

Ю. П. ЖУРАКОВСКИЙ

ТЕПЛОВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕНЕРАТОРОВ С ДВУХСТОРОННИМ НАГРЕВОМ МАТЕРИАЛА

Эффективность термического разложения твердых топлив в агрегатах с внутренним обогревом весьма существенно зависит от способа подвода теплоносителя в слой перерабатываемого материала.

Важным этапом в развитии промышленного полукоксования горючего сланца был переход в начале 60-х гг. от длительного время эксплуатировавшихся генераторов систем «Пинч» и «Кохтла-Ярве» и генераторов «Ленгипронефтехима» к генераторам с центральным вводом теплоносителя (ЦВТ) и поперечным потоком теплоносителя (ППТ).

Внедрение генераторов с ЦВТ позволило улучшить показатели переработки сланца и условия труда обслуживающего персонала. Пропускная способность возросла с 90—100 до 145 т сланца в сутки, несколько увеличился и удельный выход смолы. Однако недостаток этой конструкции — неравномерность прогрева сланца теплоносителем в шахте полукоксования. Наиболее удаленные от центрального топочного устройства участки слоя прогревались неудовлетворительно, и увеличение пропускной способности генераторов по сланцу свыше 140—150 т/сут сдерживалось выходом с периферии шахты кусков неразложившегося материала.

В генераторах, в которых теплоноситель движется через слой сланца в поперечном направлении, не прогреваемые теплоносителем зоны значительно меньше, поэтому пропускная способность такого агрегата больше. Но и при этом способе подвода тепла условия нагрева материала в различных частях камеры полукоксования неодинаковы. На горячей стороне камеры, где входящий в слой теплоноситель имеет высокую температуру, теплообмен происходит интенсивнее, так как разность между температурами теплоносителя и кусков сланца значительна, а сами газы имеют больший физический объем. По мере движения в слое температура теплоносителя падает, объем его уменьшается, разность между температурами теплоносителя и кусков сланца снижается, и поэтому теплообмен на холодной стороне камеры ухудшается. Изотермы для такой камеры имеют присущий перекрестному току наклонный характер.

Для разложения кусков сланца на холодной стороне камеры приходится увеличивать подвод тепла, повышая температуру теплоносителя или увеличивая его количество. При повышении расхода теплоносителя на процесс увеличивается вынос твердых частиц с парогазовой смесью, ухудшаются условия конденсации, повышается расход энергии. Повышение температуры теплоносителя с обычно принятых в настоящее время 800—850 °С до 1000 °С, как это рекомендуется некоторыми специалистами, выглядит перспективным. В таком случае требующееся для полукоксования тепло можно передавать с меньшим объемом теплоносителя, за счет чего сократится вынос твердых

частиц и содержание фузов, снизится гидравлическое сопротивление шахты и газовых трактов и улучшится охлаждение в конденсационной системе.

Есть основания считать, что при этом дополнительные затраты тепла на перегрев кусков сланца с горячей стороны и обусловленное высокой температурой теплоносителя повышение степени диссоциации карбонатов минеральной части будут компенсироваться в ниже лежащей теплообменной зоне, куда подается охлажденный обратный генераторный газ, содержащий 15—16 % (по объему) диоксида углерода. При взаимодействии диоксида углерода со свободными оксидами кальция и магния, которые образуются при перегреве сланца в камере полукоксования, тепло, затраченное на диссоциацию карбонатов, возвращается в процесс. Действительно, судя по анализам полукокса из генераторов, имеющих зону охлаждения обратным газом, содержание в нем минеральной уголекислоты заметно больше. Однако, как показала практика, даже при хорошей организации процесса охлаждения полукокса степень диссоциации карбонатов не удается понизить ниже 20—25 %-ного уровня, и поэтому бесполезные затраты тепла на разложение карбонатов неизбежны. По данным дериватографических исследований [1], диссоциация карбонатов, которая начинается при температуре 600—650 °С и имеет максимум при 850 °С, требует удельных затрат тепла в 4 МДж/кг CO_2 .

Необходимо отметить, что свободные оксиды химически связывают на поверхности куска эвакуирующиеся изнутри его кислые компоненты разложения сланца, в частности фенолы, а увеличение содержания балластной уголекислоты в генераторном газе затрудняет его утилизацию. Кроме этого, установлены вынос парогазовой смесью в конденсационную систему свободных оксидов кальция и магния и отложение их на поверхностях охлаждения.

Обобщая, можно сказать, что при переработке сланца необходимо избегать перегрева материала и всячески стремиться к равномерному прогреву кусков по всей толщине камеры. Основным мероприятием, обеспечивающим выравнивание температур по толщине камеры полукоксования для генераторов с ППТ, является проведение полукоксования при двухстороннем нагреве слоя. Использование дополнительных топочных устройств, установленных на холодной стороне генераторов на сланцехимическом заводе «Кивийли», позволило уве-

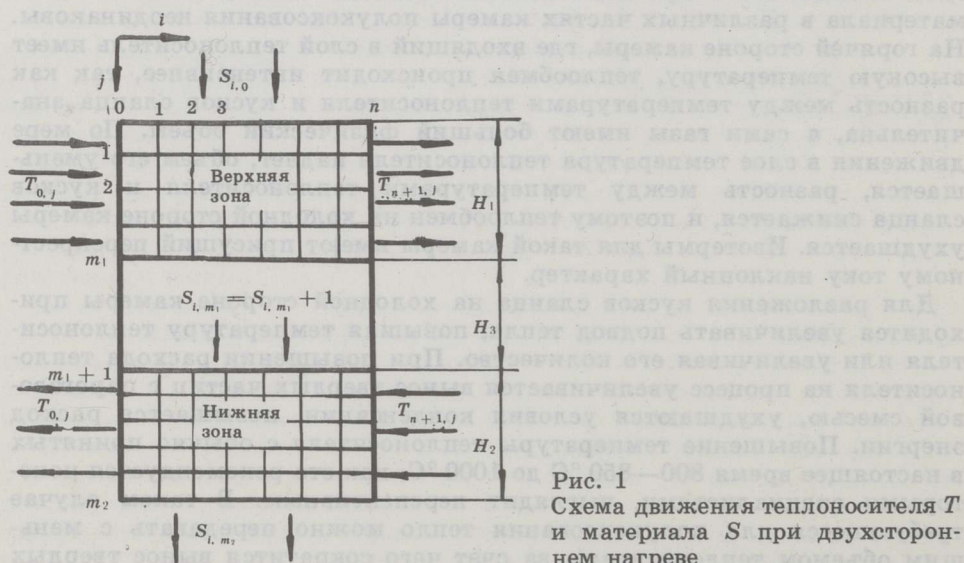


Рис. 1
Схема движения теплоносителя T и материала S при двухстороннем нагреве

личить пропускную способность агрегатов по сланцу, повысить удельный выход смолы и заметно снизить потери ее с твердым остатком переработки. Дальнейшее развитие идея двухстороннего нагрева получила применительно к агрегатам пропускной способностью 1000 т сланца в сутки и к проектируемому генератору с радиальным потоком теплоносителя (РПТ) пропускной способностью по сланцу 1500 т/сут.

Для обеспечения максимально равномерного двухстороннего нагрева необходимо иметь представление об оптимальном соотношении тепловых нагрузок зон при таком нагреве.

Схема двухстороннего нагрева слоя в генераторах приведена на рис. 1. Сланец поступает в верхнюю зону теплообмена, имея одинаковую начальную температуру $S_{i,0}$ по всей толщине камеры. Нагрев осуществляется теплоносителем, имеющим температуру, равномерно распределенную по всей высоте камеры ($T_{0,j}$ и $T_{n+1,j}$). Для упрощения определения температурного профиля камеру полукоксования можно представить в виде ячеистой модели, состоящей из элементов реакционного объема.

По толщине (ось i) камера разбивается на n ячеек, по высоте (ось j) верхняя зона состоит из m_1 слоев ячеек, нижняя — из $m_2 - m_1$ слоев ячеек. Число ячеек выбирается исходя из задаваемой точности расчета. В случае верхней зоны для перекрестного движения сред входной температурой теплоносителя i -й ячейки j -го слоя является выходная температура предыдущей ($i - 1$)-й ячейки j -го слоя $T_{i-1,j}$, а входной температурой материала — выходная температура i -й ячейки вышележащего ($j - 1$)-го слоя $S_{i,j-1}$ (рис. 2). Расчет температуры выходящих из ячейки потоков проводили по NTU -методу, в котором используются числа единиц переноса [2]. Этот метод выбран потому, что с его помощью можно получить безытерационное решение теплового баланса по известным входным температурам.

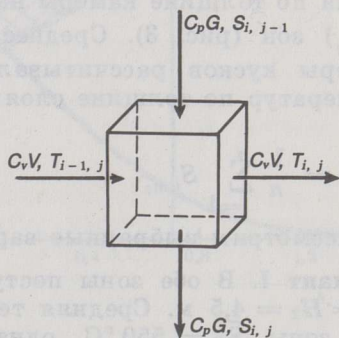


Рис. 2

Схема движения потоков в элементарной ячейке камеры полукоксования

Температура сланца $S_{i,j}$ и теплоносителя $T_{i,j}$, выходящих из i -й ячейки j -го слоя, рассчитывается по формулам

$$S_{i,j} = S_{i,j-1} + (T_{i-1,j} - S_{i,j-1})P - q/C_p G; \quad (1)$$

$$T_{i,j} = T_{i-1,j} - (T_{i-1,j} - S_{i,j-1})PR - q/C_v V, \quad (2)$$

где P — эффективность нагрева сланца.

$$\left(P = \frac{1 - \exp(NTU_S - NTU_T)}{R - \exp(NTU_S - NTU_T)} \right);$$

R — соотношение водяных эквивалентов сланца и теплоносителя ($R = C_p G/C_v V$);

G — массовый расход сланца;
 V — объемный расход теплоносителя;
 C_p и C_v — теплоемкость сланца и теплоносителя соответственно;
 q — тепловой эффект переработки сланца;
 NTU_S и NTU_T — числа единиц переноса для сланца и теплоносителя соответственно ($NTU_S = kF/C_p G$; $NTU_T = kF/C_v V$).

Поверхность теплообмена F определяется по среднему размеру фракций перерабатываемого сланца d_s , порозности слоя ε и коэффициенту формы ξ [3]:

$$F = 6/d_s \xi (1 - \varepsilon). \quad (3)$$

Коэффициент теплопередачи определяется исходя из известных критериальных уравнений, связывающих гидродинамику и теплопередачу [3]. Уравнения (1) и (2) учитывают внутренние источники теплоты, но для упрощения решения расчеты проводили в предположении, что химическая реакция отсутствует. Поэтому удельный расход теплоносителя на единицу массы перерабатываемого материала был взят меньшим, чем требуется на действующих генераторах.

Для лучшей сравнимости температурных кривых расчет температур выполнен для камер полукоксования, которые имеют одинаковое поперечное сечение по высоте, при этом скорости теплоносителя на входе в обе зоны принимались равными — в этом случае расход теплоносителя будет пропорционален высоте зоны. Во всех рассмотренных вариантах сумма тепловых нагрузок обеих зон постоянна, что соответствует постоянству суммы их высот ($H_1 + H_2 = 9$ м).

Температура теплоносителя при входе в камеру $T_{0,j} = T_{n+1,j} = 918$ °С, температура материала $S_{i,0} = 10$ °С (см. рис. 1).

По результатам расчета построены температурные профили материала по толщине камеры на выходе его из верхней (S_{i,m_1}) и нижней (S_{i,m_2}) зон (рис. 3). Среднее значение температуры выходящих из камеры кусков рассчитывали как среднеарифметическое значение температур по толщине слоя:

$$\bar{S}_2'' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{i,m_2}. \quad (4)$$

Рассмотрим выбранные варианты.

Вариант I. В обе зоны поступает равное количество теплоносителя. $H_1 = H_2 = 4,5$ м. Средняя температура кусков, выходящих из нижней зоны $\bar{S}_2'' = 550$ °С, однако в середине слоя по толщине есть область, где куски не нагреваются до температуры 500 °С. Разность между максимальной и минимальной температурами на выходе из нижней зоны составляет $\Delta S = 728 - 470 = 258$ °С.

Вариант II. В верхнюю зону расход теплоносителя в пять раз больше, чем в нижнюю. $H_1 = 7,5$ м, $H_2 = 1,5$ м. Все куски успевают прогреться до температуры выше 500 °С, разность между экстремальными температурами высокая: $\Delta S = 776 - 508 = 266$ °С, поэтому из-за большого перегрева кусков этот вариант нельзя считать оптимальным.

Вариант III. Соотношение между тепловой нагрузкой верхней и нижней зон составляет $Q_1/Q_2 = 1,57$; $H_1 = 5,5$ м, $H_2 = 3,5$ м. Средняя температура кусков, выходящих из нижней зоны, наименьшая — $\bar{S}_2'' = 521$ °С, но распределение температур наилучшее из всех рассматриваемых вариантов: $\Delta S = 675 - 500 = 175$ °С. Невысокая средняя температура на выходе из камеры \bar{S}_2'' свидетельствует о более

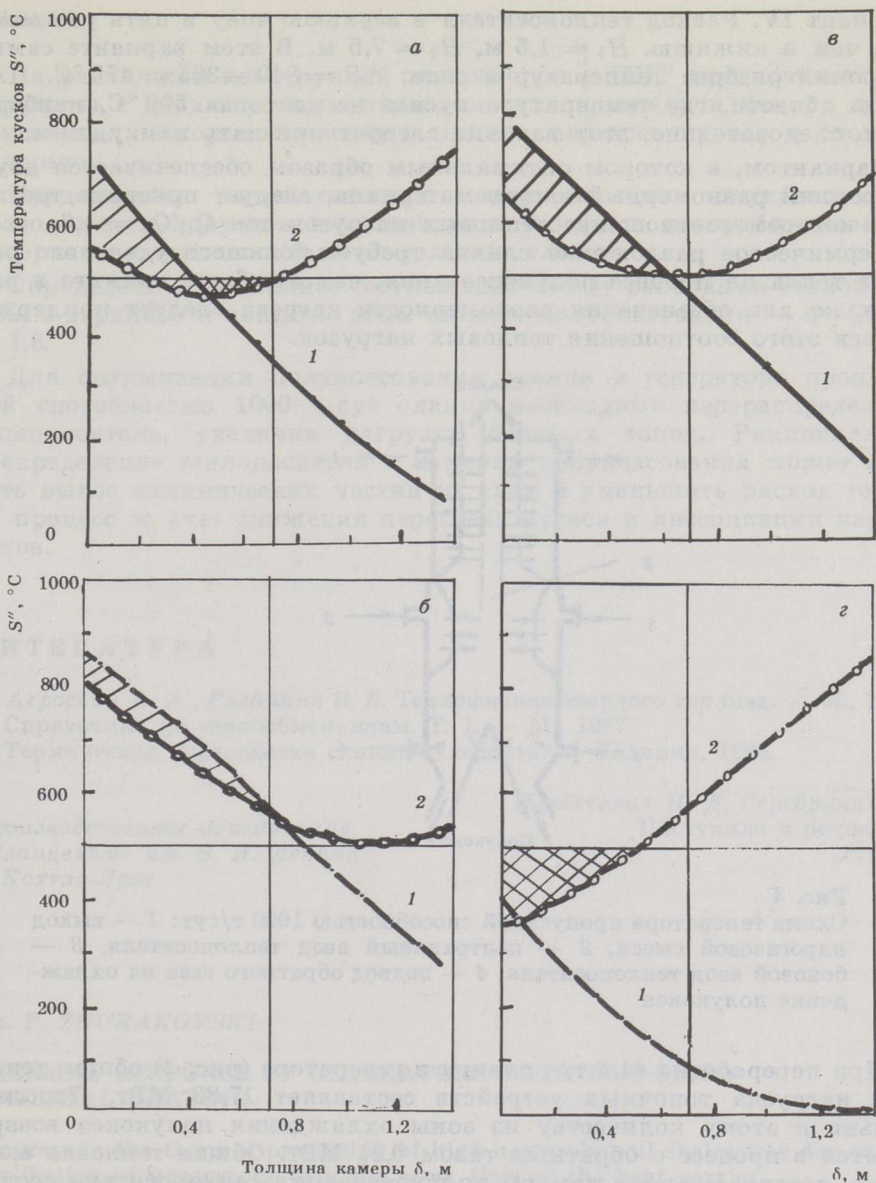


Рис. 3

Температурные профили материала на выходе его из верхней (1 — S_{i,m_1}) и нижней (2 — S_{i,m_2}) зон при различных соотношениях их высот (объемов): а — $H_1/H_2 = 1$, $\bar{S}''_2 = 550^\circ\text{C}$; б — $H_1/H_2 = 5$, $\bar{S}''_2 = 595^\circ\text{C}$; в — $H_1/H_2 = 1,57$, $\bar{S}''_2 = 521^\circ\text{C}$; г — $H_1/H_2 = 0,2$, $\bar{S}''_2 = 587^\circ\text{C}$. Односторонней штриховкой обозначена зона охлаждения материала, двухсторонней — зона материала, не прогретого до 500°C

обширной области охлаждения полукокса. В такой области температура теплоносителя нижней зоны оказывается ниже температуры нагретых в верхней зоне кусков материала, и здесь происходит нагрев уже газовой среды. При подмешивании теплоносителя нижней зоны к теплоносителю верхней зоны тепло от перегретого материала возвращается в процесс нагрева и тепловой к.п.д. агрегата возрастает.

Вариант IV. Расход теплоносителя в верхнюю зону в пять раз меньше, чем в нижнюю. $H_1 = 1,5$ м, $H_2 = 7,5$ м. В этом варианте самый широкий разброс температур в слое: $\Delta S = 840 - 365 = 475$ °С. Площадь области, где температура кусков не достигла 500 °С, наибольшая, следовательно, этот вариант следует признать наихудшим.

Вариантом, в котором оптимальным образом обеспечивается двухсторонний равномерный нагрев материала, следует признать третий, при котором соотношение тепловых нагрузок зон $Q_1/Q_2 = 1,6$.

Термическое разложение сланца требует большего удельного расхода тепла на процесс полукоксования, чем это было принято в расчете, но для обеспечения равномерности нагрева следует придерживаться этого соотношения тепловых нагрузок.

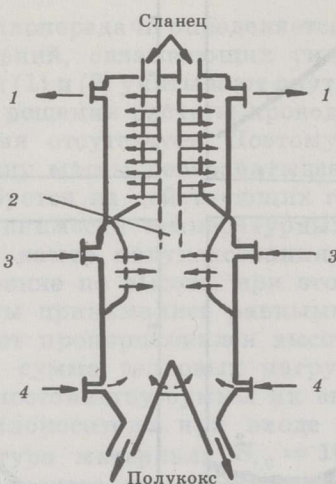


Рис. 4

Схема генератора пропускной способностью 1000 т/сут: 1 — выход парогазовой смеси, 2 — центральный ввод теплоносителя, 3 — боковой ввод теплоносителя, 4 — подвод обратного газа на охлаждение полукокса

При переработке 41,4 т/ч сланца в генераторе (рис. 4) общая тепловая нагрузка топочных устройств составляет 17,33 МВт. Дополнительно к этому количеству из зоны охлаждения полукокса возвращается в процесс с обратным газом 0,91 МВт. Общая тепловая мощность поступающего в камеры полукоксования теплоносителя составляет 18,24 МВт. Для поддержания оптимального соотношения тепловые нагрузки центральных и боковых топков следует определить соответственно в 11,22 и 7 МВт. Для этого расход воздуха в каждую боковую топку должен возрасти до 3 тыс. м³/ч. Необходимо отметить, что перераспределение теплоносителя относительно существующего положения в сторону уменьшения нагрузки на центральные топки может снизить выносы парогазовой смесью фусов из верхней камеры, тогда как увеличение выноса из нижней камеры будет сдерживаться высоким фильтрующим слоем сухого гидрозатвора H_3 (рис. 1).

Значение оптимального соотношения тепловых нагрузок возрастает при переработке сланца теплоносителем с повышенной температурой, так как рациональное распределение теплоносителя снижает перегрев кусков по толщине шахты.

Выводы

1. Из различных конструкций генераторов с ППТ предпочтительны варианты с двухсторонним подводом теплоносителя в камеру полукоксования, которые позволяют снизить перегрев кусков в слое по толщине.
2. Представлена математическая модель камеры полукоксования, позволяющая получать температурные профили перерабатываемого материала и теплоносителя по толщине слоя.
3. Определено оптимальное соотношение между расходами теплоносителя в верхнюю и нижнюю зоны камеры полукоксования — $Q_1/Q_2 = 1,6$.
4. Для оптимизации полукоксования сланца в генераторе пропускной способностью 1000 т/сут сланца необходимо перераспределить теплоноситель, увеличив нагрузку боковых топок. Рациональное распределение теплоносителя в камерах полукоксования может снизить вынос механических частиц из слоя и уменьшить расход тепла на процесс за счет снижения перегрева кусков и диссоциации карбонатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агроскин А. А., Глейбман В. Б. Теплофизика твердого топлива. — М., 1983.
2. Справочник по теплообменникам. Т. 1. — М., 1987.
3. Термическая переработка сланца-кукерсита. — Таллинн, 1966.

Производственное объединение
«Сланцехим» им. В. И. Ленина
г. Кохтла-Ярве

Представил Н. Д. Серебрянников

Поступила в редакцию
20.12.88

Уч. Р. ZHURAKOVSKI

THERMAL RESPONSE OF GENERATORS WITH TWO-SIDED MATERIAL HEATING

Progress in the thermal processing of high-heat-value oil shales was due to the application of generators with the cross flow of the heat carrier.

One of the drawbacks of this type of generators is a considerable difference in the conditions of heat exchange along the layer to be processed. Isotherms along the layer, the semicoking chamber may be represented as a cellular model of elements of reaction volume (Fig. 1). Calculation of the outlet temperature of flows was performed by the NTU method using numbers of transfer units. No heat effects of material destruction were taken into account in equations, therefore the heat carrier rate per mass unit was taken lower than for the operating aggregates.

Complete destruction of kerogen is inevitably accompanied by heat losses due to the overheating of lumps. By processing oil shales with a high content of carbonates this is especially undesirable, leading to the decomposition of the latter.

Semicoking with two-sided heat carrier supply enabled us to increase the capacity of generators and diminish losses of oil with the solid residue.

This communication aims at determining an optimum heat carrier rate at which overheating of lumps is minimum. To obtain the temperature profile along the layer, the semicoking chamber may be represented as a cellular model of elements of reaction volume (Fig. 1). Calculation of the outlet temperature of flows was performed by the NTU method using numbers of transfer units. No heat effects of material destruction were taken into account in equations, therefore the heat carrier rate per mass unit was taken lower than for the operating aggregates.

Based on the results of calculation, temperature profiles were constructed at different ratios of heat charges of the upper (Q_1) and lower (Q_2) zone of the semicoking chamber (Fig. 3). The difference between the maximum and minimum outlet temperature of lumps was the lowest at the Q_1/Q_2 ratio of 1.6.

The maintenance of an optimum ratio of heat charges between the central and side furnace of the generator (Fig. 4) may lead to the lowering of specific heat carrier rate on the account of a decrease in the degree of carbonates decomposition.

Production Association "Slantsekhim"
Kohtla-Järve

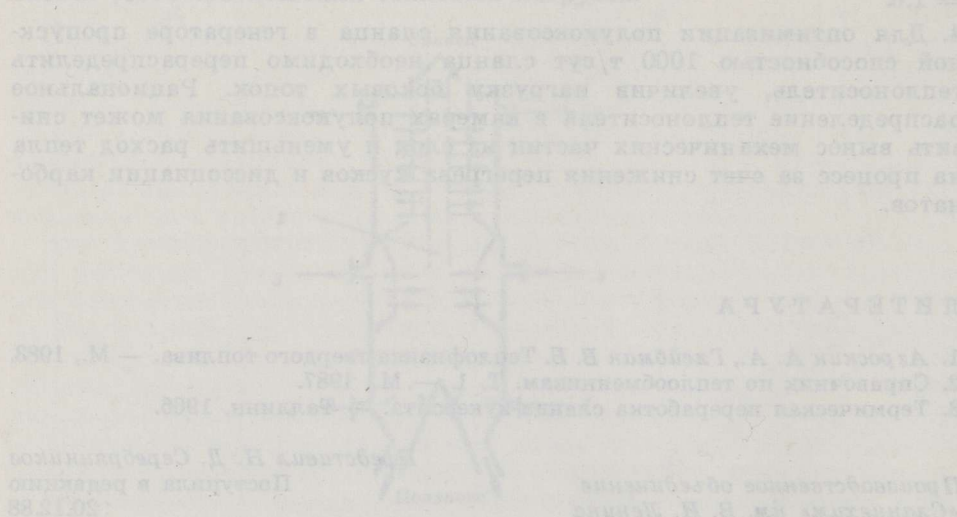


Fig. 3. Temperature profiles of lumps in the semicoking chamber at different ratios of heat charges of the upper and lower zones. 1 - $Q_1/Q_2 = 1.6$; 2 - $Q_1/Q_2 = 1.4$; 3 - $Q_1/Q_2 = 1.2$; 4 - $Q_1/Q_2 = 1.0$; 5 - $Q_1/Q_2 = 0.8$; 6 - $Q_1/Q_2 = 0.6$.

The results of the calculations show that the difference between the maximum and minimum outlet temperatures of the lumps is the lowest at a ratio of heat charges of 1.6. This indicates that the most uniform heating of the lumps is achieved at this ratio. The maintenance of an optimum ratio of heat charges between the central and side furnace of the generator may lead to the lowering of the specific heat carrier rate on the account of a decrease in the degree of carbonates decomposition.