

А.И. ДАНИЛУШКИН
В.А. ДАНИЛУШКИН
И.В. ВАСИЛЬЕВ

ЭКОНОМИЧНАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОНАГРЕВА ЭКСТРУДЕРА В ЛИНИИ ПРОИЗВОДСТВА ПЕНОПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ПЛИТ

EFFICIENT SYSTEM FOR EXTRUDER ELECTRICAL HEATING IN POLYSTYRENE FOAM SLABS PRODUCTION LINE

Предложена эффективная система индукционного нагрева экструдера с заданным температурным градиентом по длине червяка и глубине винтового канала. Приведено математическое описание процесса энергообмена в системе «индуктор–металлический цилиндр–композитный материал». Методом конечных элементов исследованы электромагнитные и температурные поля в осесимметричной системе «индуктор–цилиндр–полистирол». Приведены результаты численных экспериментов по расчету распределения удельной мощности нагрева по объему цилиндра экструдера и температурных полей в обрабатываемом материале по длине зоны экструдирования.

Ключевые слова: *экструдер, индукционный нагрев, математическая модель, теплообмен, мощность, температурное распределение, управление*

Для производства пленки, листов, шлангов, труб и профильных погонажных изделий из неполненных и наполненных, невспененных и вспененных материалов, пластификации термопластов и реактопластов применяются экструдеры. Для переработки гранулированных термопластичных материалов применяются одночервячные экструдеры. Чтобы получить качественные изделия методом экструзии, материал необходимо полностью пластифицировать до поступления в зону выдавливания. Для эффективного повышения качества экструдата при высокой производительности экструдер должен обеспечивать заданные температурные градиенты и изменение текучести материала по длине червяка и глубине винтового канала, а также химическую гомогенность материала.

Рассматриваемая линия для экструзионного изготовления плит из композиции на основе вспенивающегося полистирола представлена на рис. 1. Линия состоит из следующих основных элементов: экструдер с нагревателями 1, бункер-смеситель 2, электро-

In the article is proposed an effective system for extruder inductive heating with specified temperature gradient at worm length and screw channel depth. Mathematical descriptions of heat exchange process in the system «inductor–metal cylinder–composite material» are presented. Electromagnetic and temperature fields in axisymmetric system «inductor–cylinder–polystyrene» are studied by finite elements method. The results of numerical experiments of calculation of heating specific capacity distribution at extruder cylinder volume as well as temperature fields in material at extrusion zone length are presented.

Keywords: *extruder, inductive heating, mathematical model, heat exchange, temperature distribution, control*

привод 3, охлаждающий конвейер 5, установка 6 для нагрева стальной проволоочной арматуры и сборки блоков методом горячей посадки, блоки 7, 8, 9 подготовки сырья, дробилка 10.

Гранулированное сырье постоянно перемешивается в бункере-смесителе со специальными добавками и подается в зону загрузки. После зоны загрузки вспенивающаяся композиция под действием тепловой энергии нагревателей, расположенных на теле экструдера, и механического воздействия движителя-шнека, температура которого поддерживается системой стабилизации, расплавляется и гомогенизируется. Далее, по мере перемещения вдоль шнека вспенивающаяся масса плавно охлаждается и поступает в плоскощелевую головку под давлением. Калибрование плит происходит при температуре 100–120 °С. Пенополистирольная плита вытягивается из калибратора и поступает в охлаждающий конвейер, где происходит стабилизация структуры, размеров и охлаждение материала.

Для создания заданного температурного градиента по длине цилиндра экструдера используется быстродействующая и экономичная система обогрева индукционными нагревателями. Индукционные нагреватели имеют большой срок службы, позволяют развивать высокую удельную мощность нагрева и избежать местных перегревов цилиндра, поскольку температура нагревателя не превышает температуру обогреваемого цилиндра. При этом не обязателен

плотный контакт нагревателя и цилиндра, что создаст большие удобства для размещения охлаждающих каналов (при помощи воды или сжатого воздуха). Индукционные нагреватели отличаются лучшей управляемостью и высоким быстродействием. Разность температур между нагревателем и цилиндром, цилиндром и перерабатываемым материалом при применении нагревателей сопротивления значительно выше, а удельная тепловая нагрузка меньше.

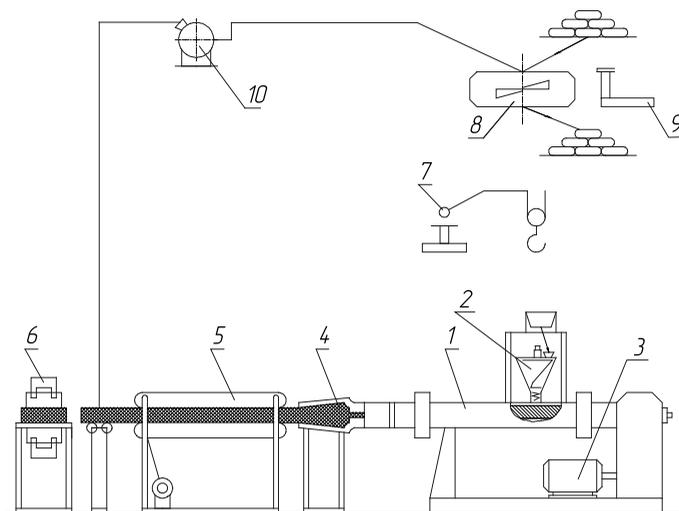


Рис. 1. Линия по производству пенополистирольных блоков

Основной задачей системы «нагрев-охлаждение» является создание требуемого температурного распределения по длине экструдера при постоянной скорости перемещения продукта. Необходимый температурный градиент по длине экструдера создается индукционными нагревателями с автономными источниками питания. Для более равномерного нагрева слоя пенополистирола в установке используется подогрев движителя-шнека с заданной температурой 60 °С.

Принципиальная схема одночервячного экструдера показана на рис. 2. Вращаемый двигателем 1 через редуктор 2 червяк 3 захватывает материал в виде гранул, порошка, крошки из загрузочной воронки бункера 4, перемешивает его, пластицирует, сжимает и перемещает по винтовому каналу вдоль цилиндра 6. Червяк также обеспечивает гомогенизацию расплавленного термопласта и его выдавливание через фильтрующие сетки и решетки 8, а также профилирующую головку 9. Цилиндр разделен на несколько температурных зон 7 с автономным контролем и автоматическим регулированием температуры в каждой зоне. Каждая зона подключена к системам обогрева и охлаждения. Для охлаждения зон цилиндра применяют вентиляторы 10. Осевые усилия, возникающие при вращении червяка, воспринимаются упорным подшипником.

В обычном червячном экструдере термопласт проходит через три состояния: твердое, смесь твер-

дого материала с расплавом и расплавленное [1-4]. В червяках дозирующего типа, состоящих из зон питания, сжатия и дозирования (выдавливании), определяющей является зона дозирования. Поскольку в этой зоне устанавливается стационарный режим, к ней можно применить законы тепломассопереноса для случая нагрева вязких жидкостей при ламинарном течении [5, 6].

Математическое описание работы червячного экструдера может быть получено совместным решением уравнений, которые выражают законы сохранения массы, энергии и количества движения, с уравнениями, описывающими физическое состояние нагнетаемой жидкости (расплава) [6-8].

На рис. 3 представлена схема расположения индукционных нагревателей вдоль цилиндра экструдера и требуемое по технологии распределение температуры по длине тела экструдера. Математическая модель процесса «нагрев – охлаждение» полистирола при перемещении его через экструдер представлена в виде системы дифференциальных уравнений нестационарной теплопроводности в системе сопряженных тел различной физической природы, где в качестве управляющих воздействий рассматриваются распределенные вдоль осевой координаты экструдера внутренние источники тепла [7-10].

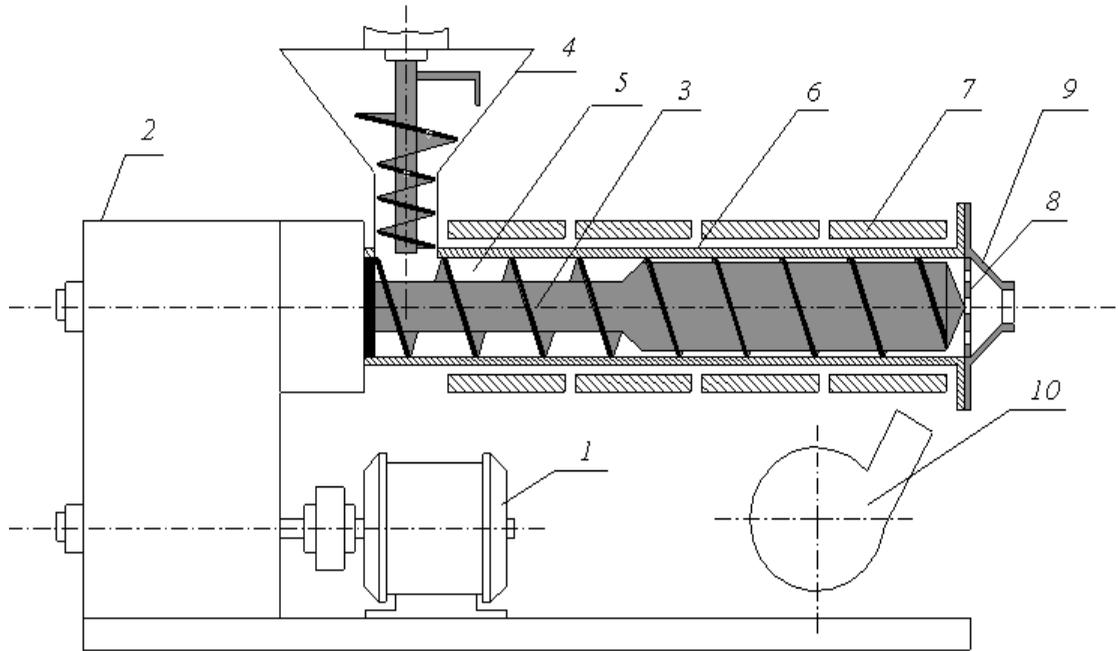


Рис. 2. Одночервячный экструдер для переработки термопластов

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_1(r, x, t)}{\partial t} &= a_1 \left[\frac{\partial^2 T_1(r, x, t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_1(r, x, t)}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_1(r, x, t)}{\partial x^2} \right] + W(r, x, t), \\ r &\in [r_1, r_2]; x \in [0, L]; \\ \frac{\partial T_2(r, x, t)}{\partial t} &= a_2 \left[\frac{\partial^2 T_2(r, x, t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_2(r, x, t)}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_2(r, x, t)}{\partial x^2} \right] - V(x) \frac{\partial T_2(r, x, t)}{\partial x}, \\ r &\in [r_2, r_3]; x \in [0, L]; \\ \frac{\partial T_3(r, x, t)}{\partial t} &= a_3 \left[\frac{\partial^2 T_3(r, x, t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_3(r, x, t)}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_3(r, x, t)}{\partial x^2} \right], \\ r &\in [r_3, 0]; x \in [0, L]; \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь $T_1(r, x, t)$, $T_2(r, x, t)$, $T_3(r, x, t)$ – температура соответственно корпуса экструдера, полистирола и шнека; r, x, t – радиальная и аксиальная координаты и время процесса; $W(r, x, t)$ – функция распределения мощ-

ности внутренних источников тепла; a – коэффициент температуропроводности; L – длина нагревателя. Начальные и граничные условия имеют вид:

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1(r, x, t)}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha_1 [T_1(r, 0, t) - T_c(r, 0, t)] \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \lambda_1 \frac{\partial T_1(r, x, t)}{\partial x} \Big|_{x=X} &= \alpha_2 [T_1(r, X, t) - T_c(r, X, t)], & T_1(r, X, 0) &= T_{10}, \\ \lambda_3 \frac{\partial T_3(r, x, t)}{\partial x} \Big|_{x=0} &= \alpha_3 [T_3(r, 0, t) - T_c(r, 0, t)], & T_2(r, x, t) \Big|_{x=0} &= T_{20}(r, t), \\ \lambda_3 \frac{\partial T_3(r, x, t)}{\partial x} \Big|_{x=X} &= \alpha_4 [T_3(r, X, t) - T_c(r, X, t)], & T_2(r, x, 0) &= T_{20}(r, x), \end{aligned}$$

$$\lambda_3 \frac{\partial T_3(r, x, t)}{\partial r} \Big|_{r=R_3} = \lambda_2 \frac{\partial T_2(r, x, t)}{\partial r} \Big|_{r=R_3}, \quad T_3(R_3, x, t) = T_2(R_3, x, t),$$

$$\lambda_2 \frac{\partial T_2(r, x, t)}{\partial r} \Big|_{r=R_2} = \lambda_1 \frac{\partial T_1(r, x, t)}{\partial r} \Big|_{r=R_2}, \quad T_1(R_2, x, t) = T_2(R_2, x, t),$$

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1(r, x, t)}{\partial r} \Big|_{r=r_1} = \alpha [T_1(r_1, x, t) - T_c(r_1, x, t)], \quad \frac{\partial T_3(r, x, t)}{\partial r} \Big|_{r=0} = 0.$$

Здесь $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – соответственно коэффициенты теплопроводности материалов трубы, полистирола и шнека; α – коэффициент теплообмена; L – длина нагревателя.

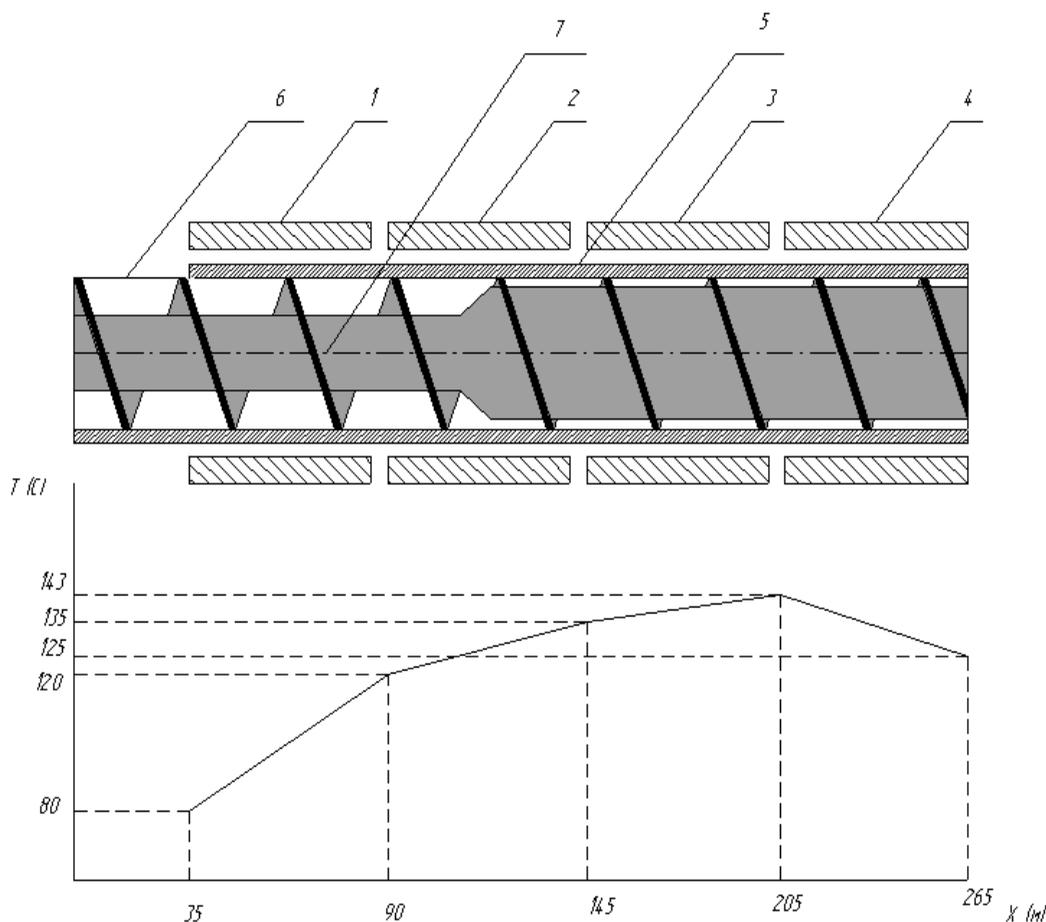


Рис.3. Распределение температуры по длине экструдера:
 1–4 – индукционные нагреватели; 5 – цилиндр из нержавеющей стали;
 6 – зона загрузки полистирола; 7 – шнек-движитель с переменной глубиной канала

Расчет нестационарного режима теплопроводности системы сопряженных тел аналитическими методами не представляется возможным, поэтому в работе предлагается использовать численный метод расчета, основанный на методе конечных элементов (МКЭ). МКЭ позволяет учесть непостоянство параметров внутри элементов рассматриваемой системы.

Внутренние источники тепла, распределенные по длине индукционной системы, рассчитываются на основании решения уравнений Максвелла.

В общем случае процесс индукционного нагрева рассматриваемого класса объектов описывается нелинейной взаимосвязанной системой уравнений Максвелла для электромагнитного поля с соответствующими краевыми условиями [9].

$$\begin{cases} \text{rot } \mathbf{H} = \Delta + \frac{\partial D}{\partial t}; \text{ div } \mathbf{H} = 0 \\ \text{rot } \mathbf{E} = -\frac{\partial B}{\partial t}; \text{ div } \mathbf{E} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

Здесь \mathbf{H} , \mathbf{E} , B , D – векторы напряженностей магнитного и электрического полей, магнитной и электрической индукции; $\Delta = \frac{1}{\rho} \mathbf{E}$ – плотность потока проводимости.

Исходная постановка нелинейной электромагнитной задачи выражается через векторный потенциал общим уравнением Пуассона в двумерной области $V(x,z)$ [10, 11]:

$$\text{rot} \left(\frac{1}{\mu_a} \text{rot } \dot{\mathbf{A}} \right) + \gamma \frac{\partial \dot{\mathbf{H}}}{\partial t} = \mathbf{j}_0; \quad \text{rot } \dot{\mathbf{A}} = \dot{\mathbf{B}}; \quad \text{div } \dot{\mathbf{A}} = 0, \quad (4)$$

где $\dot{\mathbf{A}}$ – векторный магнитный потенциал; $\mu_a = \mu \cdot \mu_0$ – абсолютная магнитная проницаемость среды; j – удельная электрическая проводимость.

Принимая во внимание осевую симметрию и квазистационарность исследуемого поля при $\mu = \text{const}$, последнее уравнение может быть представлено для комплексной амплитуды векторного потенциала в виде :

$$\frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{1}{\mu_a(r,z)} \cdot \frac{\partial \dot{\mathbf{A}}(r,z)}{\partial z} \right] + \frac{\partial}{\partial r} \left[\frac{1}{\mu_a(r,z)} \cdot \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial r \dot{\mathbf{A}}(r,z)}{\partial r} \right] - j\omega\gamma \dot{\mathbf{A}}(r,z) - J_0(r,z) = 0. \quad (5)$$

В качестве граничных условий для определенности задачи примем наиболее общие условия – равенство нулю векторного потенциала на границе расчетной области, находящейся в бесконечности. В реальной ситуации граница области должна быть достаточно удалена от источников тока, где магнитная энергия поля действительно спадает до нуля.

Решение краевой задачи (3) расчета магнитного поля в изотропной среде эквивалентно минимизации энергетического функционала, выражающего энергию электромагнитного поля:

$$F(\dot{\mathbf{A}}) = \frac{1}{2} \iint_{\Omega} \left[\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{\mu_a} \right) \frac{\partial \dot{\mathbf{A}}}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{\mu_a r} \right) \frac{\partial r \dot{\mathbf{A}}}{\partial r} \right] dr dz + \frac{1}{2} \iint_{\Omega} j\omega\gamma |\dot{\mathbf{A}}|^2 dr dz + \frac{1}{2} \iint_{\Omega} \mathbf{j}_0 \cdot \dot{\mathbf{A}} dr dz. \quad (6)$$

Сущность метода, основанного на МКЭ, заключается в исследовании глобальной функции процесса, в данном случае векторного потенциала $\{\dot{\mathbf{A}}\}$, в дискретных частях анализируемой области V , которая должна быть предварительно разбита на конечные смежные подобласти (конечные элементы), что позволяет свести задачу с бесконечным числом степеней свободы к задаче, содержащей конечное число параметров. При этом внутри подобластей искомая функция интерполируется степенными полиномами, сшиваются на границах контакта элементов и, при условии малости геометрических размеров последних (число элементов стремится к бесконечности), оказывается решением уравнений в частных производных параболического типа.

Решение задачи осуществляется итерационным методом [12-14]. Для расчета индукционной системы используется два пакета программ. В пакетах FEMLAB и QUICKFIELD применен метод Ньюто-

на-Рафсона. Краевые условия вида Дирихле учитываются путем принудительного исключения столбцов и строк глобальных матриц, относящихся к узлам дискретной системы, лежащих на удаленных границах S области V . Условия симметрии удовлетворяются при ансамблировании элементов автоматически. Распределенные параметры магнитного поля вычисляются через полученное значение векторного потенциала. Основные размеры элементов экструдера и параметры индукционной системы, полученные в результате решения электромагнитной задачи, представлены ниже.

Параметры системы:

- Внутренний диаметр цилиндра $D_1 = 0,0906$ м
- Толщина стенки цилиндра 0,008 м
- Материал цилиндра сталь типа X18H25C2
- Диаметр шнека (червяка) $D = 0,09$ м
- Рабочий зазор между ребром шнека и трубой $\delta_{\text{зазор}} = 0,0003$ м

Глубина канала в зоне питания $h_1=0,0112$ м
 Глубина канала в зоне выдавливания $h_3=0,0028$ м
 Ширина гребня $e=0,009$ м
 Шаг $t=0,09$ м
 Рабочая зона шнека $L_{\text{раб.}}=2,7$ м
 Длина зоны питания шнека $l_1=1,17$ м
 Длина зоны сжатия шнека $l_2=0,09$ м
 Длина зоны выдавливания шнека $l_3=1,44$ м
 Скорость движения полистирола в зоне загрузки $\dot{\vartheta}_{\text{экт. загр.}}=0,00946$ м/с
 Скорость движения полистирола в зоне выдавливания $\dot{\vartheta}_{\text{экт. выд.}}=0,0342$ м/с
 Мощность индукционной системы 46 кВт
 Мощность индуктора первой зоны 18 кВт
 Мощность индуктора второй зоны 12 кВт
 Мощность индуктора третьей зоны 9 кВт
 Мощность индуктора четвертой зоны 7 кВт

Следующим этапом исследования является разработка математической модели тепловых процессов в сложной физически неоднородной системе сопряженных тел с относительным движением. Характер распределения и удельная плотность мощности внутренних источников тепла определены в результате решения электромагнитной задачи. Решение тепловой задачи выполняем, используя первый закон термодинамики. Запишем его с использованием дифференциальных уравнений для объёмных тел [8]:

$$\rho c \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \{v\}^T \{L\} T \right) + \{L\}^T \{q\} = \ddot{q}, \quad (7)$$

где $\{L\}^T$ – векторный оператор; $\{v\}$ – вектор, характеризующий скорость переноса тепла; $\{q\}$ – вектор теплового потока, \ddot{q} – скорость образования тепла в конечном объёме. Закон Фурье устанавливает связь

между вектором теплового потока и температурным градиентом:

$$\{q\} = -[D]\{L\}T, \quad (8)$$

здесь $[D]$ – матрица теплопроводности.

Объединение уравнений (7), (8) даст уравнение вида:

$$\rho c \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \{v\}^T \{L\} T \right) = \{L\}^T ([D]\{L\}T) + \ddot{q}. \quad (9)$$

Полученные уравнения (7) – (9) используются для решения задач в декартовой системе координат. Задача рассматривается в линейной постановке.

Для полной физической определенности общая система уравнений дополняется эмпирическими зависимостями вязкости, удельной теплоемкости, коэффициентов теплопроводности, теплопередачи и других величин от температуры [15, 16]. Для решения задачи тепломассопереноса в указанной постановке разработаны вычислительный алгоритм и программа, которая содержит два взаимосвязанных расчетных блока – электрический и тепловой. Разработанный алгоритм расчета температурных полей в системе «индуктор – цилиндр – полистирол» позволяет рассчитать температурные распределения в полистироле на участке дозирования при нагреве источниками тепла, выделяющимися в цилиндре экструдера под действием вихревых токов.

На рис.4 приведены результаты расчета температурных распределений в полистироле по длине экструдера на различном радиальном расстоянии по сечению потока. На первом участке экструдера в зоне 0–0,35 м происходит загрузка полистирола, внутрен-

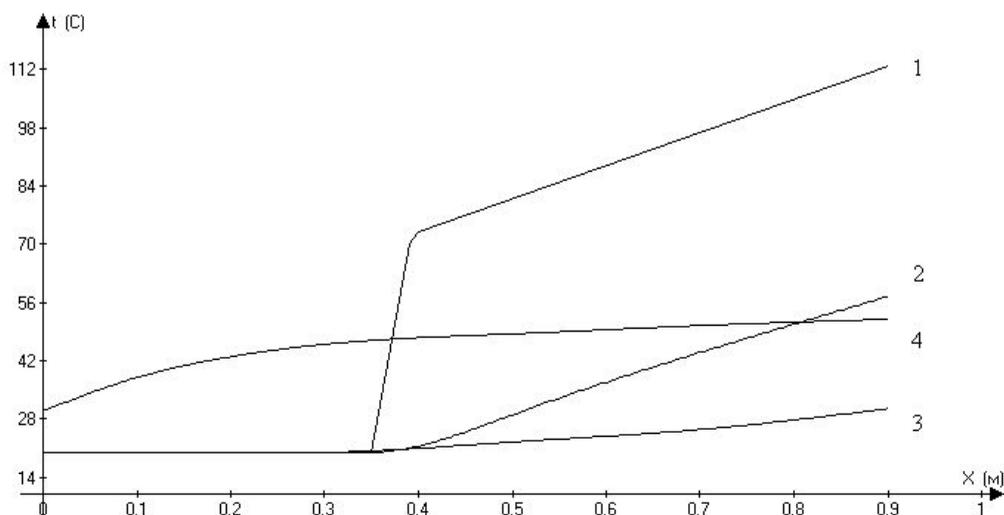


Рис.4. Температурное распределение по длине в секции 1: 1 – температурное распределение на поверхности тела экструдера; 2 – температурное распределение на глубине 9 мм от поверхности шнека; 3 – температурное распределение на глубине 5 мм от поверхности шнека; 4 – температурное распределение на глубине 1 мм от поверхности шнека

ние источники тепла отсутствуют, поэтому нагрев полистирола определяется только температурой шнека, подогреваемого водой. Температура воды на входе в рубашку охлаждения поддерживается на уровне 60 °С.

На втором и последующих участках нагрев слоя полистирола происходит с двух сторон: от шнека и цилиндра экструдера. Вследствие низкой теплопроводности полистирола средние слои прогреваются медленно, поэтому на втором участке имеет место значительный градиент температуры от стенок цилиндра и шнека к центру потока. По мере продви-

жения полистирола к выходу температурный перепад уменьшается.

Так как шнек по длине экструдера имеет переменный диаметр, увеличивающийся в районе второй зоны индукционного нагрева (см. рис.3), толщина нагреваемого слоя полистирола уменьшается. В третьей и четвертой зонах происходит выравнивание температуры по сечению потока. В конце четвертой зоны температура полистирола по толщине слоя достигает требуемого для выдавливания из калибратора и формирования пенополистирольных плит значения (рис.5).

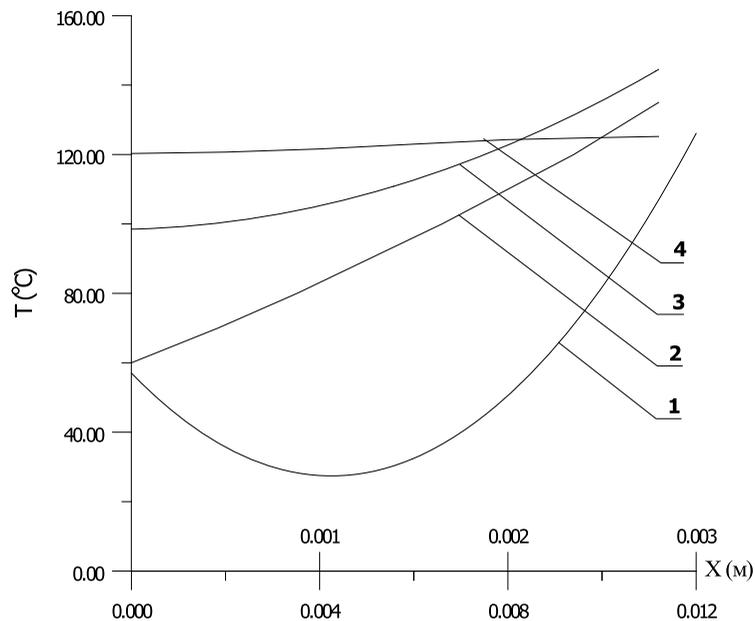


Рис.5. Температурное распределение по сечению в секциях 1–4:

- 1 – температурное распределение по сечению в секции 1 (на длине 0,9 м);
- 2 – температурное распределение по сечению в секции 2 (на длине 1,45 м);
- 3 – температурное распределение по сечению в секции 3 (на длине 2,05 м);
- 4 – температурное распределение по сечению в секции 4 (на длине 2,65 м)

Выводы. Как показывают расчеты, вследствие низкой теплопроводности полистирола при ламинарном течении его нагрев характеризуется большим перепадом температур по сечению потока, что приводит к необходимости поиска оптимальной длины отдельных зон и оптимального распределения мощности по зонам нагревателя. Кроме того, существенное влияние на распределение мощности нагревателей по длине экструдера оказывает частота источника питания. Анализ режима работы нагревателей экструзионной линии показывает, что рассматриваемая нагрузка с точки зрения потребления мощности и диапазона изменения параметров контура имеет спокойный характер, так как температурный режим постоянный и электро- и теплофизические характеристики элементов индукционного нагревателя можно принять неизменными. Автономное регулирование теплового режима отдельных зон нагревателя обеспечивается

реализацией системы электропитания с общими шинами постоянного тока и индивидуальными инверторами для каждой зоны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Богатырев А.Н., Юрьев В.П.* Термопластическая экструзия: научные основы, технология, оборудование. М.: «Ступень», 1994. 200 с.
2. *Торнер Р.В.* Основные процессы переработка полимеров. М.: Химия, 1972. 456 с.
3. *Тадмор З., Гогос К.* Теоретические основы переработки полимеров / пер. с англ.; под ред. Р.В. Торнера. М.: Химия, 1984. 632 с.
4. *Завгородний В.К.* Механизация и автоматизация переработки пластических масс. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1970. 595 с.

5. Скачков В.В., Торнер Р.В., Стунгур Ю.В. и др. Моделирование и оптимизация экструзии полимеров. Л.: Химия, 1984. 152 с.
6. Шкадов В.Я., Запрянов З.Д. Течение вязкой жидкости. М.: Издательство Московского университета, 1984. 200 с.
7. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967, 599 с.
8. Лыков А.В. Тепломассообмен: (справочник) М.: Энергия, 1978. 480 с.
9. Вайнберг А.М. Индукционные плавильные печи. Изд. 2-е перераб. М.: Энергия, 1967. 416 с.
10. Острийко В.Н. Расчет электромагнитных полей в многослойных средах. Л.: Изд. Ленинградского университета, 1981. 152 с.
11. ELCUT. Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Руководство пользователя. Версия 5.7. С.-Пб.: Производственный кооператив ТОР, 2009.
12. Данилушкин А.И. Математическое моделирование и оптимизация процесса извлечения легкоплавкого наполнителя из металлического корпуса методом индукционного нагрева // Вестник СамГТУ. Серия «Физико-математические науки». 1999. № 7. С. 151–158.
13. Данилушкин А.И. Структурное моделирование процессов и систем управления одного класса объектов индукционного нагрева // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 1998. Вып.5. С. 120–129.
14. Немков В.С., Демидович В.Б. Теория и расчет устройств индукционного нагрева. Л.: Энергоатомиздат, 1988. 280 с.
15. Богатырев А.Н., Юрьев В.П. Термопластическая экструзия: научные основы, технология, оборудование. М.: «Ступень», 1994. 200 с.
16. Энциклопедия полимеров / под ред. В.А. Кабанова. М.: Советская энциклопедия, 1977. Т.2. 487 с.

Об авторах:

ДАНИЛУШКИН Александр Иванович

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры электроснабжения промышленных предприятий Самарский государственный технический университет 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, тел. 89272014736
E-mail: aidanilushkin@mail.ru

DANILUSHKIN Aleksandr I.

Doctor of Engineering Science, Professor of the Power Supply of Industrial Enterprises Chair Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: aidanilushkin@mail.ru

ДАНИЛУШКИН Василий Александрович

кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения промышленных предприятий Самарский государственный технический университет 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: vasilydan2013@yandex.ru

DANILUSHKIN Vasilij A.

PhD of Technical Science, Associate Professor of the Power Supply of Industrial Enterprises Chair Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: vasilydan2013@yandex.ru

ВАСИЛЬЕВ Иван Владимирович

аспирант кафедры электроснабжения промышленных предприятий Самарский государственный технический университет 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: nemo260692@gmail.com

VASIL'EV Ivan V.

Post-Graduate Student of the Power Supply of Industrial Enterprises Chair Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: nemo260692@gmail.com

Для цитирования: Данилушкин А.И., Данилушкин В.А., Васильев И.В. Экономичная система электронагрева экструдера в линии производства пенополистирольных плит // Градостроительство и архитектура. 2017. Т.7, №2. С. 125-132. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.02.20.

For citation: Danilushkin A.I., Danilushkin V.A., Vasil'ev I.V. Efficient system for extruder electrical heating in polystyrene foam slabs production line // Urban Construction and Architecture. 2017. V.7, 2. Pp. 125-132. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.02.20.