

ХАРАКТЕР ДВИЖЕНИЯ ГОРЯЧИХ ГАЗОВ И ДЫМА В КОПТИЛЬНЫХ ПЕЧАХ

Канд. техн. наук Г. И. БОНДАРЕВ
 Ленинградское отделение ВНИРО

В производстве шпрот наиболее важной и ответственной операцией является горячее копчение рыбы. На практике при заготовке копченого полуфабриката для шпрот нередко получается значительное количество брака — рыбок с лопнувшими спинками или брюшками, скрюченных или подгорелых, мясо которых имеет красноватый оттенок и горьковато-кислый вкус.

На появление брака при горячем копчении рыбы существенное влияние оказывают температура и влажность среды, скорость движения горячих газов и дыма и неравномерное распределение их в коптильной камере.

Изучая горячее копчение рыбы в наиболее распространенных камерных коптильных печах ленинградского типа, мы выявили некоторые особенности движения горячих газов и дыма в указанных печах.

Прежде всего, необходимо отметить, что скорость движения горячих газов и дыма в камерных печах весьма незначительна и не превышает 20—30 см/сек. При такой скорости движения газов и незначительном сечении дымохода удаление влаги из рабочей части коптильной камеры задерживается, вследствие чего рыба может частично или полностью «запариться» и стать непригодной для консервов.

В камерных печах, в виду особенности их конструкции наблюдается сильное отклонение пламени костра к задней стенке коптильной камеры током воздуха, входящим в печь, а также струйное движение горячих газов в камере, что обуславливает резкий перепад температуры в камере по вертикали и горизонтали.

Вследствие указанных недостатков камерных печей копченая рыба получается весьма неоднородной по консистенции, целости и окраске кожного покрова.

Так например, при сортировке партии рыбы, выкопченной в камерной коптильной печи, оказалось рыбок высшего сорта, совершенно безукоризненных по внешнему виду: в правой половине печи — 24,5% и в левой половине — 33,5%; в передней части печи — 33,1% и в задней 22,2%. При подсчете по рядам было найдено: рыбок высшего сорта в самом нижнем ряду — 10,5%, во втором — 21,8%, а в остальных трех рядах от 33,4 до 33,8%. В среднем по всей печи выход рыбок высшего сорта составил 29,0%.

Наблюдающееся неравномерное распределение экземпляров рыбок высшего сорта является следствием влияния местонахождения дымохода (в правой или левой половине копильной камеры), расположения очага под рыбой (спереди или в глубине печи) и величины костра. Если учесть, что в зависимости от этих факторов температура в печи в зоне навески рыбы колеблется в разных точках от 130 до 65°, то неравномерность получаемой копченой рыбы становится совершенно понятной.

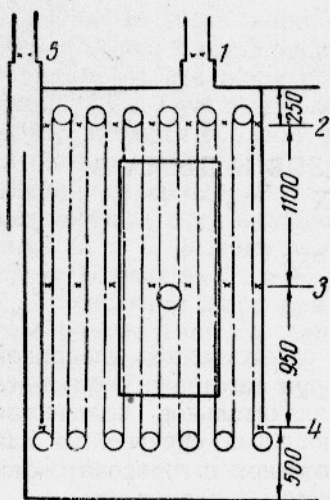


Рис. 1. Схема расположения точек замеров скорости движения газов и дыма в механизированной копильной печи.

Указанные недостатки камерных копильных печей предполагалось устранить в механизированной копильной печи, установленной на приемном пункте Ручьи треста Ленрыба. Чтобы иметь возможность поддерживать необходимый строго определенный режим температуры и влажности среды на разных стадиях процесса, получение дыма и горячих газов осуществлялось вне копильной камеры, а сама камера была разделена на 5 отделений, из которых одно предназначалось для подсушки рыбы, другое — для ее проварки и три отделения — для собственно копчения. Подача и отвод горячих газов и дыма в отделениях печи осуществлялись нагнетающими и отсасывающими вентиляторами¹.

Испытания механизированной копильной печи, проводившиеся в 1951—1952 гг., показали, что, несмотря на соблюдение требуемого режима температуры и влажности среды, качество копченой рыбы было неодинаковое.

Проверка работы печи показала, что скорость движения в ней горячих газов и дыма недостаточна и последние неравномерно распределяются в отделениях печи.

Для выявления распределения горячих газов и дыма в печи и определения скорости их движения были проведены многочисленные замеры скорости движения газов и дыма в разных точках печи посредством электрического и ручного анемометра.

Скорость движения газов и дыма, нагнетаемого и отсасываемого вентиляторами соответствующих отделений копильной печи, измеряли в трубах на вводе и выводе из отделений на расстоянии 5 см от края (рис. 1, позиции 1 и 5).

Скорость движения воздуха в отделениях печи измеряли в трех горизонтах: на уровне нижнего края верхних звездочек транспортера, на уровне верхнего края смотрового дверного люка и на уровне верхнего края нижних звездочек транспортера (см. рис. 1, позиции 2, 3 и 4).

В трубах скорость движения воздуха замеряли в 10 точках по сечению трубы; в печи замеры делали в 260 точках верхнего и среднего горизонтов и в 60 точках нижнего горизонта, причем расстояние между точками замеров в продольном и поперечном направлении было равно 20 см.

Скорость движения газов и дыма замеряли при рабочем положении всех шиберов и включении всех вентиляторов.

В результате измерений получены следующие скорости движения газов и дыма, нагнетаемых в отделения печи:

¹ Подробное описание механизированной печи дано в статье, опубликованной нами в журнале «Рыбное хозяйство», № 6, 1951.

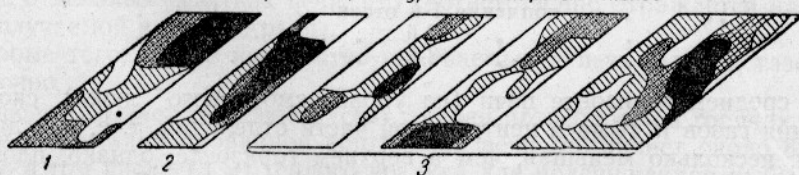
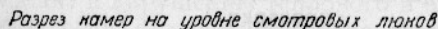
При соответствующем пересчете подача газов и дыма составит:

Всего в механизированную коптильную печь подается воздуха 44,5 м³/мин.

Отделение подсушки	133 м/мин
" проварки	353 "
" копчения 1-й отсек	345 "
" " 3-й	297 "

Из отделения подсушки	2,5 м³/мин
" " проварки	6,3 "
" " копчения 1-й отсек	6,1 "
" " " 3-й	5,3 "

• Разрез камер на уровне верхних звездочек транспортера



1—отделение подсушки; 2—отделение проварки; 3—отделения копчения.

3 Зак. 832

пространения и движения потоков внутри отделений печи, приведены в табл. 1 и на рис. 2.

Таблица 1

Удельный вес потоков газов и дыма с различной скоростью движения (в % от общей площади сечения отделений механизированной коптильной печи)

Расположение контрольных точек	Скорость движения газов и дыма в м/мин			
	более 60	от 30 до 60	от 15 до 30	менее 15
I. Сечение на уровне верхних звездочек транспортера:				
Отделение подсушки .	4	31	19	46
Отделение проварки .	10	40	5	45
Отделение копчения:				
1-й отсек	12	4	28	56
2-й "	8	8	16	68
3-й "	3	0	9	88
II. Сечение на уровне смотрового люка:				
Отделение подсушки .	24	32	20	24
Отделение проварки .	30	15	30	25
Отделение копчения:				
1-й отсек	5	10	25	60
2-й "	12	24	24	40
3-й "	14	14	49	23

Замеры показали, что в верхнем горизонте отделений печи газы и дым двигаются вниз потоком, ограниченным размерами соответствующего диффузора. Средняя скорость движения этого потока составляет:

В отделении подсушки	50 м/мин
" " проварки	63 "
" " копчения 1-й отсек	68 "
" " " 2-й "	53 "
" " " 3-й "	47 "

В остальных частях верхнего горизонта отделений, находящихся в стороне от основного потока, средняя скорость движения газов и дыма значительно меньше, а именно:

В отделении подсушки	17,5 м/мин
" " проварки	29,0 "
" " копчения 1-й отсек	15,0 "
" " " 2-й "	11,7 "
" " " 3-й "	9,3 "

В среднем горизонте печи (на уровне смотрового люка) скорость движения газов и дыма в центральной части отделений, т. е. под диффузорами, несколько меньшая, чем в верхнем горизонте, однако, площадь, захватываемая основным потоком, значительно больше. Средняя скорость движения основного потока в среднем горизонте печи составляла:

В отделении подсушки	42 м/мин
" " проварки	56 "
" " копчения 1-й отсек	28 "
" " " 2-й "	39 "
" " " 3-й "	47 "

В прочих частях среднего горизонта средняя скорость движения была равной:

В отделении подсушки	34	м/мин
" " проварки	37	"
" " копчения 1-й отсек	12,5	"
" " " 2-й "	22,5	"
" " " 3-й "	23	"

Приведенные данные показывают, что входящие в отделения печи горячие газы и дым распространяются как по ширине, так и высоте отделений весьма неравномерно. В верхнем горизонте печи поток со скоростью движения свыше 30 м/мин занимает всего лишь 24% общей площади сечения печи, в то время как на остальных 76% площади наблюдаются малые скорости (менее 30 м/мин), свойственные обычным камерным копильным печам и считающиеся недостаточными.

В среднем горизонте печи площадь, захватываемая потоком со скоростью движения выше 30 м/мин, несколько возрастает и соотношение соответствующих площадей становится равным 36 и 64%.

Из этого видно, что в верхнем и среднем горизонтах механизированной копильной печи, если и удастся поддерживать установленный режим температуры и влажности, то постоянства режима скорости движения горячих газов и дыма во время копчения рыбы не достигается. При относительно благоприятном режиме скорости движения горячих газов и дыма время нахождения рыбы в печи сокращается в два раза.

Распределение потоков газов и дыма в нижнем горизонте отделений печи, как показало исследование, существенного влияния на копчение рыбы не оказывает. Это объясняется тем, что температура потоков горячих газов и дыма в нижнем горизонте значительно снижается и сам поток распределяется более равномерно под действием отсасывающих вентиляторов. При этом направление движения газов и дыма несколько меняется и в некоторых участках обнаруживаются даже восходящие потоки их внутри отделений со средней скоростью до 25 м/мин.

Существующая неравномерность распределения и движения горячих газов и дыма в механизированной копильной печи является следствием недостаточно совершенного устройства диффузоров. Потоки газов и дыма, подаваемые вентиляторами из жаро- и дымогенераторов по трубам, сразу же отрываются от стенок диффузора, ввиду отсутствия в нем соответствующих распределительных решеток или сеток и, кроме того, диффузор перекрывает не все сечение отделения печи, а лишь часть его, вследствие чего в печи создаются мертвые пространства, т. е. участки с весьма незначительным движением газов и дыма.

Неравномерность движения горячих газов и дыма в механизированной копильной печи приводит к нарушению теплового и влажностного режима в отдельных участках печи, что соответственно отражается на качестве получаемой копченой рыбы.

Кроме того, общее количество подаваемых в печь дыма и газов недостаточно.

Как показывает тепловой расчет, общая потребность в горячих газах и дыме для механизированной копильной печи составляет около 85 м³ в минуту, в том числе 13 м³ теплого воздуха для подсушивания рыбы с поверхности, 4 м³ горячих газов для проваривания мяса рыбы до готовности, 43 м³ горячих газов и дыма для собственно копчения рыбы и до 25 м³ газов и дыма на неизбежные потери через неплотности в печи и отверстия для прохода транспортера. Для подачи указанного количества горячих газов и дыма в печь требуется увеличение диаметра подающих труб и мощности вентиляторов.

С целью проверки наших предположений о влиянии формы диффузора на распределение газов и дыма в копильной печи нами были проведены опыты с диффузорами различной конструкции.

Имеющиеся диффузоры в механизированной копильной печи одинаковы и имеют вид усеченной призмы высотой 250 мм, у которой две параллельные стороны находятся на расстоянии 200 мм друг от друга, а другие две наклонены к центральной оси под углом 35° к основанию. В верхней части отверстие диффузора равно $0,04 \text{ м}^2$, а в нижней — $0,21 \text{ м}^2$; нижнее сечение диффузора по отношению к площади сечения отделений печи составляет:

для отделения подсушки	15,2%
" " проварки	18,0%
" " копчения	14,8%

Для опыта были взяты диффузоры в виде правильной усеченной пирамиды, у которой верхнее отверстие было равно $20 \times 20 \text{ мм}$, а нижнее — $200 \times 200 \text{ мм}$. Угол между наклонными плоскостями и основанием пирамиды в одном случае составлял 68° , в другом — 55° и в третьем — 35° . Для подачи дыма и газов к вершине диффузора была припаяна труба квадратного сечения $20 \times 20 \text{ мм}$. В первых опытах эта труба была изогнута под прямым углом с радиусом изгиба 30 мм; прямые концы изогнутой трубы имели длину 60 мм. В дальнейшем изогнутая труба была заменена прямой. Наблюдения за скоростью движения воздуха во всех случаях производились при одинаковых условиях работы вентилятора, подающего воздух. Площадь нижнего сечения диффузора была разделена на 25 равных участков, в которых и измерялась скорость движения воздуха электроанемометром.

Распределение скоростей движения воздуха, наблюдавшееся в опытах с вышеуказанными диффузорами показано на рис. 3 (схемы 1—10). Цифрами на схемах указана величина скорости воздуха (м/мин), найденная в разных участках нижнего сечения диффузора. Различные схемы отвечают следующим условиям опытов:

Схема 1. Диффузор с углом наклона боковых стенок к основанию 68° и с изогнутой трубой. Труба впаяна в диффузор с небольшим перекосом. Характерна струйчатость движения воздуха, причем струя направлена в угол.

Схема 2. Условия опыта те же, но устранен перекося трубы. Струя воздуха прижата к стенке, противоположной направлению изгиба трубы.

Схема 3. Тот же диффузор с прямой трубой. Распределение потока воздуха более равномерное, чем в предыдущих опытах.

Схема 4. Тот же диффузор с прямой трубой. Для рассеивания потока воздуха в диффузор вставлен вкладыш с квадратным основанием. Распределение потока воздуха ухудшилось по сравнению со схемой 3.

Схема 5. Тот же диффузор с прямой трубой. Для рассеивания потока воздуха в диффузор вставлена решетка на расстоянии 300 мм от основания. Решетка имела 25 равномерно расположенных круглых отверстий общей площадью 500 мм^2 . Распределение потока воздуха ухудшилось и скорость движения воздуха снизилась по сравнению со схемой 3.

Схема 6. Тот же диффузор, что в схеме 5, но отверстия на периферии решетки увеличены. Общая площадь отверстий в решетке 600 мм^2 . Распределение потока и скорость воздуха несколько улучшились.

Схема 7. Тот же диффузор, что в схемах 5 и 6, но площадь отверстий в решетке увеличена до 825 мм^2 . Распределение потока воздуха улучшилось и скорость движения увеличилась.

Схема 8. Диффузор с углом наклона боковых стенок к основанию 55° и с прямой трубой. Внутри диффузора помещена такая же решетка, как в схеме 7. По сравнению со схемой 7 скорость движения воздуха и распределение потока немного улучшились.

Схема 9. Диффузор с углом наклона боковых стенок к основанию 35° и с прямой трубой. Внутри диффузора помещена такая же решетка, как в схемах 7 и 8. Получены наилучшие результаты как в отношении скорости, так и распределения потока воздуха, по сравнению с другими схемами.

Схема 10. Тот же диффузор, что в схеме 9, но решетка удалена. Струя воздуха сосредоточилась посередине сечения диффузора подобно тому, как это наблюдается для диффузора, установленного в механизированной копильной печи.

Скорости движения воздуха, найденные в разных участках нижнего сечения диффузора, были разбиты на 4 группы: 1) более 120 м/мин, 2) от 120 до 90 м/мин, 3) от 90 до 60 м/мин и 4) менее 60 м/мин. Соответственно этому была вычислена площадь сечения диффузора, приходящаяся на долю потока воздуха с той или иной скоростью движения, по отношению к общей площади нижнего сечения диффузора. Полученные при этом данные, характеризующие распределение потока воздуха, выходящего из диффузора, приведены в табл. 2. Как видно из данных табл. 2, оптимальные результаты были получены при испытании диффузоров, устроенных по схемам 9 и 3, поскольку в копильной печи желательно иметь скорости движения дыма и газов не менее 90 м/мин.

Таблица 2
Распределение потока воздуха при выходе
из диффузора

Номер схемы	Размеры площадей, занятых потоками воздуха с равной скоростью, в % от общей площади нижнего сечения диффузора			
	более 120 м/мин	от 120 до 90 м/мин	от 90 до 60 м/мин	менее 60 м/мин
1	4	0	12	84
2	20	4	68	8
3	32	40	20	8
4	20	20	36	24
5	8	4	28	60
6	4	24	32	40
7	16	20	44	20
8	20	28	28	24
9	32	44	20	4
10	4	0	0	96

Поскольку в описанных опытах лучшие результаты были получены с диффузорами с прямой трубой, но на практике неизбежно применение изогнутых труб, необходимо было установить длину прямого участка трубы между диффузором и коленом, которая обеспечивала бы устранение влияния колена на распределение потока воздуха.

Опыты проводились по вышеописанной методике с диффузором, имеющим угол наклона боковых стенок к основанию равный 68° . К диффузору была припаяна труба сечением 20×20 мм, изогнутая на конце под прямым углом с радиусом 20 мм. Длина прямого участка трубы между диффузором и коленом в разных опытах менялась и составляла 580 мм (схема 11), 420 мм (схема 12), 260 мм (схема 13), 100 мм (схема 14), 10 мм (схема 15).

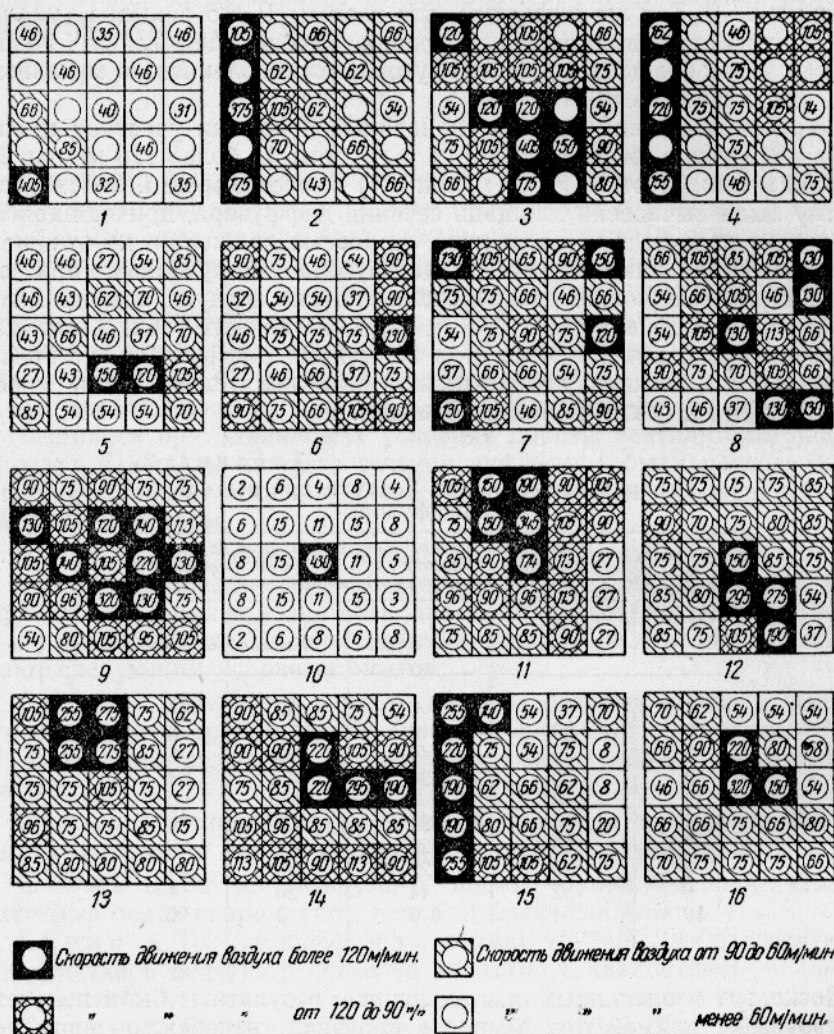


Рис. 3. Схемы распределения потоков воздуха (опыты 1—16) при различной конструкции диффузоров.

Результаты наблюдений за скоростью и распределением потоков воздуха, полученные в опытах по схемам 11—15, показаны на рис. 3. Как видно, изменение длины прямого участка трубы в пределах от 580 до

100 мм не оказало существенного влияния на распределение потока воздуха и только при длине 10 мм изгиб трубы вызвал резкое смещение потока. Для устранения смещения потока при малой длине прямого участка трубы были установлены направляющие гребенки в колене трубы, как показано на рис. 4. В этом случае при длине прямого участка трубы, равной 20 мм, удалось избежать смещения потока воздуха к одной стороне диффузора, как это видно из схемы 16 (см. рис. 3). При этом дополнительная установка решетки с отверстиями внутри диффузора должна способствовать еще более равномерному распределению потока воздуха по всему сечению диффузора.

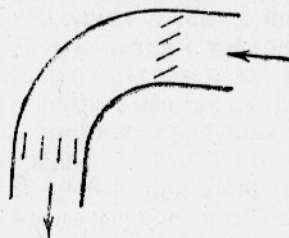


Рис. 4. Расположение направляющих гребенок в колене трубы.

ВЫВОДЫ

1. Конструкция существующих камерных печей для горячего копчения рыбы не обеспечивает равномерного распределения и достаточно быстрого движения горячих газов и дыма в камере, вследствие чего в камерных печах невозможно получать копченую рыбу однородную по качеству. По указанным причинам на предприятиях, вырабатывающих копченый полуфабрикат для консервов «Шпроты в масле», из одной партии выкопченной рыбы получают не только шпротную копчушку разных сортов, но и значительное количество так называемой товарной «копчушки», непригодной для производства шпрот и направляемой в торговую сеть.

2. Механизированная коптильная печь, предложенная для копчения полуфабриката для консервов «Шпроты в масле», обладает существенными преимуществами перед камерными коптильными печами, поскольку в ней можно регулировать температуру и влажность среды и, кроме того, достигается более равномерное копчение рыбы в результате перемещения ее по конвейеру внутри печи. Однако равномерное распределение горячих газов и дыма и необходимая скорость их движения в существующей конструкции механизированной коптильной печи не достигнуты, вследствие чего выкопченная рыба не является вполне однородной.

3. В целях улучшения распределения горячих газов и дыма и повышения скорости их движения в механизированной коптильной печи необходимо усовершенствование ее конструкции в части устройств, подающих горячие газы и дым из жарогенератора и дымогенератора, в частности изменение конструкции диффузоров, увеличение диаметра подающих труб и мощности вентиляторов.

4. Из числа испытанных моделей диффузоров лучшими оказались следующие 2 типа:

а) диффузор с углом наклона боковых стенок к основанию равным 68° , снабженный подводящей трубой с изгибом, удаленным от диффузора на расстояние не менее, чем в 4—5 раз превышающее диаметр трубы;

б) диффузор с углом наклона боковых стенок к основанию равным 35° и с изогнутой трубой, снабженный специальными распределяющими воздух устройствами в виде гребенок в колене трубы и решетки внутри диффузора с площадью отверстий не менее чем в 2 раза превышающей площадь сечения подводящей трубы.