

Повышение производительности линии сборки вакуумных СВЧ-приборов

Владимир Анатольевич Васин, к.т.н., ienmiem@mail.ru

Евгений Николаевич Ивашов, д.т.н., vacuumwa@list.ru

Сергей Валентинович Степанчиков, к.т.н., vacuumwa@ya.ru

Александр Геннадиевич Вараксин, магистрант

ФГБОУ ВПО «Московский государственный институт электроники и математики» (МИЭМ), Москва

Рассмотрены вопросы повышения производительности линии сборки вакуумных СВЧ-приборов и задача герметизации штенгеля при сборке прибора; сформулированы основные направления работ, позволяющие пользователям технологического оборудования улучшить его экологические параметры, повысить производительность и эффективность использования.

Article is devoted to improve the performance of the assembly line of vacuum microwave devices. The problem of sealing Stengel during assembly device. The basic directions of work, allowing users to process equipment to improve its environmental performance, increase productivity and efficiency.

Ключевые слова: *производительность оборудования, линия сборки, вакуумный СВЧ-прибор, откачной пост, диффузионный насос, герметизация штенгеля, обратный поток масла.*

Keywords: *productivity of the equipment, assembly line, vacuum microwave device, pump post, the diffusion vacuum pump, hermetic encapsulation stengel, return stream of an oil.*

Анализ путей повышения производительности линии сборки вакуумных СВЧ-приборов производится, в соответствии с рекомендациями работы [1], на основании имеющихся эксплуатационных характеристик и баланса производительности. По балансу производительности выявляются именно те простои, которые вызывают наибольшие потери производительности оборудования.

Как показывает накопленный опыт, при работе вакуумного технологического оборудования возникают следующие виды потерь:

1. Как правило, наибольшие потери производительности обусловлены наличием несовместимых холостых ходов в цикле работы. Для сокращения количества холостых ходов цикла необходимо разработать новое оборудование с принципиально иной компоновкой (например карусельной), что не может быть выполнено в производственных условиях.

2. Для большей части технологического оборудования характерны большие потери производительности по организационным причинам, среди которых можно выявить две составляющие:

1) причины дисциплинарного характера (несвоевременный приход и уход рабочих, ожидание наладчика, медленная подготовка оборудования и т.д.);

2) причины материального характера (отсутствие заготовок или полуфабрикатов).

Вторая составляющая является определяющей, так как без ее устранения улучшение других

эксплуатационных характеристик исследуемого оборудования не дает ожидаемого результата.

3. Часто значительны простои по инструменту и оборудованию, которые могут быть уменьшены повышением надежности функционирования систем оборудования и совершенствованием ремонтной службы и контролем за правильной его эксплуатацией.

При анализе этого вида простоев всегда необходимо выявлять наименее «слабые» (по надежности и ресурсу) звенья в системе, что поможет выбрать возможные и наиболее простые пути повышения производительности оборудования за счет увеличения его надежности.

4. Особенностью оборудования для сборки вакуумных СВЧ-приборов являются достаточно высокие потери производительности из-за брака. При этом следует различать следующие виды брака:

1) брак по неизготовленным изделиям, вследствие нарушения режимов обработки (давления, температуры и т.д.) и разладки механизмов (точность позиционирования, базирования и т.п.), которые могут быть легко устранены;

2) брак по выходным параметрам изделия, который зачастую определяется конструкцией оборудования и требует для выявления его причин подробного анализа.

На выпуск бракованной продукции весьма существенное влияние оказывают и такие факторы, как качество используемых заготовок и полуфабрикатов, изменение параметров окружающей среды

(колебания напряжения в электросети, изменение температуры воздуха и охлаждающей воды и т.п.).

В условиях эксплуатации оборудования ни один из перечисленных выше видов простоев ликвидировать не удастся, поэтому реальные резервы роста его производительности зависят от того, во сколько раз можно сократить те или иные простои.

Приведенный анализ основных видов простоев позволяет наметить основные направления по разработке технических предложений по обеспечению максимальной производительности линии сборки вакуумных СВЧ-приборов. Наибольшее внимание необходимо уделить следующим мероприятиям:

- организации подачи заготовок на вход линии и их качеству;
- изучению надежности работы систем линии и проверке соответствия условий их эксплуатации требуемым;
- анализу причин появления бракованных изделий.

Фактическая производительность линии сборки вакуумных СВЧ-приборов равна [2]:

$$Q_{\Sigma} = Q_{ц} - (\Delta Q_x + \Delta Q_{и} + \Delta Q_p + \Delta Q_o + \Delta Q_d),$$

где $Q_{ц}$ – цикловая производительность; ΔQ_x – потери (цикловые) из-за холостых ходов; $\Delta Q_{и}$ – потери (внецикловые) в связи с неисправностью инструмента; ΔQ_p – потери (внецикловые) из-за ремонта; ΔQ_o – потери (внецикловые), вызванные организационными причинами; ΔQ_d – потери (внецикловые), связанные с отказами и дефектами вакуумных СВЧ-приборов.

Потери, связанные с отказами и дефектами приборов, складываются из следующих потерь:

$$\Delta Q_d = \Delta Q_{д.с} + \Delta Q_{д.герм} + \Delta Q_{д.ср} + \Delta Q_{д.эм} + \Delta Q_{д.пр}),$$

где $\Delta Q_{д.с}$ – потери из-за отказов и дефектов вследствие разрушения и растрескивания стекла оболочек; $\Delta Q_{д.герм}$ – потери из-за отказов и дефектов, вызванные нарушением герметичности; $\Delta Q_{д.ср}$ – потери из-за отказов, обусловленные нарушением рабочей среды в вакуумном СВЧ-приборе; $\Delta Q_{д.эм}$ – потери из-за отказов и дефектов, связанные с потерей эмиссии катодов; $\Delta Q_{д.пр}$ – потери из-за прочих отказов и дефектов.

Перечисленные потери производительности определяются на основании исследований в процессе эксплуатации линии. Наиболее существенными являются потери из-за отказов откачных постов, печей обезгаживания стекла и механического конвейера, в результате их низкой надежности. Велики отказы и дефекты, связанные с разруше-

нием стеклооболочек, потерей герметичности и рабочих сред, а также низкой эмиссией катодов.

Таким образом, основные мероприятия, определяющие повышение фактической производительности линии сборки вакуумных СВЧ-приборов и их качества, должны быть направлены на повышение надежности отдельных элементов и узлов линии и совершенствование технологических режимов.

Следует отметить, что повышения производительности оборудования можно добиться только в том случае, если все механизмы и устройства работают с высокой надежностью.

Для количественной оценки резервов повышения производительности технологического оборудования, его элементов и узлов вводятся два показателя надежности: среднее время безотказной работы t_m и время простоя для обнаружения и устранения отказов t_n .

Среднее время безотказной работы определяется как

$$t_m = T_n / n,$$

где T_n – время наблюдения; n – число отказов за время наблюдения.

Время простоя для обнаружения и устранения отказа t_n вычисляется по формуле

$$t_n = t_o + t_p,$$

где t_o – время обнаружения отказа; t_p – время устранения отказа.

Анализ работоспособности сборочной линии подтверждает, что наибольшие потери возникают из-за отказов вакуумных откачных постов.

На каждой откачной позиции может нарушаться работа следующих элементов: диффузионного насоса, форвакуумного насоса, вакуумной головки, манометрического датчика, печи электроотпая, ремня в клиноременной передаче, электродвигателя, блока электропитания, водоснабжения диффузионного насоса и др.

Среднее время безотказной работы откачных постов невелико и составляет ~ 100 ч [2].

Оптимальными для откачных постов являются следующие значения параметров: предельное давление в вакуумной головке перед штенгелем – 10^{-4} Па; скорость откачки воздуха в вакуумной головке перед штенгелем – не менее 2 л/с; обратный поток паров масла из диффузионного насоса – не более $6 \cdot 10^{-1}$ мг/см²·ч.

С целью повышения надежности работы диффузионных насосов и уменьшения обратного потока паров масла в конструкциях необходимо ус-

танавливать высоковакуумные криогенные ловушки. Уменьшение скорости откачки из вакуумной головки, связанное с установкой ловушек, не отражается на скорости откачки из прибора.

Большое значение для работы диффузионного насоса имеет рабочая жидкость. Вместо вакуумного масла ПФМС-2/5л целесообразно использовать воздухостойкое масло МФТ-1 с меньшим предельным давлением.

Долговечность работы диффузионного насоса зависит от давления, при котором срабатывает аварийный вакуумный клапан.

Среднее время безотказной работы диффузионного насоса может быть также повышено путем замены открытой электрической спирали кипятильника на закрытый трубчатый или керамический таблеточный электронагреватель.

На рис. 1. представлена зависимость величины обратного тока масла из высоковакуумного насоса в откачиваемую систему от величины впускного давления [3].

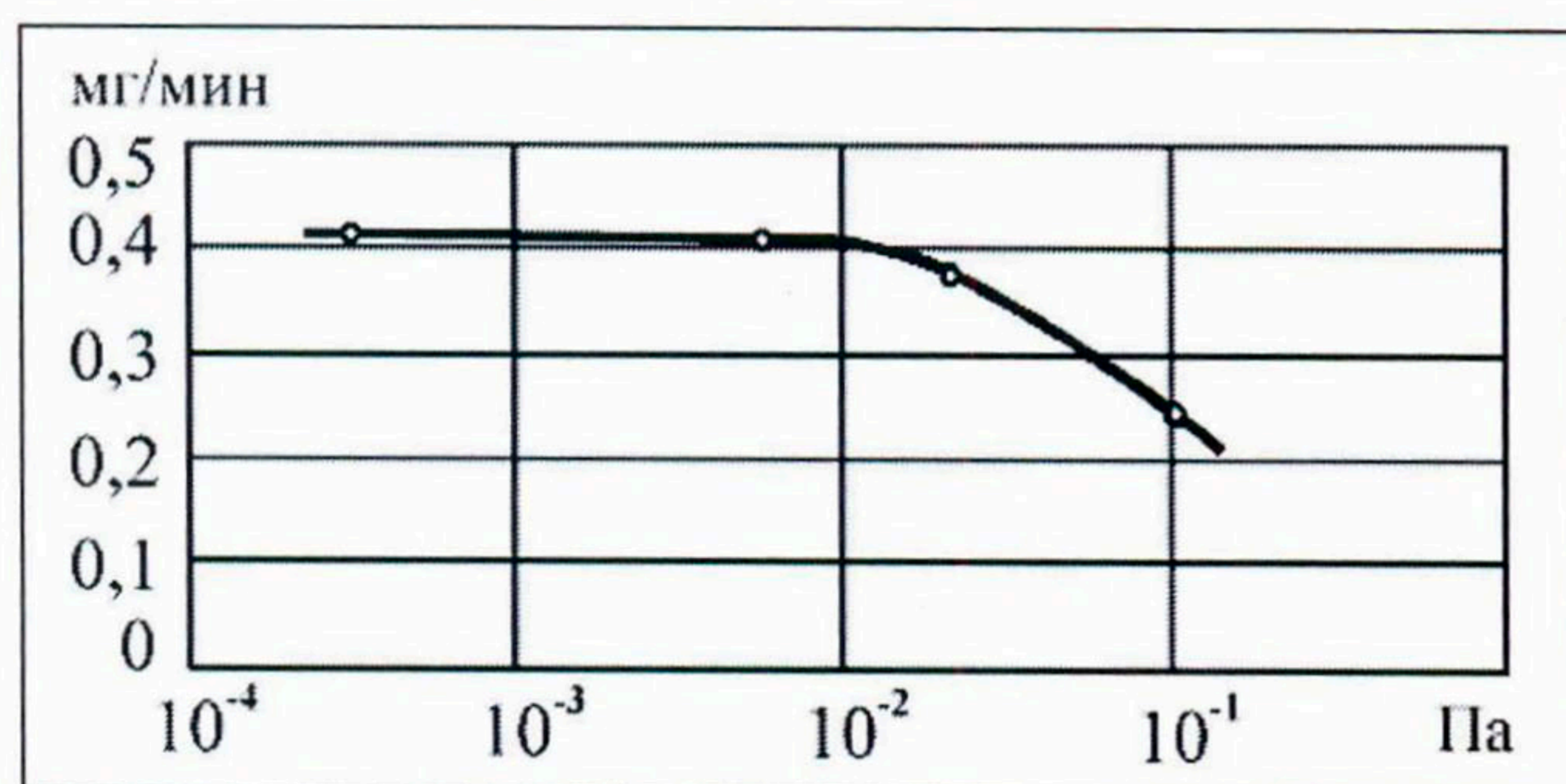


Рис. 1. Изменение величины обратного потока масла из высоковакуумного насоса в откачиваемую систему в зависимости от величины впускного давления

В последнее время электроотпай вытеснил ручной отпай, в результате чего улучшилось качество отпая. При проведении электроотпая необходимо периодически проверять сопротивление спирали отпая и регулировать его.

Для повышения долговечности работы форвакуумного насоса между электродвигателем и насосом целесообразно устанавливать двухремённые шкивы. Это позволяет в два раза снизить количество отказов клиноременной передачи, так как при обрыве одного ремня форвакуумный насос не останавливается, откачной пост снимается на ремонт только после отпая вакуумного СВЧ-прибора.

Одной из актуальных задач является улучшение герметизации штенгеля прибора с целью повышения надежности вакуумной головки.

Задача герметизации штенгеля прибора сводится к решению задачи Ламэ–Гадолина для тол-

стостенных труб [4], согласно которой каждая точка втулки будет перемещаться только в направлении радиуса r (на величину u) и параллельно оси втулки Z (на величину w), причем u и w не зависят от полярного угла θ (рис. 2).

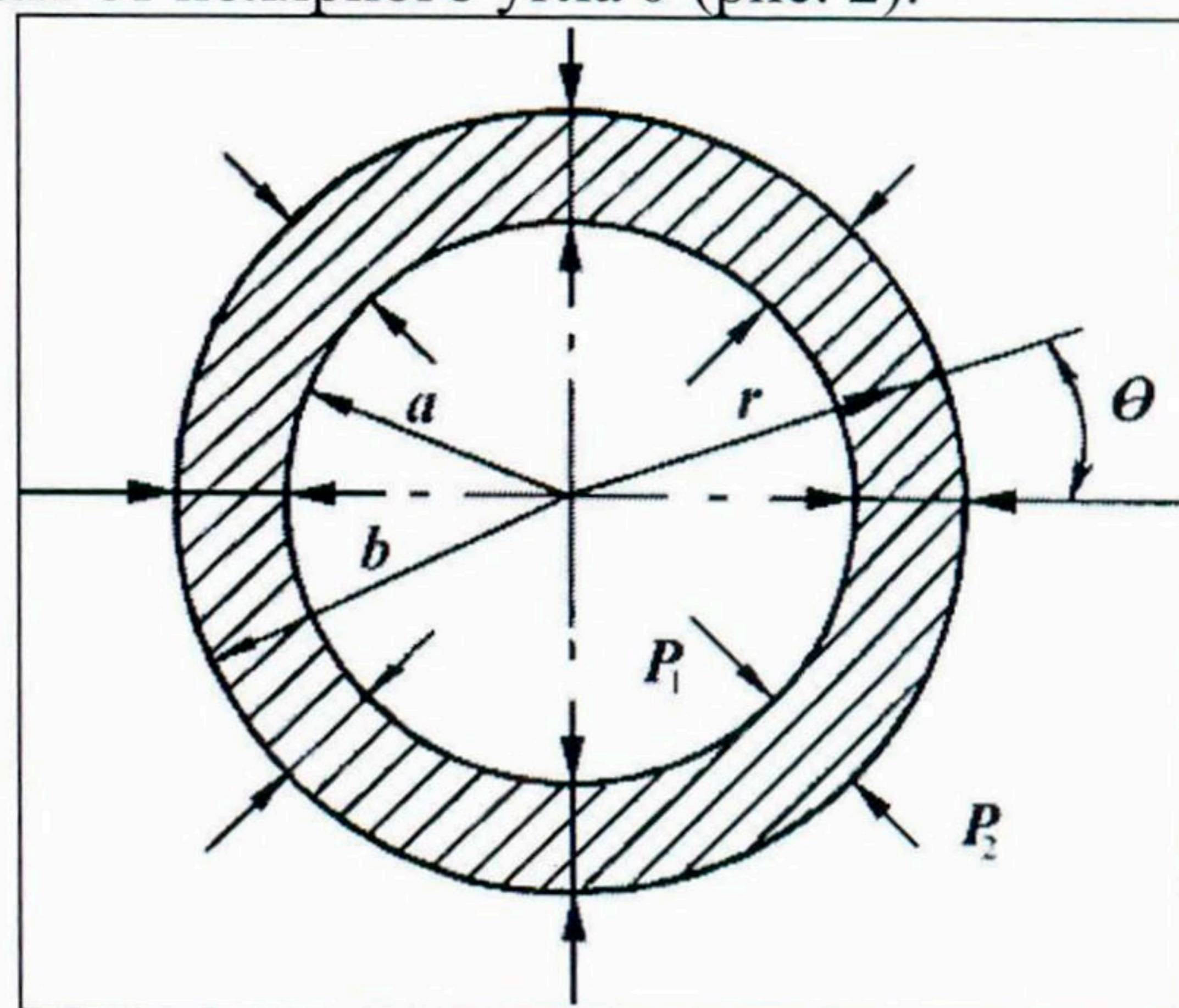


Рис. 2. Иллюстрация решения задачи деформации резиновой уплотняющей втулки

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \frac{2G(1-\mu)}{1-2\mu} \left(\frac{du}{dr} + \frac{\mu}{1-\mu} \frac{u}{r} + \frac{\mu}{1-\mu} \frac{dw}{dz} \right), \\ \sigma_\theta &= \frac{2G(1-\mu)}{1-2\mu} \left(\frac{u}{r} + \frac{\mu}{1-\mu} \frac{du}{dr} + \frac{\mu}{1-\mu} \frac{dw}{dz} \right), \\ \sigma_z &= \frac{2G(1-\mu)}{1-2\mu} \left(\frac{dw}{dz} + \frac{\mu}{1-\mu} \frac{u}{r} + \frac{\mu}{1-\mu} \frac{du}{dr} \right). \end{aligned} \quad (1)$$

Дифференциальное уравнение в перемещениях имеет вид

$$\frac{d^2 u}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du}{dr} - \frac{u}{r^2} = 0. \quad (2)$$

В результате решения (2) получаем

$$u = C_1 r + \frac{C_2}{r}.$$

После подстановки u выражения (1) приобретают следующий вид:

$$\begin{aligned} \sigma_r &= A - B / r^2, \\ \sigma_\theta &= A + B / r^2, \\ \sigma_z &= 2\mu A + E \varepsilon_z, \end{aligned} \quad (3)$$

где A , B и ε_z – постоянные, которые подлежат определению из граничных условий,

$$A = \frac{2G(C_1 + \mu\varepsilon_z)}{1-2\mu};$$

$$B = 2 G C_2.$$

На торцы втулки действует сила $P_z = P \pi d^2 / 4$, где P – величина атмосферного давления; d – торцевой диаметр сильфона (рис. 3.).

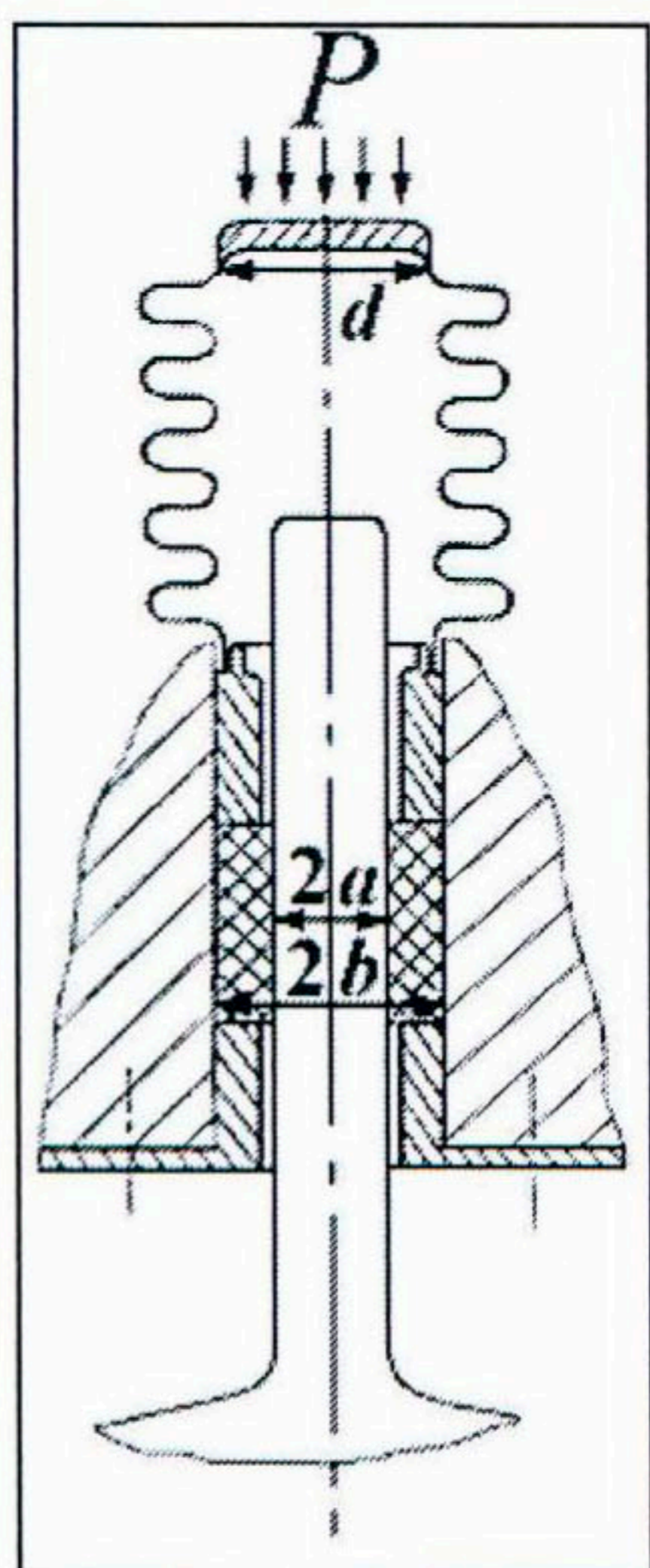


Рис. 3. Расчетная схема уплотнения штенгеля вакуумного СВЧ-прибора

Напряжения σ_z равны:

$$\sigma_z = \frac{P_z}{\pi(b^2 - a^2)} = \frac{P_1 a^2 - P_2 b^2}{b^2 - a^2}. \quad (4)$$

Перемещения u определяются следующим образом:

$$u = \frac{1 - \mu}{E} \frac{(P_1 a^2 - P_2 b^2) r}{b^2 - a^2} + \frac{1 + \mu}{E} \frac{(P_1 - P_2) a^2 b^2}{(b^2 - a^2) r}. \quad (5)$$

Начальные условия имеют вид (6)

$$u = 0 \text{ при } r = a, \\ u = 0 \text{ при } r = b,$$

в предположении, что между втулкой штенгелем и корпусом зазор отсутствует.

Пусть $r = a$, тогда выражение (5) принимает вид $[1 - \mu](P_1 a^2 - P_2 b^2) + (1 + \mu)(P_1 - P_2) b^2 = 0. \quad (7)$

Выразим P_1 , используя формулу (4):

$$P_1 = \frac{\sigma_z (b^2 - a^2) + P_2 b^2}{a^2}. \quad (8)$$

Подставляя (8) в (7), получим:

$$P_2 = \frac{\sigma_z (b^2 - a^2) \left[1 - \mu + (1 + \mu) \frac{b^2}{a^2} \right]}{(1 + \mu) b^2}. \quad (9)$$

Используя последнее выражение, находим давление:

$$P_1 = \sigma_z \frac{b^2 - a^2}{a^2} \left[1 + \frac{(1 - \mu) a^2 + (1 + \mu) b^2}{(1 + \mu) a^2} \right].$$

Таким образом, давление P_1 , P_2 и напряжения σ_z следует выбирать такими, чтобы они не превы-

шали значений, необходимых для избежания быстрого старения резин.

Кроме того, часто используемую в вакуумной головке втулку из резины 7889 целесообразно заменить на термостойкую типа «Витон».

Газовыделение из внутренних поверхностей и узлов вакуумного СВЧ-прибора может быть уменьшено в основном в результате снижения газовыделения из внутреннего токопроводящего покрытия. Этого можно достигнуть, если в качестве токопроводящего покрытия использовать покрытие с добавкой оксида – закиси железа. Давление в зоне активирования катода можно понизить, если вместо метода намазки использовать метод напыления.

Также существенное влияние на давление в приборе оказывает время откачки до начала активирования катода, поэтому, увеличив время откачки, можно значительно снизить давление в зоне активирования катода.

В заключение следует отметить следующие резервы повышения производительности технологического оборудования:

- для сокращения холостых ходов цикла необходимо использовать принципиально иную (например карусельную) компоновку при проектировании нового оборудования;
- повышение производительности оборудования достигается только в том случае, если все механизмы и устройства работают с высокой надёжностью, так как ускорение в ущерб надёжности обычно компенсируется снижением выхода годных приборов или простоями;
- с целью повышения надёжности работы диффузионных насосов и уменьшения обратного потока паров масла в конструкциях необходимо устанавливать высоковакуумные криогенные ловушки.

Статья выполнена членами РВО (Российского научно-технического вакуумного общества).

ЛИТЕРАТУРА

1. Волчкевич Л.И., Степаньянц Ю.Р. Организационно-технические мероприятия по повышению производительности технологического автоматизированного оборудования. М.: Высшая школа. 1988.
2. Кахоновский Г.В. Новые методы в сборочном производстве цветных кинескопов. М.: Высшая школа. 1985.
3. Power B.D. and Crawley D.Y. Vacuum, v. IV, № 4, 415 – 437, 1984.
4. Кац А.М. Теория упругости. М.: ГИГТЛ. 1956.

Поступила 18.04.2012 г.