

It has been investigated that with increasing rotation speed, the viscosity of the dough [ $\eta = \text{Pa} \cdot \text{s}$ ] decreases in the kneading chamber. The decrease in viscosity is also affected by the reduction of the distance between the cam working elements, as the distance between the cams during the kneading process will decrease the viscosity of the dough.

The mathematically obtained dependence is described as:

$$\eta = (201431 \cdot S^{-1.4})n^{0.09S - 1.4}, \quad (2)$$

where,  $S$  – is the distance between the cam working elements, mm;  $n$  is the speed of rotation of the working element, rpm.

**Conclusions.** The simulated parametric model of the kneading process by cam working elements has been developed that allows to perform design calculations effectively in case rational structural and technological parameters selection. The use of the presented scientific and methodological developments will greatly speed up and economically save the process of creating reliable technological equipment for kneading yeast dough.

Changes in the shear stresses of the yeast dough in the mixing chamber, in the area of engagement of the working elements and close to the contact with the walls of the mixing chamber are studied. The dissipation distribution in the kneading chamber and the temperature change during the kneading process were investigated. At a rotation speed of the working element of 60 rpm, the temperature of the yeast dough rises to 5° C, which is acceptable during kneading of the dough.

Mixing speed, dough viscosity, and mixing chamber pressure were investigated. With increasing rotation speed of the working element, the speed of mixing the dough in the mixing chamber increases. Increasing the rotational speed from 20 rpm to 100 rpm increases the pressure in the kneading chamber and reduces the viscosity of the yeast dough.

#### REFERENCES

1. Šćepanović P., Goudoulas Th.B., Germann N. (2018), Numerical investigation of microstructural damage during kneading of wheat dough, *Food Structure*, 223, pp. 8-16.
2. Cappelli A., Guerrini L., Cini E., Parenti A. (2019) Improving whole wheat dough tenacity and extensibility: A new kneading process, *Journal of Cereal Science*, 180, pp. 109-118.
3. Packkia-Doss P.P., Chevallier S., Pare A., Le-Bail A. (2019) Effect of supplementation of wheat bran on dough aeration and final bread volume, *Journal of Food Engineering*, 252, pp. 28-35.
4. Hackenberg S., Vogelb C., Scherfb K.A., Jeklea M., Beckera T. (2019) Impact of altered starch functionality on wheat dough microstructure and its elongation behavior, *Food Chemistry*, 290, pp. 64-71.
5. Tozattia P., Hopkins E.J., Briggsb C., Huclb P., Nickerson M. (2019) Effect of chemical oxidizers and enzymatic treatments on the rheology of dough prepared from five different wheat cultivars, *Journal of Cereal Science*, 90, pp. 24-35.
6. Lamrinia B., Della G., Treleac T., Perrotc N., Trystram G. (2012) A new method for dynamic modelling of bread dough kneading based on artificial neural network, *Food Control*, 600, pp. 512-524.
7. Lia1 H., Thompsona M., O'Donnellb K. (2014) Understanding wet granulation in the kneading block of twin screw extruders, *Chemical Engineering Science*, 113, pp. 11-21

УДК 62-114

#### АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ МАШИНЫ НА ПОТЕРИ В ПРИВОДЕ

*аспирант В. М. Гера, доктор техн. наук., профессор А. И. Соколенко,  
Национальный университет пищевых технологий, г. Киев, Украина*

*Резюме - был проведен анализ потерь в приводе с учетом режимов работы машины и методов их уменьшения. Целью анализа был поиск решений по энергосбережению в приводах машин циклического действия. Проанализировано и систематизировано существующие методы сохранения энергии.*

*Ключевые слова: привод, режимы, работы, энергия, рекуперация.*

**Введение.** Потребности современной промышленности, в условиях ограниченных энергетических ресурсов, принуждают к поиску энергосберегающих решений.

Машины циклического действия нашли широкое применение в упаковочных и транспортных операциях. В последнее время часто используют сервопривод, но наиболее широкое применение удерживают асинхронные электрические двигатели. В этой статье рассмотрим влияние регулировки хода машин на выбор электродвигателя, и как следствие энергетические параметры оборудования.

**Основная часть.** Возможные режимы работы отличаются огромным многообразием по длительности и характеру циклов, значениям нагрузок, условиям охлаждения, соотношения потерь в период пуска и установившегося движения и тому подобное, поэтому изготовление двигателей для каждого из режимов работы электропривода не имеет практического смысла. На основании реальных режимов в ГОСТ 186-66 предусмотрены восемь режимов работы, для которых проектируются и изготавливаются серийные двигатели.

Рассмотрим режимы работы S1 продолжительный и S6 перемежающийся.

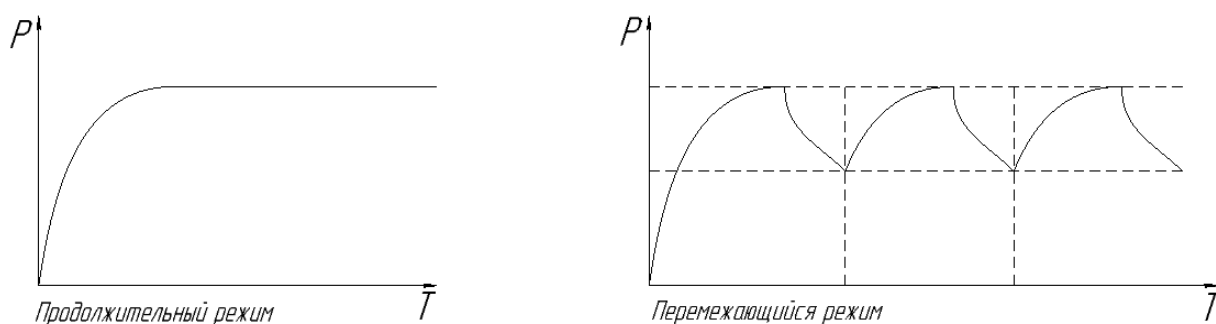


Рисунок 1 – Графики зависимости мощности на валу для разных режимов.

Продолжительный режим работы (S1) — работа машины при неизменной нагрузке на протяжении достаточно длительного времени для достижения неизменной температуры всех ее частей. При постоянной или мало изменяющейся нагрузке на валу, мощность двигателя должна лишь незначительно превышать мощность нагрузки.

Переменный режим работы (S6) — последовательность идентичных циклов, каждый из которых включает время работы с постоянной нагрузкой и время работы на холостом ходу, причем длительность этих периодов такова, что температура двигателя не достигает установившегося значения. Выбор электродвигателя связан с построением кривой нагрева, что требует большой затраты времени. На практике пользуются более простыми методами: методом средних потерь, методами эквивалентного тока, эквивалентного момента и эквивалентной мощности.

Наиболее практично, при проектировании, использовать методы эквивалентного момента и эквивалентной мощности, так как для циклично работающих механизмов, составляют циклограммы моментов и мощностей. Находят эквивалентную мощность по формуле (1):

$$P_{\text{эkv}} = \sqrt{\frac{\sum \int_0^{t_i} P_i^2 \cdot dt}{\sum t_i}} = P_{\text{ср.кв}} = \text{const} \quad (1)$$

где  $P_{\text{эkv}}$  - эквивалентная мощность;  $P_i$  - мощность на валу двигателя в промежутках времени,  $t_i$  - длительность промежутка.

По методу эквивалентного момента проводят подобный расчет.

Это справедливо для переменного режима. Двигатель подбирают номинальной мощностью выше эквивалентной. В данном случае не исключается наличие зон «холостого хода», что приводит к неизбежным потерям энергии, что усугубляет ситуацию. При продолжительном режиме эквивалентная мощность равна или чуть ниже номинальной, что сокращает потери энергии. Ток холостого хода асинхронного электродвигателя в зависимости от мощности и частоты вращения составляет в среднем 20 – 90 % от номинального. Существует таблица, в которой указаны данные значения.

Таблица 1 – Коэффициент потребления мощности холостого хода

Мощность электродвигателя	коэффициент потребления мощности холостого хода % (от номинального)					
	При частоте вращения об/мин					
	3000	1500	1000	750	600	500
0,12 – 0,55	60	75	85	90	95	-
0,75 – 1,5	50	70	75	80	85	90
1,5 – 5,5	45	65	70	75	80	85
5,5 – 11	40	60	65	70	75	80
15 – 22,5	30	55	60	65	70	75
22,5 – 55	20	50	55	60	65	70
55 – 110	20	40	45	50	55	60

Примем, что двигатель работает под полной нагрузкой, и на холостом ходу. Тогда  $t_n$  и  $t_{x.x.}$  промежутки цикла под нагрузкой и на холостом ходу соответственно. Тогда потребление электроэнергии за цикл составит:

$$P_{\text{ц}} = P_n \cdot t_n + P_n \cdot t_{x.x.} \cdot k_{x.x.} \quad (2)$$

где  $P_{\text{ц}}$  - потребленная мощность;  $P_n$  - номинальная мощность;  $k_{x.x.}$  - коэффициент потребления на холостом ходу с табл. 1.

На исполнение работы используется только мощность под нагрузкой, поэтому затраты на холостом ходу можно приравнять к потерям, которые составляют до 95 % от мощности двигателя. Частично или полностью

сократить потери возможно методами совмещения рабочих операций, рекуперации энергии, использованием параллельных рабочих органов.

Совмещения рабочих операций во времени и пространстве – реализация двух и более процессов в одном рабочем пространстве и в одно время. Это позволяет, во-первых, сократить совокупную продолжительность технологических операций, сокращая время  $t_{x.x.}$ , во-вторых, уменьшить количество необходимого оборудования, упростить технологическую схему. Однако технологический процесс не всегда позволяет свести  $t_{x.x.}$  к 0.

Системы рекуперации энергии разделяют на электрические и механические.

Электрические системы рекуперации – это техника, которая позволяет на короткое время превратить электромотор в генератор энергии, заряжающий аккумулятор или подающий питание в сеть от вращения рабочих органов. Тот же приём применяется в трамваях и электричках, в метрополитене, а также в современных электрокарах. Этот электротранспорт немного дороже моделей без рекуперации, но запас хода существенно больше. Хорошо себя зарекомендовал этот метод при использовании в лифтах и другой подъемной технике. Однако если время цикла мало и не имеет смысла останавливать электродвигатель применение электрической рекуперации не целесообразно.

Системы рекуперации кинетической энергии представляют собой применение маховиков или пружин, которые играют роль аккумуляторов. Они могут работать при частых изменениях нагрузки. Однако на практике используются для уменьшения рывков в работе оборудования, поскольку имеют низкий коэффициент полезного действия.

Схема с использованием параллельных рабочих органов – метод, суть которого, заключается в проектировании движущихся частей машины с совмещением холостых и рабочих ходов. Это позволяет свести время холостого хода, на валу двигателя, до нуля, при любой длительности цикла. Однако применение на практике усложняет проектирование оборудования, и его конструкцию.

**Заключение.** В результате аналитического обзора определено, что потери на холостом ходу электродвигателя могут составлять до 90% номинальной мощности. Поэтому при проектировании машин нужно стремиться к продолжительному режиму на валу электродвигателя. Рассмотрено несколько методов уменьшения потерь: совмещение рабочих операций, рекуперация энергии, использованием параллельных рабочих органов. На практике необходимо использовать их в зависимости от поставленных технологических задач, комбинируя по возможности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Острецов В.Н. Электропривод и электрооборудование — М.: Юрайт, 2019. – 239 с.;
2. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию – 3-е изд., испр., - М., Высш. Шк., 2002. – 255 с.;
3. Насонкин Г.А. Введение в эволюционное экспериментально-статистическое моделирование технологического процесса. — К.: Техніка, 2002. — 68 с.
4. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин. - К.: Наукова думка, 2002. – 660 с.
5. Фираго Б.И., Палявчик Л.Б. Теория Электропривода – Техноперспектива 2007. – 527 с.

УДК 662.668

#### ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ 3D-ПЕЧАТИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗДЕЛИЯ

*А. А. Третьякова, канд. техн. наук, доцент А. И. Ермаков, ФММП БНТУ, г. Минск*

*Резюме - в данной статье будет рассмотрен вопрос о варьировании режимов печати, в частности температурных показателей, которые влияют на конечный продукт 3d-печати. Данная тема актуальна, т.к. несёт практический опыт и благодаря этому, при печати PLA-пластиком, больше не возникнет вопрос: «Какую выставить температуру при печати, чтобы максимально сэкономить пластик, время и деньги?».*

*Ключевые слова: PLA-пластик, экология, машиностроительное производство, 3d-принтер.*

**Введение.** Актуальность 3D-печати растёт изо дня в день во всём мире и в нашей стране. Широко используют трёхмерную печать в промышленности и машиностроении. Создаются модели будущей продукции, которые используются в экспериментах для выявления технических характеристик, в презентациях для широкой аудитории. С помощью аддитивных технологий налаживаются целые линии по выпуску деталей со сложной геометрией.

**Основная часть.** В сфере 3D-печати одним из основных материалов является полимолочная кислота (PLA). PLA имеет низкую температуру плавления, он не деформируется, что позволяет обойтись без нагревательного стола. Наряду с ABS (акрилонитрилбутадиенстирол, АБС), PLA является базовым материалом для производства «экзотического» пластика, который имеет проводящие свойства или светится в темноте. Пластик могут пропитываться частицами дерева или металла, что кардинально меняет свойства [1].

Полилактид (ПЛА, PLA) — биоразлагаемый, биосовместимый, термопластичный, алифатический полиэфир, мономером которого является молочная кислота.