Балдин, Г.С. Ведерников и др.; под общ. ред. Е.И. Беленя. – М.: Стройиздат, 1986. – 560 с.
3. Лихолетов, В.В. Иллюстрации действия законов развития технических систем на примерах курса «Конструкции из дерева и пластмасс»: учеб. пособие / В.В. Лихолетов. – Челябинск, ЧГТУ 1992. – 84 с.
4. Лопатто, А.Э. Пролеты, материалы, конструкции / А.Э. Лопатто. – М.: Стройиздат, 1982. – 196 с.
5. Девятков, С.В. Архитектура промышленных зданий / С.В. Девятков. – М.: Высш. шк., 1984. – 415 с.
6. Гусаков, А.А. Системотехника строительства / А.А. Гусаков. – М.: Стройиздат, 1983. – 440 с.
7. Металлические конструкции академика В.Г. Шухова. – М.: Наука, 1990. – 112 с.
8. Шухов В.Г. (1853–1939). Искусство конструкции / Пер. с нем. – М.: Мир, 1995. – 192 с.
9. Общий курс строительных материалов: учебное пособие / И.А. Рыбьев, Т.И. Арефьева, Н.С. Баскаков и др.; под ред. И.А. Рыбьева. – М.: Высш. шк., 1987. – 584 с.
10. Орлов, М.А. Основы классической ТРИЗ. Практическое руководство для изобретательного мышления / М.А. Орлов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 416 с.
11. Правила игры без правил / Составитель А.Б. Селюцкий. – Петрозаводск: Карелия, 1989. – 280 с.
12. Гордон, Д. Конструкции или почему не ломаются вещи / Дж. Э. Гордон.; пер. с англ. В.Д. Эфроса. – М.: Мир, 1980. – 386 с.
13. Никонов, Н.Н. Введение в специальность. Восемь лекций о профессии: учебное пособие / Н.Н. Никонов. – М.: Изд-во АСВ, 2005. – 272 с.
14. Новые технологии переработки твердых бытовых отходов. Технологическая и технико-экономическая оценка / Московский ИМЭТ.
15. 70 чудес зодчества Древнего мира. Великие памятники и как они создавались / Авт.-сост. К. Скарре. – М.: Изд-во АСТ, 2004. – 304 с.
16. Шпаковский, Н.А. Деревья эволюции. Анализ технической информации и генерация новых идей / Н.А. Шпаковский. – М.: ТРИЗ-профи, 2006. – 240 с.
17. Технология и организация монтажа строительных конструкций: справочник / под ред. В.К. Черненко, В.Ф. Баранникова. – Киев: Будивэльнык, 1988. – 276 с.
18. Коуэн, Дж. Строительная наука XIX-XX в. / Дж. Коуэн; пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1982. – 240 с.
19. Глэнси, Дж. Архитектура / Дж. Глэнси; пер. с англ. – М.: Изд-во АСТ, 2006. – 512 с.

20. Мезенцев, С.Д. Философия науки и техники: учебное пособие / С.Д. Мезенцев. – М.: МГСУ, 2011. – 152 с.
21. Вернадский, В.И. Биосфера и ноосфера / В.И. Вернадский. – М.: Айрис-пресс, 2004. – 576 с.
22. Прохоров, Ю.Ф. Основы функционально-стоимостного анализа систем: Учеб. пособие / Ю.Ф. Прохоров, В.В. Лихолетов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. – 122 с.

Электронные ресурсы:

www.metodolog.ru – изобретательские задачи и методы их решения, материалы конференций;
triz-summit.ru – саммит разработчиков ТРИЗ;
www.ratriz.ru – официальный сайт международной ассоциации ТРИЗ;
www.triz.natm.ru – дистанционное обучение ТРИЗ;
www.trizland.ru – Белорусская общественная организация ТРИЗ;
www.altshuller.ru – официальный фонд Альтшуллера Г.С.;
www.triz-profi.ru – разработка ТРИЗ-методик в области образования;
www.triz.natm.ru – дистанционное обучение ТРИЗ;
www.istoriz.ru – интересные истории изобретений;
www.triz.port5.com – энциклопедия ТРИЗ;
www.triz-journal.com – American TRIZ Journal;
www.triz.minsk.by – Минский центр ТРИЗ, электронная библиотека по ТРИЗ.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет: Архитектурно-строительный
Кафедра: Технология строительного производства
Программа: Теория и практика организационно-технологических и экономических решений

ЗАДАНИЕ

на курсовую работу студента

(ФИО полностью)

Группа _____

1. Дисциплина: В.1.02 «Практикум по современным проблемам строительной науки, техники и технологии»

2. Тема курсовой работы: Функционально-стоимостной анализ (ФСА) и прогноз развития строительного объекта (процесса).

3. Вариант (соответствует теме диссертационной работы)

4. Срок сдачи студентом законченной работы _____ 201 ____ г.

5. Состав курсовой работы (по выбранному варианту):

Подготовка информации. Проведение патентного поиска, обработка найденной информации.

Структурный анализ объекта.

Функциональный анализ. Параметрический анализ.

Стоимостной анализ.

Функционально-идеальное моделирование (свертывание) объекта.

Поиск решений выявленных задач.

Выбор решений.

Проведение необходимых инженерных расчетов по выбранным решениям, оценка реализуемости.

Оформление заявки на патент (изобретение или полезная модель).

Руководитель _____ / _____ /
(подпись)

Студент _____ / _____ /
(подпись)

Варианты задания на курсовую работу

по дисциплине «Практикум по современным проблемам строительной науки, техники и технологии»

1. ФСА и прогноз развития технологии разработки котлована.
2. ФСА и прогноз развития технологии устройства забивных свай.
3. ФСА и прогноз развития технологии устройства буронабивных свай.
4. ФСА и прогноз развития технологии каменной кладки.
5. ФСА и прогноз развития технологии бетонных работ.
6. ФСА и прогноз развития технологии зимнего бетонирования.
7. ФСА и прогноз развития технологии монтажа сборных железобетонных конструкций (фундаментов, колонн, балок, ферм, панелей стен, плит перекрытий).
8. ФСА и прогноз развития технологии монтажа металлических конструкций (колонн, балок, ферм, панелей стен, панелей перекрытий).
9. ФСА и прогноз развития технологии устройства кровли (рулонной, мастичной, из штучных материалов).
10. ФСА и прогноз развития технологии устройства полов (деревянных, бетонных, плиточных и др.).
11. ФСА и прогноз развития технологии штукатурных работ.
12. ФСА и прогноз развития технологии сухой отделки КНАУФ.
13. ФСА и прогноз развития технологии облицовочных работ.
14. ФСА и прогноз развития технологии малярных работ.
15. ФСА и прогноз развития технологии «строительный принтер».
16. ФСА и прогноз развития процесса обследования технического состояния зданий и сооружений.
17. ФСА и прогноз развития организации процессов комплексных поставок строительных материалов и услуг.
18. ФСА и прогноз развития кровли (крыши цеха, светоаэрационного фонаря).
19. ФСА и прогноз развития бетонного пола.
20. ФСА и прогноз развития технологии отогрева оснований при зимнем бетонировании.
21. ФСА и прогноз развития технологии устройства инженерной системы здания.
22. ФСА и прогноз развития стыка опирания сборных элементов крупнопанельного здания.
23. ФСА и прогноз развития методов неразрушающего контроля прочности бетона.
24. ФСА и прогноз развития технологии инъектирования раствора в каналобразователи преднапряженных конструкций.
25. ФСА и прогноз развития строительного объекта, технологии, процесса (по выбору студента с согласованием у руководителя).

Учебное издание

Байбурин Альберт Халитович

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРИЕМОВ ТРИЗ И ФСА
В ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
РЕШЕНИЯХ**

Учебное пособие для магистров

Техн. редактор *А.В. Миних*

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать 30.06.2015. Формат 60×84 1/16. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 8,60. Тираж 50 экз. Заказ 383/280.

Отпечатано в типографии Издательского центра ЮУрГУ.
454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.