

ХIII. АНАЛИЗ ГАЗОВ

§ 144. **Общие соображения.** Задачей технического анализа газов является исследование продуктов сгорания топки или мотора с целью определения процентного содержания в них углекислоты CO_2 и кислорода O_2 , а также и несгоревших составных частей, как то: CO , H_2 , CH_4 и прочих углеводородов. С другой стороны, анализ газов ставит себе задачей также исследовать газовое топливо, служащее для эксплуатации или для отопления газовых машин с целью определения содержания в них водорода H_2 , окиси углерода CO , метана CH_4 , тяжелых углеводородов и нежелательных в данном случае примесей CO_2 и O_2 . Содержание азота N_2 в газах, как правило, не измеряется, но остаток содержания газов до 100% рассматривается при анализе как азот, хотя этот остаток содержит и другие инертные газы.

Целью анализа газов является контроль процесса сгорания или производства газа, а затем определение тепловых потерь через дымовые газы. Способом анализа, несмотря на все различия в деталях, все же остается классический метод, принятый в промышленной и лабораторной практике, заключающийся в том, что отбирают и подвергают реакции определенный объем испытуемого газа, чаще всего 100 см^3 . Эта реакция состоит в том, что объем определяемой составной части газа поглощается или в определенной мере изменяется (уменьшается, например, на половину). Так, при пропускании газа через едкий кали, последний полностью поглощает углекислоту CO_2 . Для определения содержания кислорода, испытуемый газ пропускают через фосфор или через раствор пирогалловой кислоты, поглощающие кислород; но можно газ смешать с водородом и пропустить через катализатор, который сжигает смесь по уравнению $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$. Так как образовавшаяся при этом вода конденсируется, то исчезает тройной объем определяемого кислорода ($2\text{H}_2 + \text{O}_2$; $2 + 1 = 3$). CO определяют, либо пропуская смесь газа с воздухом через катализатор, либо пропуская газ через горячий раствор закиси меди. В обоих случаях образуется CO_2 , количество которого измеряется поглощением едким кали. Совершенно очевидно, что газ до испытания должен быть совершенно освобожден от содержащейся в нем CO_2 . Содержание CO определяется также поглощением его раствором полухлористой меди или раствором пятиокиси иода. Ниже приводится описание этих методов производства анализа, а также необходимых для этого приборов. При многократных объемных измерениях необходимо, чтобы газ имел произвольные, но одинаковые давление и температуру, так как речь идет лишь о процентном содержании и все газы в равной мере подвергаются влиянию температуры и давления. Если забираемый объем газа равен 100 см^3 , то поглощаемые кубические сантиметры газа являются одновременно процентами первоначального объема газовой пробы. Анализ указывает в объемных процентах содержание составных частей забранного газа, однако это процентное содержание относится лишь к сухому газу, если забираемый газ, как это большей частью бывает при анализе, насыщен влагой. Именно, если объем газа уменьшается вследствие поглощения какой-нибудь составной его части, то пропорциональная часть содержащихся в газе водяных паров также должна сконденсироваться. При определенной температуре в каждом кубическом сантиметре газа может

содержаться только определенное количество водяного пара, т. е. одинаковая процентная часть водяного пара также поглощается. Следовательно, производится лишь анализ сухого газа. Так, дымовые газы, дающие при анализе 12% CO_2 , 7,5% O_2 , полное отсутствие CO и как остаток 80,5% N_2 , могут содержать при высокой температуре газов еще произвольное количество водяного пара, например 6%. В таком случае, общее содержание дымовых газов обозначается в 106%. Предположение, что при анализе газ насыщен водяными парами в общем оправдывается, так как в большинстве случаев топливо содержит достаточно воды и водорода, чтобы насытить объем газов в охлажденном состоянии; также и вода, применяемая как запорная жидкость, обеспечивает насыщение газа, если дать некоторое время для испарения. Конечно, где нет насыщения, как то может быть при топливе бедном водородом и при большом избытке воздуха, там мы производили бы отсчет процентного содержания влажных газов до тех пор, пока не наступило бы насыщение от уменьшения объема газа и затем процентного содержания уже сухого газа. Однако, такого анализа, по возможности, следует избегать. Разница между объемом влажного и сухого газа в состоянии насыщения при 20° С составляет 3%. Так как кислород, ушедший на образование паров воды для анализа, пропадает, то содержание азота в дымовых газах

значительно выше 79%. На 1 кг сгоревшего водорода приходится 8 кг кислорода; следовательно, даже при незначительном содержании в топливе водорода затраченные на сгорание количества кислорода являются довольно значительными.

§ 145. Прибор Орса. Для удобства анализа газа и для получения хорошего соприкосновения с поглотителями изобретен целый ряд приборов. Из них прибор Орса нашел наибольшее применение как в промышленной, так и в лабораторной практике. Вначале он применялся только для анализа дымовых газов, но впоследствии прибор снабдили дополнительными устройствами, благодаря которым им можно пользоваться также для анализа генераторного газа (расширенный Орса). На рис. 390 показана простейшая конструкция прибора Орса, приспособленная лишь для определения CO_2 . Футляр, в котором помещается прибор, обозначен чертой.

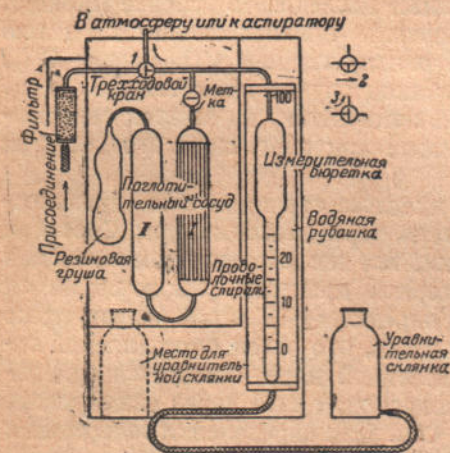


Рис. 390. Ручной газоанализатор Орса простейшей конструкции.

Внутри помещены измерительная бюретка и уравнивательный сосуд, соединенные между собой резиновой трубкой. Все они настолько заполняются замыкающей жидкостью, что в зависимости от более низкого или высокого положения уравнивательного сосуда заполняется либо сосуд, либо измерительная бюретка. В соединении с трехходовым краном этот прибор представляет собой газовый насос. Манипулирование прибором Орса производится в следующем порядке: трехходовой кран приводят в положение 1, поднимают уравнивательный сосуд и запорная жидкость (вода) заполняет измерительную бюретку до деления 100. После этого трехходовой кран приводят в положение 2 и опускают уравнивательный сосуд. Тогда запорная жидкость сбегает обратно в сосуд и засасывает газ из газопровода. Многократно поднимают вверх и вниз уравнивательный сосуд, пока не убедятся, что в измерительную бюретку попадает лишь испытуемый газ из места отбора (например, из борового котла и т. п.), а не застоявшийся газ из подводящей трубки, т. е. пока не обновят содержания последней. Так как при длинной и широкой подводящей трубке процесс засасывания слишком затягивается, то засасывание газов лучше производить резиновой грушей, соединенной с верхним концом трехходового крана, или водоструйным насосом. Содержимое в подводящей трубке быстро возобновляется установкой трехходового крана в положение 3, после чего требуется лишь еще раз накачать газ уравнивательным сосудом для обновления газа также

в капиллярных трубках. Таким образом, в измерительную бюретку набирают ровно 100 объемных частей испытуемого газа, при атмосферном давлении, если при установке прибора на нуль добиваются того, чтобы поверхность жидкости в уравнильном сосуде и измерительной бюретке были на одинаковом уровне. После этого прибор закрывают со стороны газопровода, оставляя трехходовой кран в положении 3. Затем открывают кран поглотительного сосуда. Последний состоит из двух цилиндрических сосудов I и II, сообщаящихся между собой через колончатую трубку. Сосуд I отделяется от верхней распределительной трубки посредством вышеупомянутого крана и заполнен стеклянными трубками, чтобы осталась поверхность для смачивания, когда уровень поглотительной жидкости понизится. Сосуд II—пустой. В него переходит жидкость из сосуда I; сосуд II замыкается резиновым пузырем с целью воспрепятствовать поглощению химическими реактивами составных частей воздуха. Перед началом испытания в сосуд I засасывают поглотительную жидкость до высшей метки. Затем, после открытия крана поглотительного сосуда, поднимают уравнильный сосуд, отчего поглотительная жидкость выдавливается из сосуда I в сосуд II. Тогда смачиваемая поверхность сосуда I поглощает составную часть газа, реагирующую с поглотительной жидкостью и таким образом, путем многократного подъема и опускания уравнильной склянки прополаскивают газ поглотительной жидкостью, чтобы не оставлять в измерительной бюретке остатка газов, не вошедшего в реакцию. В заключение доводят до метки поглотительную жидкость, закрывают кран и производят отсчет на измерительной бюретке объема поглощенного газа, устанавливая при этом прибор снова так, чтобы уровни жидкостей стояли на одной высоте. Если поглотительный сосуд наполнен едким кали, то прибор определяет количество CO_2 в дымовых газах. Так как теоретически возможное содержание CO_2 равно лишь 21%, а в топливе с содержанием водорода может быть и ниже, то измерительная бюретка в пределах до 20 или 25% делается уже, чем вверху, отчего точность измерения увеличивается. При отсчетах необходимо поддерживать неизменным атмосферное давление, что, как выше было указано, осуществляется манипулированием уравнильным сосудом; влияние окружающей температуры устраняется водяной рубашкой около измерительной бюретки, но во всяком случае следует избегать влияния сильного излучения, поэтому не следует помещать холодный прибор около горячего котла и необходимо немедленно же начинать анализ газа. Аппараты Орса состоят преимущественно из двух или трех поглотительных сосудов для производства последовательного испытания пробы газа на CO_2 , O_2 и CO , список поглотительных жидкостей приводится ниже. Последовательность производства анализа является вынужденной, так как CO_2 поглощается не только едким кали. Сущность конструкции прибора Орса показана на рис. 394; поглотительные сосуды обслуживаются так же, как сосуд для едкого кали, описание которого дано для прибора, изображенного на рис. 390. Верхняя капиллярная трубка соединена с поглотительными сосудами и измерительной бюреткой посредством капиллярных резиновых трубок. Говоря об особенностях конструкции прибора Орса, необходимо упомянуть, что метка, имеющаяся на каждом поглотительном сосуде, должна быть выше резиновой трубки, следовательно, должна быть насаженной на капиллярной трубке. Тогда объем резиновой трубки не является вредным, вредным будет только объем капилляра выше метки. Иногда метки помещают даже выше кранов, что связано с некоторыми неудобствами, так как стеклянные краны для лучшей проходимости следует смазывать, а смазывающие масла подвергаются воздействию реактивов. Для смазки применяют парафин, но не жир, так как парафин совершенно не реагирует с едким кали. На рис. 391 указаны несколько типов поглотительных сосудов. Хорошее соприкосновение газа с поглотительной жидкостью достигается в большинстве типов конструкций большой смачивающей поверхностью, которая состоит из стеклянных трубок, колец Рашига или проволочных спиралей, сеток и т. п. Пучок стеклянных трубок, показанный на рис. 390 и 391, не должен опираться на дно сосуда, так как в противном случае жидкость в боковых трубках западает против средних трубок, что затягивает процесс анализа; трубки помещены на спирали или на металлической сетке. В приборе, показанном на рис. 391,

входящий в поглотительный сосуд, газ, проведенный через среднюю трубку вниз, проходит вверх через змеевик, разбиваясь на мелкие пузырьки, и захватывает жидкость; при этом кран повернут на 180° по сравнению с его положением, показанным на рис. 391. Для просасывания газа в измерительную бюретку следует повернуть кран на 180° , как то видно из рис. 391. Спираль должна быть достаточно крутой, чтобы наполнение ее жидкостью производилось довольно быстро, в противном случае наполнение протекает очень медленно. Чтобы закрыть кран, следует повернуть его на 90° по сравнению с его положением на рис. 391. Двойные поглотительные сосуды (рис. 390, 391), очень ломки. По этим соображениям более удовлетворительной формой сосуда является концентрическая, которая к тому же лучше поддается очистке. Иногда на всасывающей линии ставят вместо трехходового крана двухходовой, при котором труднее сделать ошибку. В местах отсчета измерительная бюретка должна быть несколько сужена, как например, в приборе для определения дымовых газов. Это даст возможность точно проверить установку нуля, а с другой стороны при содержании в смеси до 20% CO_2 можно также с большей точностью произвести отсчет (так как выше 21% производить отсчеты не приходится). Следует также проверять точность делений шкалы, при этом за 100% принимается не емкость измерительной бюретки, но эта емкость вместе с прибавленной к ней половиной емкости капиллярной трубки; погрешности, происходящие от этого «вредного» объема, становятся меньше. Для анализа дымовых газов приборы Орса изготов-

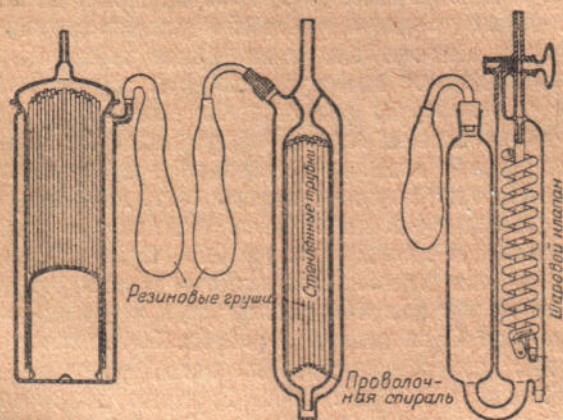


Рис. 391. Газоанализатор системы Дейтца.
Поглотительные сосуды к прибору Орса
(3 фигуры).

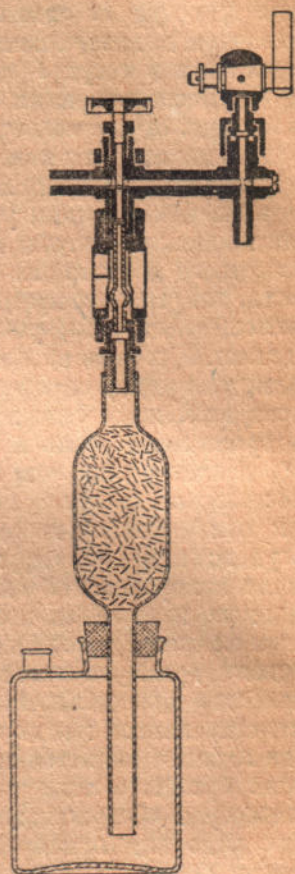


Рис. 392. Поглотительный сосуд и капиллярная трубка к газоанализатору Моно-Орса, $\frac{1}{10}$ натур. величины.

ляются с одним, двумя или тремя поглотительными сосудами для определения CO_2 или CO_2 и O_2 или еще и CO , применяемые в указанной последовательности (и с наполнителями), указываемые нами в § 146, преимущественно едким кали, фосфором или пятиокисью иода. В большинстве конструкций поглотительные сосуды и измерительная бюретка расположены в один ряд (рис. 394). В газоанализаторе Дэйц сосуды можно поворачивать вокруг центральной стойки; затвор осуществляется зажимами, помещенными на резиновой трубке, что дает возможность постоянно заполнять капилляры жидкостью, так что здесь отпадает возможность погрешности от «вредных» объемов. Погрешности при анализе газов бывают от неплотности кранов. Поэтому последние необходимо смазывать парафином, но не омыливающимися жирами. Другим источником

погрешностей является неплотность резонных соединений; неплотности легко обнаружить по изменению объема газа в совершенно закрытых сосудах. Следствием недостаточного наполнения поглотительных сосудов является появление к концу анализа пузырьков, переходящих из сосуда I в сосуд II (рис. 390), особенно, когда стеклянные трубки установлены вниз. Отсутствие вышеуказанных подставок для пучка трубок весьма сильно затрудняет быстрый анализ газа. Если, вследствие небрежности лаборанта, поглотительная жидкость попадает в измерительную бюретку, то результаты производимого анализа от этого не искажаются, поэтому анализ можно спокойно довести до конца.

Для дальнейшей же работы прибор необходимо прочистить и обновить воду в измерительной бюретке и уравнительном сосуде. Заново налитая вода должна иметь ту же температуру, что и вода водяной рубашки измерительной бюретки. Температура водяной рубашки, вследствие теплообмена, меняется от одного отсчета до другого и, следовательно, меняется и температура испытуемого газа; в результате этого при изменении температуры на 4°C , объем газа изменяется больше, чем на 1%. Поэтому необходимо, чтобы весь прибор во время работы находился при температуре окружающей среды. При замене воды, последнюю нагревают до температуры окружающей среды. Применять часто рекомендуемый в качестве запорной жидкости крепкий раствор поваренной соли (Л.), по мнению Винклера - Брунка (Л.), не целесообразно, следует применять обыкновенную, не дистиллированную воду. Однако, она ни в коем случае не должна быть щелочной, так как иначе будет поглощать CO_2 . Поэтому рекомендуется прибавлять к воде



Рис. 393. Двухходовый кран вместо трехходового для прибора Орса, показанного на рис. 390.

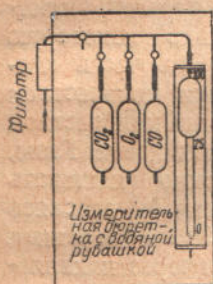


Рис. 394. Ручной газоанализатор Орса для анализа дымовых газов.

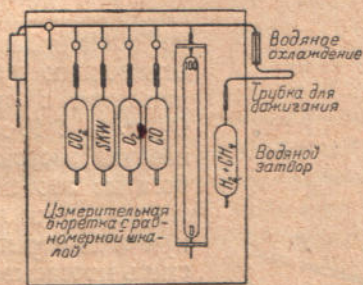


Рис. 395. Расширенный ручной газоанализатор Орса для анализа силовых газов.

Газ до дожигания предварительно смешивают с измеренным количеством воздуха. H_2O и CO_2 , образовавшиеся в результате дожигания, проходят в сосуд, наполненный водой. Измеряют уменьшение объема Δ , вызванное дожиганием или поглощением объема CO_2 , образовавшегося при дожигании CH_4 , а согласно закона Авогадро имеет место следующее уравнение:

$$2 \text{ об. ч.}^1 \text{ H}_2 + 1 \text{ об. ч.} \text{ O}_2 = 0 \text{ об. ч. H}_2\text{O}^2;$$

$$\text{следовательно, объем H}_2 = \frac{2}{3} \Delta;$$

$$2 \text{ об. ч. CH}_4 + 4 \text{ об. ч. O}_2 = 2 \text{ об. ч. CO}_2 + 0 \text{ об. ч. H}_2\text{O}$$

таким образом $\text{CH}_4 = \frac{1}{2} \Delta$ или $\text{CH}_4 = \text{CO}_2$.

При наличии одновременно обоих газов, по изменению объема нельзя еще вывести никакого заключения, однако легко определить содержание метана CH_4 , поглощая CO_2 , образовавшуюся после его сжигания. Тогда из общего сокращения Δ за счет метана падает $2\text{CH}_4 = 2\text{CO}_2$ и за счет водорода остается $\text{H}_2 = \frac{2}{3} (\Delta - 2 \text{ объема CO}_2)$. Менее надежно разделение CH_4 и H_2 , основанное на

¹ Об. ч. — означает объемную часть.

² Объем образовавшейся воды по сравнению с объемом реагировавших газов очень мал.

том факте, что водород сгорает уже при 400—500° С, тогда как метан — только при ярком калении (около 800° С). Капилляр для дожигания (платиновая петля) состоит из платины, нагреваемой бунзеновской горелкой. Иногда капилляр состоит из кварцевой трубки, внутри которой помещается губчатая платина. В автоматических газоанализаторах кварцевые петли накаляются электрически нагреваемой платиновой спиралью, помещаемой либо внутри, либо снаружи петли (рис. 395). Во избежание воспламенения в измерительной бюретке или водяном затворе взрывчатой газовой смеси, концы петли, соединенные с измерительной бюреткой, постоянно охлаждаются проточной водой (рис. 395). Работа прибора производится в следующей последовательности: с левой стороны в газоанализатор засасывается 100 см³ газа при атмосферном давлении. Сперва в поглотительных сосудах поглощается СО₂, а затем тяжелые углеводороды; перед подсчетом количества последних, исследуемые газы еще раз просасываются в сосуд с едким кали для устранения газов, выделяющихся дымящейся серной кислотой. После этого поглощаются в сосудах О₂ и СО; если СО поглощается аммиачным раствором полухлористой меди, то для устранения паров аммиака испытуемый газ еще раз просасывается в поглотительный сосуд с серной кислотой и оттуда для устранения кислотного дыма опять в сосуд с едким кали и только после этого производится отсчет. Большая часть остатка газовой пробы переводится в сосуд для кислорода; в измерительной бюретке оставляют только некоторую отмеренную часть. Эта часть смешивается с двойным количеством О₂, т. е. с 10-кратным количеством воздуха, засасываемым извне. Газы, богатые азотом, можно смешивать также и с кислородом, не опасаясь при этом взрыва. Эта измеренная смесь просасывается через накаляемую петлю в водяной затвор, затем высасывается обратно и снова проводится в петлю для полного дожигания. После этого измеряется сокращение объема газа; объем

СО₂, образовавшийся в процессе дожигания, определяется поглощением в сосуде с едким кали. Для проверки можно повторить дожигание, используя отдельные части газов, оставленные в сосуде для поглощения кислорода.

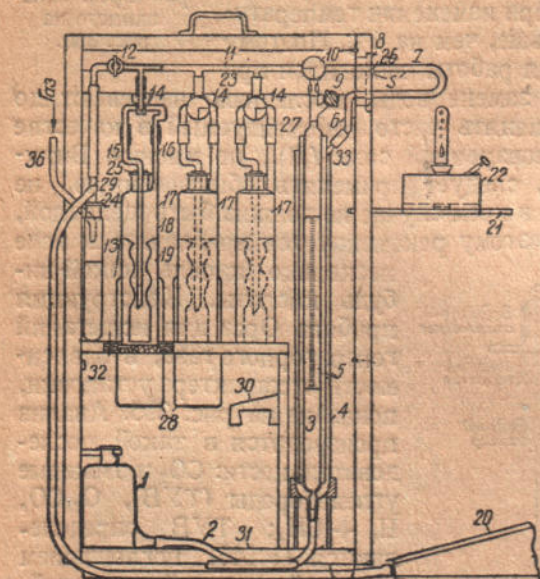


Рис. 396. Ручной газоанализатор с дожиганием «Норзе», системы Кнорре-Зимина для полного анализа отходящих газов.

В Советском Союзе за последние годы нашли широкое применение ручные газоанализаторы «Норзе» системы Кнорре-Зимина для полного анализа генераторных газов, изготовляемые заводом «Теплоприбор» в Ленинграде. Этот прибор (рис. 396) состоит из трех поглотительных сосудов, измерительной бюретки, кварцевой петли для дожигания горючих газов обогреваемой спиртовой лампой, уравнительного сосуда и резиновой груши. Первый сосуд служит для поглощения углекислоты, второй — тяжелых углеводородов и третий — кислорода. (Прим. перев.).

В качестве примера можно привести следующий расчет анализа светильного газа.

Первоначальный объем пробы газа	100 см ³
Отметка пробы газа после поглощения СО ₂ , отсчет	до 1,5, т. е. 1,5% СО ₂
Отметка пробы газа после поглощения тяжелых углеводородов	до 5,3, т. е. 3,8% ТУВ
Отметка пробы газа после поглощения О ₂	до 5,9, т. е. 0,6% О ₂
Отметка пробы газа после поглощения СО	до 13,3, т. е. 7,4% СО
Остаток пробы газов — 86,7 см ³ ; из него используют 12,2 см ³ для дожигания, следовательно отсчет	до 87,8

Отметка газовой смеси после введения воздуха следовательно состав смеси : $12,2 \text{ см}^3$ газа + + $87,0 \text{ см}^3$ воздуха.	0,8
Отметка газовой смеси после дожигания CH_4 и H_2 Таким образом, сокращение объема 19,6.	20,4
Отметка газовой смеси после поглощения CO_2	24,4
Поглощено $4,0 \text{ см}^3$, т. е. 4 см^3 CH_4 из $12,2 \text{ см}^3$ газа, или в остатке $86,7 \text{ см}^3$ газа; содержание метана	
• будет равно $4,0 \cdot \frac{86,7}{12,2} = 28,4 \text{ см}^3$, т. е. 28,4% CH_4	
Содержание водорода $\text{H}_2 = \left[\frac{2}{3} \cdot (19,6 - 2 \cdot 4,0) \right] \cdot \frac{86,7}{12,2} = 55\%$ H_2	
Остаток — азот N_2	<u>3,3% N_2</u> 100%

Вместо расширенного прибора Орса можно пользоваться прибором Гемпеля, снабженным разного рода трубками для сжигания. Следует отметить, что с увеличением числа поглотительных сосудов манипулирование прибором Орса усложняется по сравнению с прибором Гемпеля. Совершенно очевидно, что инженеру приходится поучиться, чтобы уметь правильно пользоваться прибором Орса, так как манипулирование прибором Орса представляет для начинающего некоторые трудности. Для газового анализа, точно так же, как для всякого испытания, имеет значение взятие подлежащей пробы; анализ может выявить лишь составные части той пробы, которая попала в измерительную бюретку, поэтому необходимо обратить серьезное внимание на то, чтобы отобранная проба была действительно средней пробой испытуемого газа. Во всяком случае мало основания опасаться разницы состава газов вдоль поперечного сечения дымового канала. Дымовые газы настолько хорошо перемешаны, что отбор их можно произвести обыкновенной заборной трубкой. При отборе газа непосредственно из зоны горения необходимо охлаждать заборные трубки водой. Если отбор газа производится близко от шибера, возле которого постоянно засасывается воздух, то возможны погрешности, обусловленные засасываемым воздухом. Если газопровод к прибору Орса недостаточно плотен, то в прибор частично засасывается воздух. При отборе пробы из смотрового отверстия, имеющегося обыкновенно в дымоходе, в последний необходимо ввести железную заборную трубу до самого потока отходящих газов. Если погружают заборную трубу только внутрь каменной кладки, то отбирается проба дымовых газов, содержащая еще воздух, так как вследствие существующего в дымоходе разрежения и пористости кладки через последнюю просасывается воздух внутрь дымохода. С другой стороны, заборную трубку не следует так глубоко погружать в дымоход, чтобы она накалялась, так как раскаленная сажа, находящаяся на железной трубе, восстанавливает CO_2 и анализ покажет тогда содержание CO , не содержащейся в испытуемых дымовых газах. Для достижения полной герметичности смотровое отверстие замазывают либо обыкновенной либо шамотной глиной, иначе через неплотности обмуровки поток воздуха поступает внутрь дымохода и будет засасываться главным образом воздух. При двойной каменной кладке с шлаковой засыпкой внутренность кладки уплотняется. При отборе пробы дымовых газов или вообще газовых смесей непосредственно из зоны горения, например, из топочного пространства или угольной шихты, пользуются заборными трубами, охлаждаемыми водой. При этих трубах заборное отверстие охлаждается водой циркулирующей туда и обратно между стенками двойной латунной трубки. Это охлаждение имеет целью возможно быстрое снижение температуры отобранного газа. С понижением температуры газовой смеси связано нарушение химического равновесия компонентов по отношению друг друга, стремящихся вступить в реакцию между собой, а иногда и с металлом газозаборной трубы. Быстрым охлаждением скорость этих реакций настолько сильно снижается, что изменение состава газов практически становится незаметным. Для эффективного охлаждения газа необходимо пользоваться газозаборными трубками лишь незначительных диаметров. Для этих целей пользуются бесшовными трубками красной меди, внутренним диаметром в 1 мм и наружным в 2 мм. Иногда пользуются трубами больших сечений, чтобы сопротивление

при всасывании не становилось слишком значительным (Л.). В § 40 нашей книги «Испытание машин» приводится описание анализа газов с применением газозаборной трубы с водяным охлаждением. В качестве особых устройств для забора газа приводим описание еще двух нижеследующих. Имея в виду, что продолжительность анализа прибором Орса даже при искусном манипулировании продолжается все же не менее 10 минут, то, пользуясь двумя приборами, можно забирать пробы все же только через каждые пять минут. При желании более быстрого отбора проб, газ набирают в парные бутылки с водяным затвором. Эти пробы одна за другой подводятся для анализа к прибору Орса. При желании производить *очень быстрый отбор проб одну за другой*, как то, например, необходимо при исследовании изменяющегося во времени состояния в различных точках, располагают бутылки по схеме, показанной на рис. 397. Слянки, от 1 до 4 соединенные на деревянной стойке, являются газохранилищами, в которые засасывается газ немедленно при открытии соответствующих зажимов. Вода, содержащаяся в слянках, засасывает газ, стекая в нижестоящую бутылку I.

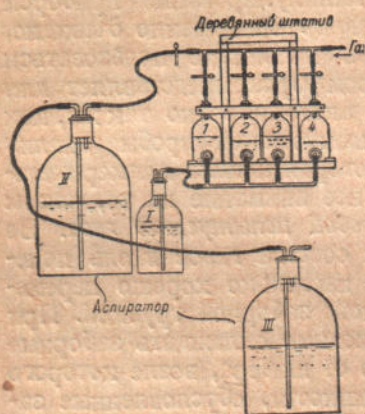


Рис. 397. Прибор для быстрого отбора нескольких проб исследуемого газа.

Посредством аспиратора, состоящего из бутылей II и III и при помощи соответствующих зажимов, газ отсасывается из проводки, которая таким образом перед отбором пробы заполняется испытуемым газом. Емкость слянок 1—4 составляет, примерно, 250 см³, что дает возможность произвести прибором Орса и второй контрольный анализ.

Другая задача заключается в *медленном отборе газовых проб в целях образования средней пробы*. Для получения ереднего состава дымовых или генераторных газов в течение многочасового испытания можно часто производить анализ, например, каждые четверть часа. Вместо этого удобнее отсасывать дымовые газы из места отбора медленно и равномерно посредством аспиратора, так что обыкновенным смешением получается проба среднего состава, который и анализируется прибором Орса. Два стеклянных баллона, на подобие оплетенных

бутылей, применяемых для перевозки жидкостей, соединяются в один аспиратор по образцу, показанному на рис. 397. Для достижения равномерности отбора следует так регулировать положение бутылей, чтобы разница уровней обеих водяных поверхностей оставалась неизменной. Кроме того поперечные сечения, свободные для прохода газа, не должны изменяться от загрязнений или от поворотов крана. Эти трудности устраняются при пользовании газосборником, у которого колокол аспиратора медленно подымается маятниковым часовым механизмом, причем подъем можно регулировать. Это устройство в соединении с прибором Орса заменяет автоматический газоанализатор (§ 147) по крайней мере при отборе средней пробы. (В Советском Союзе инженером Стыриковичем предложен аналогичной конструкции колокольный аспиратор с ртутным затвором. — Прим. перев.). Существенным моментом во всех этих установках для медленного отбора пробы газа является надлежащая герметичность всей установки. Водяное наполнение аспираторов в некоторой степени насыщается газами, если газовую пробу оставить на ночь в аспираторе. Все же не рекомендуется долго сохранять пробу газов. В случаях же необходимости нужно применять ртутные затворы.

§ 146. Наиболее употребительные реактивы для отдельных газов. Готовые растворы для наполнения поглотительных сосудов прибора Орса можно выписать от торгующих приборами организаций. Однако, считаем необходимым дать следующие указания по составлению реактивов (Л.).

а) Для поглощения CO₂: едкий кали. Одна весовая часть чедкого кали (коммерческого, не очищенного при помощи алкоголя) на 2 весовые части воды. 1 см³ этого раствора поглощает 160 см³ CO₂; следует, однако, использовать раствор только на 25% для обеспечения полного поглощения (допустимая величина поглощения — 40 см³ CO₂).

[[b]] **Ненасыщенные углеводороды** ряда C_nH_{2n} и C_nH_{2n-2} , т. е. этилен C_2H_4 , пропилен C_3H_6 ; ацетилен C_2H_2 , бензол C_6H_6 и толуол C_7H_8 поглощаются дымящейся серной кислотой (плотность — 1,938, т. е. с содержанием SO_3 — 24%). После поглощения выделяются кислотные пары, которые затем поглощаются раствором едкого кали. Поэтому необходимо предварительно удалять SO_3 из газовой пробы.

с) Для поглощения O_2 : 5 г пирогаллола растворяют в 15 см³ горячей воды и смешивают с раствором 120 г едкого кали в 80 см³ воды; допустимая величина поглощения лишь 2,25 см³ O_2 . Другой раствор: 17,5 г гипосульфита натрия и 6,5 г КОН растворяют в 100 см³ воды. Допустимая величина поглощения 2,5 см³ O_2 . Оба эти раствора сохраняются под слоем парафинового масла. Вследствие незначительной поглотительной способности указанных растворов удобнее пользоваться фосфором в палочках, помещаемых в дистиллированной воде прибора Орса, вместо стеклянных трубок и жадно поглощающих кислород; поглотительная способность их очень велика. Поглощение прекращается с окончанием свечения фосфора или с исчезновением образующегося дыма. Однако некоторое свечение еще раз появляется, если возобновляют (немного подождав) прополаскивание.

д) Для поглощения CO : аммиачный раствор хлористой меди: 250 г нашатыря растворяют в 750 см³ воды и смешивают (в бутылки с плотно закрывающейся резиновой пробкой) с 200 г хлористой меди; этот раствор вполне устойчив, если погрузить в него медную спираль. Чтобы сделать этот раствор годным к употреблению, следует добавить к нему треть объема жидкого аммиака плотности 0,91. Допустимая величина поглощения — 4 см³ CO . За последнее время себя хорошо зарекомендовал (Л.) раствор пятиоксида иода следующего состава: 25 г мелкого порошка пятиоксида иода в 3—4 приема растираются в ступке со 100—150 г 10% серной кислоты по возможности в однородную мелкую кашу. Хорошо размешанную взвесь отделяют от крупной, оставшейся в ступке пятиоксида иода, которую вновь растирают с частью слитой смеси до тех пор, пока вся она станет мелкой и однородной. Полученную смесь разжижают 100 г той же 10% серной кислотой и взбалтывают в течение нескольких часов в бутылки на болталке. При правильном изготовлении взвесь пятиоксида иода осаждается лишь медленно и легко вновь взбалтывается (при содержании в серной кислоте более или менее чем 10% SO_3 в ней появляются ненормальности, как то: крупные хлопья, кристаллы). CO превращается в CO_2 , поглощаемую в пипетке с едким кали. В то время, как хлористая медь представляет неудобство, заключающееся в незначительной ее поглотительной способности и непрочности соединения, работа с пятиоксидом иода J_2O_5 , согласно многочисленных отзывов, является вполне надежной и удовлетворительной, в особенности при большом содержании CO . Сжигание CO в CO_2 без изменения объема производится при пользовании водным раствором двуххлористого палладия $PdCl_2$ с примесью уксуснокислого натрия, каковой необходим для нейтрализации освобождающейся соляной кислоты. Образовавшаяся CO_2 поглощается едким кали и уменьшение объема происходит за счет CO , если, конечно, CO_2 была предварительно удалена из газа (Л.).

е) Для поглощения H_2 применяется коллоидальный палладий (Л). большей частью водород определяют дожиганием¹. В виду того, что определение химическим путем незначительных количеств CO в дымовых газах вообще мало надежно и нередко измерения дают отрицательное содержание, то удостовериться в полном отсутствии CO в дымовых газах можно посредством палладиевой бумаги, погружаемой в газопровод. В присутствии даже незначительных количеств CO палладиевая бумага быстро чернеет.

Как было ранее указано, прибором Орса и аналогичными газоанализаторами можно определять состав дымовых газов за исключением содержания в них водяного пара. Определение последнего затрудняется вследствие возможности конденсации части водяного пара при взятии пробы. Определение содержания водяного пара в газе производится пропусканием его через трубку, содержащую хлористый кальций. Другой, быстрый способ определения влажности, предложенный Малером, заключается в установке в поток газа гигрометра, основанного на конденсации. Сперва определяют температуру конденсации (точку росы), а затем соответствующим подсчетом определяется вес воды в кубическом метре газа. Для производства испытания достаточно отвести лишь часть газа, пропускаемую через прибор с небольшой скоростью, и следить за тем, чтобы не произошло конденсации в проводке; для генераторного газа достаточно, чтобы температура не превышала 65—70° С. Влажность газов можно определять также психрометрами. При анализе генераторных и дымовых газов, содержащих очень часто смолу и сажу, желателен контроль содержания последних. Углерод улавливается пропусканием его через трубку длиной около 150 мм, наполненную асбестом, причем для предотвращения смолы от конденсации трубку следует подогревать. После этого углерод сжигается в потоке кислорода и поглощение образовавшегося угольного ангидрида едким кали дает возможность определить количество углерода. Количество же смол, содержащихся в определенном объеме газа, определяется их конденсированием.

§ 147. Автоматические газоанализаторы. В автоматических химических газоанализаторах так же, как и в приборе Орса, отбирается проба; отделяется определенный объем и производится анализ. Это достигается при помощи столба жидкости, периодически поднимающейся и опускающейся. На рис. 398 и 399 даны упрощенные схемы двух автоматических газоанализаторов разных конструкций. Каждый из этих приборов состоит из механизма, приводящего в движение запирающую жидкость из измерительного сосуда, в котором отбирается определенное количество испытываемой газовой смеси, из поглотительных сосудов, в которых совершаются химические реакции, связанные с изменением объема

¹ До конца параграфа составлено переводчиком.

газовой смеси, и часового механизма, посредством которого изменения объема указываются, регистрируются или передаются на расстояние.

Аппарат, приводящий в действие прибор (датчик), состоит (рис. 398) так же, как и приборы Орса, из уравнительного сосуда, который в данном случае механически перемещается вверх в вниз, иногда посредством тяги дымовой трубы или более современным способом — реверсивным электромотором. Газоанализатор, показанный на рис. 399, использует в качестве источника работы напор воды из водопровода, вода постепенно заполняет сифонные трубки, подымается до уровня DD' , после чего вся вода сливается через широкую сифонную трубку до нижней ее части. На рис. 400 показаны детали такого аппарата.

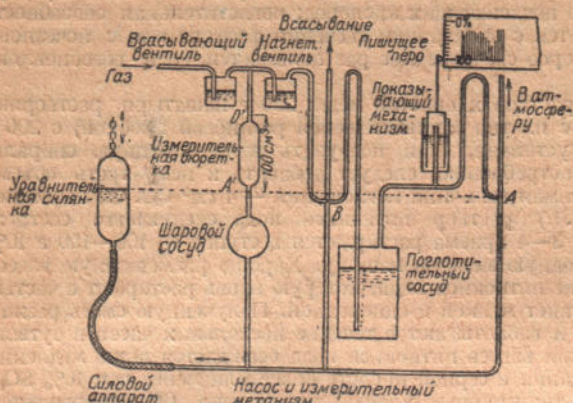


Рис. 398. Схема автоматического газоанализатора абсорбционного типа.

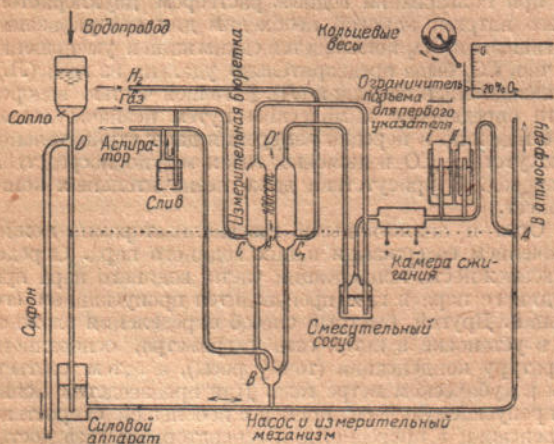


Рис. 399. Схема автоматического газоанализатора абсорбционного типа с дожиганием.

Подъем и опускание дает возможность подыматься и опускаться запирающей жидкости во всех трубках, связанных нижней соединительной трубкой (рис. 398, 399). В некоторых местах колено трубки выведено выше над DD' для предотвращения слива запирающей жидкости.

Вверху насосного и измерительного аппарата на рис. 398 видны два обратных клапана, служащие засасывающим и нагнетательным клапанами водяного поршня. Таким образом, вода засасывает газ в оба сосуда и гонит его дальше в поглотительный сосуд и к часовому механизму. Однако, это происходит лишь тогда, когда запирающая жидкость замыкает трубки в точках B и A , так что газы более не могут выходить наружу. Замыкание происходит в точке A в тот момент, когда измерительный сосуд наполняется 100 объемными частями газовой смеси; колокол измерительного аппарата вмещает ровно 100 объемных частей и поднимает пишущий штифт до 0% в том случае, когда газы не поглощаются; при полном же поглощении измеряемого газа колокол вовсе не подни-

мается до уровня DD' , после чего вся вода сливается через широкую сифонную трубку до нижней ее части. На рис. 400 показаны детали такого аппарата.

В качестве запирающей жидкости служит вода, не требующая частого обновления, что является преимуществом уравнительного сосуда данной конструкции («Адос»). В газоанализаторе, показанном на рис. 401, запирающей жидкостью служит ртуть. Под давлением воды ртуть подымается вверх по трубкам 1 и 2, причем в трубке 1 ртуть подымается несколько быстрее, так как нижние сосуды соединены между собой лишь двумя малыми отверстиями. Как только ртуть отрывается внизу трубки 1, содержащаяся в ней ртуть переходит в трубку 2, вода сливается, давление падает и ртуть в трубке 2, а также в сообщающейся трубке A , понижается. Вся ртуть собирается в большом сосуде справа, затем переходит в малый сосуд (слева) и запирает доступ воды в трубку 1, и работа газоанализатора начинается сначала. Все вместе взятое является оригинальным, действующим снизу вверх подъемным (сифонным) механизмом для ртути.

мается и остается на высоте, пропорциональной величине 100%; таким образом, пишущий штифт проводит на бумаге черту тем более короткую, чем большее количество поглощенного газа. Сам по себе, как шаровой сосуд под измерительным сосудом, так и затвор в точке *B* у газоанализатора может и отсутствовать. Однако этот шаровой сосуд служит для увеличения объема газа, засасываемого из газопровода, а также для форсирования продвижения газа в последнем. При пользовании шаровым сосудом не следует пропускать содержащийся в нем газ через поглотительный сосуд, чтобы не нагружать бесполезно поглотительную жидкость. Поэтому дают возможность газам, содержащимся в шаровом сосуде,

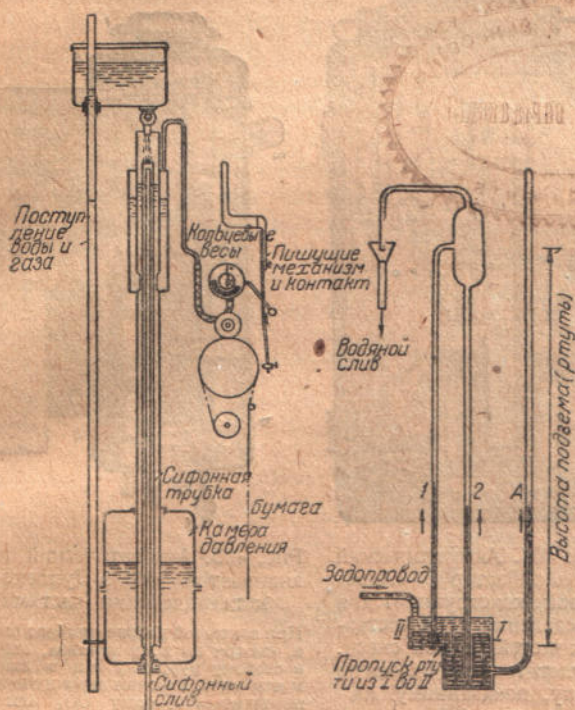


Рис. 400. Силовой аппарат с водоструйным насосом, фирмы «Адос», $\frac{1}{8}$ натур. величины.

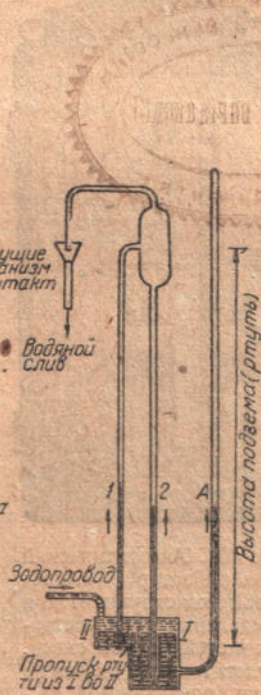


Рис. 401. Ртутный силовой аппарат с гидравлическим давлением, фирмы «Моно».

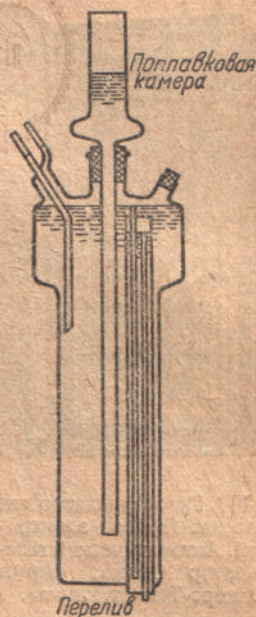


Рис. 402. Поглотительный сосуд для постоянного уровня поглотительной жидкости, фирмы «Адос», $\frac{1}{8}$ натур. величины.

выйти наружу. Замыкание в *B* происходит незадолго перед замыканием в *A* и только последний служит для измерения. Большинство автоматических газоанализаторов применяется для определения содержания CO_2 в отходящих газах, так как содержание углекислоты по соображениям, излагаемым в §§ 148 и 149, является критерием для суждения об избытке воздуха. Поглотительной жидкостью, так же как и в приборе Орса, служит едкий кали. Так как объем едкого кали увеличивается от поступающей CO_2 , то нулевая точка указателя несколько смещается, если увеличение объема предварительно не регулируется; это регулирование можно сделать в поглотительном сосуде, показанном на рис. 402.

В действительности же непосредственным показателем избыточного воздуха является содержание O_2 , оставшегося в испытуемом газе. Поэтому содержание O_2 в дымовых газах обыкновенно определяется дожиганием с H_2 (рис. 399). В газоанализаторе, показанном на этом рисунке, газ непрерывно засасывается при помощи водо- или пароструйного насоса. При отсутствии свободного пути через газоанализатор газ проходит пузырьками через воду в обводном сосуде, что обеспечивает постоянное продувание подводящей газовой трубки. Если в точке *B* запирающая жидкость освобождает путь для газа, то последний проходит по более удобному пути через *C* и *B* и таким образом левый измерительный

сосуд наполняется испытуемым газом. Равным образом правый измерительный сосуд наполняется водородом, поступающим из стального баллона. Подъем запирающей жидкости вызывает запираение газа у точек *B* и *CC*₁. Оба газа смешиваются в смесительном сосуде и поступают затем в камеру сгорания в которой кислород, содержащийся в газовой смеси, сжигается в H_2O . Здесь также, как это видно на рис. 398, выход через отверстие еще открыт. Если запирающая жидкость замыкает это отверстие, то оба измерительных сосуда наполняются как раз нужным количеством газов. Так как объем воды, образовавшейся от дожигания благодаря конденсации, равен нулю, то объем газовой смеси в камере

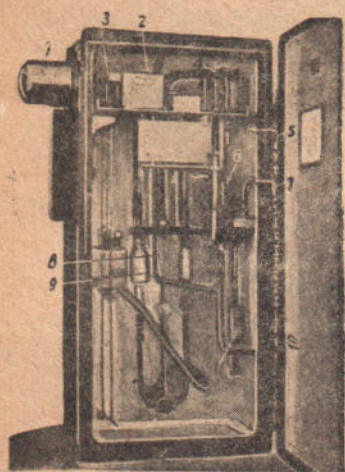


Рис. 403. Газоанализатор для кислорода. Привод электрический. Автоматический газоанализатор Омекко, фирмы «Юнкерс-Теплотехника».

1. Взрывобезопасный мотор; 2. Сменная передача; 3. Подъемный механизм; 4. Самоочищающийся прибор; 5. Газ с O_2 ; 6. Измерительный колокол; 7. Газовая смесь; 8. Уравнительная склянка; 9. Измерительные сосуды; 10. Трубка для сжигания; 11. Смесительный и промывательный сосуд.

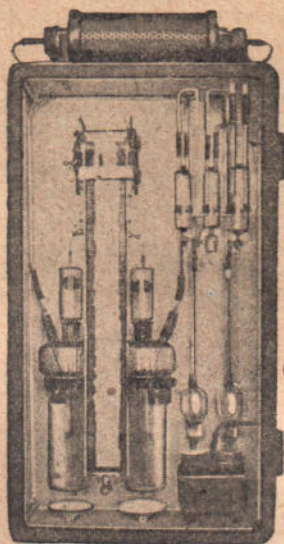


Рис. 404. Автоматический газоанализатор «Адос» (новой конструкции) для определения двух составных частей газовой смеси. Поглощительные сосуды по типу, показанному на рис. 402.

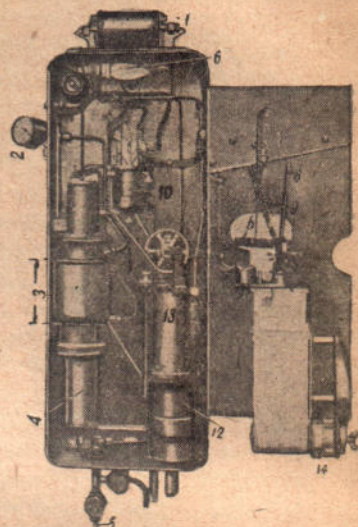


Рис. 405. Автоматический газоанализатор «Моно-Дуплекс» с металлическими частями.

При закрытой двери прибора штифт *a*, смотря по ходу анализа, отводит в сторону рукоятку *b* и в зависимости от положения переключателя, передвигает стрелку CO_2 или CO ; другая стрелка всякий раз затормаживается электромагнитом; 1. Соединительная камера с окисью меди; 2. Вакуумметр на всасывающем трубопроводе; 3. Объем пробы газа; 4. Ртуть — запорная жидкость; 5. Подача раствора едкого кали под давлением около 1 атм; 6. Освещение шкалы; 7. Задняя сторона шкалы; 8. Указатель CO_2 ; 9. Указатель CO ; 10. Переключатель; 11. Тормозной магнит; 12. Поглощительный сосуд; 13. Измерительный сосуд; 14. Часовой механизм.

сгорания уменьшается на тройной объем содержащегося в нем кислорода, и указатель прибора поднимается тем меньше, чем больше объем исчезнувшей воды. У этого анализатора работают, однако, два колокола, причем левый колокол, как менее нагруженный, принимает количество газа, соответствующее 80% всей пробы. Как только левый колокол доходит до упора, поднимается правый колокол, который таким образом показывает область от 80 до 100% газового остатка или от 20 до 0% O_2 , в соответственно увеличенном масштабе. Тот же результат достигается также с помощью одного измерительного сосуда, если пишущее перо включить на мертвый ход, соответствующий 80% остатка газа. В данном случае перо не проводит черточек на диаграммной бумаге, но только передвигается над последней. В момент, когда действие датчика прекращается и таким образом пишущий штифт достигает своего наивысшего положения, кольцевые весы приводятся в действие вследствие перемены давления в датчике и прижимают пишущее перо к диаграммной бумаге, на которой появляется точка. Это устройство (рис. 400) является механическим видоизменением известной конструкции

электрического самопишущего прибора с падающей дужкой. Оно устраняет трение пера о бумагу, но главное то, что таким путем легко осуществить передачу показаний самописца на расстояние; передачу можно осуществить посредством щеточного реостата либо кольцевой трубки типа фирмы «Сименс» (рис. 23, 24). Камера сжигания (рис. 403) состоит из кварцевой трубки, нагреваемой при помощи электричества, наполненной губчатой платиной или более дешевым заменителем, через которую пропускают сжигаемую газовую смесь. Необходимое для сжигания количество водорода направляется через такую же трубку для очистки водорода от возможного содержания в нем кислорода. В конструкциях, показанных на рис. 398, 399, все детали сделаны не взаимозаменяемыми, но можно, конечно, отдельные любые детали конструкций комбинировать друг с другом; можно снабдить поглотительный сосуд датчиком, работающим от внешней энергии, а также точечным самопишущим механизмом. Многочисленные вариации и тонкости конструкций автоматических

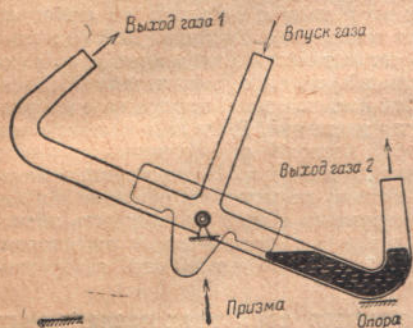


Рис. 406. Переключатель с ртутным затвором автоматического газоанализатора «Моно».

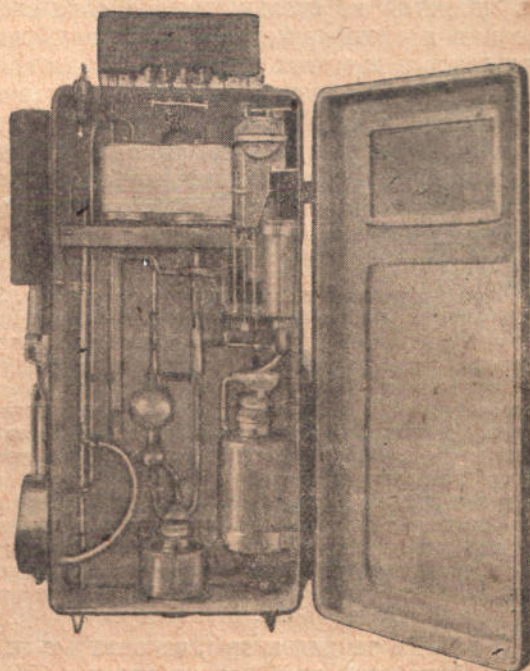


Рис. 407. Автоматический газоанализатор на CO_2 и $\text{CO} + \text{H}_2$ [Ленинградского завода «Тепло-прибор»].

химических газоанализаторов подробно описаны в каталогах фирм, изготовляющих означенные приборы для самых разнообразных назначений. Различные конструктивные оформления автоматических газоанализаторов показаны на рис. 403—405.

Нормальный газоанализатор для отходящих газов (химический) определяет содержание CO_2 (рис. 398, посредством поглощения KOH) или содержание O_2 (рис. 399, посредством дожигания). При пропускании через камеру сжигания смеси пробы газа с воздухом, в ней сгорает также несгоревшая еще часть CO ; если пропустить эту газовую смесь затем через поглотительный сосуд с едким кали, то последний поглотит и объем CO_2 , образовавшийся от дожигания CO и равный первоначальному объему CO . В этом случае пишущий механизм регистрирует содержание $\text{CO}_2 + \text{CO}$ в первоначальном объеме пробы газа. Таким образом, ведется регистрация CO_2 и $\text{CO}_2 + \text{CO}$ и по разнице обоих значений определяют несгоревшую CO . Для осуществления этого имеются две конструктивные возможности. Можно соединить два аппарата, приводящиеся в действие датчиком; из них один служит для определения CO_2 , другой для $\text{CO}_2 + \text{CO}$; показания самопишущего механизма обоих регистрируются на одной и той же диаграммной ленте (рис. 404 газоанализатор «Адос» новой конструкции). Можно также один и тот же аппарат приспособить для определения попеременно то одного, то другого компонента газовой смеси. В таких случаях первый раз измеренные 100 объемных частей газа пропускают через поглотительный сосуд

к самопишущему механизму, во второй раз такой же объем газовой смеси пропускают околным путем через нагретый раствор хлористой меди, в котором СО превращается в CO_2 и эту пробу направляют в поглотительный сосуд, а оттуда к пишущему механизму (рис. 405, газоанализатор Моно-Дуплекс). Запись на диаграммном листе такого газоанализатора изображает две перекрывающиеся друг друга серии штрихов. Разность обоих показаний заштрихована в два раза более толстым штрихом, чем основное показание (CO_2), так что горючие газы определяются как разность обоих показаний. То обстоятельство, что при этом в анализ попадают H_2 , CH_4 и др. несгоревшие газы и притом не с точными своими объемами, в конечном счете вредит мало, так как основной задачей анализа газов является не столько точное определение содержания несгоревших газов, сколько предотвращение по мере возможности самого наличия таких несгоревших газов в дымовых газах. Для направления газа по меняющемуся пути применяется переключатель на три направления с ртутным затвором, изображенный на рис. 406. Давление датчика попеременно замыкает то правую, то левую сторону переключателя, могущего поворачиваться на опорной призме, освобождая то прямой, то обходной путь движения газов (рис. 406). Автоматические газоанализаторы изготавливаются для ряда промышленных надобностей специального назначения, в связи с чем применяются всевозможные поглотительные жидкости.

Автоматический газоанализатор на аммиак. Завод «Теплоприбор» в Ленинграде сконструировал и выпустил в продажу новый автоматический газоанализатор для исследования аммиака в газовой смеси. Газоанализатор-абсорбционного типа и построен на принципе измерения разницы объемов исследуемого газа до и после поглощения аммиака. Действие прибора происходит в следующем порядке: определенное, автоматически измеренное в волюмометре количество газа пропускается через поглотительный сосуд с поглотительной жидкостью. Содержащийся в последнем в газовой смеси аммиак поглощается и остаток газа направляется в колокол, вследствие чего последний приходит в движение. Движение колокола при помощи храпового механизма передается стрелке прибора, которая одновременно указывает и регистрирует на диаграммной ленте процентное содержание аммиака. В конструкции механизма движения диаграммной ленты впервые применена система планетарной передачи с электромотором типа Уорена, что значительно упрощает конструкцию и дает возможность значительно уменьшить габариты газоанализатора. Прибор снабжен гидравлическим эжектором. Достижимая газоанализатором точность измерения $\pm 0,5\%$. Производительность газоанализатора до 25 анализов в час. (Прим. перев.).

§ 143. Газоанализаторы, основанные на физических свойствах исследуемых газов. Автоматический газоанализатор «Унограф» д-ра Доммера для определения содержания CO_2 основан на принципе использования разницы вязкости газов. В данном случае необходимым условием также является отсутствие в газовой смеси иных газов, кроме CO_2 и воздуха. Конструкция газоанализатора заключается в следующем: насос всасывает через две одинаковых капиллярных трубки воздух и очищенный газ. Потеря давления в капиллярных трубках зависит от плотности и вязкости газа, а поэтому и от содержания в нем CO_2 . Эта разность давлений, составляющая, примерно, $1/600$ общего давления для 1% содержания CO_2 и служит мерилем для определения содержания CO_2 . Так как водоструйный насос производит разрежение в 600 мм водяного столба, то одному проценту CO_2 соответствует разность давлений в 1 мм водяного столба. Разность давлений определяется кольцевым манометром с масляным наполнением и регистрируется пишущим механизмом на диаграммной ленте.

Автоматический газоанализатор «Ранарекс» фирмы AEG основан на принципе использования разности удельных весов воздуха и испытуемой газовой смеси в зависимости от содержания в ней CO_2 . В газоанализаторе имеются две турбины, связанные между собой шарнирной передачей со стрелкой, передвигающейся по шкале, отградуированной в процентном содержании CO_2 . Вентиляторы, вращающиеся со скоростью 3000 оборотов в минуту, создают воздушный и газовый потоки, направляющиеся в указанные 2 турбины. Разность моментов вращения лопаток обеих турбин и служит для определения содержания CO_2 в исследуемых газах. (Прим. перев.).

Электрические газоанализаторы основаны на различной теплопроводности газов, используемой для определения содержания в смеси CO_2 , $\text{CO} + \text{H}_2$, SO_2 и др. газов. Определение теплопроводности газовой смеси электрическим методом заключается в сравнении теплопроводности исследуемого газа с теплопроводностью нормального газа (обычно принимается воздух) при одинаковой их температуре. Приводим таблицу физических свойств различных газов.

	Воздух	O ₂	CO	CO ₂	N ₂	CH ₄	H ₂ O	H ₂
Плотность при 0 и 760 мм Hg (г/см ³)	1,2928	1,429	1,2504	1,9768	1,2507	0,7168	0,803	0,089
Вязкость при 20° $\eta \cdot 10^6$	—	193	165	140	167	104	90,4	84,5
Теплопроводность по отношению к воздуху, теплопроводность которого = 100	100	101,5	95,5	59,7	99,8	127,0	водяной пар при 45°С 75	733,0

[В качестве измерительной схемы для электрических газоанализаторов применяется мостик Уитстона, в котором плечо А, изготовленное из очень тонкой платиновой проволоки, помещается в исследуемый газ. Другое плечо С из такой же проволоки находится

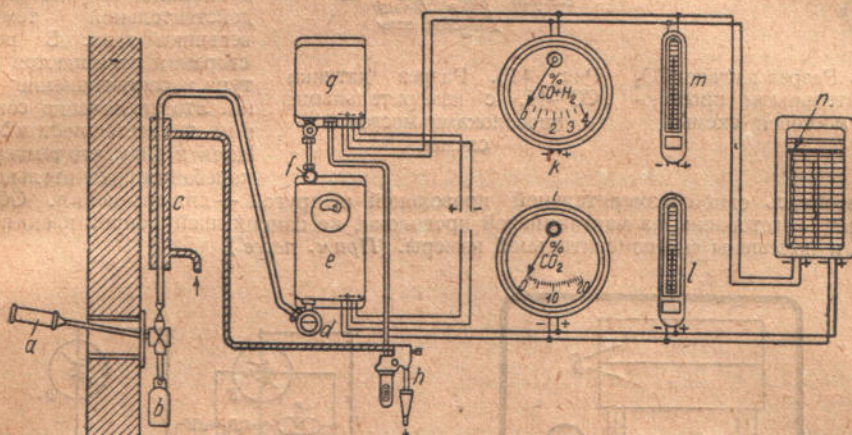


Рис. 408. Общая схема установки автоматического газоанализатора «Сименс и Гальске» на CO₂ и CO+H₂:

a — керамический фильтр; *b* — конденсационный горшок; *c* — холодильник; *d* — контрольный фильтр; *e* — датчик CO₂; *f* — дроссель; *g* — датчик CO+H₂; *h* — эжектор с водяным манометром; *i* — указатель CO₂; *k* — указатель CO+H₂; *l* — счетчик CO₂; *m* — счетчик CO+H₂; *n* — самопишущий прибор с падающей дужкой.

в нормальном газе (обычно — воздух). При прохождении тока, проволоки А и С нагреваются и, так как они находятся в различных газах, обладающих различной теплопроводностью, то их температура, а также и сопротивления будут различными. Для увеличения чувствительности два противоположные плеча А, В находятся в исследуемом газе, а другие два С, D — в воздухе. Измерительным прибором служит либо гальванометр Е, либо самопишущий прибор F, включаемый параллельно с гальванометром электрического газоанализатора. Конструкция такого газоанализатора фирмы «Сименс и Гальске» показана на рис. 408. Газы всасываются через карборундовый фильтр *a* и направляются в холодильник *c*, где конденсируются содержащиеся в нем водяные пары, наличие которых может влиять на результаты анализа. Конденсат стекает в конденсационный горшок *b*. Далее газ проходит через контрольный фильтр *d*, наполненный ватой. Скорость притока газа регулируется при помощи дросселя. Отсюда газ проходит в датчик для CO₂ (*e*). Затем газ проходит в датчик для CO+H₂ (*g*), соединенный с эжектором *h*, причем скорость потока можно контролировать водяным манометром, смонтированным вместе с эжектором. Разность уровня в манометре устанавливается так, чтобы она соответствовала интенсивности газового потока около 0,3 л в минуту. Мощность эжектора настолько велика, что постепенное легкое загрязнение карборундового фильтра или колебания тяги не вызывают сколько-нибудь заметных изменений скорости газового потока. Напряжение потребляемое газоанализатором составляет 6 в постоянного тока. Он может быть приключен через соответствующий выпрямитель к сети переменного тока; в этом случае для выравнивания колебаний напряжений применяются лампы с железной нитью. По своей конструкции датчик для CO₂ (рис. 409) представляет собой металлический брусок, обеспечивающий равномерное распределение температуры, снабженный 4 каналами. В каждом канале натянута платиновая нить, нагреваемая электрическим током до 100°С. В два канала, по которым протекает исследуемый газ, помещены два противоположные плеча моста. Эти каналы соединены с основным каналом, причем сечение этих каналов подобраны с таким расчетом, что колебания

скорости газового потока в очень широких пределах не оказывают заметного влияния на температуру проволоки. Два других канала наполнены воздухом и в них помещены два других

плеча моста, нагреваемые до той же температуры измерительным током. Содержание CO_2 определяется посредством измерения теплопроводности исследуемых газов, которое изменяется в зависимости от процентного содержания в них углекислоты. К камере датчика $\text{CO} + \text{H}_2$ (рис. 410) происходит дожигание этих газов и выделяемая при этом теплота и служит мерилем для измерения. Газ в смеси с воздухом проходит около проволоки, нагреваемой электрическим током. Вследствие каталитического действия платины горючие газы сгорают уже при температуре $400 - 500^\circ \text{C}$, следовательно значительно ниже действительной температуры вспышки газа. В результате сгорания повышаются температура и сопротивление проволоки. Это увеличение сопротивления отмечается мостом Уитстона. Имея в виду, что температурные колебания сравнительно велики,

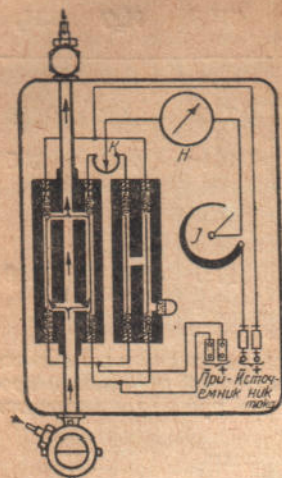


рис. 409. Разрез датчика CO_2 измерительными проволоками мостовой схемы.

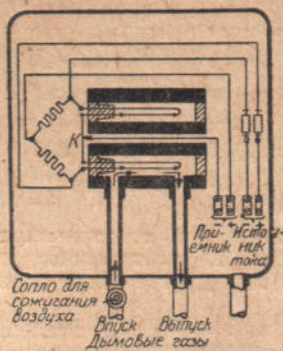


рис. 410. Разрез датчика $\text{CO} + \text{H}_2$ с измерительными проволоками мостовой схемы.

можно обойтись одной измерительной проволокой и другой — для сравнения. Оба других плеча моста изготовлены из манганиновой проволоки, не изменяющей сопротивления с температурой, и помещены вне измерительной камеры. (Прим. перев.).

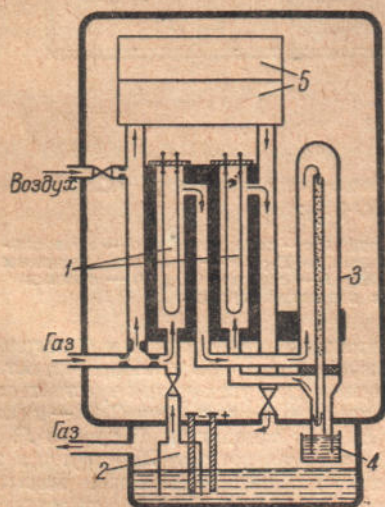


рис. 411. Разрез автоматического газоанализатора «Сименс и Гальске» на O_2 : 1—измерительные камеры на O_2 ; 2—прибор для электролитического получения водорода; 3—сжигательная печь; 4—сосуд для конденсата; 5—измерительная камера на $\text{CO} + \text{H}_2$.

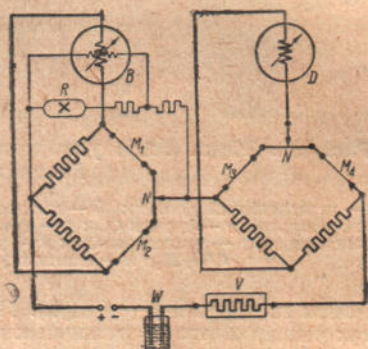


рис. 412. Схема электрического включения автоматического газоанализатора «Сименс» на O_2 и $\text{CO} + \text{H}_2$:

В—гальванометр со скрещенными рамками газоанализатора на O_2 ; R—регулирующее ламповое сопротивление; M_1, M_2 —проволочки измерительных камер на O_2 ; N—сопротивление для установления нуля прибора; W—прибор для электролитического получения водорода; V—сопоставительная печь; D—гальванометр с подвижной рамкой для измерения $\text{CO} + \text{H}_2$; M_1, M_2 —проволочки измерительной камеры на $\text{CO} + \text{H}_2$.

Новый электрический газоанализатор на O_2 ¹. Наличие кислорода в отходящих газах является характерным показателем избытка воздуха и, следовательно, совершенства горения. В некоторых отраслях промышленности, как, например, металлургической, коксо-химической, силикатно-цементной, по-

¹ Описание нового газоанализатора на O_2 составлено переводчиком.

требляющих преимущественно смешанное газообразное топливо, как-то смесь коксового и генераторного газа, коксового и доменного газа с переменным содержанием CO_2 , наиболее целесообразным методом определения избытка воздуха является анализ отходящих газов на содержание в них O_2 . При незначительном максимальном содержании CO_2 (как, например, в коксовом газе) при изменении избытка воздуха содержание кислорода меняется в большей степени, чем содержание углекислоты. Необходимо отметить, что метод определения избытка воздуха по содержанию O_2 имеет еще и то преимущество, что наличие в отходящих газах остальных составных частей не вызывает погрешностей в показаниях газоанализатора на O_2 . Точно так же, как и в электрических газоанализаторах на CO_2 и $\text{CO} + \text{H}_2$, определение содержания O_2 в новом газоанализаторе фирмы «Сименс и Гальске» основано на измерении теплопроводности газовой смеси, в зависимости от содержания в ней кислорода. Смесь отходящих газов с вводимым извне в избытке водородом пропускают через электрическую печь, в которой сгорает весь кислород с частью водорода. Разность содержания водорода до и после сгорания и служит мерилем для определения содержания O_2 . Так как сгорание водорода вызывает значительное изменение теплопроводности исследуемых отходящих газов, то содержание O_2 может быть определено с большой точностью. Конструкция нового газоанализатора схематически показана на рис. 411. Исследуемый газ засасывается в газоанализатор с постоянной скоростью. Часть газов ответвляется и в смеси с водородом вводится в первую измерительную камеру 1 на O_2 . Далее газовая смесь поступает в электрическую печь 3, где часть водорода сгорает со всем кислородом. В каждой измерительной камере помещена платиновая проволока, нагреваемая электрическим током до 80°C . Образовавшийся в процессе горения водяной пар конденсируется и стекает в конденсатор 4. Из электрической печи газовая смесь без кислорода и части водорода поступает во вторую измерительную камеру 1, из которой выходит наружу. Разность температур платиновых проволок в измерительных камерах, обусловленная изменением теплопроводности газовой смеси до и после сжигания вызывает соответственное изменение их электрического сопротивления, которое измеряется мостом Уитстона. Содержание O_2 измеряется включенным в мост показывающим или самопишущим гальванометром, со шкалой градуированной непосредственно в процентах O_2 . Эти гальванометры обычно градуированы от 0 до 8% O_2 , но фирмой «Сименс» выпускаются также гальванометры со шкалой 0—4% и 0—12% O_2 . Водород получается электролизом воды в специальной ванне, расположенной внизу газоанализатора. В корпусе газоанализатора на O_2 можно смонтировать еще и газоанализатор «Сименса» на $\text{CO} + \text{H}_2$ ¹, работающий параллельно.

Газоанализаторы, основанные на принципе сравнения показателей преломления. Интерферометр фирмы «Цейсс» служит для определения состава газовой смеси, причем для этого используются ее оптические свойства. Принцип действия газоанализатора заключается в следующем: световые лучи, исходящие от лампочки накаливания, проходят через две камеры длиной 10—20 см; из них одна наполнена исследуемым газом, другая для сравнения — воздухом; лучи отражаются зеркалом, после чего вторично проходят через камеры. Входящие и возвращающиеся лучи интерферируют между собою, вследствие чего в поле зрения образуются интерференционные спектры с цветными и черными линиями. Спектр и в особенности его черная линия меняет свое положение в поле зрения в зависимости от показателя преломления газа, находящегося в камере. Таким образом, наблюдают два спектра, черные линии которых смещаются в отношении друг друга при прохождении исследуемого газа через одну из камер. Обе черные линии опять приводятся к совпадению при помощи оптической компенсации. По перестановке последней можно судить о разности коэффициентов преломления исследуемого газа и воздуха. Учитывая, что коэффициент преломления зависит от колебания давления и температуры, интерферометром можно пользоваться так же как очень чувствительным измерителем давления. Однако, им можно пользоваться лишь для прямого отсчета, без регистрации показаний, причем показания даются интерферометром не непосредственно, но помощью

¹ Конструкция которого изображена на рис. 412.

установки на нуль. Наличие этих неудобств ограничивает применение интерферометра лишь случаями кратковременных испытаний.

§ 149. Коэффициент избытка воздуха. Основной задачей газового анализа является определение избытка воздуха в отходящих газах. Если процесс горения совершался бы с теоретически необходимым количеством воздуха, то отходящие газы вовсе не содержали бы кислорода. В действительности же отходящие газы содержат кислород и наличие последнего указывает на то, что подведенное для горения количество воздуха было больше необходимого. Термин — избыток воздуха для колосниковой решетки, однако, является неверным. Наличие кислорода в отходящих газах — результат того, что слой топлива был недостаточно высок, чтобы при реакции кислород мог быть полностью поглощен. Таким образом, речь может идти вернее о недостаточном количестве углерода для подведенного воздуха, чем об избытке воздуха для наличного угля. Количество воздуха, прошедшего через топливо, определяет не состав отходящих газов, но сжигаемые количества топлива и, следовательно, количества полученного тепла. Избыток воздуха может образоваться лишь в том случае, если горючие газы в дымоходе разжижаются засасываемым холодным воздухом (см. «Испытание машин» § 40 или Л.). Знание избытка воздуха полезно потому, что от избытка зависят тепловые потери с отходящими газами. Эти потери при определенной температуре бора повышаются с возрастанием количества отходящего газа. Вместе с тем из-за избытка воздуха дымовая труба оказывается порою по размерам недостаточной в то время, как при хороших условиях горения размеры ее были бы достаточными. Коэффициент избытка воздуха l указывает отношение количества воздуха, имеющегося в отходящих газах, к количеству воздуха, необходимого для полного сгорания; $l = L/L_0$, если под L подразумевать фактически подведенное, а под L_0 — количество воздуха, необходимое по химическому составу топлива. Вычисление коэффициента избытка воздуха базируется на следующих соображениях. К кислороду, имеющемуся в топочных газах (который является избытком кислорода) и обозначаемому через o следует отнести количество азота, равное $\frac{79}{21} o$, так как оба газа содержатся в воздухе в пропорции 79 и 21. Следовательно, $\frac{79}{21} o$ является избыточным азотом. Кроме того, за общее количество наличного азота рассматривается при анализе остаток газов и обозначается через n . Необходимое количество азота, соответствующее составу воздуха, равно величине $n - \frac{79}{21} o$, практически использованное же количество равно n , так что коэффициент избытка воздуха $l = \frac{n}{n - \frac{79}{21} o}$. (2)

Вместо отношения количеств воздуха можно поставить отношения количеств азота. В этом выражении под n и o подразумевается процентное содержание этих газов в исследуемой газовой смеси. Этот метод определения l правилен лишь при полном отсутствии окиси углерода в отходящих газах. Если бы при совершенном горении была использована еще часть оставшегося кислорода, то эта его часть не была бы избыточной. Так как для горения одной объемной части окиси углерода требуется $\frac{1}{2}$ объемной части кислорода, то измеренное количество o следует уменьшить на $\frac{1}{2} c$ — количества измеренной окиси углерода. Тогда коэффициент избытка воздуха будет равен

$$l = \frac{n}{n - \frac{79}{21} \cdot \left(o - \frac{1}{2} c \right)} \quad (3)$$

В топливе не должно быть ни свободного азота, ни кислорода. Поэтому эти формулы неприменимы для процессов горения большинства силовых газов. В § 149 приводится приближенная формула (9), а также формулы для топлива с содержанием азота (10 до 12).

Пример. Пусть состав исследуемого дымового газа следующий: 6,8% CO₂, 12,8% O₂ и следовательно N₂ = 80,4%; коэффициент избытка воздуха

$$l = \frac{80,4}{80,4 - 48,1} = 2,48.$$

Из анализа 11,9% CO₂, 5,8% O₂, 1% CO и N₂ 81,3% следует, что $l = 1,32$. Далеко не безразлично, в каком месте дымохода производится отбор газовой пробы. Дымовые газы из-за неплотности обмуровки непрерывно всасывают воздух. Для иллюстрации сказанного приводим состав газовых проб, отобранных одновременно в разных частях жаротрубного котла: а) в конце жаровой трубы: 16,9% CO₂, 2% O₂, следовательно 81,1% N₂. Коэффициент избытка воздуха $l = 1,1$; б) в борове: 11% CO₂, 8,8% O₂ и 80,2% N₂. Коэффициент избытка воздуха $l = 1,7$. Как видно из состава газов, во втором случае дополнительно поступила еще половина того количества воздуха, которое было введено в топку для горения. По анализу газов, отобранных в борове казалось бы целесообразным увеличить слой топлива, что очевидно привело бы к образованию окиси углерода. При этом состоянии котла кочегару нельзя будет добиться снижения избытка воздуха в борове ниже 1,7, поэтому следует уплотнить обмуровку. В этом и заключается ответ на вопрос о выборе надлежащего места для забора пробы газов. Если анализ имеет целью установить контроль за надлежащим сжиганием топлива, то газовую пробу следует отбирать в конце жаровой трубы или при других системах котлов возможно ближе к топочному пространству, где только-что прекратилось сгорание. Анализ газов, отобранных у борова в таких случаях вводит в заблуждение. Но если по газовому анализу желательно сделать заключение о количестве теплоты, уходящей с отходящими газами (потери с отходящими газами, § 150), то в данном случае можно руководствоваться составом газа, отобранным у борова, где теплоотдача дымовых газов закончена. Наконец, производят отбор пробы газа в обоих местах, в случае, например, испытания состояния котельной обмуровки, которая характеризует увеличение избытка воздуха в дымоходах.

§ 150. Объемные отношения. Из формулы $C + O_2 = CO_2$, при атомном весе $C = 12$ и $O = 16$, и плотности кислорода $\gamma = 1,43 \text{ кг/м}^3 \left(\frac{0}{760}\right)$ и углекислоты $\gamma = 1,98 \text{ кг/м}^3 \left(\frac{0}{760}\right)$, можно вывести следующее уравнение для полного сгорания углерода:

$$1 \text{ кг } C + \frac{2 \cdot 16}{12 \cdot 1,43} \text{ м}^3 O_2 = \frac{12 + 2 \cdot 16}{12 \cdot 1,98} \text{ м}^3 CO_2$$

$$1 \text{ кг } C + 1,86 \text{ м}^3 \left(\frac{0}{760}\right) O_2 = 1,86 \text{ м}^3 \left(\frac{0}{760}\right) CO_2. \quad (4)$$

Для неполного сгорания соответственно имеем:

$$1 \text{ кг } C + 0,93 \text{ м}^3 \left(\frac{0}{760}\right) O_2 = 1,86 \text{ м}^3 \left(\frac{0}{760}\right) CO. \quad (5)$$

При образовании CO₂ или CO образуется равный объем газа, но при несовершенном горении используется лишь половина кислорода. При полном сгорании объем образовавшегося CO₂ равен объему использованного кислорода, так что при нем не происходит никакого изменения объема. При образовании же CO полученный продукт горения занимает двойной объем по сравнению с объемом исчезнувшего кислорода.

При процессе совершенного горения топлива, не содержащего водорода без избытка воздуха, образуются дымовые газы следующего химического состава: 21% CO₂ и 79% N₂; кислород воздуха просто замещен углекислотой. Если же горение топлива без содержания водорода совершается с избытком воздуха, то лишь часть кислорода замещается углекислотой, следовательно, содержание углекислоты будет ниже 21%, но общее содержание кислорода и углекислоты будет равно 21%, остаток же в 79% составляет азот. Максимально возможное

содержание CO_2 в дымовых газах: максимальное $k = 21\%$ бывает при коэффициенте избытка воздуха $l = 1$.

При горении топлива, содержащего водород, максимальное k меньше 21% , как об этом было упомянуто в § 144, так как водород связывает часть кислорода (вследствие образования воды). Если топливо содержит по весу $4\% \text{H}_2$ и $75\% \text{C}$, то кислород соединится с обеими составными частями в пропорции $4 \cdot \frac{16}{2} : 75 \cdot \frac{32}{12}$ или $32 : 200$; следовательно, при сгорании топлива из 21% кислорода анализом не учитывается $21 \cdot \frac{32}{232} \approx 2,9\%$; при совершенном же горении без избытка воздуха значение максимального k становится равным: $\frac{21 - 2,9}{100 - 2,9} \cdot 100 = 18,5\%$.

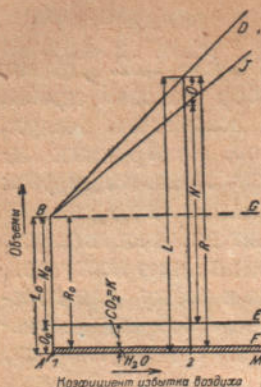


Рис. 413. Состав дымовых газов при различной величине избытка воздуха.

Так как кокс почти не содержит водорода, то при его сжигании газы содержат до 21% углекислоты. Для каменного угля указанные выше числа можно ввести как среднее значение и принять максимальное $k = 18,5\%$; для светильного газа, в виду высокого содержания в нем водорода максимальное k , в зависимости от состава газа, равно в среднем 11% .

Что же касается объемных отношений при полном сгорании с избытком воздуха, то объяснение этого дано на рис. 413. На оси абсцисс отложены значения коэффициента избытка воздуха l . Для $l = 1$ часть введенного количества воздуха, обозначенного через L_0 в виде отрезка AB , исполнено для образования H_2O и следовательно анализом не учитывается; остаток образует количество исследуемых дымовых газов R_0 , состоящее из CO_2 и N_2 ; содержание последнего обозначено через N_0 и оно обозначает необходимое количество азота (соответственно раз принятому составу воздуха). Для $l > 1$, к количеству дымовых газов R_0 прибавляется избыток воздуха. Для любого значения l , избыток воздуха $L - L_0 = L_0(l - 1)$ ограничивается наклонной прямой BD . Так как количество полученных газов относится к одному килограмму топлива, то образовавшаяся углекислота и исчезнувшая вода сохраняют свои абсолютные значения. Поэтому две горизонтальные прямые E и F ограничивают эти составные части. Выше горизонтали G избыток воздуха всегда состоит из 79 частей азота, которые прибавляются к имеющемуся при горении без избытка воздуха азоту N_0 и из 21 части O , которые выделены вверху. Количество дымовых газов R несколько меньше количества подведенного воздуха L .

Если обозначить через K , N и O содержание в газовой смеси углекислоты, азота и кислорода в кубических метрах, через k , n и o их процентное содержание, то при $l = 1$:

$$\text{макс. } k = \frac{100 K}{K + N_0} = \frac{100 K}{R_0}.$$

Вообще же имеем:

$$k = \frac{100 \cdot K}{R} = \frac{100 K}{R_0 + L_0(l - 1)}$$

$$o = \frac{100 \cdot O}{R} = \frac{100 \cdot \frac{21}{79} N_0 (l - 1)}{R_0 + L_0 \cdot (l - 1)}.$$

Оба уравнения можно написать еще и так:

$$(l - 1) \cdot \frac{L_0}{R_0} = \frac{100 K}{R_0 \cdot k} - 1 = \frac{\text{макс. } k}{k} - 1,$$

$$(l - 1) \cdot \frac{L_0}{R_0} = \frac{o}{21 - o}.$$

$$l = \left(\frac{\text{макс. } k}{k} - 1 \right) \cdot \frac{R_o}{L_o} + 1, \quad (6)$$

$$l = \frac{o}{21 - o} \cdot \frac{R_o}{L_o} + 1. \quad (7)$$

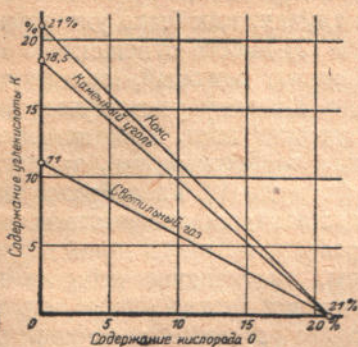
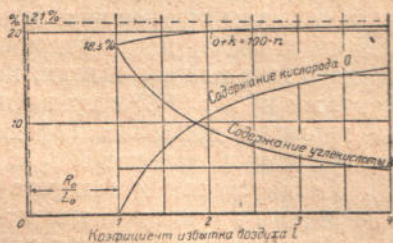


Рис. 414. Зависимость между содержанием углекислоты и кислорода в дымовых газах при совершенном горении (по Борту).



Состав дымовых газов каменного угля при различном избытке воздуха и при совершенном горении.

Делением и приведением обоих уравнений получаем

$$21 \cdot k + \text{макс. } k \cdot o = 21 \text{ макс. } k. \quad (8)$$

Указанные уравнения дают зависимость значений k и o от коэффициента избытка воздуха l , а также и друг от друга. Зависимость между k и o можно изобразить в виде прямой (рис. 414), которая пересекает ось o при $k = 21\%$, а ось k при величине равной $k_{\text{макс}}$. Наклон этой прямой зависит от рода потребляемого топлива и дает возможность определить содержание в ней несвязанного водорода. Если определили k и o , то совпадение показаний различных анализов в одной прямой служит хорошим показателем точности произведенных анализов, а также совершенства горения. Напротив, если полагать, что контроль в этих двух точках не нужен, то следует после определения положения прямой для данного топлива определить только углекислоту или кислород. На рис. 415 указано, что для каменного угля $k_{\text{макс}} = 18,5\%$; содержание углекислоты и кислорода зависит от избытка воздуха; эти кривые согласно уравнениям (6) и (7) являются дугами гиперболы с асимптотами, как они и указаны на рис.; сложением значений ординат получают представление о кажущемся увеличении азота: $o + k = 100 - p$. Для топлива без водорода $R_o/L_o = 1$. Подставляя это значение R_o/L_o в уравнении (6) и (7) имеем:

$$l = \frac{k_{\text{макс}}}{k} = \frac{21}{21 - o}. \quad (9)$$

Однако, эти, редко применяемые выражения для избытка воздуха, правильны лишь для топлива, не заключающего в себе водорода, как например, для кокса. Для каменного же угля эти выражения дают лишь приближенные значения, поскольку речь идет о сравнительно большом избытке воздуха; они совершенно неприменимы для светильного газа (Л.). При появлении в газах CO эти формулы должны быть соответственно изменены. Изображенная на рис. 414 зависимость между содержанием CO_2 и O_2 видоизменяется таким образом, что прямая, характеризующая данное топливо тем больше наклоняется книзу, чем выше содержание CO в исследуемом газе. Таким образом, зная содержание CO_2 и O_2 , можно вынести заключение о содержании CO , не определяя последнюю анализом. Расположение отдельных точек анализа на одной прямой возможно лишь в том случае, если топливо все время имеет одинаковый состав. Если же

в топке при периодическом забрасывании каменного угля сперва сгорает газ богатый водородом, а затем преимущественно оставшийся кокс, то отдельные точки, в зависимости от времени отбора пробы газа, будут несколько отклоняться от прямой; но при непрерывном обслуживании топки и отборе проб всегда на одном и том же месте точки этого не случится. Аналогичные соображения необходимо учесть при определении избытка воздуха при сжигании газов с содержанием азота, но формулы (2) и (3) для этого случая, как было уже упомянуто, неприменимы. В указанных уравнениях (2) и (3) вместо отношений количеств воздуха можно взять отношение количеств азота, который, вследствие всей инертности остается при горении без изменения. Поэтому упомянутые формулы неприменимы и тогда, когда топливо уже содержит азот. При использовании генераторного газа можно, однако, пользоваться соображениями, аналогичными с изложенными на стр. 132 и приводящими к формуле (9). Газообразование в генераторе является процессом горения с недостаточным количеством воздуха, характеризующимся величиной $l_1 < 1$, для расчета которого применяется формула (3). После сгорания генераторного газа, определение избытка воздуха l_2 всего первичного и вторичного процесса горения можно определить по формуле (2) и (3). С каким избытком воздуха l далее совершается процесс горения газа видно из следующего рассуждения. Для совершенного горения 1 кг С требуется L_1 м³ воздуха. Если в газогенератор введено $l_1 L_1$ м³ воздуха, то, следовательно, для совершенного горения газа требуется еще $(1 - l_1) \cdot L_1$ м³ воздуха. Если полное сгорание проведено с $l_2 \cdot L_1$ м³, то для сжигания газа было использовано $(l_2 - l_1) \cdot L_1$ м³ и, следовательно, сжигание газа совершается при коэффициенте избытка воздуха.

$$l = \frac{l_2 - l_1}{1 - l_1} = 1 + \frac{l_2 - 1}{1 - l_1}, \quad (10)$$

для определения которого необходимо конечно произвести анализ генераторного газа. Этим методом с незначительным изменением можно пользоваться также для контроля процесса горения установок, питаемых даусоновским газом. При этом необходимо учесть то обстоятельство, что в генераторе наряду с процессом образования генераторного газа идет еще процесс образования водяного (коксowego) газа, при котором водяной пар, разложенный углеродом, дает равные объемы СО и Н₂. Формула (10) применима лишь в том случае, если при определении l_1 не учитывают образовавшиеся не при горении, а лишь при разложении составные части, которые вследствие равенства объемов образовавшихся СО и Н₂, занимают объем в процентном отношении, равный $2h$. Если обозначим через n содержание азота в даусоновском газе, то выражение $n' = n \cdot \frac{1}{1-2h}$ дает содержание азота, отнесенное только к продуктам неполного сгорания; также отнесено и содержание кислорода $o' = o \cdot \frac{1}{1-2h}$. При содержании СО сначала следует вычесть из общего содержания количество СО, равное h , образовавшееся при процессе разложения и только после этого произвести пересчет, который даст следующее выражение:

$$c' = \left(c - h \right) \cdot \frac{1}{1-2h}.$$

Поэтому по формуле (3) коэффициент избытка воздуха $l' < 1$. С ним производится первичный чистый процесс горения.

$$l' = \frac{n'}{n' - \frac{79}{21} \left(o' - \frac{1}{2} c' \right)} = \frac{n'}{n' - \frac{79}{21} \cdot \left(o_1 - \frac{1}{2} c_1 + \frac{1}{2} h_1 \right)} \cdot \frac{1}{1-2h} \quad (11)$$

При вторичном горении даусоновского газа, т. е. при подлежащем исследованию процессе, вновь образуется ранее разложившаяся вода, но при анализе продуктов горения газа содержание в них водяного пара остается неучтенным и коэф-

коэффициент избытка воздуха l_2 для всего процесса горения можно определить по формуле (2) или при наличии в газах CO по формуле (3) или, если в газах имеется несгоревший водород H_2 , по формуле (11) тогда

$$l = \frac{l_2 - l'}{1 - l'} \quad (12)$$

и есть коэффициент избытка воздуха, с которым производится процесс горения даусоновского газа. И в данном случае для определения коэффициента избытка воздуха необходимо произвести анализ генераторного газа. Во избежание этого неудобства при известных условиях можно, пользуясь стехиометрической зависимостью, вычислить (помеченные выше значком') составные части генераторного газа, однако, формула для вычисления l , которая базируется на анализе лишь отходящих газов, становится совершенно неясной и неудобной. Вместе с тем коэффициент избытка воздуха теряет свое значение величины, удобной для вычисления. Поэтому вместо определения избытка воздуха вторичного горения генераторного газа, лучше рекомендуется определять избыток воздуха общего процесса горения, для чего можно пользоваться формулами (2) или (3) или (11), а еще лучше непосредственно указывать содержание O_2 в отходящих газах; наличие которого является характерным показателем избытка воздуха. Содержание метана все равно этими формулами в расчет не принимается. Светильный газ из каменного угля содержит также преимущественно азот, так как на газовых заводах обычно примешивают воздух с целью получения газовой смеси подлежащей теплопроизводительности. В этом случае можно также пользоваться указанными выше формулами, однако при расчетах следует учесть и содержание O_2 , соответствующее содержанию азота. Содержанием CO, как происходящей из других источников можно пренебречь. Поэтому для определения l_1 следует производить его вычисление не по формуле (3), а по формуле (2). Если же газ содержит азот, который находился в газе еще до примешивания воздуха, то означенные формулы для вычисления непригодны и для расчетов следует пользоваться формулой (9). Однако такие примеси азота должны быть незначительными.

§ 151. Тепловые потери с отходящими газами. По анализу дымовых газов можно иметь суждение об их количестве, проходящем через боров. Если одновременно измерять еще и температуру дымовых газов, то можно определить тепловые потери установки, вследствие уноса тепла отходящими горячими газами. Эти тепловые расчеты обычно производятся на основании данных газового анализа. Сущность теплового баланса заключается в том, что в дымовых газах должно содержаться столько же углерода C, сколько его сожжено на колосниковой решетке.

Пример. Уголь, исследованный в § 141, содержал 73,1% C; при пользовании последним были произведены анализы отходящих газов, а именно: в конце жаровой трубы — 16,9% CO_2 ; в борове — 11% CO_2 . На колосниковую решетку было подано 232 кг/час угля, а отсюда, следовательно, $232 \cdot 0,731 = 169,5$ кг/час C углерода; в результате горения было получено 11,5 кг/час шлаков с содержанием 22% горючих, которые можно рассматривать как C и таким образом с решетки ушло 2,5 кг/час несгоревшего C. Сгорело $169,5 - 2,5 = 167$ кг/час C, которые дали $167 \cdot 1,86 = 310$ м³ $\left(\begin{smallmatrix} 0 \\ 760 \end{smallmatrix}\right)$ /час ($CO_2 + CO$). Количество дымовых газов составляет: в конце жаровой трубы 1845 м³ $\left(\begin{smallmatrix} 0 \\ 760 \end{smallmatrix}\right)$ /час, у борова 2835 м³ $\left(\begin{smallmatrix} 0 \\ 760 \end{smallmatrix}\right)$ /час. Для вычисления скорости движения газа необходимо было бы учесть также давление и особенно температуру в обоих местах, а также присчитать содержание водяных паров в дымовых газах. Так как анализ (§ 144) дает составные части, отнесенные к сухому газу, то данные, приведенные выше, дают объем дымовых газов без водяных паров. При определении нижней теплопроизводительности было установлено, что из 1 кг угля получается 0,528 кг воды (или частично уже сожравшаяся в угле, как влага). Водяной пар рассматривается как газ с молекулярным весом 18,016 и плотностью $18,016 : 22,414 = 0,804$ кг/м³ $\left(\begin{smallmatrix} 0 \\ 760 \end{smallmatrix}\right)$ · 22,414 м³

$\left(\frac{0}{760}\right)$ — приведенный объем 1 Моля газа. Таким образом, из 1 кг угля образуется $0,528 \cdot 0,804 = 0,424$, а из 232 кг/час угля образуется $98,3 \text{ м}^3 \left(\frac{0}{760}\right)/\text{ч}$. водяного пара. Водород должен сгореть полностью и отсутствовать в шлаках. Приведенный объем дымовых газов равен: в конце жаровой трубы $1943 \text{ м}^3 \left(\frac{0}{760}\right)/\text{час}$, в борове — $2933 \text{ м}^3 \left(\frac{0}{760}\right)/\text{час}$. При температуре 280°С и давлении в 760 мм Hg действительный объем дымовых газов в борове равен $5940 \text{ м}^3/\text{час}$. Разделив это количество на сечение борова в $0,87 \text{ м}^2$, получаем скорость движения газа в $1,9 \text{ м/сек}$. Принять для фиктивного нормального состояния водяного пара число $0,804$ — означает допустить принципиальную неточность вычисления. Эта неточность незначительна, так как, например, $\left(\frac{pv}{T}, t\right)$ — диаграмма Кноблауха показывает,

что для парциального давления при всяких температурах $\frac{pv}{T} = 0,004705$. При 280°С плотность насыщенного пара = $33,47 \text{ кг/м}^3$ (по таблице водяного пара); на основании вышеприведенного расчета $0,528 \cdot 232 = 122 \text{ кг}$ воды, распределяется на 5980 м^3 газов, т. е. соответственно $122 : 5980 = 0,0204 \text{ кг/м}^3$; парциальное давление пара (приближенно) равно $0,0204 : 33,47 = 0,00061$ части полного атмосферного давления в 760 мм Hg, т. е. $0,00059 \text{ ат}$, или практически равно нулю. Если нужно, то, пользуясь означенными таблицами, можно было бы подыскать более точную величину.

Потери с отходящими газами V , которые мы прежде относили к 1 кг топлива, равняются теперь произведению количества отходящих газов R , на удельную теплоемкость c_p этих газов и разность их температуры t_r и температуры окружающей среды t_0 , т. е. $V = R \cdot c_p \cdot (t_r - t_0)$. Среднюю удельную теплоемкость при постоянном давлении следует определять в пределах t_0 и t_r и $[c_m]_{t_0}^{t_r}$ должно быть средней величиной, выведенной из теплоемкостей отдельных газов. В справочнике Hütte, 26 издание, том I, стр. 515, таблице 4 приводятся данные некоторых газов. Эти данные отнесены к 1 Молю = $22,414 \text{ м}^3 \left(\frac{0}{760}\right)$, а также для значения $[c_m]_0^{t_1}$, исходя, следовательно, из 0°С . Мы же рекомендуем принять 20°С , как нормальную температуру, при исчислении тепловых потерь; для этого пользуемся следующей зависимостью

$$[c_m]_{t_1}^{t_2} = \frac{t_2 \cdot [c_m]_0^{t_2} - t_1 [c_m]_0^{t_1}}{t_2 - t_1}$$

Действительная, а поэтому и средняя теплоемкость возрастает с повышением температуры, поэтому $[c_m]_{20}^{t_r}$ будет больше $[c_m]_0^{t_r}$. В указанной таблице 4 даны для средней удельной теплоемкости газов в пределах $0-280^\circ \text{С}$ следующие значения

	N_2	O_2	CO	H_2O	CO_2
$[c_p]_0^{280}$	= 7,05	7,05	7,05	8,44	9,94 ккал/°С Моля
$[c_p]_0^{20}$	= 6,98	6,98	6,98	8,21	8,77 ккал/°С Моля
Тогда для $(c_p)_{20}^{280}$	= 7,055	7,055	7,055	8,47	10,02 ккал/°С Моля
для $[c_p]_{20}^{280}$	$22,414 = 0,314$	0,314	0,314	0,378	$0,447 \text{ ккал/}^\circ\text{С} \cdot \text{м}^3 \left(\frac{0}{760}\right)$

Указанные газы содержатся в смеси, в объемных процентах, в следующих количествах:

80,2	8,8	0	3,4	11,0
------	-----	---	-----	------

Перемножаем их на теплоемкость. Сумму произведений

$$25,2 + 2,76 + 0 + 1,28 + 4,92 = 34,2$$

необходимо разделить на общее количество газов $100 + 3,4 = 103,4$; т. е. $34,2 : 103,4 = 0,330 \text{ ккал/}^\circ\text{С} \cdot \text{м}^3 \left(\frac{0}{760}\right)$ является средней удельной теплоем-

костью отходящих газов, включая и водяной пар, между 20 и 280° С. Тогда потери с отходящими газами составят $V = 2958 \cdot 0,330 \cdot (280 - 20) = 253\,500$ ккал/час. Так как низшая теплопроизводительность каменного угля равна 6900 ккал/кг, то топливо дает $232 \cdot 6900 = 1\,600\,000$ ккал/час; таким образом 15,9% имеющейся потенциальной тепловой энергии каменного угля теряется с отходящими газами и служит для создания тяги. Если отходящие газы содержат CO, то помимо указанных потерь из-за удельной теплоемкости, получается еще и дальнейшая потеря из-за химической неполноты горения. Эта потеря легко может достигнуть крупных значений. Если при 10,8% CO₂ в газах имеется еще и 0,2% CO, то от этого вышеприведенные вычисления мало меняются, количество же образовавшейся CO равно $0,002 \cdot 2835 = 5,7 \text{ м}^3 \left(\frac{0}{760}\right)/\text{час}$, но при сгорании CO в CO₂ она могла бы дать теплопроизводительность, равную $3060 \text{ ккал/м}^3 \left(\frac{0}{760}\right)$. Следовательно, теряется $5,7 \cdot 3600 = 17\,400$ ккал/час или почти

1% теплопроизводительности топлива; тепловые потери составляют в процентном отношении почти пятикратное количество CO, содержащейся в отходящих газах.

§ 152. Преимущества и недостатки химических и физических газоанализаторов. Химические газоанализаторы в повседневной работе представляют ряд неудобств: наличие химических реактивов в газоанализаторах требует постоянного за ними ухода (содержание прибора в чистоте и регулярное пополнение отработанных реактивов), наличие в подавляющем большинстве химических газоанализаторов ломких стеклянных деталей вызывает хрупкость и ненадежность прибора в работе. Поэтому вполне понятно стремление к замене химических газоанализаторов физическими. Основными требованиями, предъявляемыми к конструкции газоанализаторов, являются:

- 1) Прочность конструкций и надежность ее в работе.
- 2) Быстрота показаний.
- 3) Отсутствие ломких и сложных деталей.
- 4) Отсутствие необходимости специального постоянного ухода и обслуживания.

Всем этим требованиям физические газоанализаторы отвечают в значительно большей степени, чем химические. *Основным же преимуществом физических газоанализаторов перед химическими является быстрота показаний анализа.* В то время, как химические газоанализаторы требуют времени для поглощения и дачи показаний, физические газоанализаторы дают показания очень быстро. Это запаздывание является крупным недостатком химических газоанализаторов, вследствие чего по их показаниям иногда довольно трудно судить о ходе процесса горения в обслуживаемом агрегате в каждый данный момент. Помимо быстроты показаний, физические газоанализаторы обладают еще и тем существенным преимуществом перед химическими, *что показания первых можно передавать на расстоянии.* Это является весьма важным моментом при выборе приборов для центральных измерительных и диспетчерских станций.

Запаздывают показания, порой довольно значительно, у газоанализаторов всех систем, вследствие значительной протяженности проводки от места отбора газа до газоанализатора, в результате чего проба газа доходит до прибора после того, как фактически состав газа уже изменился. Поэтому необходимо, чтобы подвод газа производился по короткому и достаточно узкому газопроводу и путем энергичного засасывания, для чего необходима довольно частая смена фильтра, устанавливаемого в подводе газа для улавливания сажи и копоти. Как было ранее указано, физические газоанализаторы, основанные на различных свойствах исследуемых газов, подвержены, однако, влиянию физических и химических изменений газов, как то: температуры, давления, водяного пара, так что правильность их показаний обуславливается постоянством указанных выше характеристик. Как видно из физических свойств газов, условия для определения CO₂ довольно благоприятны, необходимо лишь поддерживать постоянным содержание водяного пара. Коэффициент теплопроводности N₂, O₂ и CO почти одинаков, для CO₂ он едва равен $\frac{2}{3}$ этой величины. Разница между удельными весами O₂ и N₂ довольно значительная и проверка по процентному

содержанию будет точной лишь для одного рода топлива. Наличие водяного пара в большом количестве служило бы помехой при анализе. *Влияние влажности* можно устранить следующими тремя способами: газы высушивают, пропуская их через крепкую серную кислоту над хлористым кальцием или фосфорным ангидридом; это опять-таки сводится к поглощению и к необходимости возобновления реактивов, которые нисколько не приятнее едкого кали, применение которого отпадает при пользовании физическими газоанализаторами. Можно поступить наоборот, т. е. газы насыщать водой, как это имело место в газоанализаторе Сименса прежней конструкции. Для этой цели имелся увлажнитель, наполненный водой, через который пропускали исследуемые газы. Третий метод заключается в следующем: газы настолько сильно охлаждаются, что практически становятся сухими. Этот метод применяется в электрическом газоанализаторе Сименса новой конструкции, где для этой цели имеется холодильник, состоящий из двойной трубки, между стенками которой протекает вода до ее поступления в водоструйный насос.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 32

Некоторые важнейшие константы, наиболее достоверные в данное время, их значения и обычные приближения

Наименование констант	Источник	Приближенное значение
1. Ускорение силы тяжести. Для 45° широты и 0 м над уровнем моря значение $g=980,665$ см. сек ⁻² считается официально нормальной силой тяжести. (Соглашение Всеобщей конфер. по мерам и весам, 1901). Новейшее значение (по Helmert'y) Широта 0, высота 0 : $g=978,030$ Широта 45, высота 0 : $g=980,616$ Широта 90, высота 0 : $g=983,216$ Широта 45, высота 1000 : $g=980,308$ Москва $g=981,564$ Ленинград $g=981,925$ Харьков $g=981,058^1$ Широта = $50^\circ 40'$; $h=132$ м Разница между Ленинградом и Харьковом 0,08%. Таким образом в пределах СССР разницы эти весьма невелики	Landolt—Börnstein 1923, 25 Land. В. 1923, 5	$g = 9,81$ м/сек ²
2. $1 \text{ э} = 1 \text{ дн} \cdot 1 \text{ см}$ $1 \text{ дн} = \text{весу} \frac{1}{g} \text{ г}$ $1 \text{ дн} = 1000 : 980,655 = 1,01972 \text{ мг}$ $1 \text{ э} = (1 : 98\,066\,500) \text{ кгМ} = 101,972 \cdot 10^{-10} \text{ кгМ}$ $1 \text{ вт} = 10^7 \cdot \text{э/сек} = \text{дж/сек}$ $1 \text{ квт} = 10^{10} \cdot \text{э/сек}$ $1 \text{ квт} = 101,972 \text{ кгМ/сек}$	По определению	1,02 мг 1 квт = 102 кгМ/сек
3. $1 \text{ ккал} (15^\circ) = 4184 \text{ джоуля}$ $1 \text{ квт} = 1000 : 4184 = 0,2390 \text{ ккал/сек}$ $1 \text{ квт-час} = 0,2390 \cdot 3600 = 860,40 \text{ ккал}$ киловатт-час принимается равным 860 ккал	Land. В. 1931, 509	$1 \text{ квт-час} = 860 \text{ ккал}$
4. $1 \text{ ккал} = 4184 : g \text{ кгМ} = 1/\text{А}$ $1 \text{ ккал} = 4184 : 9,80665 = 426,65 \text{ кгМ}$	№ 1 и 3	$1 \text{ ккал} = 427 \text{ кгМ}$
5. $1 \text{ л.с.} = 75 \text{ кгМ/сек} = 75 \cdot g \text{ вт}$ $1 \text{ л.с.} = 75 \cdot 9,80665 = 735,5 \text{ вт}$ $1 \text{ квт} = 1,3596 \text{ л.с.}$	По определению	$1 \text{ л.с.} = 0,736 \text{ квт}$ $1 \text{ квт} = 1,360 \text{ л.с.}$

¹ Эта величина вычислена по формуле $g_\varphi = 9,806056 - 0,025028 \cos 2\varphi - 0,000003 h$.

Соотношения между метрическими системами мер
Частью по Негману (Л.)

Основные единицы:

в физической системе: см, г (масса), сек
в технической « м, кг (вес), сек
в теплотехнической « м, кг (вес), час

<i>c — g — s</i>	Техническая система	Теплотехническая система
Скорость 1 см/сек	0,01 м/сек	36 м/час
Ускорение 1 см/сек ²	1,00 м/сек ²	
Сила, работа, см. таблицу 32		
Давление (АЕФ, ст. 15) 10 ⁶ дн/см ² = 1 бар . . .	10197,2 кг/м ² 1,01972 ат 750,06 Тор = = 750,06 Нг	
Удельный вес 1 дн/см ³	1,01972 кг/м ³	
Плотность (удельная плотность) 1 г/см ³	1000 кг/м ³	
Удельная теплоемкость 1 кал/г · °С	1 ккал/кг · °С	
Энтропия 1 кал/см ³ · °С	1000 ккал/м ³ · °С	
Теплотворная способность } 1 кал/г	1 ккал/кг	1 ккал/кг
Теплосодержание		
Теплопередача 1 кал/см ² · °С · сек	10 ккал/м ² · °С · сек	36000 ккал/м ² · °С · час
Теплопроводность 1 кал/см · °С · сек	0,1 ккал/м · °С · сек	360 ккал/м · °С · час
Кинематическая вязкость ν 1 см ² /сек	0,0001 м ² /сек	0,36 м ² /час

Таблица 34

Английские и метрические меры

(Hütte 26 Auflage, I, 1076 Klapper, VDI-Nachrichten 5.5.1926; Regeln Kälteanlagen Tab. 20)

Наименование мер	Английские меры	Метрические меры	Метрические меры	Английские меры
Длины:	1 foot	0,304800 м	1 м	3,2808'
	1 inch	25,4000508 мм ¹	1 см	0,39370''
Площади:	1 square foot	0,092903 м ²	1 м ²	10,764 sq. ft
	1 square inch	6,4516 см ²	1 см ²	0,15500 sq. in.
Объемы:	1 cubic foot	28,317 дм ³	1 м ³	35,315 cu. ft
	1 cubic inch	16,387 см ³	1 дм ³	61,024 cu. in.
	1 imp. gallon =	4,5461 л ³⁾	1 м ³	219,97 imp. gall.
	= 277,26 cu. inch 1 US gallon	3,7854 л ³⁾	1 м ³	264,17 US gall.
Вес:	1 avoirdupois - pound	0,45359243 кг ³⁾	1 кг	2,2046 lbs.
	= 16 ounces =		1 г	35,274 oz.
	= 7000 grains			15,432 gr.
Работа: Мощность:	1 foot pound	0,13825 кгГм	1 кгГм	7,2330 ft. lbs.
	1 horse power =	76,04 кгГм/сек =	1 квт	1,3410 HP
	= 550 ft. lb/s	= 0,74569 квт		
1 HP electrical	736 вт (по определению) ²⁾			
Давление:	1 lb. p. sq. in	0,070307 кг/см ²	1 ат	14,223 lb/sq. in.
	1 oz. p. sq. in	43,942 мм Н ₂ O	1 м Н ₂ O	22,757 oz/sq. in.
Вес оболочки:	1 oz. p. sq. ft	305,15 г/м ²	1 г/м ²	0,0032770 oz/sq. in.

Наименование мер	Английские меры	Метрические меры	Метрические меры	Английские меры
Плотность:	1 lb. p. cu. ft	16,018 кг/м ³	1 кг/м ³	0,062428 lb/cu. ft
	1 oz. p. cu. ft	1,0012 кг/м ³		
	1 lb. p. im. gall.	99,776 кг/м ³	1 кг/м ³	0,010022 lb/im. gall.
	1 lb. p. US gall.	119,83 кг/м ³	1 кг/м ³	0,0083454 lb/US gall.
Твердые частицы: (пыль) в жидк. и газах:	1 gr. p. cu. ft	2,2884 г/м ³	1 г/м ³	0,43699 gr/cu. ft
	1 gr. p. im. gall.	14,254 мг/л	1 мг/л	0,070157 gr/im. gall.
	1 gr. p. US gall.	17,118 мг/л	1 мг/л	0,058418 gr/US gall.
Количество тепла:	1 British Thermal Unit = 778 ft lb ²)	0,25200 ккал	1 ккал	0,39683 BTU
Удельная тепловая энергия:	1 BTU p. lb. p °F	1,0000 ккал/кг · °C	1 ккал/кг · °C	1 BTU/lb °F
	1 BTU p. cu. ft p °F	1,6018 ккал/м ³ · °C	1 ккал/м ³ · °C	0,62428 BTU/cu. ft °F
Теплотворная способность или теплосодержание:	1 BTU p. lb	0,55556 ккал/кг	1 ккал/кг	1,8000 BTU/lb
	1 BTU p. cu. ft	8,8992 ккал/м ³	1 ккал/м ³	0,11237 BTU/cu. ft
Теплопередача:	1 BTU p. sq. ft. s.	2,7124 ккал/м ² сек	1 ккал/м ² сек	0,36867 BTU/p/sq. ft
	1 BTU p. sq. ft. p °F. sec	4,8824 ккал/м ² сек	1 ккал/м ² сек	0,20482 BTU/sq. ft. °F
Коэффициент теплопроводности:	1 BTU p. ft. p. hr. p. °F	1,4882 ккал/м °C · час	1 ккал/м °C · час	0,67197 BTU/ft. hr °F
	1 BTU in/sq. ft. hr. °F	0,12401 ккал/м °C · час	1 ккал/м °C · час	8,0636 BTU/sq. ft. hr °F/in

Примечания к табл. 34. ¹⁾ Zs. f. Instrumentenkunde 1927, S. 217; Tätigkeitsbericht Phys. T. R. A. 1926.

²⁾ Значения Am. Soc. of Mech. Engrs (Diederichs (л. 1).

³⁾ International critical Tables of numeric data prepared by the National Research Council of US, 8 томов, New York 1926, 30, Mc Graw Hill. Vol. 1, p. 18; 52.

Нормальное давление воздуха: $1,013250 \cdot 10^6$ дн. см², что равно 760 мм Hg. К этому давлению относится также и точка 212° шкалы Фаренгейта.

Нормальные температуры следующие:

39° F как точка наибольшей плотности воды,

60° F = 15,5 C для определения BTU.

68° F = 20 C как международная нормальная температура (RKW-Nachrichten 1932, S. 166), а также 70° F = 21,1° C как температура водяного столба при измерении малых давлений (Diederichs Л. стр. 70).

За нормальное состояние газа при определении количеств принимается 760 мм Hg = 29,922 in. Hg и 32° F = 0° C (Diederichs (Л. стр. 70, 589).

В шкале Фаренгейта — 450,58° F представляет абсолютный нуль температуры; абсолютная температура, отсчитанная от этой точки в градусах Фаренгейта, обозначается в США как температура Ранкина:

$x^\circ \text{ Rankin} = \frac{5}{9} (x - 491,58)^\circ \text{ C}$. Точка замерзания воды 491,58° Rankine, точка кипения 671,58° Rankin ³⁾

В США работа в 736,00 вт определена как электрическая лошадиная сила.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

В тексте обозначение (Л.) представляет ссылку на указатель.

Общая часть

1. Diederichs u. Andrae: Experimental Mechanical Engineering. Bd. I, 1082 S., New York 1930, Willey.
2. Kohlrausch: Praktische Physik, 17. Aufl., Leipzig 1936, Teubner. Классический труд по физическим измерениям; многое пригодно для технических целей.
3. Wiedemann-Eberts: Physikalisches Praktikum, 6. Aufl., Bearbeitet von Wiedemann u. Wehnelt, Braunschweig 1924, Vieweg.
4. Staehler: Die Arbeitsmethoden der anorganischen Chemie, Leipzig 1913 bis 1920. дает во 2 томе различного рода измерения в подробном изложении.
5. Luegers Lexicon der gesamten Technik.
6. Ullmanns Handwörterbuch der technischen Chemie.
7. Lunge-Berl: Chemisch-technische Untersuchungsmethoden, Bd. I, Berlin: Julius Springer 1922.
В последующих трудах (8 и 9) рассматриваются некоторые приборы с теоретической стороны.
8. Grashof: Theoretische Maschinenlehre.
9. Weisbach Ingenieurmechanik.
10. Landolt, Börnstein, Roth: Physikalisch-chemische Tabellen, 5. Aufl. (in 2 Teilen), Berlin: Julius Springer 1923. Dazu: Erster Ergänzungsband 1927. Zweiter Ergänzungsband (in 2 Teilen) 1931. Сборник числовых данных оказывает большую услугу при вычислениях, где известный справочник «Hütte» не дает необходимых данных.
11. Wärmetabellen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt v. Holborn, Scheel, Henning, Braunschweig 1919, Vieweg.
12. AEF., Verhandlungen des Ausschusses für Einheiten und Formelgrößen, 1907 bis 1927. Herausgegeben v. Wallot. Berlin: Julius Springer 1928. Обширный экспериментальный материал с описанием измерений и отдельных приборов можно найти в отдельных тетрадах 14 и 15.
13. Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens, herausgegeben v. VDI seit 1902;
14. Mitteilungen der Wärmestelle des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute. Verlag Stahleisen. С 1919 г. около 160 тетрадей большей частью по вопросам измерительной техники.
15. Mitteilung Nr. 85, 86, Kretzschmer, Betriebliche Erfordernisse Wärmewirtschaftlicher Messgeräte.
Regeln für Abnahmeversuche herausgegeben v. VDI und anderen Vereinigungen. Права редактора содержат много данных по методам измерения.
16. R. f. Ventilatoren und Kompressoren, 1929.
17. R. f. Wasserkraftanlagen, 1930.
18. R. f. Kreiselpumpen, 1928.
19. R. f. Rückkühlanlagen, 1931.
20. R. f. Kältemaschinen und Kühlanlagen, 1929.
21. R. f. Wärme- und Kälteschutzanlagen, 1930.
22. R. f. Verbrennungskraftmaschinen, 1930.
23. R. f. Wasserkraftmaschinen, 1930.
24. R. f. Dampfturbinen, 1931.
Целиком относятся к вопросам измерительной техники.
25. R. f. Durchflussmessung mit genormten Düsen und Blenden, 1932.
26. Din DVM 3711, 3716 Prüfung von Brennstoffen. Beuth-Verlag, 1931.

Единицы и размерности

27. Wallot: Schreibweise phys. Gleichungen. Elektrotechn. Z. 1927. S. 426.
28. Handbuch der Physik von Geiger und Scheel, Berlin: Julius Springer. Bd. 2, Kap. 1
28. Бриджмен. Учение о размерностях ОНТИ 1934.
29. AEF.- Entwurf 30 in Elektrotechn. z. 1930, S. 586, 622.
30. Hermann: Beziehungen zwischen absoluten und wärmetechnischen Masssystem. Z. techn. Physik 1931 S. 215.

31. Lehr: Eichung von Prüfmaschinen. Z. VDI 1931 S. 1408.
 32. Hase: Schnellreiber in der Messtechnik. Z. Feinmech. Präz. 1930 Nr. 2.
 33. Schreibfeder für Druckschreiber mit selbsttätigem Farbnachfluss Z. VDI 1907 S. 800.
 34. Möller: Behälterstand-Fernmessung. Gas- u. Wasserfach 1931 S. 658.
 35. Lohmann u. Sieber: Die elektrische Ringrohr-Fernübertragung. [Siemens-Z., Dezember 1928.
 36. Geyger: Dreheisenquotientenmesser für Wechselstrom. Arch. Elektrotechn. 1931 S. I, 655.
 37. Geyger: Schaltungen dazu, a. a. O. 1931 S. 476, 711; 483.
 38. Geyger: Elektrische Integrierung, a. a. O. 1931 S. 769; 1932 S. 94.
 39. Geyger: Elektrische Fernmessung physikalischer Vorgänge. Z. VDI 1932 S. 298.
 40. Grüss: Neue... Kreuzspulinstrumente (Brücken-Kreuzspulgerät) Wiss. Veröff. Siemens-Konz. 1931 Heft 1.
 41. Zähler und Antriebssätze. Druckschr. Fa. Hartmann & Br.
 42. Hauser: Elektrischer Temperaturfernschreiber, Mehrfarbenschreiber mit Kreuzspule. Z. VDI 1916 S. 546.
 43. Oszillographen. Z. VDI 1930 S. 225.
 44. Schürholz-Sprenger: Versuche mit einem Demonstrations-Oszillographen (Buch) Verl. Betz, Langensalza.
 45. Der neue Siemens-Oszillograph. Druckschr. Fa. S. & H. 4224.
 46. Riegger: Methode der halben Resonanz in Z. techn. Physik 1924 S. 577. Wiss. Veröff. Siemens-Konz. 1924 H. 2.

Наблюдение и вычисление

47. Plaut: Wie wächst die Sicherheit durch Wiederholung von Versuchen? Z. techn. Physik 1929 S. 660.
 48. Pirani-Runge: Graphische Darstellung. Göschen Nr. 728.
 49. Berndt: Grundlagen und Ceräte technischer Längenmessungen. 2. Aufl., Berlin 1929.
 Измерение малых длин и небольших удлинений.
 50. Groeneveld: Neue Planimetertheorie. Z. Instrumentenkde. 1927 S. 1.
 51. Galle: Mathematische Instrumente, Leipzig 1912.
 52. Land: Theorie des Planimeters. Z. VDI 1899 S. 1064.
 53. Kirsch: Theorie des Polarplanimeters. Z. VDI 1890 S. 1053.
 54. Mader: Einfacher harmonischer Analysator mit beliebiger Basis. Elektrotechn. Z. 1909 S. 847.
 55. Der Harmonische Analysator Mader-Ott. Druckschr. Ad 341 Fa. Ott.
 [] Практические замечания о применении гармонического анализатора.
 56. Gramberg: Wirkungsweise der Windkessel von Kolbenpumpen. Forschungsarb. 129, S. 49; Z. VDI 1911 S. 851.
 57. Computing cards for harmonic analysis. Engg., 27. Februar 1931, S. 299. Nach Terebesi, Rechenschablonen f. harm. Analyse u. Synthese. Berlin: Julius Springer 1930.
 58. Walther: Einfaches Verfahren zur Bildung von Differentialkurven Z. VDI 1931 S. 1397.
 59. R. Slaby: Z. VDI 1913 S. 821.
 60. v. Harbou: Der Prismenderivator und der Differentio-Integraph. Z. angew. Math. Mech. 1930 Nr. 6. Dissert. Königsberg.
 61. Der Prismenderivator. Z. techn. Physik 1932 S. 341.
 62. Picht, Die Tangensplatte, ein Zusatzgerät zum Prismenderivator. Z. techn. Physik 1932 S. 316.

Давление

63. Lorenz: Theorie der Röhrenfedermanometer. Z. VDI 1910 S. 1865.
 64. Reichel: Differentialmanometer zur Messung von Wasserdruckunterschieden. Z. VDI 1911 S. 1415.
 65. Reinigung von Quecksilber in Kohlrausch (L. 2), § 8; Ostwald-Lyotep. S. 186.
 66. Burstyn: Vorrichtung zur Reinigung von Quecksilber. Lieferer Geissler. Z. techn. Physik 1932 S. 505.

Измерение незначительных давлений

67. Wassersäulen-Minimeter bis 1/100 mm W.-S. Druckschr. Askania B. 145.
 68. Arlt: Mikromanometer mit 2 Gefäßen, mit Wasserfüllung und Spitzenablesung. Z. VDI 1912 S. 1590; Forschungsarb. 115.
 69. Klumb u. Haase: Über Messung der Höhenunterschiede von Flüssigkeitsmenisken und seine Anwendung als Manometer für kleine Drucke. Z. Techn. Physik 1932 S. 372.

Измерители количества

70. Unterlagen für die Konstruktion unserer 6-m-Apparate. Manuskript Bopp & Reuther.
 71. v. Kalman: Zur Theorie des Differentialmanometers. Siemens — Z. 1926 Heft 6.

Высокое давление, первичные приборы

72. Manometer des Bureau o. Stand. USA. zum Ablesen von hohen Drucken; Power, 27. April 1920.
 73. Martens: Apparate zur Messung hoher Flüssigkeitsdrucke. Z. VDI 1909 S. 747.
 74. Martens: Brauchbarkeit der Federmanometer für die Messung grosser Kräfte. Z. VDI 1914 S. 204.

75. Klein: Genauigkeitsgrad von Hochdruckmessern. Z. VDI S. 792 1910
 76. Levy: Einfaches Verfahren zur Eichung von Mikromanometern. Z. Instrumentenkde, 1925 S. 515.
 77. Jacobus: Messung von Drucken von 700 at und mehr. Engineering 1897 S. 327.
 78. Druckwaage der PTR bis 5000 at описание в Z. Instrumentenkde. 1930 S. 349.
 79. Hochdruckmesser für ballist. Untersuchungen. Z. VDI 1932 S. 923. Vgl. L. 284, sowie optische Indikatoren, L. 316.
 80. Büchner: Z. VDI 1904 S. 1101.

Время

81. Niesiolowski-Gawin: Zeitmessung. Handbuch der Physik (L. 28) Bd. 2, Kap. 6. [Zeitmesser für laufende Anzeige, für grössere Zeiträume, Methoden der Zeitregistrierung.
 82. Hoffmann: Einteilung der Zeitmessgeräte, Uhrmacher — Ztg. 1930. S. 427, j Z. Instrumentenkunde. 1930. S. 658.
 83. Sekundenpendel macht I Halbschwingun s. Z. Instrumentenkde. 1930 S. 120.
 84. Zeitdruck-Registrierapparat v. Löbner als Chromograph. Z. j Instrumentenkde. 1928 S. 454.
 85. Perochet u. Montandon: Wassermengenbestimmung mit Bandschronograph. Schweiz. Bauztg. 1928.
 86. Registriergerät für schnell verlaufende Vorgänge in Wissenschaft und Technik. Druckschr. Wetzler Pfronken.

Скорость

87. Niesiolowski-Gawin: Geschwindigkeitsmessung. Handbuch der Physik (L. 28) Bd. 2, Kap. 7.

Тахометр

88. Wagener: Über Geschwindigkeitsmesser und deren Prüfung. Z. VDI 1909 S. 483.
 89. Hoffmann: Untersuchungen an Geschwindigkeitsmessern. Forschungsarb. 100.
 90. Wilke: Untersuchungen über Fliehkrafttachometer. Z. VDI 1918 S. 809, 829.
 91. Frahm: Untersuchungen über die dynamischen Vorgänge in den Wellenleitungen von Schiffsmaschinen, mit besonderer Berücksichtigung der Resonanzschwingungen. Z. VDI 1902 S. 797.
 92. Klönne: Über ein neues Verfahren zur Messung des Ungleichförmigkeitsgrades und der Winkelabweichung. Elektrotechn. Z. 1902 S. 715.
 93. Runge: Die experimentelle Bestimmung des Ungleichförmigkeitsgrades und der Winkelabweichung von Kolbenmaschinen. Forschungs arb. 181 (1915).
 94. Riehm: Experimentelle Bestimmung des Ungleichförmigkeitsgrades. Z. VDI 1913 S. 1101. Forschungsarb. 137.

Вертушки

95. Schmidt: Beschreibung der Prüfstation München. Gleichung der Woltmanschen Flügel, Graphische Bestimmung der Flügelgleichung. Z. VDI 1895 S. 917; 1903 S. 1698.
 96. Die Ottschen Flügel des eidgenöss. hydrom. Büros. Schweiz. Bauztg. 6. Oktober 1906.
 97. Staus: Der Genauigkeitsgrad von Flügelmessungen. Berlin: Julius Springer 1927.
 98. Ott: Theorie und Konstantenbestimmung des hydrometrischen Flügels 49 S. Berlin: Julius Springer 1925.
 99. Katalog der Fa. Ott über hydrometrische Flügel und Flügelausrüstung.

Анемометр

100. Stach: Die Anemometer - Prüfstation der Westf. Berggewerkschaftskasse, Glückauf 1902 Nr. 47; 1903 Nr. 48. Mitwind, Anemometerprüfung und ventilatoruntersuchung. Glückauf 1914 Nr. 17.
 101. Bericht des Amerikanischen Ausschusses zur Prüfung von Vorschlägen für Regelung bei der Messung von Luftgeschwindigkeit an Austrittsöffnungen mit Hilfe des Anemometers Gesundn. — Ing. 1914 S. 429.
 102. Schrenk: Über die Trägheitsfehler des Schalenkreuzanemometers bei schwankender Windstärke. Z. techn. Physik 1929 S. 60; Messtechn. 1928 Heft 10.
 103. Wilke: Veränderlichkeit der Angaben des Robinsonschen Schalenkreuzes. Z. Flugtechn. Motorluftsch. 1917.
 104. Bericht des Amerikanischen Ausschusses zur Aufstellung von Regeln bei der Benutzung von Staurohren. Gesundh. - Ing. 1914 S. 466.
 105. Winkel: Staurohren zur Messung des Druckes und der Geschwindigkeit in fließendem Wasser. Z. VDI 1923 S. 568.
 106. Eckart: Impulse water wheels and the Pitot tube. Engineering 1910 Bd. 15. 91.
 107. Pitoröhre zur Messung der Richtung und Geschwindigkeit beschleunigter Stromfäden. Z. VDI 1923 S. 944.
 108. Katzmayr: V. d. Staugeräten bei Neigung zur Stromrichtung. Motorwagen 1914 S. 303.
 109. Kumbuch: Messung strömender Luft mit Staugeräten. Forschungsarb. 240 (1921).
 110. Schuster: Untersuchung der Strömungsvorgänge in einer Francis-Turbine, Bestimmung der Wassergeschwindigkeit und Richtung mittels Pitotrohr. Z. VDI 1910 S. 1733. Forschungsarb. 82.

Напорные (статические трубки)

111. Homberger: Pitotrohr für Wassermessung bei hohem Druck (in Mill Valley, Kalifornien). Z. VDI 1927 S. 1064.
112. Stach: Bestimmung der Geschwindigkeit und des Druckes von Gasen und Dämpfen. Glückauf 1910 S. 47.
113. Kröner: Stauohre: Zur Bestimmung der Strömrichtung von Luft als Doppelrohr und Dreirohr. Z. VDI 1917 S. 605. Forschungsarb. Heft 222.
114. Hydrostat. Windmesser von Fuess, Steglitz. Z. VDI 1924 S. 933.

Особые виды ветромеров

115. Morris: Engineering 1912 Nr. 2 S. 892. Retschy: Motorwagen 1912 Siemens & Halske, Liste über Anemoklinometer.
116. Schmidt u. Beckmann: Techn. Mech. Thermodyn. 1930 Nr. 10 u. 11; Z. VDI 1931 S. 227.

Описания исследований

117. Williams: Experiments at Detroit on the flow of water in curved pipes. Proc. Amer. Soc. civ. Engr. 10. November 1901.
118. Kirsten: Windmessung auf Abrauförderbrücken. Z. VDI 1931 S. 1079.

Измерение количества, удельный вес

119. Domke-Reimerdes: Aräometrie. Berlin 1912.
120. Wallis: Abschaffung der Baumspindel. Chem. Fabrik 1929 S. 135. Подробное указание о методах работы с аерометрами.
121. Die Umstellung der Mohr-Westphalschen Waage auf andere [Normaltemperaturen und Dichteinheit. Chem. Fabrik 1931. S. 375.

Взвешивание

122. Zingler: Theorie der zusammengesetzten Waagen. 203 S. Berlin: Julius Springer 1928.
123. Padelt: Waagen, Eigenschaften, Wartung, Instandsetzung. RKW Nr. 72, Berlin: Beuth-Verlag 1931.
124. Diehl: Gewichtsanzeige ortsbeweglicher Waagen bei ungenauer Aufstellung. Z. VDI 1931 S. 519. Весы с подвижным грузом, маятниковые весы.
125. Schmerwitz: Feinmessverfahren für Krümmungshalbmesser von Schneiden, Drähten u. dgl. Z. Instrumentkde 1932 S. 1. Referat Z. VDI 1932 S. 134.
126. Diehl: Die Berechnung der Neigungswiegebalken mit festem Gegengewicht. Halle 1930, 61 S. (Messen und Prüfen Heft 5) Dissertation Darmstadt 1930.
127. Selbsttätige eichfähige Abfüllwaage des Garvenswerke. Z. VDI 1923 S. 193.
128. Tauchnitz, Selbsttätige Registrierwaagen. Z. VDI 1926. S. 226.
129. Spies: veritas-Apparat, Sicherung gegen falsches Drücken. Mitt. d. Kais. Normal-Eichungs-Kommission (L. 127), 3 Reihe Nr. 14 vom 23. Februar 1914.
130. Kranwaagen bis 200 t Wiegefähigkeit. Z. VDI 1912 S. 1956.
131. Uhlir: Theorie und Praxis der Kettenwaage. Z. Instrumentkde 1926 S. 519.

Вода в резервуарах

132. Behälterstands-Meldeanlagen mit pneumat. Fernübertragung, mit elektrischer Fernübertragung Drückkachr. Fa. Askania. B 372, B 403.
133. Wassermessgeräte im Ingenieurlaboratorium Stuttgart. Z. VDI 1901 S. 1338.
134. Block: Ausmessen von Lagerbehältern. Messtechn. 1931 S. 145.

Измерение водных потоков

135. Kirschmer: Wassermessung am Walchensee. Z. VDI 1930 S. 521.
136. Kirschmer u. Esterer: Die Genauigkeit einiger Wassermessverfahren. Z. VDI 1930 S. 1499.
137. Normalmesseinrichtung in: Mitt. Hydr. Inst. Techn. M. München, Heft 2, München 1928, S. 34.
138. Discharge measurement on the Niagara River. Engng. News, 28. Dezember 1899.
139. Iterson: Chemical Method of Watermeasuring. Engineering, 29. Mai 1914, S. 743.
140. Iterson: Methode chimique pour la Mesure du Débit des conduites d'eau. Génie civ. 1914 (1904) S. 41.
141. Kirschmer: Das Salzverdünnungsverfahren für Wassermessung. Wasserkr. u. Wasserwirtsch. 1931 Heft 18.
142. Krüss: Kolorimetrie. Leipzig: Voss 1891.
143. Kirschmer: Das Salzgeschwindigkeitsverfahren. Z. VDI 1930 S. 523 no.
144. Allen u. Taylor: Trans. Amer. Soc. Mech. Engrs. Bd. 45 (1923) S. 285.
145. Messung heißen Wassers in Regeln Kreiselpumpen (L. 18), S. 285.
146. Huber: Der Verlust der Verdunstung beim Messen von heißen Dampfwässern. Z. bayer. Revis. — Ver. 1927 S. 57.
147. Canaan: Wassermessung bei Grosskraftanlagen. In Wasserkraft—Jahrbuch 1930 S. 258.
148. Staus: Der Genauigkeitsgrad von Flügelmessungen bei Wasserkraftanlagen. 35 S. Berlin: Julius Springer 1926.

149. Ott: Wassermessung bei Wasserkraftanlagen. Wasserkr. — Jb. 1924.
 150. Yarnell u. Nagler: Effect of turbulence on the registration of current meters Proc. Amer. Soc. Civ. Engr. 1929 S. 2611
 151. Schmidthener: Ein neues Wassermessverfahren (Schirmmessung). Z. VDI 1907 S. 627.

Измерение воздушных потоков

152. Lebrecht: Versuche mit rauschenden Kompressoren. Сравнительный анализ ряда методов измерения воздуха. Z. VDI 1905 S. 151.
 153. Meyer, E.: Bestimmung des Gasverbrauchs mit Glocke. Z. VDI 1899 S. 483.
 154. Recknagel: Verteilung der Lufteschwindigkeit über den Querschnitt des Rohres. Z. Kälteindustrie 1899 S. 172.
 155. Ruppert: Gasverbrauchs-messung an einem Stossofen durch Mengenunterschiedsmessung. 155a. Ауэр: Аэрометрия. ОНТИ. 1935.
 156. Stahl u. Eisen 1932 S. 665.

Измерение с запрудами

156. Francis: Lowell hydraulic experiments. Классический труд по измерению с запрудами.
 157. Frese: Überfallmessung. Z. VDI 1890 S. 1285.
 158. Hansen: Überfallmessung. Z. VDI 1892 S. 1057. Указанные результаты измерения устарели, подробно см. следующие работы:
 159. Rehbock: Überfallmessung. Z. VDI 1929, S. 817.
 160. Pantell: Amerikanische Versuche an Messwehren. Z. VDI 1928 S. 477. Proc. Amer. Soc. Civ. Engr. 1927, S. 1395/2438.
 161. Lauck, Der Überfall über ein Wehr. Z. angew. Math. Mech., Februar 1925. Теоретическое обоснование коэффициента слива.
 Инструкция и правила о вопросу измерения с запрудами помещены в следующих трудах:
 162. Regeln für Kreiselpumpen (L. 18), Regeln für Rückkühlanlagen (L. 19). Там же имеются данные о нормальной швейцарской запруде.
 163. Wagenbach: Der dreieckige Überfall. Z. ges. Turbinenwes. 1910. S. 561.
 164. Barr: Experiments on the flow of water over triangular notches. Engineering Bd. 89 1910) S. 435, 470.

Измерение методом истечения

165. Brauer: Neues Verfahren zur Wassermessung. Z. VDI 1892 S. 1349.
 166. Lorenz: Technische Hydrodynamik, S. 295. München: Oldenbourg 1908.
 167. Schneider: Ausflusszahlen für Wasser und Kochsalzlösungen. Z. VDI 1917, Forschungsarb. Heft 213. В Ежегоднике Берлинского государственного физико-технического Института за 1923 год подтверждены данные исследований Schneider'a: Z. VDI 1924 S. 611.
 168. Reschke: Ausflusszahlen von Mg Cl₂ — Sole. Zähigkeit derselben und Na Cl — Sole Z. ges. Kälteind. 1924 S. 53.
 169. Jaroschek: Messungen von Flüssigkeitsmengen mittels Ausflussöffnungen. Techn. Mech. Thermodyn. 1930 S. 423

Измерение протекающего количества

170. Müller, A. O.: Messung von Gasmengen mit der Drosselscheibe. Forschungsarb. 49. Z. VDI 1908 S. 285.
 171. Brandis: Exakte Messung der durch eine Leitung strömenden Gasmengen mit Drosselmessscheibe (Staurand). Dissertation Aachen 1913. В свое время явилась основной работой по данному вопросу.
 172. Arlt: Messung grosser Luftmengen Mittels mehrerer Düsen und eigenartigem Mikromanometer. Forschungsarb. 115. Z. VDI 1912 S. 1588.
 173. Dorgerloh: Staurandversuche von Spitzglass verglichen mit deutschen. Z. VDI 1927 S. 708, 851.
 174. Spitzglass: Trans. Amer. Soc. mech. Engr. 1922 S. 919.
 175. Pflaum: Mengennmessung strömenden Dampfes mit Stauringen. Forschungsarb. 298 (1928). Dissertation Danzig.
 176. Jordan: Mengennmessung von Gasen, Dampf und Flüssigkeiten auf Hüttenwerken. Mitt. 76 Wärmestelle Düsseldorf, 1925.
 177. Wenzel u. Schwarz: Messung grosser Gasmengen. Z. VDI 1922 S. 1130.
 178. Jacob u. Kretzschmer: Die Durchflusszahlen von Normaldüsen und Normalstaurändern für Rohrdurchmesser von 100 bis 1000 mm. Forschungsarb. 311 (1928). Z. VDI 1929 S. 935. Относительно нормаль 1912 г.
 179. Kretzschmer: Die Ausflussformel von de Saint-Venant und Wantzel. Z. VDI 1926 S. 980.
 179 а. Прибор «Мандекс» для измерения протекающих количеств пара, воды и сжатого воздуха. А. Т. М. — 1 — 1233 — 2.

Нормальные сопла и шайбы 1930 г.

180. Witte: IG-Düse. Z. VDI 1928 S. 1493. Исправления: Z. VDI 1929 S. 976. Witten Durchflusszahlen. Techn. Mech. Thermodyn. 1930 S. 34, 72, 113 Witte: Strömung durch Düsen und Blenden, Forschg. 1931 S. 245, 291. Referat Z. VDI 1931 S. 1454. Перечень литературы по данному вопросу указан в последнем реферате, а также в правилах (Л.).

181. Buckingham: Neue Versuche über Blenden. Referat Forschg. 1931 S. 28.
 Bean, Benesch, Buckingham: Bureau of Standards Research Bd. 7 (1931) S. 93. Реферат в Forschg. 1931 Heft 11.
 182. Engel: Die Durchflusszahl von Staurändern. Опыты с водой. Dissertation München 1930.
 183. Richter: Versuche mit neuen Formen von Durchflussdüsen. Forschg. 1931 S. 387.
 184. Число Рейнольдса и его значение пояснено в Аэродинамике — Fuchs u. Hopf: Aerodynamik. Berlin: Schmidt 1922. S. 9, а также в труде Hopf: Handbuch der Physik (L. 28) Bd. 7. S. 99.
 185. Richter: Zur Ermittlung der Reynoldsen Zahl von Dampfströmen. Ing. — Arch. 1932 S. 300.
 186. Richter: Nomogramme zur Mengemessung von Gasen und Dämpfen. Z. VDI 1932 S. 320.
 187. Hofsäss: Kapillar-Gasmesser mit einstellbarem Messbereich. Gas - u. Wasserfach, 26. März 1927.

Труба Вентури

188. Coleman: Flow of fluids in a Venturi-Tube. Proc. Amer. Soc. mech. Engr., November 1906. Измерение воды, газа и пара.
 189. Grundlagen für die Berechnung von Venturirohren. Siemens — Z., November 1925.
 190. Hazen: Venturimeter coefficients. Engng. News 1913, S. 198. Коэффициент для учета трения.
 191. Grosswassermesser. Venturirohr aus Eisenbeton. Siemens — Z., Februar 1923.
 192. Mueller: Beeinflussung der Anzeige von Venturimessern durch vorgesch. Krümmer. Mitt. Hydr. Inst. T. H. München 1928 Heft 2 S. 29.
 193. Schmidt, E. Der Staurost. Z. VDI 1931, S. 1535.

Разные приборы для измерения количеств

194. Pantell: Das Gibson-Wassermessverfahren. Z. VDI 1924, S. 366. Теория, описание и критика. Последняя на основании статей, помещенных в том же журнале в 1924 г., стр.] 662, 840, по видимому неправильна.
 195. Volkhardt: Ein neuer Druckschreiber für Wassermesser nach dem Gibson-Verfahren.
 196. Deckel: Druckschreiber und Versuche zur Wassermessung nach dem Gibson-Verfahren. №№ 204 и 205 находятся в печати, Heft 6 Mitt. d. hydr. Instituts T. H. München.
 197. Peters: Über den Gültigkeitsbereich der Staudruckmessung mit Staudruckmultiplikatoren (Bruhnsche Venturi-Doppeldüse). Z. Flugtechn. Motorluftsch. 1929 Heft 4.
 198. Peters: Einfluss der Zähigkeit bei Geschwindigkeitsmessung mit Staudruckmultiplikatoren. Z. Flugtechn. Motorluftsch. 1931. Heft 11.

[Водомеры]

199. Neuere Bauarten motorischer Wassermesser. Z. VDI 1929, S. 557.
 200. Wassermesserkombination, Siemens — Z. 1929, S. 613.
 201. Lux, Wassermesserprobierstation. J. Gasbel. Wasservers. 1894. S. 322.

Газомеры

202. PTRÄ., Bildliche Darstellung der eichfähigen... Messgeräte. [Atlas, Teil VIII, Gasmesser Газомеры, мокрые и сухие).
 203. v. Schütz, Grossgasmesser. Z. VDI 1932 S. 521.
 204. Müller, Die trockenen Gasmesser. Z. VDI 1932 S. 699. Критический обзор со многими фигурами и чертежами в тексте.
 205. Litinski, Hochleistungsgasmesser. Messtechn. 1931 Heft 11. 12.
 206. Poplawsky: Kubizierapparat für Gasmesser. Книга.
 207. Poplawsky: Der Eichkolben zur Prüfung der Kubizierapparate. Buch.]
 208. Thomasmesser. Z. VDI 1911 S. 1130; Iron Age 16. März 1911; J. Gasbel. Wasservers. 10. December 1912.
 209. Böhm: Mengemesser für strömende Flüssigkeiten und Gase. Z. VDI 1925 S. 1523

Измерение давления воздуха

210. Wünsch: Strömungsmessung und Teilstromverfahren. Gas - u. Wasserfach 1928 S. 1107; auch Stahl u. Eisen 1925 S. 196.

Измерение пара

211. Bendemann: Dampfmesser. Forschungsarb. 37. Z. VDI 1909, S. 142.
 212. Der Bayer — Siemens — Schwimmermesser als Dampfmesser. Wärme 28. Februar 1931.
 213. Ruppel u. Umpfenbach: Strömungstechnische Untersuchungen an Schwimmermessern. Techn. Mech. Thermodyn. 1930. Heft 6, 7, 8.
 214. Kreuzer: Statische und dynamische Untersuchung von Mündungs-Dampfmengenmessern unter besonderer Berücksichtigung der Messung pulsierender Gas-, Dampf- und Flüssigkeitsströme. Z. VDI 1928 S. 984. Forschungsarb. 297.

Производственный контроль

215. Gramberg: Über Betriebskontrolle und Dampfmesser. Z. VDI 1921 S. 391.
216. Schultze: Betriebsmäßige Dampfverbrauchskontrolle an Turbinen. Z. ges. Turbinenwes. 1912 S. 442.
217. Sauer: Staudruckmessung bei pulsierenden Stoffströmen. Sammlung «Messen und Prüfen» Heft 4. Verlag Knapp.

Сила и работа. Механические месдозы

218. Martens: Messdose als Kraftmesser. Forschungsarb. 38. Z. VDI 1906 S. 1311.
219. Bendemann: Gesteuerte Messdose. Z. Flugtechn. Motorluftsch. 17. Januar 1914. DRP. 275985.
220. Neuere Messdosen. Z. VDI 1920 S. 480.

Немеханические способы измерения

221. Kluge u. Linckh: Piezoelekt. Messung [von] Druck- und Beschleunigungskräften. Z. VDI 1929 S. 1311. Там же приведен список литературы.
222. Piezo elektr. Messung mechanischer Größen. Forschg. 1931 S. 153. Сравн. [Piezoelektrizität: Hdb. d. Physik. (L. 30) Bd. 13 S. 308.
223. Pabst: Aufzeichnen schneller Schwingungen nach dem Ritzverfahren. Bericht 167 der D. Versuchsanstalt f. L.
224. Kohlefernmesser von 4000 Hz des Reichsbahn-Zentralamtes. Stahlbau 1928 Heft 13. Beilage zur Bautechn. Vgl. L. 328.
225. Elektrischer Ferndehnungsmesser. In Siemann: Z. VDI 1926 S. 539.
226. Akustischer Dehnungsmesser nach Schäfer. Druckschr. Maihak; Z. VDI 1928 S. 1810.

Для станков

227. Sachsenberg u. Osenberg (u. Gruner): Messverfahren für Werkzeugmaschinen Z. VDI 1927 S. 1609; 1932 S. 266.
228. Gerdien: Elektrische Messdose nach dem Prinzip des Kondensatormikrometers. Wiss. Veröff. Siemens-Konz. 1929 S. 126.
229. Salomon: Trägheitslose Zerspannungsmessungen. Loewe-Notizen. November 1929.
230. Salomon: Schnittdruck und Schneidtemperaturerscheinungen an der Werkzeugschneide. Werkzeugmasch. 1929 S. 477.
231. Mauksch: Schnittdruckmessungen an der Drehbank mit einer elektrischen Messdose. Wiss. Veröff. Siemens-Konz. 1929 Heft 2.
232. Wallich u. Opitz: Messdose mit Widerstandsmessung. Stahl u. Eisen 1931 S. 1478.
233. Messen schnellwechselnder mechanischer Kräfte. Zeitschrift Schmaltz. Erwiderung Wallich: Z. VDI 1932 S. 382.
G. Schmaltz: Methoden zur photographischen Registrierung geradliniger Schwingungsbe-
wegungen. Masch.-Bau Bd. 2 (1922—23) S. 52, 104.

Измерение напряжений в мостах

234. Untersuchung von Spannungs- und Schwingungsmessungen für Brücken (Wettbewerb der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft). Berlin: Verkehrswiss. Lehrmittelgesellschaft bei der Deutschen Reichsbahn 1928.
235. Bernhard: Neuere Messung dynamischer Brückenbeanspruchungen. Stahlbau 1928 S. 145.
236. Bernhard: Prüfstand für Messgeräte im Bauwesen. Z. VDI 1931 S. 1559.
237. Давиденков: Струнный метод испытания напряжений.

Измерение напряжений на самолетах

238. Seewald: Über die Messung der Kräfte an Luftfahrzeugen. Bericht 113 der Deutschen Versuchsanstalt f. L. «Втулка для измерения смещений, муфта для измерения вращающих моментов».
239. Küssner: Optisch-photographische Formänderungsmessung an Luftfahrzeugen. Z. Flugtechn. Motorluftsch. 1930 Heft 17. Bericht 194 der Deutschen Versuchsanstalt f. L.

Измерение напряжений на кораблях

240. Siemann: Formänderungsmessung an Schiffskörpern. Z. VDI 1926 Heft 16, 19.

Сельское хозяйство

241. Martiny: Zugkraftmessung an Bodenbearbeitungsgeräten; Die Prüfung von Motorpflügen. Mitt. des Verbandes landwirtschaftlicher Maschinenprüfungsanstalten 1911.
242. Rezek: Zugdynamometer für Maschinenpflüge. Mitt. des k. k. Technischen Versuchsamtes Wien 1913 Heft 1—2 und Z. VDI 1914 S. 33.
243. Bernstein: Messinstrumente zur Untersuchung von Motorpflügen. Motorwagen 1913 Heft 9, 10.

Тормозные нажимы

244. Brauer: Bremsdynamometer und verwandte Kraftmesser. Z. VDI 1888 S. 56.
245. Mechanische Bremse für 200 PS im Maschinenlaboratorium Breslau. Z. VDI 1914 S. 1375.
246. Oesterlen: Verschiedene Bremsen für Wasserturbinen. Z. VDI 1909 S. 1876.
247. Heller: Verschiedene Bremsen für Automobilmotoren. Z. VDI 1907 S. 1683.
248. Smallwood: Rope brakes, construction and design. Amer. Mach 1912 S. 310.
249. Bandbremsdynamometer mit Waage im Maschinenlaboratorium. München. Z. VDI 1917 S. 619. 120 PS, $n = 120/\text{min}$, $U = 755$ kg. Тормозная лента выложена внутри промасленным пеньковым ремнем для уменьшения шума. Шкив охлаждается изнутри.
250. Selbstregelnde Reibungsbremse von Schenck. Z. VDI 1931 S. 1437.
251. Wilke: Abmessung und Bauart von Bremszäumen. Ölmotor 1919.

Гидравлические тормоза

252. Froude-Bremse. Trans. Instn. Min. Engr. 1877; Engineering 22. Januar 1897, 20. Juni 1902.
253. Röttscher: Wasserbremse für 2000 PS bei $n = 3000$, Z. VDI 1907 S. 607.
254. Rateau: Feins hydrauliques p. l'étude d. turbines à vapeur. Mém. Soc. Ing. civ. de France 1913 S. 513. Для 800 HP, $n = 4000$ и для 10000 HP, $n = 650$.
255. Wasserbremse für Wagenmotor. Z. VDI 1914 S. 1386.
256. Drucksache der Fa. Seppeler.
257. Nägel: Wirbelstrombremse. Forschungsarb. 54. S. 52. Z. VDI 1907 S. 1407.

Приводные динамометры

258. Braun: Leistungsmesser von Krupp. Kruppsche Mh., Februar 1922.
259. Frischinger: Arbeitsmesser. Z. f. Elektrotechn. 1891 S. 537.
260. Föttinger: Effektive Maschinenleistung und effektives Drehmoment. Forschungsarb. 25. Доклады о дальнейшем развитии. Jg schiffbautechn. Ges. 1905; Z. VDI 1904 S. 1825; 1908 S. 937; Werft Reed. Hafen 1929 S. 200.
261. Stieglitz: DVL-Torsiograph, ein Drehschwingungs-Messgerät für Fahrzeugmotoren. Bericht 204 der Deutschen Versuchsanstalt f. L.
262. Frahm: Neuer Torsionsindikator mit Lichtbildaufzeichnung. Z. VDI 1918 S. 177.
263. Vieweg: Torsionsdynamometer mit optischer Ablesevorrichtung. Z. VDI 1913 S. 1227.
264. Vieweg u. Wetthauer: Bestimmung der Drehung umlaufender Wellen mit Prismen oder Spiegel. Z. VDI 1914 S. 615.
265. Hertrich u. Krabbe: Erfahrung mit Torsionsdynamometern nach Vieweg. Masch.-Bau 1924 S. 1028; Z. VDI 1925 S. 353.
266. Hertrich: Versuchsanlagen für Maschinen und Maschinenteile. Masch.-Bau 1929 Heft 2, 4.
267. Amsler Laffon: Hydraulische Dynamometer. Z. VDI 1905 S. 845.
268. Klein: Torsionsdynamometer der Vakuum-Öl-Kompagnie. Z. VDI 1924 S. 830.
269. Brasch u. Gehlen: Neuer Torsionsmesser für Wellenleistungen Z. VDI 1931 S. 303. Акустически ср. Л. 234.
270. Edgecombe: Torsionmeters. Engineer 1908, 1909.
271. Amsler: Neue Transmissionskraftmesser. Z. VDI 1912 S. 1326. Изображения оптических, масляных и маятниковых динамометров.

Противодействие

272. Bendemann: Pendelaufhängungen zur Messung des Rückdruckes von Flugzeugmotoren. Z. VDI 1912 S. 1848.
273. Langer u. Finzi: Messung der mechanischen Leistung mit elektrischen Pendelmaschinen. Z. VDI 1914 S. 41 и 716.
274. Levy: Elektrische Pendelmaschinen. Z. VDI 1914 S. 597.
275. Schüler: Elektrische Leistungswaage. Z. VDI 1926 S. 1137.

Электрическая нагрузка

276. Keinath: Die Technik elektrischer Messgeräte. 3. Auflage. München: Oldenburg 1928.
277. Skirl: Wechselstrom-Leistungsmessungen. 3. Auflage. Berlin: Julius Springer 1932.
278. Krause-Jahn: Messungen an elektrischen Maschinen. 5. Auflage Berlin: Julius Springer 1925.
279. Möllinger: Wirkungsweise der Motorzähler und Messwandler. 2. Auflage. Berlin: Julius Springer 1925.
280. Technische Anweisungen der Fa. Siemens & Halsde Wernerwerk. Nr. 16. Gleichstrom, Nr. 11 Wechselstrom.
281. Oesterlen: Wasserwiderstände. Z. VDI 1909 S. 1878.

Ускорение

282. Kalep, Methoden der experimentellen Bestimmung des Trägheitsmomentes von Maschinenteilen. Ziviling. 1892 S. 381.
283. Späth: Gerät zum Bestimmen von Trägheitsmomenten. Z. VDI 1932 S. 326.

284. Craz u. Schardin: Eine neue Methode zur Messung des Geschosswiderstandes im Rohr. Z. techn. Physik 1932 S. 124. Возвратное движение вспомогательной массы, дифференцирование траектории. Планомерные пьезометрические измерения обратного давления.

Сотрясения, колебания

285. Geiger: Mechanische Schwingungen und ihre Messung. Berlin: Julius Springer 1927.
286. Geiger: Untersuchung von Schwingungserscheinungen. Z. VDI 1922.
287. Geiger: Die Untersuchung von Schwingungsvorgängen an Arbeitsmaschinen. Werkzeugmaschinen. 1929 Heft 15.
288. Geiger: Neue Fortschritte im Bau von Messgeräten für den Maschinenbau. Masch.-Bau 1924 Heft 27.
289. Geiger: Spannungsmessungen an laufenden Maschinen. Z. VDI 1924 S. 265.
290. Erschütterungsmesser von Ambronn (Пьезокварц). Z. VDI 1931 S. 1517; 1932 S. 1067.
291. Lehr: Schwingungsmesstechnik. Z. VDI 1932 S. 1065 с указателем литературы.
292. Kayser: Fundamentalschwingungen. Z. VDI 1929 S. 1305. Измеритель колебаний Шенка, Зауера.

Индикатор

293. Rosenkranz: Der Indikator. 7. Auflage. Berlin 1914.

Различные конструкции

294. Maihak: Fortschritte im Bau von Indikatoren. Z. VDI 1907 S. 1908. Многочисленные схематические рисунки.
295. K. Klein: Z. VDI, 14. Mai 1910. Сравнение поршней, пришлифованных с поршнями с набивкой.
296. Diskussion über das Abzugsverfahren beim Berechnen der indizierten Leistung von Verbrennungskraftmaschinen. Z. VDI 1905 S. 331, 517, 814, 1044. С тех пор в правилах способ установлен, как единственно действительный.
297. Diskussion über das Eichverfahren für Indikatorfedern: Eberle: Z. bayer. Revis.-Ver. 1901; Wiebe u. Schwirkus: Z. VDI 1903 S. 55; Staus, Schwirkus: Forschungsarb. Heft 26, 27.
298. Bestimmung über die Feststellung der Masstabe von Indikatorfedern. Z. VDI 1906 S. 709.
299. Roser: Die Prüfung von Indikatorfedern. Z. VDI 1902 S. 1582; Forschungsarb. Heft 26.
300. Wiebe: Temperaturkoeffizient bei Indikatorfedern. Forschungsarb. Heft 33.
301. Wiebe u. Leman: Untersuchungen über die Proportionalität des Schreibzeuges bei Indikatoren. Forschungsarb. Heft 34.

Установка

302. Frese: Beeinflussung des Indikatoridiagramms der Dampfmaschinen durch die Art der Anbringung des Indikators. Z. VDI 1885 S. 769.
303. Goss: Einfluss langer Rohrleitung. Z. VDI 1896 S. 743.
304. Frese: Einfluss der Massenwirkung der Trommel. Z. VDI 1900 S. 245.
305. Wilke: Hebel und Kurbelhubminderer für den Antrieb der Papiertrommel des Indikators. Dinglers polytechn. J. 1914 S. 289, 328, 357.

Диаграммы по времени, действие движущихся масс

306. Wagener: Neuerungen an Indikatoren. Z. VDI 1907 S. 1364.
307. Wagener: Indizieren und Auswerten von Zeit- und Kurbelwegdiagrammen. Berlin: Julius Springer 1906.
308. Fliegner: Dynamische Theorie des Indikators. Schweiz. Bauztg. Bd. 18 S. 27. Теоретические выводы относительно влияния колеблющихся масс.
309. Borth: Untersuchungen über den Verbrennungsvorgang in der Gasmaschine. Forschungsarb. Heft 55.

Высокое число оборотов

310. Wilke: Über die Grenzen der Verwendbarkeit des Indikators bei schnelllaufenden Maschinen. Dissertation, Hannover 1916; Ölmotor 1916.
311. Mader: Der Mikroindikator. Dinglers polytechn. J. 1912 S. 420.
312. v. Juhasz: Versuche an einem Automobilmotor. Forschungshefte zur Autotechnik Heft 2. DRP. 417073.
313. Der Juhasz-Indikator von Lehmann und Michels. Z. VDI 1924 S. 477.
314. Mader: Punktindikator von Gasterstädt zur genauen Ermittlung von Kolbenmaschinendiagrammen, Z. VDI 1925 S. 1371.
315. Neuere Indikatoren für hohe Drehzahlen und Drucke. Z. VDI 1923 S. 814. Реферат об английских конструкциях Микро — Collins'a, точечный — Royal Aircraft Establ, оптические с поршнем — Burstall.
316. Optische Indikatoren in Z. VDI 1902 S. 365; 1904 S. 1311; 1907 S. 2040 по Engineering, 25. Oktober 1907. Forschungsarb. 54 S. 4. Z. VDI 1908 S. 246 (Nägel); 1914 S. 365 (Nusselt); 1928 S. 1380 (Klüsener). VDI-Nachr, 4. März 1931 (Maihak).
317. Kirner: Optischer Interferenzindikator. Z. VDI 1909 S. 1675; Forschungsarb. Heft 88.

318. Burstall: Indicating gas engines. Engineering, 6. August 1909 и 10. September 1909 S. 259. Сравнение механических и оптических индикаторов.
 319. Linckh: Piezoelektrischer Indikator. Z. VDI 1930 S. 579, 887.
 320. Piezoelektrischer Indikator. Forschung 1931 S. 153.
 321. Schnauffer: Aufzeichnung von Druckvorgängen mittels Verfahren der halben Resonanzkurve. Z. VDI 1930 S. 1066. Bericht 162 der Deutschen Versuchsanstalt f. L.
 322. Indikator für schnell veränderte Drucke. Z. VDI 1930 S. 579; nach Automob. Ind. 1930 S. 230. Kohlewiderstand statt Kerze eingebaut, Brücke und Oszillograph.

Специальные цели

323. Joachim: Forschung über Schwerölmotoren in USA. Z. VDI 1931 S. 74. Индикаторы для измерения давления мазута.
 324. Mitteldruckindikator. Z. VDI 1926 S. 509, 513.

Методика применения

325. Indizieren von Lufthämmern. Z. VDI 1928 S. 1897; u. nach Mech. Engng. 1928 S. 955.
 326. Indizieren von Hämmern und Schmiedepressen. Stahl u. Eisen, 1931 S. 995.

Температура

327. Henning: Temperaturmessung. Braunschweig: Vieweg 1915.
 328. Knoblauch u. Hencky: Anleitung zu genauen technischen Temperaturmessungen. 2. Aufl. München. Oldenburg 1926 (есть русский перевод).
 327a. Hoffmann: Thermometrie, in Staehler, Bd. 2 S. 1. Leipzig 1920.
 328a. Planck. Thermodynamik. Дано понятие об абсолютной температурной шкале. 6. Aufl. Berlin 1921. § 160. (есть русский перевод)
 329. Diederichs: Описание шкалы Фаренгейта: (Л.) S. 107.
 330. Fischer: Das Thermometer und seine Herstellung. Uhrmacherkunst 1929 Heft 7, 8, 9.
 331. Thiene: Jenaer Thermometergläser. Glas u. Apparat 1927 S. 83.
 331a. Burgess und Le Chetelier. Die Messung hoher Temperaturen. 454 Seiten Berlin, 1913,

Термопары

332. Hoffmann u. Schulze: Über die Brauchbarkeit von Thermoelementen aus unedlen Leitern bei hohen Temperaturen. Elektrotechn. Z. 1920 S. 427.
 333. Lent u. Köfler: Alterungserscheinung bei Thermoelementen. Mitt. 116 Warmest. Eisenhl.
 334. Wamsler: Messung von Temperaturen mit Thermoelementen, insbesondere der Oberflächentemperatur. Forschungsarb. Heft 98/99.
 335. Lang: Der Peltier-Effekt bei genauer Temperaturmessung. Z. techn. Physik 1932 S. 494

Резкие колебания температуры

336. Petersen: Verfahren zur Messung schnellwechselnder Temperaturen. Forschungsarb. 143; Z. VDI 1914 S. 602.
 337. Kantorowicz u. Reinecke: Thermoelement aus dünnen Drahten — Z. techn. Physik 1930 S. 547.
 338. Temperaturmessung bei hoher und schnell wechselnder Temperatur (in Dieselmaschinen) in Schmidt: Z. VDI 1931 S. 585.

Оптические методы измерения температур

339. Wanner Pyrometer. Z. VDI 1902 S. 616; 1904 S. 156. J. Gasbel. Wasservers., 2. November 1907.
 340. Siemens & Halske: Gesamtstrahlungspyrometer (Ardometer) Z. VDI 1921 S. 1267 und Druckschr. 194 von Siemens & Halske.
 341. Schmidt: Die Eichung optischer Betriebspyrometer. Stahl u. Eisen 1926 S. 1258.
 342. Fry: Optische Temperaturmessung in der Praxis. Stahl u. Eisen, 6. November 1924.
 343. Hase: Einfluss des Emissionsvermögens auf die Temperaturmessung am flüssigen Eisen. Stahl u. Eisen 1930 S. 1813. С 1200 до 1600° лучеиспускающая способность блестящих поверхностей металла равна $0,44 \pm 0,03$, окисленной поверхности — $0,95 \pm 0,05$.
 344. Naeser: Über ein einfaches Farbpyrometer. Mitt. aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für Eisenforschung. Abhandlung 140. Stahl u. Eisen 1929 S. 464; Z. techn. Physik 1929 Nr. 5.
 344a. Naeser. Über ein neues Kombiniertes Farbpyrometer. Archiv für Eisenhüttenleute Heft 9/10, 1936 April
 344b. Guthmann, Stahl und Eisen, 1936 № 13
 345. Jakob (referiert): Photothermometrie, ein neues Temperaturmessverfahren. Forschung, Juli 1931.

Специальные приборы

346. Uehling u. Steinhart: Pneumatisches Pyrometer. Stahl u. Eisen, 1. Mai 1899. Широко применяется в США для измерения температуры в доменных печах. Сравни. Л. 351.
 347. Friedrich: Absaugepyrometer, Mitt. Forschungsanstalt Gutehoffnungshütte, Juli 1931 S. 140.

348. Temperaturmessung an Farbumschlag von Chemikalien zwischen Papier. Berich. PTR 1923. Referiert Z.VDI 1924 S. 611.
349. Lufttemperatur, Messung in Rohren. Z. VDI 1923 S. 807.
350. Schmidt: Verfahren zur Messung von Gastemperaturen. Z. techn. Physik 1926. S. 521.
351. Schmick: Bestimmung von Gastemperaturen mit Druckdifferenzmessung. Z. techn. Physik 1929 S. 146.
352. Gottwein: Die Messung der Schneidtemperatur beim Abdrehen von Flusseisen. Masch.-Bau 1925 S. 1129. Die Schneidtemperatur beim Drehen in Abhängigkeit von der Form des Spannquerschnitts. Masch.-Bau 1926 S. 505.
353. Temperaturmessung an Gasschmelzöfen. I. Metzger: Einbau von Temperaturmessgeräten, 2. Schneekloth: Prüfung von thermoelektrischen Temperaturmessanlagen, 3. Büssing: Kontrolle und Nacheichung von Thermoelementen und optischen Pyrometern. Fachausschuss 2 der Deutschen Glastechn. Ges., Bericht Nr. 20.

Количество тепла

354. Staus: Abgaskalorimeter für einen Gasmotor. Z. VDI 1902 S. 649.
355. Strömungskalorimeter zur Bestimmung der spez. Wärme von Gasen. Engineering 1925 S. 787.
356. Schack: Messung von Wärmemengen in turbulenten Gasströmen. Z. VDI 1923 S. 807.
357. Testing electric generators by air calorimetry. Engineering 4. Dezember 1903.
358. Koch: Spez. Gewicht und spez. Wärme von NaCl, CaCl₂, MgCl₂-Lösungen bei tiefen und mittleren Temperaturen. Z. ges. Kälteind. 1924 S. 105.

Влажность воздуха

359. Bongards: Feuchtigkeitsmessung. München: Oldenburg 1926.
360. Plank: Die Messung der relativen Feuchtigkeit der Luft in Gefrierräumen. Z. ges. Kälteind. 1916 S. 25.
361. Ebert u. Pfeiffer: Das Aspirationspsychrometer. Z. Physik Bd. 35 (1926) S. 689; Bd. 43 (1927) S. 335; Bd 46 (1928) S. 420.
362. Sieper: Der Trocknungsvorgang in Heißlufttrocknern der Textilindustrie. I. Untersuchungen am Psychrometer. Dissertation, Darmstadt 1926.
363. О действии психрометра у Mollier: *is*-Diagramm für Dampf-Luft-Gemische. Z. VDI 1929 S. 1013.
364. Психрометрические таблицы у Landolt u. Börnstein, 1931 S. 1286 (bis 150°); Regeln für Rückkühlanlagen, S. 10; Regeln für Kältemaschinen, Tab. 18.
365. Siemens-Feuchtigkeitsmessgeräte. Druckschr. SH 4298. Z. VDI 1931 S. 1001.
366. Lieneweg: Ein neuer Feuchtigkeitsmesser. Siemens-Z. 1930 S. 584.
367. Lieneweg: Die Feuchtigkeitsmessung in industriellen Betrieben. Siemens-Z. 1931 Heft 1.
368. Lieneweg u. Scriba: Feuchtigkeitsmessung. Z. VDI 1932 S. 349.
369. Wald: Ein Psychrometer ohne künstliche Belüftung. Z. ges. Kälteind. 1932 S. 111.
370. Behr: New relative humidity recorder. J. opt. Soc. of Amer. Bd. 12 (1926) S. 623. Реферат в Z. Instrumentenkde. 1927 S. 162.
371. Wa. Ostwald: Neuartiger Taupunktprüfer. Z. angew. Chem. 1922 S. 443. Психрометр как прибор для определения нулевой точки при изменяющейся температуре газа; в точке росы оба термометра показывают одинаково.
372. Herstellung von Gas mit bestimmtem relativem Feuchtigkeitsgehalt (Durchperlen der Lösungen). Papier-Fabrikant 1931 S. 694. Ebert: Z. Instrumentenkde 1930 S. 43; Messtechn. 1929 S. 153; 1930 S. 152.
373. Messung der Luftfeuchtigkeit in geschlossenen Räumen. Z. ges. Kälteind. 1926 S. 116; no Special Report of the Food Investigation Board, London 1925.
374. Obermiller: Die Bedeutung einer best. Regelung der Luftfeuchtigkeit in textiltechnischen Betrieben. Z. angew. Chem. 1926 S. 47.

Влажность пара

375. Möller: Bestimmung des Wassergehalts im Kesseldampf. Сопоставление способов. Z. VDI 1895 S. 1059.
376. Knoblauch u. a.: Tabellen und Diagramme für Wasserdampf. München: Oldenbourg 1932.
377. Дроссельный калориметр у Sendtner. Deinlein: Z. bayer Revis.-Ver. 1913. Hencky: Z. bayer. Revis.-Ver. Nr. 21—22; 1921 Nr. 6—7.
378. Denton: The reliability of throttling calorimeters. Trans. Amer. Soc. mech. Engr. 1896 S. 175.
379. Sendtner: Bestimmung der Dampff euchtigkeit mit dem Drosselkalorimeter. Forschung. Heft 98/99. Z. VDI 1911 S. 1421. Описан большой калориметр, чтобы избежать отбора пробы и исследовать весь поток.

Счетчики тепла

- [380. Lasswitz: Wärmezähler; главным образом [описание] конструкций, предлагаемых для водяного отопления. Gesundh.-Ing. 1914 S. 215.
381. Geyger: Neuer elektrischer Wärmemengenzähler. Arch. Wärmewirtsch. 1932 Heft 3.
382. Hencky: Ein einfaches, praktisches Verfahren zur Bestimmung des Wärmeschutzes verschiedener Bauweisen. Gesundh.-Ing. 1919 S. 469.

383. Raisch u. Schropp: Die thermoelektrische Temperatur- und Wärmeflussmessung. Mitt. des Forschungsheims für Wärmeschutz. München Selbstverlag des Forschungsheims 1930.
384. E. Schmidt: Ein neuer Wärmeflussmesser und seine praktische Bedeutung in der Wärmeschutztechnik. Mitt. des Forschungsheims für Wärmeschutz Heft 1 München 1921; auch: Bayer. Ind.-u. Gewerbeblatt, 25 Februar 1922.
385. E. Schmidt: Messung von Wärmeverlusten in Betrieben. Arch. Wärmewirtsch. 1924 S. 9.
386. Amerikanische Messung der Wärmedurchlässigkeit nach dem Hilfswandverfahren. Von Düsen u. Finck: Bureau of Standards Journal of Research Bd. 6 (1931) S. 493, Hencky: Z. ges. Kälteind. 1915 S. 91; Gesundh.-Ing. 1919 S. 469.
387. Cammerer: Moderne Messmethoden zur Prüfung des Wärmeschutzvermögens ausgeführter Gebäude. Gesundh.-Ing. Sonderheft vom 4. Juni 1930 S. 21.

Теплотворная способность

388. E. Meyer: Festlegung des Begriffes Heizwert. Z. VDI 1899 S. 282.
389. Merkel: Oberer und unterer Heizwert. Arch. Wärmewirtsch., August 1924.
390. Rummel u. Neumann: Heizwert, Wärmebilanz, Wirkungsgrad in der Feuerungstechnik, Stahl u. Eisen 1930 S. 305.
391. Din DVM 3711, Probenahme und Probeaufbereitung von stückfestem Brennstoff.
392. Din 3742, dasselbe für Brennstaub.
393. Din DVM 3716, Oberer und unterer Heizwert.
394. Din DVM 3701, 3721, 3725, Chemische Untersuchung derselben. Alle im Beuth-Verlag.

Твердое топливо

395. Probenahme von Kohlen. Stahl u. Eisen 1927 S. 411. Lehr: Z. VDI 1931 S. 1408; Kind-scher: Arch. Wärmewirtschaft 1928 S. 283; Rosin: Z. VDI 1929 S. 9.
396. Allcut: Experiments on a bomb calorimeter. Engineering 1910 Bd. 2 S. 755.
397. Kempf: Lufttrockenheit der Kohle unbestimmter Begriff. Mitt. a. d. Materialprüfungsamt Lichterfelde 1919 Heft 3 u. 4.
398. Langbein: Chemische und kalorimetrische Untersuchung von (festen) Brennstoffen. Z. angew. Chem. 1900 S. 1227.
399. Langbein: Über das Parr-Kalorimeter. Z. angew. Chem. 1903 S. 1075.
- 399a. Щукарев — Определение теплотворной способности тепла. ОНТИ 1934.

Газы

400. Dommer: Definition und Bestimmung des Heizwertes von Gasen. Gas-u. Wasserfach 1929 S. 180.
401. Sander: Gasprüfung (Heizwertbestimmung). Z. VDI 1929 S. 531.
402. Immenkötter: Über das Junkers-Kalorimeter. Eigenschaften und Fehlerquellen. J. Gasbel, Wasservers. 19. August 1905. Über Heizwertbestimmung gasförmiger und flüssiger Brennstoffe. München 1905.
403. Hempelsches Kalorimeter. J. Gasbel, Wasservers.; 12. Sept. 1903. Z. angew. Chem. 1901 S. 713. Für teerhaltige Gase. Wendt: Forschungsarb. 31 S. 70.
404. Das Explosions-Gaskalorimeter von Strache-Kling-Löffler. Gas-u. Wasserfach 1927 S. 1073.
405. Selbsttätiges Gaskalorimeter, Bauart Ados. Z. VDI 1931 S. 52.
406. Selbstaufzeichnendes Kalorimeter von Boys. Engineering Bd. 115 (4. Mai 1923); Z. VDI 1923 S. 814.

Газовый анализ

407. Winckler — Brunck: Lehrbuch der technischen Gasanalyse. 5. Auflage. Leipzig: Felix 1927. 248 Seiten. В нем помещено: на стр. 67 — Поглощение CO_2 ; стр. 68 — погл. ТУВ; стр. 72 — O_2 ; стр. 77 — CO ; стр. 81 — H_2 ; стр. 83 — N_2 ; стр. 158 — расчетные формулы; стр. 160 — вспышка; стр. 168 — горение в присутствии катализатора; стр. 177 — горение в присутствии Pt; стр. 198 — со связанным O_2 .
408. Franzen: Gasanalytische Übungen.
409. Schläpfer u. Hoffmann: Kritische Untersuchung über die Bestimmung des Kohlenoxydes. Schweiz. Ver. Gas-u. Wasserfachm. Monatsbull. 1927 Nr. 10 u 12; auch Bericht 25 des Eidgen. Mat-Prüf.-Anst. Zürich. Реферат. Borinski u. Murschhauser: Chem. Fabrik, 10. Februar 1932. Метод поглощения CO пятиокисью иода является вполне надежным, если определение производится точно по инструкции.
410. J_2O_5 -Apparat zur Bestimmung von CO . Chem. Fabrik 1930 S. 118; no. Ind. Engng. Chem., analyt. Ausgabe Bd. I S. 129 (Vandaveer u. Gregg).
411. Pauschardt: Wasserstoff- und Methanbestimmung im Orsat über Kupferoxyd. Gas-u. Wasserfach 1931 S. 613. См. Hofäss: Gas-u. Wasserfach 1921 S. 461; Gasinstitut Gas-u. Wasserfach 1929 S. 59; Ott: Gas-u. Wasserfach 1928 S. 590; 1929 S. 862; Bahr; Gas-u. Wasserfach 1930 S. 440.
412. Hoffmann: Gasanalytische Sperrflüssigkeiten. Feuerungstechn. 1926 S. 98. См. Gas-u. Wasserfach, 26. Februar 1927; Z. angew. Chem. 1926 Nr. 12 u 23.

413. Hahn: Neue Orsat-Apparate. Z. VDI 1906 S. 212; 1911 S. 473.
 414. Rauchgasprüfung (Дискуссия по вопросу конструктивного оформления газоанализаторов). Wärme Bd. 54 (1931) S. 460.
 415. Ventilloses Absorptionsgefäß (Nach Schmitz) mit doppelter Waschwirkung. Chem. Fabrik 1930 S. 151. Lieferer: Feddeler.
 416. Absorptionsgefäß von Vossieck, Ventillos mit doppelter Waschwirkung, von Schepherd für schwierige Absorption mit durchlöcherter Platinscheibe, Stahl u. Eisen 1931 S. 73.
 417. Orsat-Apparat zur kompletten Gasanalyse. Mitt. d. Wärmestelle des Gasinstituts Karlsruhe. Gas-u. Wasserfach 1929 S. 59. Изготовляет фирма Laboratoriumsbedarf G. m. b. H. Mannheim C 4, 8. См. также Mitt. Wärmestelle Eisenhl. Heft 123 и Heft 129 S. 323 ff.
 418. Ott: Fortschritte in der exakten und technischen Gasanalyse Schweiz. Ver. Gas- u. Wasserfachm. Monatsbull. 1926 Nr. 1.
 419. Ott: Neue gasanalytische Apparate. Gas- u. Wasserfach 1926 Nr. 15.
 420. Ott: Neue geschlossene Vorrichtung zur Ausführung der vollständigen technischen Gasanalyse unter Vermeidung der schädlichen Räume. Schweiz. Ver. Gas- u. Wasserfachm. Monatsbull. 1928 № 2.
 421. Ott: Gasanalytisches. A. Über die vollständige technische Gasanalyse in geschlossener Vorrichtung; B. Neue geschlossene Vorrichtung zur Bestimmung des Unverbrennbaren (CO_2 und N_2) in Gasen. Gas-u. Wasserfach 1929 Heft 35.
 422. Feuerberührte Versuchsgeräte; Mitt. 133 der Wärmestelle Deutscher Eisenhüttenleute. Газозаборная трубка, отсасывающий пирометр, пылезаборная трубка, а также пылемер. См. также Mitt. 148 S. 542.

Автоматический анализ газов

423. Braun: Die Apparate zur selbsttätigen Vornahme und Aufzeichnung von Rauchgasanalysen. Z. Gasbel. Wasservers. 1920 S. 310, 327, 388.
 424. Lieneweg. Automatische Gasanalyse in der chemischen Industrie durch Wärmeleitfähigkeitsmessung. Z. angew. Chem. 1932 S. 531. Применение к отдельным газовым смесям.
 425. Küppers: Bestimmung des Methangehaltes der Wetterproben mit Hilfe des tragbaren Interferometers. Glückauf 1913 S. 47.
 426. Pflaum: Untersuchungen an Siemens-Rauchgasprüfern. Arch. Warmewirtsch. 1927 Heft 10.

Особые случаи

427. Исследование содержания CO_2 в комнатном воздухе у Wolpert: Ventilation und Heizung, Bd. III.
 428. Neumann: Messtechnische Richtlinien für die Analyse des Kokeigases. Mitt. 129 der Wärmestelle des Ver. Dtsch. Eisenhüttenleute.
 429. Constam u. Schlaepfer: Ряд замечок по испытанию каменноугольных горючих газов, а также тяжелых углеводородов. Forschungsarb. 103.
 430. Bulle: Hochofenuntersuchungen. Stahl u. Eisen 1928, S. 433. Описание большой газозаборной трубки диаметром 50 мм и длиной 6600 мм с водяным охлаждением.

Объемные отношения

431. Gramberg: Die Verbrennung von Koks. Feuerungstechn. 1917 № 1, 2, 3.
 432. Borth: Über Rauchgasanalyse. Z. bayer. Revis.-Ver., 28. Februar 1907.
 433. Wa. Ostwald: Beiträge zur graphischen Feuerungstechnik, Leipzig 1920 S. 35, u Z. Elektrochem. 1919—1920 u. Feuerungstechn. 1919 S. 53.
 434. Neumann: Dreieckschaubilder für graphische Berechnungen. Z. VDI 1923 S. 231.
 435. Meyer (Delft): Mischungsverhältnisse und Verbrennungsvorgänge im Ölmotor, а также: Dreieckschaubild. Z. VDI 1929 S. 824.
 436. Dreieckstafel für Funktionen $z_1 + z_2 + z_3 = K$. Handbuch der Physik. Bd. 3 S. 583.

Дополнительная литература

437. В. Писковитин и Н. Михайлов. Автоматический газоанализатор. «Точная индустрия» № 7, 1935, стр. 16—18.
 438. Рубинштейн. Нормы измерения расхода жидкостей, газов и пара при помощи дроссельных приборов. Энергоиздат, 1933.
 439. Каравай. Водомеры. М. 1927.
 440. Адамович. Водомеры. 1931.
 441. Фальковский. Водомеры.
 442. П. Апель. Экономика топлива. Рациональное ведение топок.
 443. Г. Кнорре. Контроль и испытание котельных установок.
 444. Инж. С. Полунин. Цветовой пирометр для измерения температуры 900—2000° С. «Точная индустрия» 1931 г. № 11—12.
 445. Проф. Г. Кульбуш и А. Калинин. Термопары ДиП, свободные от поправки на температуру холодных спаев. «Точная индустрия» 1933 № 3—4.
 446. Техническая Энциклопедия. Справочник физических, химических и технологических величин. ОНТИ. 1927—1935 г.
 447. М. Н. Попов. Термометрия и Калориметрия. ОНТИ 1934.
 448. Проф. Г. Кульбуш. Электрические пирометры.

449. Инж. Ф. Жербин. Двухрамочный омметр в телетермометрических измерениях, независимых от напряжения их электрического питания. «Точная индустрия» № 4 1933 г.
450. Foote, Fairchild und Harrison. Pyrometriepractic. Technol. Papers of Bureau Standarts, № 170.
451. Проф. Г. Рибо. Оптическая пирометрия.
452. Б. Кинкулькин. Новые термоэлектрические пирометры для измерения высоких температур «Сталь» № 11—1935 г., стр. 53—58.
453. Том II ч. I. Гмелин и Кронерт. Контролирующие и регулирующие приборы ОНТИУ 1934.
454. Том II Гмелин и др. Физико-химический анализ на производстве. ОНТИ 1936.
455. Энциклопедия Технических Измерений (ЭТИ) (вышли выпуски 1—9).
456. Ломшаков. Испытание паровых котлов, 1927. Техническая Энциклопедия.



ПРЕДМЕТНЫЙ И ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

(числа означают страницы)

А

Абсолютное давление, избыточное давление, вакуум 76.
Автоматический газоанализатор на аммиак 394.
Автоматические весы 197.
Адос, прибор.
Анализатор гармонический 73.
Анализ газов, автоматический 381.
— газа, оптический 397.
— гармонический 254.
— топлива 374.
— силового газа 384.
— угля 375.
— элементарный 375.
Английская система мер 18, 76, 124, 218, 302, 343.
Анеометр 113.
Анкерное зацепление (в счетчике) 104.
Апериодическое демпфирование 32.
Ардометр 333.
Ареометр 126.
Аспиратор 370.
Аспирационный психрометр 356.
Атмосфера, техническая и физическая 75.

Б

Баланс работы 89, у манометров 81.
Балластные сопротивления, электрические 245.
Барабан Кросслея (Crossley) 190.
Барометр, стояние, приведение к уровню моря, показания из газетных бюллетеней 100.
Барометр, укороченный 83, 89.
Барр (Barr) 162.
Бах (Bach) 229.
Байера, парометр 202.
Безинерционный датчик 53.
Безнулевая шкала 36.
Бомба, калориметрическая 369.
Борт (Borth) 288.
Брауэр (Brauer) 166, 231.
Брутто, вес 145.
Бунзена-Шиллинга, прибор 128.

В

Вакуум, указание в процентах 76.
Вакууметр 82.
Вентиля, диаграмма подъема 289.
Вентилятор 125.
Вентури, труба 177.
Вертушка Вольмана (Woltmann) 154.
Вертушка (гидрометрическая), уравнение 111.
Весы или объемы 125.
Вес брутто, нетто 145.

Весы 135, 197.
Взвешивание 135, автоматическое 197.
Виброграф 253.
Вина (Wien), закон смещения 331.
Вихревые движения в воздушном потоке 120.
Включающие механизмы 65, 104.
Влажность угля 373, пара 361, газов 124, воздуха 347.
Влажный воздух 124, 348, в холодильных установках 349.
Вода сгорания 370.
Вода, расширение 125, теплоемкость 343.
Водомер 183, Вольмана 187, дисковый 188.
Водомер, парциальный 200.
Водорода, определение, содержание 375, обнаружение 386.
Водослив 158.
Воды, измерение, в реках и каналах 154.
— определение, в топливе 368.
Воды, измерение количеств, обзор 180.
— при помощи щита 157, запрудой 158, отверстиями 163.
Водяное сопротивление 245.
Водяной (гидравлический) тормоз 233.
Водяной пар, теплосодержание 360.
Водяной столб, мешающий 83, 99, 205.
Водяной эквивалент 342.
Воздуха, избыток, при азотсодержащих газах 492.
Воздуха, измерение, перед решетками 156, в газовых машинах 132.
Воздуха, потребление, машинами внутреннего сгорания 132.
Воздуходувки 125.
Воздухообмен в помещениях 132, в жилых помещениях 156.
Воздухоохладитель, тепловая мощность 358.
Воздушный тормоз 334.
Волосной гигрометр 358.
Вращающий момент 216.
Вспомогательная энергия 42.
Вспомогательной стенки (слоя), метод 364.
Выверка 38, анеометра 115, индикаторной пружины 272, весов 142.
Высокие давления 97.
Высокое число оборотов (индицирование) 263, 290.
Высота подачи насоса 98, 125.
Вычисление индикаторных диаграмм 266, при контроле производства 213.

Г

Газа, количество, по объему 147.
Газового столба, вес 129.
Газовой машины, индицирование 313.
Газовые весы 128.
Газовый анализ 381, автоматический 389.
Газовый калориметр 376.

Газовый поток, количество тепла 346.
Газомеры 190.
Газометр, газовые часы 190, 148.
Газы, теплотворная способность 375, количества 146, удельный вес 128, состав 381.
Гармонический анализ 73, 253.
Генки (Hencky) 321.
Гиббса (Gibbs), треугольник (координатный) 69.
Гибсона (Gibson), способ 179.
Гигрометр 357.
Гидрометрическая вертушка 111.
Гистерезисный тормоз 234.
Гольборн (Holborn) 334.
Горячий конденсат 151.
Градуированные сосуды 146.
Градуировка 23, анемометра 115. гигрометра 357.
Градуировка, большие сосуды 145, газомеры 190, счетчики количеств 187, напорные трубки 116—117.
Градуировка с принудительным ходом (анемометров) 113.
Графитовый пирометр 314.
Графическое изображение 67.

Д

Давление, абсолютное, избыточное, вакуум 76, статическое, динамическое, общее 78, 116.
Давление пара и температура 78, 100.
Давления, единицы 75; отбор (наблюдение) 98.
Давления, мультипликатор 179.
Дальтона, закон 347.
Движение барабана (индикаторного) 283.
Демпфирование 32, 34.
Дериватор 74.
Десятичные веса 136.
Действующее давление 163.
Диаграмма 67.
Диаграмма по пути кривошипа 275.
Диаграмма подъема вентиля 283.
Диаграммы, смещенные 274, по времени и по порциям 275, масштаб диаграмм 272.
Диафрагмы или насадки 174.
Дилятметрический пирометр проф. Шевнара 325.
Динамические свойства приборов 21.
Динамическое давление 78, 117.
Динамометр 218.
Динамометр, измеряющий давление на зуб 236.
Динамометр, приводной 236, Фишингера 237, Феттингера 239.
Динамометрические измерительные методы 236.
Дисковой водомер 188.
Дифференциальный манометр 87.
Дифференциальный метод 65.
Дифференциальный самопишущий пирометр Шевнара 329.
Дифференцирование и выведение разностей 248.
Дифференцирование кривых (графическое) 74.
Длительная пропускная способность (мощность) счетчика 182.
Длительные испытания, отсчет и вычисления 271.
Допуски 57, граница допусков 175.
Дроссельные измерительные приборы 205.
Дроссельный калориметр 361.

Дроссельный прибор 170.
Дымовых газов, анализ 381, количество 403, температура 321.

Е

Единица работы 217.
Единица массы 247.
Единицы 14, 122, работы 217, скорости 102, силы, мощности 217, давления 75, количеств вещества 122, температуры 300, количеств тепла 343.
Емкостный индикатор 291, мессдоза 227.

Ж

Жидкости 145, измерение 145.
Жидкости манометрические 85.
Жидкостный тормоз (гидравлический) 248, жидкости столб 99.

З

Закон Дальтона 347.
— подобия 173.
— смещения Вина 331.
Запруды 158, измерительная 159.
Зашелки, храповики 57.
Защита от излучения 321.
Защитный (от коррозии) газ 99.
Значущих цифр, число 63.
Золы, содержание 372.

И

Иенские стекла 303.
Избыток воздуха, при азотсодержащих газах.
Излучение (измерение температур) 333.
Изменение цвета для измерения температур 335.
Изменения длины 70, малые 252.
Изменения положения, малые 252.
Измерение давлений 75.
— (воды) при помощи щита, 157.
— с запрудами 158.
— выверочной диаграммы 61.
— жидкостей 145, 163.
— обратного давления 240.
— количеств тепла 342.
— потоков 164.
— силы 216.
— сил в частях сооружений 252, посредством индикатора 280, напряжений на самолетах 251.
— температур, в среде проточных газов 321, поверхностей 323,
— при помощи манометра 78, 84.
— числа оборотов 60.
Измеритель количеств «Мандекс», 210.
Измеритель количеств 93, счетчик количеств 180.
Измеритель малых давлений, микроманометр 86, 208.
Измеритель напряжений 252.
Измерительная запруда 159.
Измерительная энергия 42, 89.
Измерительный колокол 148, теория 90.
Измеритель отношений 56.
Измеритель сжатого воздуха 187.
Изображение результатов 65.
Изображение, электрическое (величин) 44.
Изоляция (тепловая) 363.

Импульсная передача 52, 108.
 Индикатор 256, с холодной пружины 259, ленточный 277.
 Индикаторных диаграмм, обработка 267, при контроле производства 213, для определения количеств 152.
 Индицирование газовой машины, двигателей внутреннего сгорания 268, холодильных машин 290, насосов 281.
 Индукционный тахометр 106.
 — тормоз 234.
 Инерции, момент 247.
 Инерция (приборов) 30, термометра 304.
 Интегрирующие приборы 38.
 Интерферометр 397.
 Испарение и парообразование 348.
 Испытание на замедление 247, двойное 251.
 — на излучение холодильной установки 344.
 — охлаждением 343.
 Испытания парообразования 360.
 Испытательный станок для авиомоторов 243.
 Истечение 163, 167.
 Истечение газов, прибор Шиллинга-Бунзена 128.

К

Калориметр, дроссельный 361, отделяющий 363.
 Калориметрирование углей 370, газов 376, моторных масел 379.
 Калориметрическая бомба 369.
 Калориметрия 343.
 Калория 343.
 Канатный тормоз 233.
 Кататермометр Хилла 121.
 Квадратичное среднее 61.
 Кварцевая нить 119.
 Киловатт 14, 217.
 Киршмер (Kirschmer) 160.
 Колебания 36, 254, индикатор 261, в приборах 31.
 Колеблющиеся массы (индикатор) 279.
 Количество вещества 122.
 Количество газа, по объему 148.
 Количество пара, по конденсату 151.
 Колокольный манометр 90.
 Кольцевая трубка, кольц. реостат 44.
 Кольцевой манометр = кольцевые весы 87.
 Кольцевые весы 87, 94, 208.
 Комбинированный цветовой пирометр «Биоптик» 336.
 Компенсационные приборы 36.
 Компрессор, холодильный, индицирование 290.
 Конденсата, измерение 151, 360.
 Конструирование приборов, правила 35.
 Контактный ряд 208.
 Конусный измеритель 201.
 Координаты, треугольные 69.
 Корневой планиметр 72.
 Коэффициент загрузки 16.
 Коэффициент подачи 149.
 Коэффициент истечения 173.
 Коэффициент полезного действия, механический 269, объемный 152.
 Кривая погрешностей, водомер 182.
 Кросслея, барабан (Crossley) 190.
 Крыльчатый анемометр 113.
 — водомер 186.
 Крючки измерительные, крючковый измеритель 158, 161.
 Кубицирующий прибор 146, 193.

Л

Лед, давление пара над ним 349.
 Ленточный индикатор 277.
 Ленточный тормоз 229.
 Лешателье (Le Chatelier) пирометр.
 Линейный планиметр 71.
 Лошадиная сила 217, английская 218.
 Люкс (Lux) 93, 128.

М

Манометр 79, установочный 98.
 Манометрические жидкости 85.
 Манометр с наклонной трубкой 86, с двумя жидкостями 84.
 Мариотт (Mariotte) 123.
 Массы, единица 14, 247.
 Массы, колеблющиеся (индикатор) 279.
 Масштаб пружин (индикаторных) 271, диаграмм 14, 28, 248, 287.
 Масштаб погрешностей 65.
 Математические устройства 54.
 Машины, размеры 69, 266.
 Машины внутреннего сгорания, индицирование 269.
 Маятниковая проба (момент инерции) 247.
 Маятниковые весы 144.
 Меркель (Merkel) 368.
 Мер, системы 17.
 Мерный сосуд 146, с малым отверстием 164.
 Мертвой точки, установление, при индицировании 263.
 Месдоза 224.
 Метод наполнения 148, истечения 151.
 Метод половинной кривой резонанса 53.
 Микроиндикатор 291.
 Микроманометр 86.
 Многократный самописец 51.
 Мостовая схема со скрещенными рамками 50.
 Мост сопровитвления 44, 306.
 Мостовые весы 136.
 Мощность эффективная 256.
 Мультипликатор давления 179.
 Мультипликатор разрежения (вакуума) 120, Рато 179.

Н

Наблюдение 60.
 Надежность 21.
 Нажим Прони 228.
 Наполнения, метод 148.
 Напорное давление = динамическое давление 117.
 Напорные приборы 116, 155, решетка 178.
 Направляющая сила 26, в манометре 80.
 Направляющее устройство (для струй) 187.
 Направления в мостах 252.
 Насоса, высота подачи 98.
 Начальный импульс 39.
 Неблагородные терморпары для измерения температур 313.
 Непрерывное взвешивание 197.
 Неравномерность 109, 254.
 Нетто, вес 145.
 Нечувствительность = неточность приборов 24.
 Нониус 21, 60.
 Нормальная температура 302.
 Нормальное состояние газов 124.
 Нормальные диафрагмы, сопла 174.
 Нулевая точка, отсутствующая нулевая точка (безнулевая шкала), поверка нулевой точки 202.
 Нулевой метод (уравнительный метод) 36.

Обработка индикаторных диаграмм 267, при контроле производства 213.
 Обратная величина, значение 62.
 Обращенный отвод 55.
 Объемная мера 122.
 Объем приведенный, газов 123, объем или вес 125.
 Объемный коэффициент полезного действия 151.
 Обмен воздуха 132, в жилых помещениях 156.
 Общее давление 78, 117.
 Однородность формул 15.
 Окружная скорость 103.
 Определение воды в топливе 375.
 Определение количеств 130.
 Определение мощности посредством индикатора 267, при длительных испытаниях 271, по обратному давлению 241.
 Определение расхода пара 271.
 Опрокидывающийся измеритель 193.
 Оптический отсчет 239, анализ газа 397.
 Оптический пирометр «Гольборн-Курльбаум» 333, «Пиропто», 335.
 Орса, прибор 382.
 Основные единицы 14.
 Осциллограф 51.
 Отбор (наблюдение) давления 98.
 Отбор пробы на влажность пара, топлива 368, дымовых газов 387.
 Отвод, обращенный 45.
 Отвод (утечка) тепла 320.
 Отклоняющиеся значения 66.
 Открытые водомеры 193.
 Отметчик (отметочный механизм) с колеблющейся пружиной 277.
 Относительная влажность 347, в холодильных установках 348, 354.
 Отношение отверстий (при диафрагмах) 171.
 Острыной штифт (острие) 146.
 Отсасывающий пирометр 322.
 Отсчет 60, колеблющихся величин 35, интегрирующих приборов 270, счетчиков 48.
 Охлаждением, испытание 344.

П

Падающая дужка, самописец 51.
 Пара, количество, по конденсату 151.
 Параллакс 21, 60.
 Паровой котел, парообразование 360.
 Паромер 210, при паровых машинах 215.
 Парообразование и испарение 347.
 Парциальный водомер 199.
 Перемена цвета, для измерения температур 342.
 Перемножающая передача 54.
 Переставляющая сила 25, у манометра 97.
 Пирометр 310, полного излучения 333.
 Пирометр самопишущий, сигнальный, терморегулятор с репродукцией термического цикла 326.
 Питательные агрегаты (для центральных измерительных установок) 50.
 Пито (Pitot), трубка = напорная трубка 116.
 Пишущего штифта, движение (индикатор) 279.
 Пишущее перо 41.
 Планиметрирование индикаторных диаграмм 266.
 Планиметр линейный 71.
 — полярный 71.
 Плотность 123.
 Площадь поршня, действующая 266.
 Поверка нулевой точки 21, 201.
 Поверхности температура 323.
 Повторение 44, нарастание 87.
 Погрешность, средняя, вероятная, случайная, систематическая, личная 66.
 Погрешности при измерении температуры ртутными термометрами 304, термометрами сопротивления 309, термоэлектрическими пирометрами 317, радиационными и оптическими пирометрами 337.
 Подвесная динамо 242.
 Поддувание (попутный ветер) 115.
 Подобия, закон 173.
 Показание вакуума в процентах 77.
 Показания на расстоянии 53, тахометр 108, термометр 302, динамометр.
 Показывающий прибор 20.
 Половинного резонанса, способ 53.
 Поплавковый измеритель (пара и т. д.) 202.
 Поправка на выступающий столбик 304.
 Поправка на расширение 176.
 Поправки 64, механическо-электрические 56.
 Поправка на излучение 320.
 Поршневой манометр (пресс) 95.
 Поршневые измерители, водомеры 183.
 Постоянный или переменный ток 44.
 Потенциометрический метод измерения электродвижущих сил 314.
 Потери с дымовыми газами 403.
 Потери холода 363.
 Потеря давления (паромер) 214, энергии 214, в счетчиках 182, в нормальном сопле и нормальной диафрагме 174.
 Потоков, протекающих количеств, измерение 170.
 Потребление воздуха машинами внутреннего сгорания 132.
 Правила для конструирования приборов 35.
 Предварительная скорость 160, 170.
 Преимущества и недостатки оптических и радиационных пирометров 339.
 Прибор Орса 382.
 Прибор с железным кольцом 45.
 Прибор со скрещенными рамками 45, 56, 366.
 Приведенный объем 123.
 Приводной динамометр 236.
 Примеры числовые:
 анализ светильного газа 386;
 вес влажного воздуха 124;
 влажность воздуха 349, 356;
 водяной эквивалент 342;
 вычисление масштаба диаграмм 15, 29, 248, 287;
 вычисление парных диаграмм 267;
 демпфирование 285;
 запаздывание отметочного механизма 277.
 избыток воздуха 398.
 измерение истечением при большой разности давлений 170;
 испытание замедлением 248, двойное 251;
 испытание на излучение холодильной установки 344;
 испытание охлаждением холодильной установки 342;
 испытание парообразования 360;
 колеблющиеся массы у индикатора 286;
 количество воздуха по распределению скоростей в трубе 155;

масштаб диаграмм 273, 289;
 мощность вентилятора 125;
 мощность воздухоохладителя 358;
 напорные приборы 117;
 обработка диаграмм машины тройного расширения 267, газовой машины 269;
 объемы дымовых газов 399;
 объемный коэффициент полезного действия компрессора 152;
 определение теплотворной способности светильного газа 376, каменного угля 372;
 опытное определение расхода пара 270;
 подача воздуха и коэффициент подачи компрессора 167;
 поправка на выступающий столбик 304;
 потери с отходящими газами 403;
 приведение вакуума 77;
 приведение объемов газов 124;
 расход газа газовой машиной 124;
 расход пара паровой машиной по диаграммам 152;
 собственные потери индукционного тормоза 249;
 статические силы в трубчатом треугольнике 29;
 теплосодержание пара 360;
 холодильные установки 344, 358;
 числовое выражение давлений 76;
 числовые данные вакуума 77.
 Пробник (мерник) 146.
 Продолжительность пользования 15.
 Прони (Prony) нажим 228.
 Процентные данные 60, при вакууметрах 76.
 Прямолинейное направление (индикатор) 262.
 Психрометр 350, аспирационный 356.
 Психрометрическая формула Шпрунга 355.
 Пульсирующие потоки 215.
 Пуска в ход, сопротивление, счетчиков 39, 209, 181.
 Пьезоэлектрические измерения 254.

Р

Работы, единица 217.
 — баланс 89, у манометров 81.
 — счетчик 292.
 Радиан 103.
 Радиационные пирометры: «Ардометр» 333, «Пиррадио» 333.
 Размерность 14, размерность температуры 17, 300.
 Размеры машин 69, 267.
 Разность температур 309, 310.
 Ранарекс (Ranarex) 394.
 Распределение скоростей (по сечению) 153.
 Рассолы, коэффициент истечения 166.
 Расстройство потока в местах измерения 175.
 Расход пара, определение 271.
 Расширение, ртути 83, рассолов 123, воды 123.
 Рато (Rateau) мультипликатор 179.
 Реактивы 388.
 Ребок (Rehbock) 158.
 Резонанс половинный, способ 53.
 Решетки, измерение воздуха перед ними 154.
 Рейнольдово число (Reinolds) 172.
 Рота-измеритель (вращающийся) 201.
 Ртути, очистка 83.
 Ртутный термометр 302, манометр 81, измеритель количеств 206, его теория 94.

Самописец с падающей дужкой 51.
 Самопишущие (регистрирующие) приборы 39.
 Саморегулирование, тормоза 231.
 Секундомер 101.
 Сен-Венан (Saint-Venant de) 168.
 Сервомоторная вспомогательная энергия 42.
 Сил, измерение, в частях сооружений 252, с помощью индикатора 289, на самолетах 251.
 Силовой газ, анализ 385, избыток воздуха 400.
 Системы мер 15, 409.
 Скоростей, распределение 153.
 Скорости, единицы 102.
 Скоростные водомеры 185.
 Скорость в трубопроводах 155.
 Следы газов 43, 399.
 Смешанная диаграмма 274.
 Собственное число колебаний 31, 226.
 Собственные потери, тормозные шкивы 247, турбодинамо 249.
 Содержание золы 372.
 — углерода в углях 374.
 Сопла 174 или диафрагмы 174.
 Соппротивление, балластное 245.
 Соппротивление, при пуске в ход (начальное) 30, 28, 209.
 Соппротивления термометры 305.
 Состав угля 373.
 Сосуды, градуированные 145.
 Сотрясения 252.
 Союзная формула 380.
 Способ измерения количеств воды, время—давление 179.
 Способ определения скорости распространения раствора 134.
 Способ разбавления 133.
 — царापаниа (микрзаписи) 252.
 Среднее значение (—я величина) 39, 54, взвешенное 65, произведений 62, — образование (получение) при газовом анализе 388.
 Средняя погрешность 65.
 Средняя скорость 153.
 Станок, испытательный, для авиомоторов 243.
 Статические свойства (приборов) 25, (тормозов) 229, 236.
 Столба газа, вес 129.
 Ступенчатый поршневого насос (индикаторная мощность) 269.
 Сужение, сжатие (струи) 158, 164, 171.
 Сушильные установки 360.
 Счетчики 38, 104.
 Счетчики протекающих количеств 180.
 Счетчик оборотов 104.
 Счетчик работы 292.
 Счетчик тепла 346.

Т

Тара 145.
 Тахограф 109.
 Тахометры 105.
 Температура 300 (и давление пара) 78, 101, (жидкостных манометров) 95, (индикатора) 261, (размеры машин) 69, (измерение высоты уровня) 125.
 Температура, нормальная 302.
 Температура поверхности 323.
 Температурная шкала 300.
 Температурные влияния на приборы 21.
 Тепла единицы 343.

Тепла, количество 342, в газовых потоках 346, счетчики 346.
Тепла, потери 363.
Тепловой бинт (лента) пояс Шмидта 364.
Тепловой эквивалент, механический 217, электрический 218.
Теплоемкость, удельная 343.
Теплопроводность, коэффициент 17, 363.
Теплоудержание 343, пара 360.
Теплота горения 367.
Теплотворная способность 367.
Теплотехническая система мер 16.
Термометр 302, сопротивления 305.
Термопары 311.
Термоэлектроды 311.
Техническая система мер 15,
Титрование 133.
Томаса (Thomas) газомер 200.
Торзиограф 254.
Торзионный динамометр 238.
Тормоз и силовая машина 234.
Тормоз ленточный 229, 232.
Тормозная мощность 221, 256.
Тормозное испытание (паровой машины) электрическое 245.
Тормозной нажим, саморегулирующийся 220;
Точечный индикатор 292.
Точность ртутных манометров 85.
Точность числовых данных 63.
Трансмиссионный динамометр 236.
Трение 40, пишущего штифта 40, в динамометре (теория) 282.
Труба Вентури 177.
Трубка Пито-напорная трубка 116.
Тягомер 92.

У

Углерода, содержание, в углях 374.
Угловая скорость 103.
Угольные весы 197.
Удельная теплоемкость 343.
Удельный вес 122, 126, воды 129.
Уитсона, мост 44, 306.
Указание уровня жидкости 45.
Указатель мощности потока 199.
Укороченный барометр 89.
Уничтожение электрической энергии 245.
Унограф 394.
Уравнивание высоты столба жидкости 99, водяного столба 82.
Уравнительные сосуды 205.
Уравновешивание погрешностей 65.
Ускорение 247.
Установившееся состояние 63, 344.
Установка (индикаторов) 104, (манометров) 98.
Установление мертвой точки при индцировании 264.
Устройство с подвижным грузом (весы) 137.
Утечка, незаметная 212.

Ф

Фивег (Vieweg), 239.
Физические методы газового анализа 394.
Фишингера, динамометр 237.
Фотоэлектрический метод измерения температур 340.

Феттингера, динамометр 239.
Фрам (Frahm) 240, 110.
Фрезе (Frese) 161.
Френсис (Francis) 161.

Х

Ходоуменьшитель 258.
Холодильные установки, машины, индцирование 290, испытания 344, 358.
Холодная пружина, индикатор 259.
Холодно-горячая трубка 387.
Храповики, защелки 58.
Храповое включение 58.
Хронограф 101.

Ц

Цветовая пирометрия 335.
Цветовой пирометр Незера 336.
Цельсия, шкала 17, 300.
CGS система 17.
Центробежный прибор 115.
Цепные весы 44.
Цилиндрическая, постоянная (константа) 270.

Ч

Чашечный крест 113.
Черная температура 331.
Числовые данные, точность 63.
Числовые примеры, см. примеры.
Число значущих цифр 64.
Число оборотов 60, измерение 102.
Чувствительность счетчика 182.

Ш

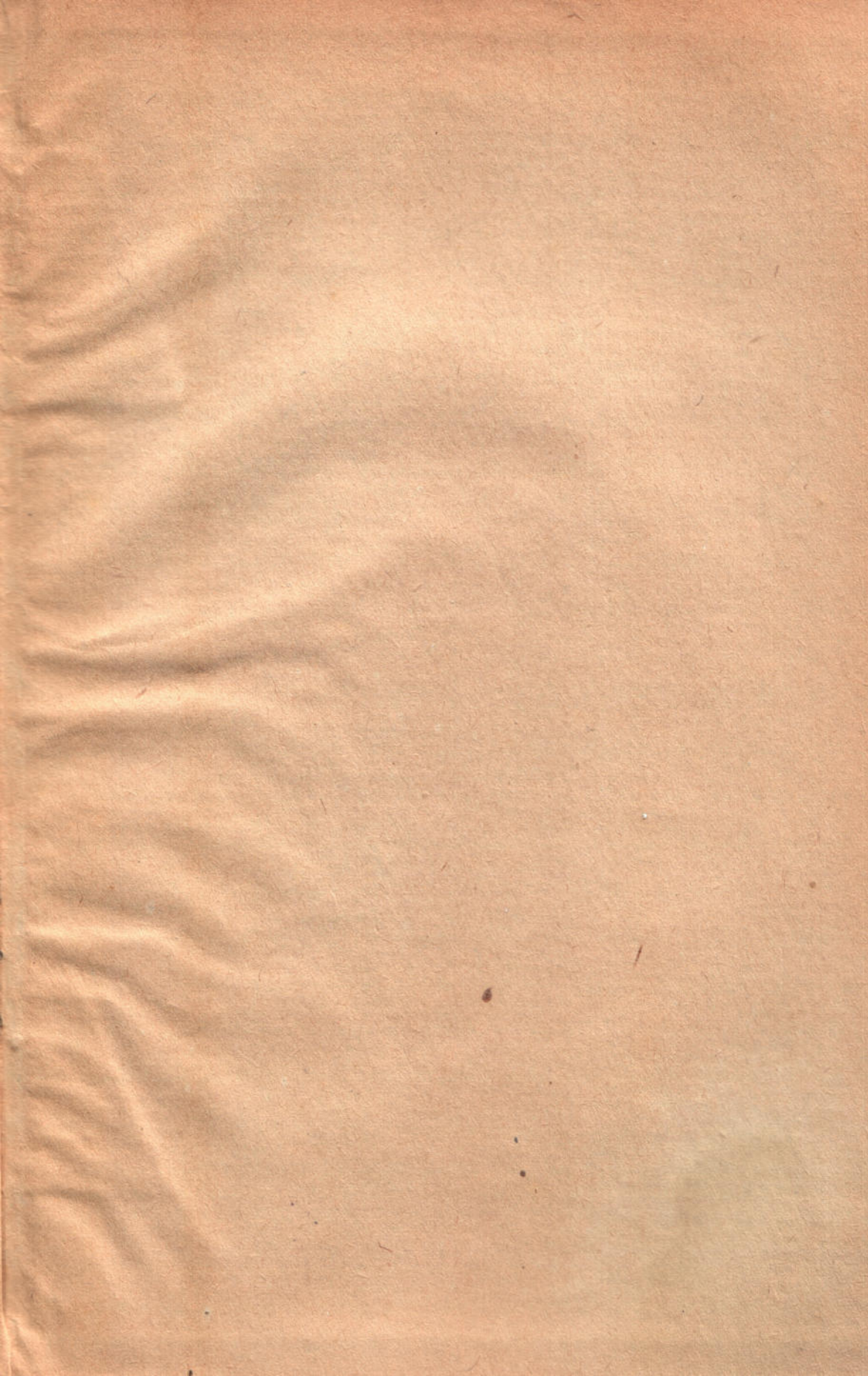
Шкала равномерная, суживающаяся, расширяющаяся, беззубая 21.
Шкала Цельсия 20, 300.
Шмидт (Schmidt) 323, 364.
Шмидт (Schmidt, M) 111.
Шнейдер (Schneider) 165.
Шпрунга (Sprung) психрометрическая формула 354.
Шмидта, пояс 364.

Э

Эквивалент, водяной 342.
Электрическая нагрузка 245.
Электрическое изображение (значений) 44.
Элементарный анализ 375.
Энергии, баланс 41, расход 41.
Энергии, потери (паромер) 214, у счетчиков 182.
Энергия, измерительная 42, 89.
Эталоны 17, 95, 147.
Эффективная мощность 256.
Эффект Пельтье 309.

Ю

Юнкерса, калориметр 376, автоматический 378.



3

Цена 9 руб.

Переплет 1 р. 25 коп.

4-(8)-3

