

Напряженное состояние на уровне $0,25h$ в растянутой зоне балки более благоприятное, здесь $K_{\sigma_1} = 1,42 \ll 5,05$.

Данные расчета раскрывают причину возникновения трещин в испытываемых элементах по геометрическому месту точек, где главные напряжения превышали прочность древесины под углом примерно в 5 раз, тогда как максимальные σ_x и τ_{xy} — в 3,2... 3,5 раза.

Особенно тщательную проверку следует выполнять в балках при подвижных нагрузках (пролетные строения мостов, подкрановые балки и др.). Здесь самое опасное положение груза — на расстоянии около $1,6h$ от опоры (на нейтральном слое суммируется наибольшая S). Однозначные ответы на все возникающие вопросы пока дать затруднительно, однако уже в первом предположении ясно, что учет местных напряжений, особенно действующих по площадкам с минимальной прочностью древесины, — один из путей совершенствования расчетов КДК.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Кабанов В. А. Влияние температурно-влажностных воздействий на прочность и выносливость клеевых соединений деревянных балок: Дис. . . канд. техн. наук. — Воронеж, 1983, — 265 с. [2]. Попов В. Д., Серов Е. Н., Корзон С. А. Инженерный расчет зубчатого стыка. — Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1983, № 3, с. 74—78. [3]. Светозарова Е. И. О напряжениях в клеенощитых балках увеличенной высоты. — В кн.: Конструкции из клееной древесины и пластмасс. Л.: ЛИСИ, 1978, с. 10—15. [4]. Серов Е. Н., Хапин А. В. Выбор критерия прочности для клееной древесины изгибаемых и сжато-изгибаемых элементов конструкций. — Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1984, № 1, с. 72—76. [5]. Тимошенко С. П., Гудьер Д. ж. Теория упругости. — М.: Наука, 1979. — 560 с.

Поступила 5 июля 1985 г.

УДК 630*848.7

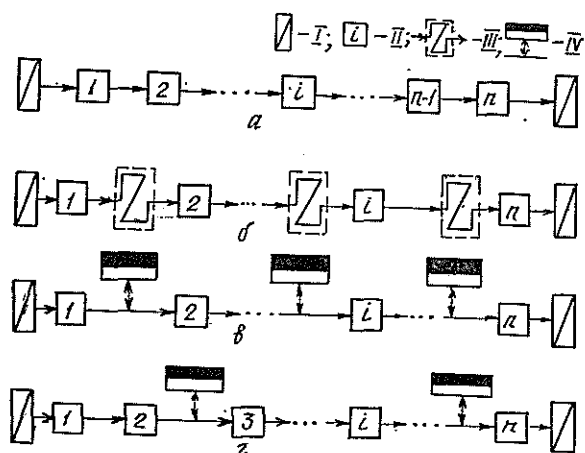
РАСЧЕТ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ МНОГОСТАНОЧНЫХ ПОТОКОВ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ОБОРУДОВАНИЯ

А. С. ФЕДОРЕНЧИК, Н. Ф. КОВАЛЕВ

Белорусский технологический институт

Комплексная механизация и автоматизация производственных процессов потребовала применения дорогостоящего оборудования в технологических потоках нижних складов и деревообрабатывающих цехов. Потоки, отличаясь характером связей между машинами и установками, объединены в различные классы с жесткой, гибкой и комбинированной связями. Многолетний опыт эксплуатации таких потоков указывает на недостаточное их использование. Одна из причин, приводящих к уменьшению выработки, — отсутствие инженерно доступной методики расчета и проектирования потоков, которая бы в реальных условиях леспромов (при изменении сортиментной программы, некомплектной поставке техники, различной надежности машин и т. д.) позволяла выявить и ликвидировать узкие места.

Нами на основании методов теории массового обслуживания, надежности и вероятности, с учетом ранее выполненных исследований [1, 2], разработаны теоретические положения и получены аналитические зависимости, позволяющие определять пропускную способность потоков с буферными емкостями транзитного (БТР) и тупикового (БТТ) типов (см. рис.). Принято, что в процессе эксплуатации через БТР проходит весь объем заготовок; БТТ вступает в действие только тогда, когда



Технологические потоки (линии последовательного агрегатирования).

I — запас сырья или готовой продукции неограниченной емкости; *II* — установка для выполнения технологической операции, $i = 1, n, n > 2$ (целое положительное число); *III* — буферная емкость транзитного типа (БТРТ); *IV* — буферная емкость тупикового типа (БТТ); *a* — с жесткой связью; *б, в* — с гибкой связью, $q = n - 1$; *г* — с комбинированной связью, $1 < q < n - 2$ (здесь q — число буферных емкостей).

ритм работы смежных установок потока нарушается или одна из них временно останавливается. При этом БТТ выдает заготовки навстречу тому направлению, откуда они поступают в него. Не рассматриваем вариант организации работы потока с БТТ, когда допускается заполнение буферной емкости заготовками, выработанными другими потоками.

Как установлено ранее [1], выражение для вместимости буферной емкости m между i -той и $i + 1$ -й машинами имеет вид:

$$m^{(i, i+1)} = \mu K (t_{\text{пр}}^{(i+1)} + t_{\text{пр}}^{(i)}), \quad (1)$$

где $t_{\text{пр}}^{(i+1)}$ и $t_{\text{пр}}^{(i)}$ — время отказа соответственно $(i + 1)$ -й и i -той машин, установленное с большей (0,8 и выше) вероятностью;

K — коэффициент, учитывающий колебания времени циклов обработки предметов труда отдельными машинами в соответствии с нормальным законом распределения параметров деревьев в насаждениях;

μ — интенсивность обработки предметов труда потоком при отказах отдельных его машин; наименьшая из полученных для каждой машины значений

$$\mu = \frac{\mu_{\text{т}}^{(i)}}{K \left(\frac{1}{K_{\text{т}}^{(i)}} - 1 \right) + 1}. \quad (2)$$

Здесь $K_{\text{т}}^{(i)}$ — внутрисменный коэффициент технической готовности (использования) i -той машины, указывающий на вероятность того, что машина окажется работоспособной в произвольно выбранный момент времени в установившемся процессе эксплуатации;

$\mu_{\text{т}}^{(i)}$ — технически возможная интенсивность обработки предметов труда i -той машиной для конкретных условий производства.

В течение смены одновременно работают все механизмы потока. В этом случае интенсивность обработки предметов труда в потоке $\mu_{то}$ определяется минимальным значением интенсивности обработки сырья $\mu^{(i)}$, полученным по техническим характеристикам машин потока.

Сменная производительность потока с гибкими связями

$$П_{г} = П_1 + П_2, \quad (3)$$

где $П_1$ — выработка потока при одновременной работе всех механизмов; $П_2$ — выработка потока при отказах отдельных механизмов (групп механизмов) потока.

Вероятность нахождения всех n механизмов потока в рабочем состоянии в течение определенного времени, в соответствии с теоремой умножения вероятностей, для потоков с БТР составит

$$P_p^{тр} = \prod_{i=1}^n K_{г}^{(i)} \prod_{i=1}^{n-1} K_{гб}^{(i)}, \quad (4)$$

а для потоков с БТТ соответственно

$$P_p^{т} = \prod_{i=1}^n K_{г}^{(i)}. \quad (5)$$

В выражении (4) $K_{гб}^{(i)}$ — внутрисменный коэффициент технической готовности буфера, статистическая величина.

Отсюда определим производительности $П_1$ соответственно для потоков с БТТ и БТР

$$П_1^{т} = \mu_{то} \varphi T P_p^{т} = \mu_{то} \varphi T \prod_{i=1}^n K_{г}^{(i)};$$

$$П_1^{тр} = \mu_{то} \varphi T P_p^{тр} = \mu_{то} \varphi T \prod_{i=1}^n K_{г}^{(i)} \prod_{i=1}^{n-1} K_{гб}^{(i)}.$$

Здесь T — продолжительность смены за вычетом подготовительно-заключительного времени и времени нормированного отдыха;

φ — коэффициент, учитывающий простой по организационным и другим причинам, не учтенным коэффициентом $K_{г}^{(i)}$.

Поскольку работа и простой машины образуют полную группу несовместных событий, то вероятность простоя потока с БТТ, состоящего из n машин, в течение определенного времени выражается:

$$P_n^{т} = \prod_{i=1}^n (1 - K_{г}^{(i)}), \quad (6)$$

а потока с БТР соответственно

$$P_n^{тр} = \prod_{i=1}^n (1 - K_{г}^{(i)}) \prod_{i=1}^{n-1} K_{гб}^{(i)} + \prod_{i=1}^{n-1} (1 - K_{гб}^{(i)}) \prod_{i=1}^n K_{г}^{(i)} + \prod_{i=1}^n (1 - K_{г}^{(i)}) \prod_{i=1}^{n-1} (1 - K_{гб}^{(i)}), \quad (7)$$

так как очевидно, что поток будет стоять и в случае одновременного отказа машин при работоспособных БТР (в выражении (7) первое слагаемое), и в случае отказа БТР при работоспособных механизмах (второе слагаемое), и при одновременном отказе машин и БТР (третье слагаемое).

Зная вероятность одновременной работы всех машин потока из выражений (4), (5) и вероятность простоя потока из выражений (6), (7) и исходя из положения, что сумма всех вероятностей состояний равна единице, определим вероятность состояния неполной работы потока с БТТ, характеризующегося отказами отдельных машин (групп машин):

$$P_{\text{нр}}^{\text{т}} = 1 - P_{\text{р}}^{\text{т}} - P_{\text{п}}^{\text{т}}, \quad (8)$$

а для потока с БТР

$$P_{\text{нр}}^{\text{тр}} = 1 - P_{\text{р}}^{\text{тр}} - P_{\text{п}}^{\text{тр}}. \quad (9)$$

Так как в потоке, имеющем n машин, при отказах отдельных его машин (групп машин) устанавливается интенсивность обработки μ (равенство (2)), то выражения для пропускных способностей Π_2 для потоков с БТТ и БТР соответственно имеют вид:

$$\Pi_2^{\text{т}} = \mu \varphi K_{\text{тб}}^{(i)} T P_{\text{нр}}^{\text{т}} \frac{1}{n}; \quad (10)$$

$$\Pi_2^{\text{тр}} = \mu \varphi T P_{\text{нр}}^{\text{тр}} \frac{1}{n}. \quad (11)$$

Выразив уравнения (8), (9) через соответствующие коэффициенты $K_{\text{т}}^{(i)}$ и $K_{\text{тб}}^{(i)}$ и подставив их в выражения (10) и (11), получим:

$$\Pi_2^{\text{т}} = \mu K_{\text{тб}}^{(i)} \varphi T \left[1 - \prod_{i=1}^n K_{\text{т}}^{(i)} - \prod_{i=1}^n (1 - K_{\text{т}}^{(i)}) \right] \frac{1}{n};$$

$$\Pi_2^{\text{тр}} = \mu \varphi T \left\{ 1 - \left[\prod_{i=1}^{n-1} K_{\text{тб}}^{(i)} + \prod_{i=1}^{n-1} (1 - K_{\text{тб}}^{(i)}) \right] \left[\prod_{i=1}^n K_{\text{т}}^{(i)} + \prod_{i=1}^n (1 - K_{\text{т}}^{(i)}) \right] \right\} \frac{1}{n}.$$

На основании уравнения (3) определяем сменную пропускную способность потока с БТТ (см. рис. в) и с БТР (см. рис. б)

$$\Pi_{\text{т}}^{\text{т}} = \varphi T \left\{ \mu_{\text{то}} \prod_{i=1}^n K_{\text{т}}^{(i)} + \mu K_{\text{тб}}^{(i)} \left[1 - \prod_{i=1}^n K_{\text{т}}^{(i)} - \prod_{i=1}^n (1 - K_{\text{т}}^{(i)}) \right] \frac{1}{n} \right\}; \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{т}}^{\text{тр}} = \varphi T \left\{ \mu_{\text{то}} \prod_{i=1}^n K_{\text{т}}^{(i)} \prod_{i=1}^{n-1} K_{\text{тб}}^{(i)} + \mu \left[1 - \left(\prod_{i=1}^{n-1} K_{\text{тб}}^{(i)} + \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + \prod_{i=1}^{n-1} (1 - K_{\text{тб}}^{(i)}) \right) \left(\prod_{i=1}^n K_{\text{т}}^{(i)} + \prod_{i=1}^n (1 - K_{\text{т}}^{(i)}) \right) \right] \frac{1}{n} \right\}. \quad (13) \end{aligned}$$

При жестких связях машин в потоке, когда между ними нет буферных емкостей (см. рис. а), сменная пропускная способность [1]

$$\Pi_{\text{ж}} = \mu_{\text{то}} \varphi T \prod_{i=1}^n K_{\text{т}}^{(i)}. \quad (14)$$

Для комбинированных потоков (см. рис. г) после условной замены группы машин, имеющих жесткую связь, одной [1] интенсивность обработки и размеры буферных емкостей между машинами определяют как для потоков с гибкими связями соответственно из выражений (2) и (1), а сменную пропускную способность — по равенству:

$$\Pi_{\text{к}} = \varphi T \left\{ \mu_{\text{то}} \prod_{i=1}^{q+1} K_{\text{т}}^{(i)} + \mu K_{\text{тб}}^{(i)} \left[1 - \prod_{i=1}^{q+1} K_{\text{т}}^{(i)} - \prod_{i=1}^{q+1} (1 - K_{\text{т}}^{(i)}) \right] \frac{1}{q+1} \right\}. \quad (15)$$

Выражение (15) получено на основании формулы (12), в которой предел изменения величины i , равный n (числу машин потока), заменен на $q+1$ (здесь $q+1$ — число машин (групп машин) в потоке, разделенных q буферными емкостями).

Известно, что в любой технологической цепочке фактические производительности всех машин за значительный промежуток времени не-

избежно уравниваются. Тогда под пропускной способностью потока можно понимать пропускную способность любой машины потока с учетом не только собственных, но и дополнительных простоев из-за влияния смежных машин. Если известна пропускная способность i -той машины потока $\Pi_a^{(i)}$ при автономной работе за время T , тогда пропускная способность потока за это время:

$$\Pi_n = \Pi_a^{(i)} \rho^{(i)} = \Pi_a^{(i+1)} \rho^{(i+1)}, \quad (16)$$

где $\rho^{(i)}$ и $\rho^{(i+1)}$ — коэффициенты загрузки по времени соответственно i -той и $(i+1)$ -й машин в потоке;

$$\Pi_a^{(i)} = \mu_T^{(i)} K_T^{(i)} \varphi T.$$

Из выражений (16) определим коэффициент загрузки по времени i -той машины в потоке

$$\rho^{(i)} = \frac{\Pi_n}{\Pi_a^{(i)}}.$$

Зная коэффициенты загрузки по времени, можно легко определить время работы $T_p^{(i)}$ и простоя $T_n^{(i)}$ i -той машины потока за смену:

$$T_p^{(i)} = T \varphi K_T^{(i)} \rho^{(i)};$$

$$T_n^{(i)} = T - T_p^{(i)}.$$

Фактическую сменную пропускную способность потока Π_n можно выразить через техническую Π_T [3]

$$\Pi_n = \Pi_T K_n = \mu_{\text{то}} T K_n, \quad (17)$$

где K_n — коэффициент использования потока, учитывающий техническое состояние, число единиц оборудования в потоке, технологические и организационные особенности, структуру потока, тип буферных емкостей.

Выражения (12) — (15) перепишем в виде

$$\Pi_n = T \varphi B. \quad (18)$$

Здесь B — усредненная интенсивность обработки предметов труда потоком.

Для потоков с БТТ и БТР имеем соответственно

$$B = \mu_{\text{то}} \prod_{i=1}^n K_T^{(i)} + \mu K_{\text{тб}}^{(i)} \left[1 - \prod_{i=1}^n K_T^{(i)} - \prod_{i=1}^n (1 - K_T^{(i)}) \right] \frac{1}{n};$$

$$B = \mu_{\text{то}} \prod_{i=1}^n K_T^{(i)} \prod_{i=1}^{n-1} K_{\text{тб}}^{(i)} + \mu \left\{ 1 - \left[\prod_{i=1}^{n-1} K_{\text{тб}}^{(i)} + \prod_{i=1}^{n-1} (1 - K_{\text{тб}}^{(i)}) \right] \left[\prod_{i=1}^n K_T^{(i)} + \prod_{i=1}^n (1 - K_T^{(i)}) \right] \right\} \frac{1}{n}.$$

При жестких связях машин в потоке

$$B = \mu_{\text{то}} \prod_{i=1}^n K_T^{(i)};$$

при комбинированных (см. рис. 2)

$$B = \mu_{\text{то}} \prod_{i=1}^{q+1} K_T^{(i)} + \mu K_{\text{тб}}^{(i)} \left[1 - \prod_{i=1}^{q+1} K_T^{(i)} - \prod_{i=1}^{q+1} (1 - K_T^{(i)}) \right] \frac{1}{q+1}.$$

Определив значения B и приравняв правые части уравнений (17) и (18), можно найти коэффициент использования потока:

$$K_{II} = \frac{\varphi B}{\mu_{\text{то}}} \quad (19)$$

Полученные материалы могут составить основу инженерной методики расчета потоков последовательного агрегатирования.

Пример. В состав потока входят три установки. Для конкретных условий (объем хлыста, схема раскряжевки и т. д.) известны расчетные характеристики: $\mu_T^{(1)} = 0,6$ м³/мин для ПСЛ-2; $\mu_T^{(2)} = 0,52$ м³/мин для ЛО-15С; $\mu_T^{(3)} = 0,55$ м³/мин для ЛТ-86; $t_{\text{пр}}^{(1)} = 4,75$ мин; $t_{\text{пр}}^{(2)} = 5$ мин; $t_{\text{пр}}^{(3)} = 3$ мин; $K_T^{(1)} = K_T^{(2)} = 0,8$; $K_T^{(3)} = 0,9$; $T = 390$ мин; $\varphi = 0,95$; $K = 1,3$; $K_{\text{тб}}^{(1)} = 0,975$.

Требуется определить пропускную способность и коэффициент использования потока при жесткой, гибкой (с БТР и БТТ) и комбинированной связях, а также вместимость буферных емкостей. По формуле (14) вычисляем сменную пропускную способность потока при жесткой связи

$$П_{\text{ж}} = 0,52 \cdot 0,95 \cdot 390 \cdot 0,8^2 \cdot 0,9 = 111 \text{ м}^3/\text{см.}$$

Зная $П_{\text{ж}}$, на основании (17) определим коэффициент использования потока

$$K_{II}^{\text{ж}} = \frac{П_{\text{ж}}}{\mu_{\text{то}} T} = \frac{111}{0,52 \cdot 390} = 0,55.$$

Используя выражение (2), найдем интенсивность обработки μ для различных машин i . Для первой

$$\mu^{(1)} = \frac{0,6}{1,3 \left(\frac{1}{0,8} - 1 \right) + 1} = 453 \text{ м}^3/\text{мин.}$$

Аналогично $\mu^{(2)} = 0,392$ и $\mu^{(3)} = 0,480$ м³/мин. Интенсивность обработки μ определяет раскряжевочная установка, имеющая наименьшее значение $\mu^{(i)}$. Тогда по формуле (12) вычислим пропускную способность потока с БТТ

$$П_T^{\text{т}} = 0,95 \cdot 390 \left\{ 0,52 \cdot 0,8^2 \cdot 0,9 + 0,392 \cdot 0,975 \left[1 - 0,8^2 \cdot 0,9 - (1 - 0,8)^2 (1 - 0,9) \right] \frac{1}{3} \right\} = 138,5 \text{ м}^3/\text{см.}$$

Аналогично по формуле (13) найдем, что пропускная способность потока с БТР $П_T^{\text{бр}} = 127,3$ м³/см.

Следовательно, введение гибкой связи с БТР дает прирост производительности потока $\Delta П = 16,3$ м³/см или 14,7 %, а с БТТ — 27,5 м³/см или 24,8 %.

Из выражения (17) определим коэффициент использования потока

$$K_{II}^{\text{бр}} = \frac{П_T^{\text{бр}}}{\mu_{\text{то}} T} = \frac{127,3}{0,52 \cdot 390} = 0,63.$$

Аналогично $K_{II}^{\text{т}} = 0,68$.

По формуле (1) найдем вместимость буферных емкостей между ПСЛ-2 и ЛО-15С, а также между ЛО-15С и ЛТ-86:

$$m^{(1,2)} = 0,392 \cdot 1,3 (5 + 4,75) = 4,95 \text{ м}^3, \text{ или } 10 \text{ хлыстов};$$

$$m^{(2,3)} = 0,392 \cdot 1,3 (3 + 5) = 4,0 \text{ м}^3, \text{ или } 45 \text{ сортиментов.}$$

Пусть буферная емкость установлена только между ПСЛ-2 и ЛО-15С, т. е. имеет место комбинированная связь машин в потоке. Условно представим ЛО-15С и ЛТ-86 как одну машину (систему). Ее техническая производительность определяется ЛО-15С и равна 0,52 м³/мин. Воспользовавшись материалами работы [1], найдем: $\mu^{\text{с}} = 0,327$ м³/мин; $K_T^{\text{с}} = 0,7$; $t_{\text{пр}}^{\text{с}} = 5$ мин. По формуле (15) определим пропускную способность потока с комбинированными связями (емкость тупикового типа)

$$П^{\text{к}} = 0,95 \cdot 390 \left\{ 0,52 \cdot 0,8 \cdot 0,7 + 0,327 \cdot 0,975 \left[1 - 0,8 \cdot 0,7 - (1 - 0,8)(1 - 0,7) \right] \frac{1}{1 + 1} \right\} = 130,3 \text{ м}^3.$$

что дает прирост $\Delta\Pi = 18,7 \text{ м}^3/\text{см}$, или 17,3 % по сравнению с жестким расположением установок в потоке. Из выражения (1) находим вместимость буферной емкости

$$m^{(1, c)} = 0,327 \cdot 1,3 (5 + 4,75) = 4,14 \text{ м}^3, \text{ или } 8 \text{ хлыстов},$$

а из выражения (17) — коэффициент использования потока

$$K_{\text{н}}^{\text{к}} = \frac{\Pi^{\text{к}}}{\mu_{\text{то}} T} = \frac{130,3}{0,52 \cdot 390} = 0,64.$$

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Ковалев Н. Ф., Федоренчик А. С. Буферные емкости и производительность в потоках лесозаготовок.— Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1981, № 2, с. 111—117. [2]. Турлай И. В., Ковалев Н. Ф. Определение оптимальных размеров буферных запасов.— М.: ВНИПИЭИлеспром, 1974, с. 24. [3]. Эксплуатационная надежность полуавтоматических линий лесной промышленности/ Д. К. Воевода, Н. Ф. Ковалев, В. В. Назаров, А. К. Теслюк. Под ред. Д. К. Воеводы.— М.: Лесн. пром-сть, 1971.— с. 120.

Поступила 2 ноября 1984 г.

УДК 676.051.345.3 : 534

ИСТОЧНИКИ КОЛЕБАНИЙ КОРООБДИРОЧНЫХ БАРАБАНОВ

А. Б. ЗЫРЯНОВА, А. А. САННИКОВ

Уральский лесотехнический институт

Корообдирочные барабаны, предназначенные для окорки балансовой древесины, относятся к машинам со значительными динамическими нагрузками, возбуждающими в ряде случаев повышенную вибрацию, которая снижает надежность узлов и деталей как самих машин, так и их фундаментов. Авторами исследованы колебания различных типов корообдирочных барабанов на семи целлюлозно-бумажных комбинатах.

Для экспериментальных исследований использовали два комплекта виброизмерительной аппаратуры типа К-001 с осциллографом типа НО41, У4.2. Корообдирочные барабаны колеблются совместно с их фундаментами в области низких частот как единые жесткие системы. Поэтому колебания этих машин оценивали по колебаниям их фундаментов. Вибропреобразователи, ориентированные по трем взаимно перпендикулярным направлениям, устанавливали на фундаменте у опорных роликов, на площадках приводов и на нулевой отметке (рис. 1).

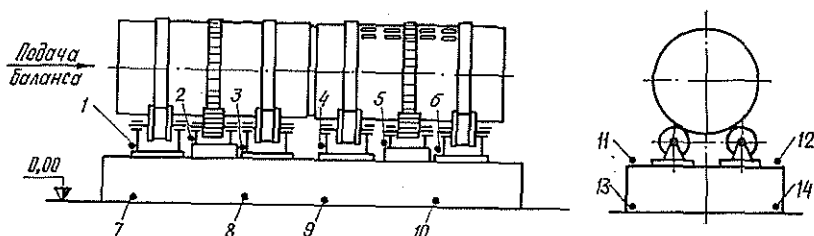


Рис. 1. Схема размещения вибропреобразователей (1—14) на фундаменте корообдирочного барабана.

Формы колебаний фундаментов выявляли путем одновременной записи колебаний в четырех — шести точках. При определении формы колебаний поперечного сечения фундамента два вибропреобразователя устанавливали на верхней отметке фундамента и два — на нулевой отметке на одинаковом расстоянии от оси барабана. При определении форм-