

Деление теста в делителе с лопастным нагнетателем

А. И. ЛЕВЧЕНКО, И. С. СКРИПКО
Киевский технологический институт
пищевой промышленности

В. З. ШАПРАН
Украинский научно-исследовательский и конструкторский
институт продовольственного машиностроения

Тестоделители с лопастным нагнетателем типа А2-ХТН находят все более широкое применение в хлебопекарной промышленности. Процесс деления теста в этих машинах происходит следующим образом. Тесто из бункера 1 (рис. 1) поступает в тестовую камеру 2, которая представляет собой барабан с боковыми стенками. С одной стороны боковой стенкой служит корпус машины, с другой — съемная боковая крышка. Нагнетательной лопастью 3, вращающейся с постоянной угловой скоростью ω_1 , тесто подается в рабочую зону 4 тестовой камеры. Заслонка 11, совершающая качательное движение, перемещается под действием кулачкового механизма. Находясь в нижнем положении, она перекрывает выход из рабочей зоны тестовой камеры в бункер, и тесто поступает в стакан 5, а из него — в мерный карман 6. По мере наполнения мерного кармана 6 поршни 9 под давлением теста движутся по направляющим из одного крайнего положения в другое. При этом тестовая заготовка, полученная в течение предыдущего рабочего цикла, выталкивается из мерного кармана 8 на транспортер. По окончании заполнения мерного кармана 6 и при уплотнении теста в рабочей зоне камеры заслонка 11 поднимается вверх и излишки теста возвращаются в бункер. Делительная головка 7 вращается с постоянной угловой скоростью $\omega_2 = \omega_1$.

Для расчета привода тестоделителя и его элементов, а также выбора основных параметров рабочих органов авторами составлено уравнение, описывающее процесс деления теста. За его основу принято уравнение Лагранжа второго рода, причем в качестве обобщенной координаты взят угол поворота нагнетательной лопасти φ_1 :

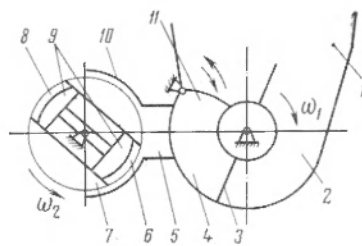


Рис. 1.

$$I \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} = M_d - M_c,$$

где I — момент инерции движущихся частей, кг·м²;
 t — время, с;
 M_d, M_c — соответственно моменты движущий и сопротивления, приложенные к валу машины, Н·м.

M_d определяется из механической характеристики электродвигателя; M_c — из следующего равенства:

$$M_c = \frac{M'_1}{i_1 \eta_1} + \frac{M'_2}{i_2 \eta_2} + \frac{M'_{д.г}}{i_3 \eta_3} = M_1 + M_2 + M_{д.г},$$

где $M'_1, M'_2, M'_{д.г}$ — соответственно моменты сопротивления на валах нагнетательной лопасти, заслонки и делительной головки, Н·м;

$M_1, M_2, M_{д.г}$ — те же моменты, приложенные к валу двигателя, Н·м;
 i_1, i_2, i_3 и η_1, η_2, η_3 — соответственно передаточные отношения и к. п. д. от вала нагнетательной лопасти, заслонки и делительной головки к валу двигателя.

Момент сопротивления на валу нагнетательной лопасти находят по уравнению

$$M'_1 = b \frac{R^2 - r^2}{2} (p_{п1} + p_{п2}) + \pi \left(\frac{180 - \varphi_1}{180} \cdot \tau_1 + \tau_2 \right) \times \\ \times \left[bR^2 + (R^2 - r^2) \sqrt{\frac{R^2 + r^2}{2}} \right],$$

где b — ширина тестовой камеры, м;
 R — радиус ее барабана, м;
 r — радиус ступицы нагнетательной лопасти, м;
 $p_{п1}, p_{п2}$ — давление на рабочую и нерабочую лопасти, Н/м²;
 τ_1, τ_2 — напряжения сдвига, возникающие при деформации теста по стенкам и барабану тестовой камеры рабочей и нерабочей лопастей, Н/м².

Рабочей условно названа лопасть, которая в интервале текущего цикла перемещает тесто в рабочей зоне тестовой камеры.

Момент сопротивления на валу заслонки определяется из уравнения

$$M'_2 = \frac{r_3^2}{2} \left[b p_3 + \frac{\pi \varphi_3 \tau_3}{90} (b + 0,707 r_3) \right],$$

где r_3 — размах заслонки, м;
 p_3 — давление на заслонку, Н/м²;
 τ_3 — напряжение сдвига теста, возникающее на стенках тестовой камеры при перемещении теста заслонкой, Н/м².

Вал делительной головки нагружен моментом

$$M'_{д.г} = R_{д.г} \left(P_{тр} + \frac{\pi D^2}{4} \tau_4 \right), \quad (5)$$

где $R_{д.г}$ — радиус делительной головки, м;
 $P_{тр}$ — сила трения делительной головки о козырек 10, Н;
 D — диаметр стакана, м;
 τ_4 — напряжение сдвига теста, возникающее при его перемещении по площади сопряжения стакана с делительной головкой, Н/м².

Аналитическим исследованием процесса деления теста в делителе А2-ХТН установлено, что на динамику его исполнительных механизмов и качество процесса деления существенное влияние оказывает величина давления в тестовой камере. Последняя в свою очередь зависит от реологических свойств теста, геометрической формы и размеров рабочих органов, а также от производительности.

Так как механизм процесса деления теста изучен недостаточно, а решение уравнения (2) затруднено из-за отсутствия данных о величине и характере распределения давления по тестовому тракту, нами в производственных условиях Киевского хлебозавода № 5 проведено экспериментальное исследование работы тестоделителя А2-ХТН. Производительность тестоделителя соответствовала 30 заготовкам в минуту, масса заготовок была различной — 1,2; 0,8 и 0,4 кг. Исследование проводилось также при полностью разведенных поршнях делительной головки, т. е. при работе машины в режиме мешалки.

Тесто готовили из пшеничной муки I сорта влажностью 42% и кислотностью 3 град.

При проведении эксперимента регистрировались давления в различных зонах тестовой камеры, крутящие моменты на валах исполнительных механизмов и выходном валу редуктора, а также потребляемая двигателем мощность.

В качестве датчиков давления использовали разработанные нами тензорезисторные силовые измерительные элементы (рис. 2, а). Датчик имеет упругий элемент (металлическую мембрану толщиной 0,1 мм) 1, закрепленный в корпусе 2. На упругий элемент наклеен тензорезистор 3 типа 2ФКТК-5-100С (база 5 мм, $R = 100$ Ом), который изолирован от внешней среды слоем эпоксидной смолы 4. Выводами 5 датчик соединяется с тензометрической аппаратурой.

Точки расположения датчиков давления на боковой крышке тестовой камеры (1—29) и в стакане (30—31) показаны на рис. 2, б. На рис. 2, в дано расположение датчиков давления 1 на лопасти 2 со ступицей 3. Схема раз-

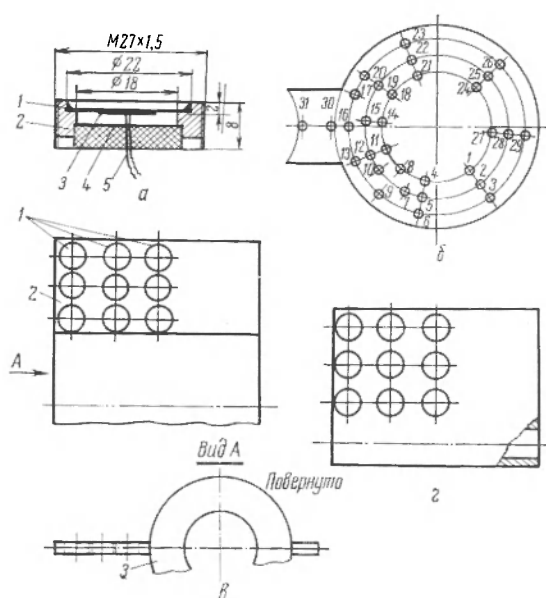


Рис. 2.

мещения датчиков давления на заслонке показана на рис. 2, г. Датчики устанавливали на одной половине рабочих органов, исходя из предположения, что давление теста на их поверхности распределяется симметрично относительно продольной оси тестовой камеры.

Для измерения крутящих моментов на валах нагнетательной лопасти, заслонки, делительной головки и выходном валу редуктора по известной схеме были установлены тензорезисторы. Для повышения точности измерений, а также из-за малых чисел оборотов валов токосъемники не применяли.

На рис. 3, а, б, в, г, д показано соответственно изменение давления p в точках 31, 13, 17 (см. рис. 2, б), на нагнетательной лопасти и заслонке, а на рис. 3, е — изменение крутящего момента M_p на выходном валу редуктора и потребляемой двигателем мощности N в зависимости от угла поворота нагнетательной лопасти относительно начала рабочего цикла. В качестве циклового принят механизм привода заслонки (сплошными, пунктирными и штрихпунктирными линиями обозначено изменение параметров при делении теста на заготовки массой 1,2; 0,8 и 0,4 кг, линиями с точками — при полностью разведенных поршнях делительной головки).

Из графиков видно, что в процессе деления тесто подвергается интенсивному обжиму, а привод машины испытывает значительные колебания нагрузки. Так, например, при делении теста на куски массой 1,2 кг пульсация момента $\Delta M = 100\%$:

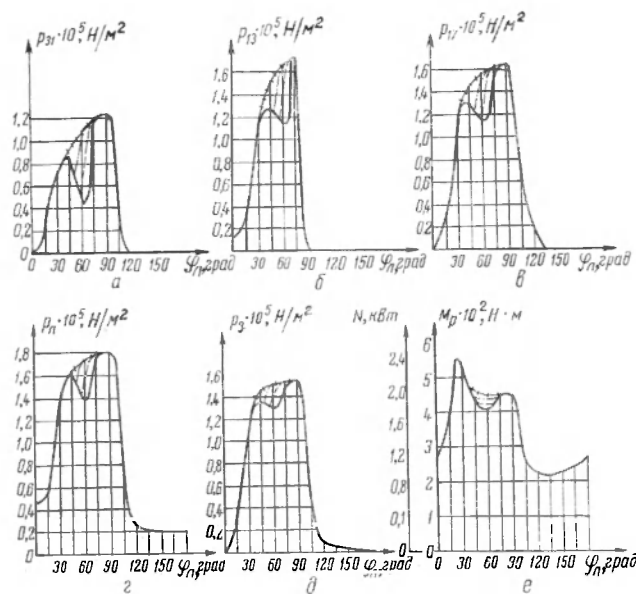


Рис. 3.

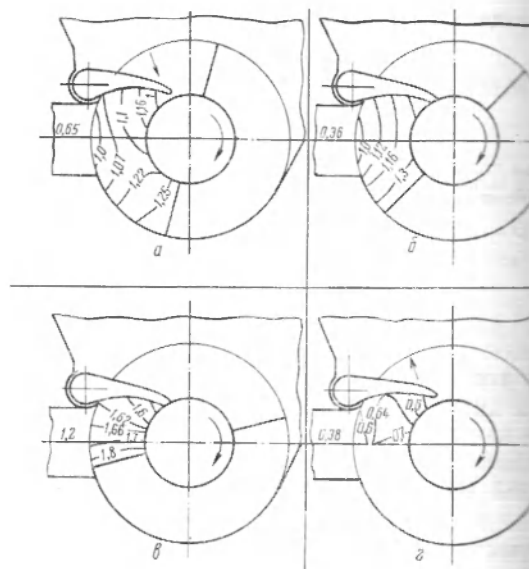


Рис. 4.

$$\Delta M = \frac{M_{\max} - M_{\min}}{M_{\text{ср}}} \cdot 100,$$

где $M_{\max}$, $M_{\min}$, $M_{\text{ср}}$ — соответственно максимальный, минимальный и средний моменты за рабочий цикл.

Колебания нагрузки объясняются тем, что объем теста, находящегося в рабочей зоне тестовой камеры и в стакане при полностью опущенной заслонке, составляет 6000 см^3 , а объем тестовой заготовки при максимальном развесе — 1050 см^3 . В результате более 80% теста из рабочей зоны выталкивается в бункер, подвергательно подвергаясь обжиму при давлении до $1,8 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$.

По результатам испытаний были построены картины распределения давлений в рабочей зоне тестовой камеры через 15° поворота нагнетательной лопасти.

При повороте нагнетательной лопасти на угол 30° (рис. 4, а) заслонка движется в крайнее нижнее положение. Часть теста выходит в имеющийся зазор между ступицей нагнетательной лопасти и кромкой заслонки в бункер. Давление в тестовой камере возрастает.

При $\phi_{\text{л}} = 60^\circ$ (рис. 4, б) происходит наполнение мерного кармана тестом, что вызывает падение давления в нем.

Из рис. 4, в видно, что с увеличением угла поворота нагнетательной лопасти до 90° резко возрастает давление в тестовой массе, в результате чего она уплотняется. Заслонка под давлением теста поднимается вверх, образуя зазор, через который основная масса теста выталкивается в бункер, а часть его выходит из

стакана в тестовую камеру стальной стальной лопасти.

При $\phi_{\text{л}} = 105^\circ$ (рис. 4, г) заслонка под действием привода перемещается вверх. Давление в рабочей зоне камеры и в стакане падает, поскольку возможен свободный выход теста из стакана в камеру, а также из ее рабочей зоны в бункер через зазор между ступицей нагнетательной лопасти и кромкой заслонки.

Проведенные исследования показали, что привод тестоделителя с лопастным нагнетателем теста подвергается значительным нагрузкам, которые носят пульсирующий характер. После увеличения давления в рабочей зоне тестовой камеры при повороте нагнетательной лопасти от 64 до 100° происходит его резкий спад, когда площадь сопряжения стакана с мерным карманом достигает 50 см^2 . В результате снижается эффект уплотнения теста в мерном кармане. Кроме того, заполнение мерного кармана тестом начинается при повороте нагнетательной лопасти от начала цикла на 42° и при значительном давлении в тестовой массе, что является следствием несовершенства циклограммы тестоделителя.

В процессе деления теста наблюдается падение давлений между мерным карманом и нагнетательной лопастью. Например, при полном заполнении мерного кармана тестом давление в нем в 1,85 раза меньше, чем на лопастной поверхности. Как показали дальнейшие исследования, объясняется не только релаксацией напряжений, но и влиянием геометрической формы рабочей зоны тестовой камеры на величину