

Министерство образования и науки Российской Федерации
Сибирский федеральный университет

А. Ю. Никифоров

**БЕТОНОФОРМОВОЧНЫЕ МАШИНЫ
И АГРЕГАТЫ
ДЛЯ РАССРЕДОТОЧЕННОГО
СТРОИТЕЛЬСТВА**

Монография

Красноярск
СФУ
2014

УДК 625.71.8
ББК 38.6
Н627

Рецензенты:

В. А. Лозовой, доктор технических наук, профессор;
В. Ф. Полетайкин, доктор технических наук, профессор

Никифоров, А. Ю.
Н627 Бетоноформовочные машины и агрегаты для рассредоточенного строительства : монография / А. Ю. Никифоров. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2014. – 162 с.
ISBN 978-5-7638-2966-2

Изложены вопросы технологических преобразований в обеспечении рассредоточенного строительства материалами и изделиями. Рассмотрены основы проектирования производств деревобетонных изделий. Показаны направления формирования системы стационарных и передвижных бетоноформовочных комплексов как средства ускоренного обслуживания труднодоступных строек.

Предназначена для научных работников, занимающихся проблемами проектирования объектов стройиндустрии, аспирантов и магистрантов, обучающихся по направлениям 151000.68 «Технологические машины и оборудование» и 270800.68 «Строительство».

Электронный вариант издания см.:
<http://catalog.sfu-kras.ru>

УДК 625.71.8
ББК 38.6

Введение

Освоение природных ресурсов страны в отдаленных регионах, а также чрезвычайные ситуации, в частности стихийные бедствия (наводнения, землетрясения и др.), требуют быстрой концентрации строительных мощностей и производственной базы, нередко в труднодоступных районах. Существующая практика строительства, основанная, главным образом, на создании в городах стационарной стройиндустрии и промышленности строительных материалов, не обеспечивает оперативного перемещения производств в отдаленные районы, и в большинстве случаев единственным средством остается дорогостоящий и продолжительный по времени завоз больших объемов материалов и изделий на расстояния в сотни и тысячи километров.

Более 2/3 территории составляют неосвоенные или малоосвоенные регионы Сибири и Дальнего Востока. Они относятся к категории рассредоточенного строительства (РС) и представляют собой чрезвычайно сложную среду для эффективного выполнения комплекса работ по освоению природных ресурсов, по экономическому и социальному развитию отдаленных территорий. Суровые климатические условия и необходимость ускоренного возведения промышленных комплексов и создания инфраструктуры обуславливают эффективность применения индустриальных методов РС, однако более 98 % мощностей стройиндустрии этих регионов сосредоточено в городах узкой прирельсовой зоны, и снабжение рассредоточенных объектов строительными материалами и изделиями осуществляется в основном путем завоза из промышленных центров. Такой «северный завоз», выполняемый главным образом по крупным рекам, весьма ограничен по объемам ввиду низкой пропускной способности речного флота в короткую навигацию и высоких транспортных расходов при перевозке строительных изделий. Это делает особо актуальным развитие собственной производственной базы в регионах РС.

В связи с этим становится актуальной разработка научно-технических и технологических основ создания нового класса смешительно-формовочных машин, агрегатов и комплексов, приспособленных как к работе в стационарных условиях, так и к перебазированиям.

К числу основных требований к такой передвижной технике относятся:

- бесфундаментная схема монтажа;
- компактность для возможных перевозок;

- производительность на уровне заводских формовочных машин;
- возможность применения различных видов бетонов, включая местные материалы;
- простота конструкции, доступная для обслуживания вахтовым персоналом;
- возможность агрегатирования с транспортными средствами для отбора мощности и работы непосредственно «с колес»;
- приспособленность машин к работе как в стационарных условиях, так и в режиме передвижных производств;
- доступность к переналадке оснастки на новые виды изделий и рабочих органов, к использованию новых видов сырья и материалов;
- соблюдение принципа максимума технологических возможностей при минимуме технических средств.

Разработке методологических и технологических основ проектирования бетоноформовочных машин с названными свойствами и посвящена данная работа.

1. МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПЕРЕДВИЖНЫХ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ

1.1. Структура рабочих органов

1.1.1. Многоэлементные рабочие органы

Известны разработки в области многомерного и разночастотного вибрационного воздействия на бетонную смесь в процессе уплотнения [1], обеспечивающего более плотную укладку бетонов. Для формирования разнородных местных материалов на нестационарных линиях эффективны многомерные структуры рабочих органов (РО), составленные из элементов с различным принципом воздействия на смесь [2, 3].

Набор технологических модулей: вибрационных (В), ударных (У) и прессовых (П) – обеспечивает получение многочисленных вариантов воздействия на смесь по осям x , y и z :

а) одноэлементных $V_x, V_y, V_z, U_x, U_y, U_z, P_x, P_y, P_z$;

б) двухэлементных:

виброударных

$V_x U_x$	$V_x U_y$	$V_x U_z$
$V_y U_x$	$V_y U_y$	$V_y U_z$
$V_z U_x$	$V_z U_y$	$V_z U_z$

вибропрессовых

$V_x P_x$	$V_x P_y$	$V_x P_z$
$V_y P_x$	$V_y P_y$	$V_y P_z$
$V_z P_x$	$V_z P_y$	$V_z P_z$

ударнопрессовых

$U_x P_x$	$U_x P_y$	$U_x P_z$
$U_y P_x$	$U_y P_y$	$U_y P_z$
$U_z P_x$	$U_z P_y$	$U_z P_z$

в) трехэлементных (виброударнопрессовых):

$V_x U_x P_x$	$V_x U_y P_x$	$V_x U_z P_x$
$V_y U_x P_x$	$V_y U_y P_x$	$V_y U_z P_x$
$V_z U_x P_x$	$V_z U_y P_x$	$V_z U_z P_x$

$V_x U_x P_y$	$V_x U_y P_y$	$V_x U_z P_y$
$V_y U_x P_y$	$V_y U_y P_y$	$V_y U_z P_y$
$V_z U_x P_y$	$V_z U_y P_y$	$V_z U_z P_y$

$V_x U_x P_z$	$V_x U_y P_z$	$V_x U_z P_z$
$V_y U_x P_z$	$V_y U_y P_z$	$V_y U_z P_z$
$V_z U_x P_z$	$V_z U_y P_z$	$V_z U_z P_z$

Тогда к одномерному воздействию по оси z добавляются: матрица амплитуд в осях x, y

$$\left| A_{j_x} q_y \right| = \begin{vmatrix} a_{x_1 y_1}, \dots, a_{x_1 y_k} \\ \dots\dots\dots \\ a_{x_m y_1}, \dots, a_{x_m y_k} \end{vmatrix}, \quad (1.1)$$

матрица частот в осях x, y

$$v_{j_x} q_y = \begin{vmatrix} v_{x_1 y_1}, \dots, v_{x_1 y_k} \\ \dots\dots\dots \\ v_{x_m y_1}, \dots, v_{x_m y_k} \end{vmatrix} \quad (1.2)$$

и другие.

Применение технологических модулей с изменяемыми параметрами позволяет:

выбирать разнообразные структурные схемы процесса в зависимости от конструктивных параметров изделий и видов местных материалов;

оптимизировать на основе сравнения многочисленные варианты структурных схем средств уплотнения.

При разнородной и часто сменяемой сырьевой базе рациональна типизация, базирующаяся на использовании технологических устройств (модулей), komponуемых в различных сочетаниях в зависимости от структуры применяемых материалов. Диапазон технологических параметров модулей должен быть весьма широким. Основное различие способов формования заключено, с одной стороны, в использовании разных принципов действия орудий труда (вибрация, давление, удар и др.), а с другой – в направлении, интенсивности, очередности, продолжительности воздействия орудия труда на предмет производства.

Существуют [4, 5] различные способы отображения структуры машин, в частности методика ISO [6], предусматривающая запись движений рабочих органов в системе координат XYZ. В стройиндустрии, где процесс изготовления изделий складывается из движений РО и формы (на конвейере), необходим учет этой специфики. Поэтому вводим следующие обозначения: X – движение РО по ходу конвейера; $(-)X$ – против; Y – вверх; $(-)Y$ – вниз; Z – вправо по ходу конвейера;

(-)Z – влево; x – движение формы по ходу конвейера; (-) x – в обратном направлении; y – вверх; (-) y – вниз; z – вправо; (-) z – влево. Введем ряд других обозначений: v – вибрационное уплотнение; s – силовое; d – ударное; p – ручное орудие труда; a – автоматическое; m – механическое; i – количество орудий труда ($i=0, 1, 2, \dots, m$). Движение РО покажем в числителе, движение формы – в знаменателе.

Такая система индексации позволяет оценить тот или иной процесс с точки зрения степени его новизны: устаревший ($p_ia_0m_0$); допустимый ($p_0a_0m_i$) и перспективный ($p_0a_im_0$). Так, распространенную на заводах ЖБИ технологию уплотнения смеси на виброплощадке обозначим $Yp_0m_2a_0$ (действуют 2 вибровала); уплотнение в кассете с боковой вибрацией – $Zp_0m_1a_0$. Добавим обозначения: глубинное вибрирование $Gp_0m_1a_0$ и предварительное доведение смеси до рабочего состояния (литая смесь, пенобетон) $Lp_0m_1a_0$.

Целесообразно ввести ряд обозначений, позволяющих устанавливать структурную формулу каждой формовочной линии. Механизм перемещения бункера бетоноукладчика обозначим относительно системы координат следующими символами:

X – механизм движения вдоль продольной оси формы;

Y – механизм вертикального перемещения; Z – механизм поперечного перемещения; O_x, O_y, O_z – устройства поворота вокруг осей X, Y, Z соответственно. Устройство для перемещения форм обозначим: x – продольное движение; y – вертикальное; z – поперечное; ox, oy, oz – повороты вокруг осей x, y, z соответственно.

Обозначения механизмов уплотнения связаны с направлением воздействия на смесь: $H_{M_i}, B_{M_i}, V_{M_i}, P_{M_i}$ (снизу, сбоку, сверху, предварительно) и их сочетаний.

С помощью указанных символов можно записать структурную формулу формовочной линии (производственного модуля). Так, универсальный бетоноукладчик обозначим $XYZO_y$, форму на конвейере с дополнительными вертикальными перемещениями – xy , виброплощадку и вибропригруз – $H_{M_1}^B B_{M_i}^B V_{M_i}^C$. Структурная формула всего поста будет включать: структурную схему бетоноукладчика (в числителе), механизм движения форм (в знаменателе) и виброорганов (в квадратной скобке) – $\frac{XYZO_y}{xy} [H_{M_1}^B B_{M_i}^B V_{M_i}^C]$.

Формула кассетной линии: $\frac{XYZ}{x} [B_{M_i}^B]$.

Так можно обозначить все теоретически возможные структурные схемы (одноэлементные и многоэлементные). Для бетоноукладчика, согласно теории сочетаний, количество двухэлементных структурных схем из шести элементов

$$N_6^2 = \frac{6!}{2!(6-2)!} = 15.$$

(Это схемы $XY, XZ, YZ, XO_X, XO_Y, XO_Z, YO_X, YO_Y, YO_Z, ZO_X$).

Количество трехэлементных сочетаний

$$N_6^3 = \frac{6!}{2!(6-3)!} = 20$$

($XYZ, XYO_X, YZO_Y, O_XO_YO_Z$ и др.);

четыреэлементных –

$$N_6^4 = \frac{6!}{2!(6-4)!} = 15$$

($XYZO_X, YZO_XO_Y, ZO_XO_YO_Z$ и др.);

пятиэлементных –

$$N_6^5 = \frac{6!}{2!(6-5)!} = 6$$

($XYZO_XO_Y, YZO_XO_YO_Z$ и др.).

Возможна шестиэлементная структурная схема бетоноукладчика

$$XYZO_XO_YO_Z.$$

Таким образом, теоретически возможны 57 одно- и многоэлементных структурных схем перемещений бункера бетоноукладчика.

Аналогичным образом можно представить теоретически возможные многоэлементные структурные схемы механизмов перемещения форм в процессе изготовления изделий.

Двухэлементные схемы:

$xу, хz, уz, хох, хоу$ и пр;

трехэлементные:

$хуz, хоху, уzоz$ и пр;

четырёхэлементные:

хузох, хуохоу и пр;

пятиэлементные:

хузохоу, хуохоуоу и пр;

шестиэлементная:

хузохоуоу.

Всего возможно 63 сочетания элементов перемещения форм. Теоретически возможна 31 структурная схема одно- и многоэлементных устройств многомерного уплотняющего воздействия на смесь.

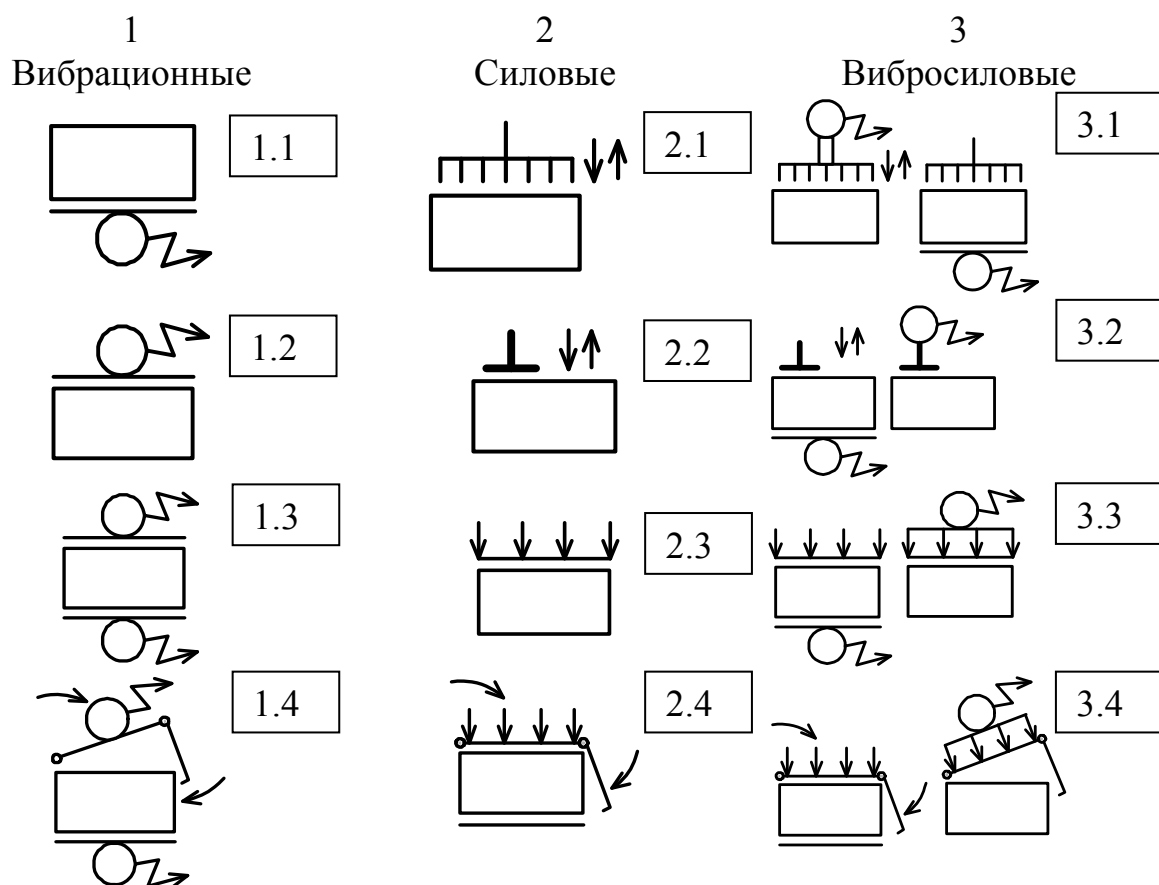


Рис. 1.1. Схемы рабочих органов существующих производств легкогобетонных изделий: 1.1 – виброплощадка; 1.2 – виброцит; 1.3 – виброплощадка с пригрузом; 1.4 – виброплощадка и форма с виброприжимной крышкой; 2.1 – штыковка; 2.2 – трамбовка; 2.3 – пресс; 2.4 – пресс с прижимной крышкой; 3.1 – виброштыковка; 3.2 – вибротрамбовка; 3.3 – вибропресс; 3.4 – вибропресс с прижимной крышкой

Таким образом, если обозначить количество структурных схем укладчиков через m , механизмов перемещения форм через l и уплотняющих механизмов через n , то общее число теоретически возможных структурных схем бетоноформовочных машин

$$K = mnl = 57 \cdot 63 \cdot 7 = 25\,137.$$

Приведенный расчет показывает, насколько широки композиционные возможности структуры формовочных машин. На существующих заводских производствах стеновых блоков и панелей из легких бетонов применяются компоновочные схемы рабочих органов (рис. 1.1) с вибрационными, силовыми и вибросиловыми воздействиями на формуемую смесь [7]. Это обуславливает разнообразие технологий. Однако указанные компоновки в целом не соответствуют условиям передвижных производств ввиду: 1) стационарности механических средств; 2) обязательного наличия фундаментов для формовочных машин; 3) воздействия рабочих органов целиком на всё крупноразмерное изделие, что связано с большими энергозатратами (до 20 – 30 кВт). Многомерное и порционное уплотнение смесей рабочими органами ограниченной мощности (0,8 – 1,0 кВт) может явиться альтернативой традиционному воздействию мощными средствами [8, 9, 10] (виброплощадки, вибропрессы и др.), что позволяет существенно снизить энергопотребление НПЛ. При использовании стандартных вибраторов с частотой 50 Гц возможны многомерные структуры уплотнения смесей, состоящие из разнонаправленных составляющих.

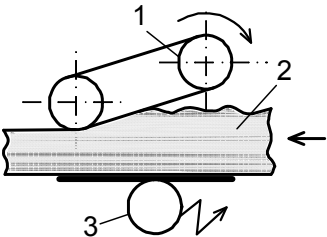
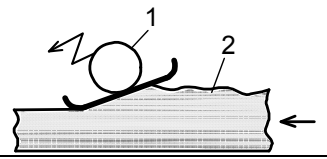
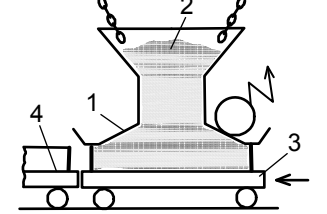
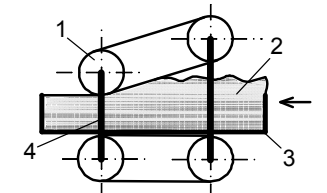
1.1.2. Существующие схемы поточного действия

В практике производства железобетонных изделий из тяжелых бетонов [18] имеется ряд способов непрерывной укладки смеси (табл. 1.1) [11, 12].

Эти способы рассчитаны на применение в условиях стационарных технологических постов на заводах ЖБИ. Задача состоит: 1) в использовании указанных принципов в передвижных производствах с необходимыми преобразованиями, учитывающими фактор мобильности формовочного оборудования, технологические свойства местных материалов и мелкоблочную номенклатуру продукции; 2) в разработке новых типов рабочих органов для непрерывной укладки смеси, в максимальной степени соответствующих специфике производства изделий из местных материалов в нестационарном режиме.

Таблица 1.1

Способы непрерывной укладки тяжелых бетонных смесей

Схема	Способ укладки	Пояснения к схеме
	Вибропрокат	1 – вибропрокатный механизм; 2 – бетонная смесь; 3 – вибратор
	Вибролыжа	1 – вибропластина; 2 – бетонная смесь
	Вибронасадок	1 – вибронасадок; 2 – бетонная смесь; 3 – тележка; 4 – форма
	Пресс-прокат	1 – бесприводный транспортер; 2 – бетонная смесь; 3 – форма; 4 – связь

1.1.3. Рабочие органы для непрерывной укладки бетонных смесей в групповые формы передвижных линий

Для всех приведенных в табл. 1.1 схем непрерывной укладки смеси характерно наличие угла атаки, обеспечивающего захват жесткой смеси и ее уплотнение в процессе движения виброоргана [13, 14].

При наличии угла атаки β процесс основан на плоском течении смеси под действием уплотняющей плиты укладчика, а процесс получения изделия заданной толщины описывается известной системой уравнений для вязкопластического сжимаемого изотропного неоднородного тела.

Полная система включает в себя известные уравнения движения:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = \rho \left(F_x - \frac{dv_x}{dt} \right);$$

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = \rho \left(F_y - \frac{dv_y}{dt} \right); \quad (1.3)$$

уравнение неразрывности

$$\frac{d\rho}{dt} + \rho \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} \right) = 0; \quad (1.4)$$

уравнение сжимаемости

$$\sigma = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{3}; \quad \sigma = \sigma(\rho), \quad (1.5)$$

где x, y, z – декартовы координаты; t – время; $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_{xy}, \sigma_z$ – напряжения; σ – среднее нормальное напряжение; v_x, v_y – скорости течения; F_x, F_y – массовые силы; ρ – плотность уплотняемого материала.

Используем принцип непрерывной укладки бетонной смеси для целей проектирования РО передвижных машин. Рассмотрим механизм формования мелкоблочных изделий в групповых отсеках, движущихся через зону действия укладчика.

Уплотняющая вибропластина m_1 создает вибрацию с амплитудой x_1 , которая через амортизаторы передается на раму m_2 , где уменьшается до x_2 , а затем – на основание установки (x_3). Оптимальный вариант заключается в гашении технологической вибрации (x_3) и предотвращении вибрации корпуса формовочной машины и транспортного средства. Исходя из этого, можно записать следующую систему уравнений:

$$m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} + \frac{\mu F_a}{h_a} \frac{dx_1}{dt} + \frac{E_a F_a}{h_0} x_1 + k_1 (x_1 - x_2) = P_b \sin wt; \\ m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} + k_2 (x_2 - x_1) = 0, \quad (1.6)$$

где μ – динамический коэффициент вязкости смеси (коэффициент ТROUTONA); F_a – площадь контакта вибробункера со смесью; h_a – толщина слоя смеси; P_b – вынуждающая сила вибратора; w – угловая частота колебаний; t – время; E_a – модуль упругости смеси.

Примем $k_1 = k_2$. Частные решения уравнений имеют вид

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= x_{m_1} \sin wt, \\ x_2 &= x_{m_2} \sin wt. \end{aligned} \right\} \quad (1.7)$$

Вторая производная

$$\left. \begin{aligned} x_1'' &= -x_{m_1} w^2 \sin wt, \\ x_2'' &= -x_{m_2} w^2 \sin wt. \end{aligned} \right\} \quad (1.8)$$

Вязкость смеси – величина малая по сравнению с упругостью смеси, в частности для арболитовой смеси с жесткостью 40 – 120 с по техническому вискозиметру $\mu = 11$ (Г·с)/см², а $E_a = 5,5$ кг/см².

Подставим x_1'' и x_2'' в уравнения системы

$$\begin{aligned} m_1 \left(-x_{m_1} w^2 \sin wt \right) + \frac{E_a F_a}{h_a} \left(x_{m_1} \sin wt \right) + \\ + k \left(x_{m_1} \sin wt - x_{m_2} \sin wt \right) = P_B \sin wt; \\ m_2 \left(-x_{m_2} w^2 \sin wt \right) + k \left(x_{m_2} \sin wt - x_{m_1} \sin wt \right) = 0. \end{aligned} \quad (1.9)$$

Сокращая, получим

$$x_{m_1} \left(-m_1 w^2 + \frac{E_a F_a}{h_a} + k \right) + x_{m_2} (-k) = P_B, \quad (1.10)$$

$$x_{m_1} (-k) + x_{m_2} (-m_2 w^2 + k) = 0 \quad (1.11)$$

Дифференциальное уравнение для вынужденных колебаний по одномассной схеме будет

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = P \cos wt, \quad (1.12)$$

где m – масса виброукладчика; $c\dot{x}$ – инерционное сопротивление смеси колебаниям укладчика; k – упругость деревобетонной смеси; P – вынуждающая сила; w – угловая частота вынуждающей силы.

$$\text{Заменив } \frac{P}{m} = f_0, \quad \Theta = \frac{cw}{2m}, \quad w_0 = \sqrt{\frac{k}{m}},$$

получим уравнение

$$\ddot{x} + 2\Theta\dot{x} + w_0^2 x = f_0 \cos wt. \quad (1.13)$$

Решив уравнение, найдем амплитуду колебаний A :

$$A = \frac{f_0}{\sqrt{(w_0^2 - w^2)^2 + 4w^2\Theta^2}}. \quad (1.14)$$

1.2. Структура передвижных линий

Соотношение изделий различных видов и групп в рассредоточенных производствах постоянно меняется. Отмеченная неравномерность может привести к неэффективному использованию производственных и трудовых ресурсов в случае, если будет установлено жесткое распределение мощности по групповым потокам. В связи с этим наряду с принципом внутригрупповой многовариантности целесообразно использовать принцип переконфигураций мини-линий из взаимозаменяемых узлов.

Любую механическую систему (например, бетоноукладчик), выполняющую перемещения по осям координат x , y и z , можно рассматривать в случае одновременного действия всех механизмов как функцию пересечения элементов:

$$A_i = x^1 \cap y^1 \cap z^1. \quad (1.15)$$

Если же эти перемещения могут выполняться только в каком-то одном направлении:

$$x^1, \text{ или } y^1, \text{ или } z^1,$$

то такая система рассматривается как функция сложения элементов

$$A_j = x^1 \cup y^1 \cup z^1. \quad (1.16)$$

Возможны более сложные взаимосвязи узлов машины, когда для выявления структуры процесса работы необходимо пользоваться операциями как сложения, так и пересечения элементов и множеств. Характер связей множеств элементов может служить критерием оценки компоновки машины. Так, наличие операции теоретико-множественного умножения (пересечения) свидетельствует об участии элементов в нескольких композициях рабочих движений и, следовательно-

но, о более полном полезном использовании элементов машины по сравнению со схемой, где имеет место операция сложения или соединения множеств элементов.

Комплекс специализированных формовочных машин для предприятия с широкой номенклатурой продукции можно представить как сумму множеств H , выражающих множества машин для определенных серий продукции:

$$H = H_1 \cup H_2 \dots \cup H_n = \bigcup_{i=1}^n H_i. \quad (1.17)$$

При создании агрегируемых линий из m модуль-блоков, т. е. при компоновке их из нормализованных блоков $h_1, h_2, \dots, h_m$, представим линию как подмножество H_j , суммируемое из блоков:

$$H_j = h_1 \cup h_2 \dots \cup h_j = \bigcup_{j=1}^m h_j, \quad (1.18)$$

Тогда множество сборно-разборных линий

$$H = \left(\bigcup_{j=1}^m h_j \right) \cup \left(\bigcup_{j=1}^q h_j \right) \dots \cup \left(\bigcup_{j=1}^f h_j \right). \quad (1.19)$$

Такое структурное преобразование позволяет вести ускоренную технологическую подготовку, заключающуюся в перекомпоновке оборудования, составленного из модуль-блоков.

Формы (поддоны, сотовые отсеки) также могут рассматриваться как множества. Так, общее количество традиционных индивидуальных форм, необходимых для выполнения годовой программы при широкой номенклатуре продукции, выразим через множество F , состоящее из подмножеств $F_1, F_2, \dots, F_n$, каждое из которых представляет формы для изделий определенной серии.

Тогда

$$F = F_1 \cup F_2 \dots \cup F_n = \bigcup_{i=1}^n F_i. \quad (1.20)$$

Если представить, что формы множества могут быть составлены (скомпонованы) из унифицированных модуль-блоков (МБ) g , то каждая такая сборная форма была бы подмножеством G_i , составленным из m МБ:

$$G_i = g_1 \bigcup g_2, \dots, \bigcup g_m = \bigcup_{j=1}^m g_j. \quad (1.21)$$

Тогда множество форм G из m МБ можно представить в виде суммы подмножеств G_i :

$$G = G_1 \bigcup G_2 \dots \bigcup G_n. \quad (1.22)$$

Переналадка линий может производиться за счет замены оснастки при сохранении основного оборудования. Однако для мобильного завода на новых местах дислокации может потребоваться оборудование совершенно других габаритов и другой мощности. В этом случае рациональны демонтаж имеющейся линии и компоновка новой из тех же деталей и узлов. При этом линии должны проектироваться из модульных узлов, в одинаковой мере пригодных для линий любого назначения. Это сложная конструкторская работа, но при ее реализации достигается большой технико-экономический эффект, так как мобильное предприятие при выходе на маршрут будет иметь не готовые машины и линии, которые могут не понадобиться на новых местах, а модульные узлы, из которых в каждом конкретном случае можно собирать требуемую линию.

Эффективность модульно-композиционного метода подготовки производства на мобильных предприятиях определяется существенным снижением времени и материальных затрат.

Затраты на проектирование индивидуальной технологии (ПТИ) можно обозначить

$$S_{\text{ПТИ}} = \sum_1^n S_{\Pi_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (1.23)$$

где S_{Π_i} – затраты на проектирование технологии для каждого i -го вида изделия.

При этом выполняется полный перечень проектно-технологических изысканий, многократно повторяются в основном одинаковые по содержанию работы, связанные с проектированием технологического процесса (ПТП).

Затраты по ПТП

$$S_{\text{ПТП}} = \sum_1^m S_{C_i} + \sum_1^m S_{И_i} \quad (i = 1, 2, \dots, m), \quad (1.24)$$