

А 3

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

МОСКОВСКИЙ ордена ЛЕНИНА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Инж. УЛЫБИН С. А.

На правах рукописи

ИССЛЕДОВАНИЕ УДЕЛЬНЫХ ОБЪЕМОВ  
ОБЫЧНОЙ И ТЯЖЕЛОЙ ВОДЫ В ШИРОКОМ  
ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР И ДАВЛЕНИЙ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель чл.-корр. АН СССР профессор  
КИРИЛЛИН В. А.

## ВВЕДЕНИЕ

Намеченная XXI съездом КПСС программа развития народного хозяйства в 1959—65 гг. предусматривает значительный рост советской энергетики. В предстоящем семилетии выработка электроэнергии в стране будет доведена до 500—520 млрд. квт-ч, то есть возрастет приблизительно в 2,0—2,2 раза.

В качестве главного направления в развитии энергетики в 1959—65 гг. предусматривается строительство новых тепловых электростанций, что обеспечивает быстрее темпы электрификации страны. Одной из важнейших задач теплоэнергетики является повышение экономичности тепловых станций. Расчеты показывают, что коэффициент полезного действия теплосиловых установок существенно зависит не только от применяемых параметров пара, но и от того насколько точно определены используемые в расчетах теплофизические константы пара.

При расчетах теплосилового оборудования пользуются таблицами термодинамических свойств воды и пара, которые составляются на основе имеющегося экспериментального материала. Анализ значений удельных объемов, приведенных в различных таблицах, показывает, что в ряде случаев имеет место значительное расхождение, достигающее 1% и более. Наличие таких расхождений обусловлено, в большей степени, недостаточной точностью экспериментального материала, используемого для составления таблиц.

В связи с этим возникла необходимость проведения нового экспериментального исследования удельных объемов воды и водяного пара.

В предстоящем семилетии будут также осуществлены крупные мероприятия по использованию атомной энергии в мирных целях. Вступит в строй ряд атомных электростанций с различными типами реакторов.

В ядерной энергетике весьма перспективным является использование тяжелой воды, применение которой в качест-

ве замедлителя и теплоносителя позволяет избежать дорогостоящего процесса обогащения уранового топлива. Для расчетов таких реакторов необходимо знание теплофизических свойств тяжелой воды. В настоящей работе проведено подробное исследование удельных объемов тяжелой воды.

Выполненная работа состоит из IX глав.

В главах I—III приведены описания методики эксперимента и дано обоснование ее выбора, описание схемы и конструкции экспериментальной установки с подробным рассмотрением ее основных узлов, методики измерения температуры, давления, объема пьезометра и веса исследуемого вещества; результаты наладки установки и оценка точности эксперимента.

Главы IV—VI посвящены рассмотрению результатов предыдущих экспериментальных исследований удельных объемов воды и водяного пара; анализу точности новых опытных значений удельных объемов, изложению методов анализа точности экспериментальных значений удельных объемов и результатам такого анализа для всех данных по удельным объемам воды и водяного пара, полученных в МЭИ.

В главах VII—VIII содержится обзор предыдущих исследований термических свойств тяжелой воды и ее пара, анализ полученного в работе экспериментального материала по удельным объемам  $D_2O$  и сопоставление термических свойств обычной и тяжелой воды в широком диапазоне температур и давлений.

В главе IX рассмотрено подобие термических свойств обычной и тяжелой воды и приведена таблица удельных объемов тяжелой воды в диапазоне температур 150—600°C и давлений от 100 до 600  $кг/см^2$ .

Краткое содержание работы излагается ниже.

### Выбор, описание и дальнейшая разработка методики эксперимента

Основными требованиями, определившими выбор экспериментальной методики исследования удельных объемов воды и водяного пара, явились:

1. Возможность проведения опытов в широкой области параметров состояния, включая область, близкую к критической точке, и область высоких температур (до 650°C) и давлений (до 700  $кг/см^2$ ).

2. Обеспечение высокой точности получаемых экспериментальных данных (ошибка не более 0,25%).

3. Удобство проведения опытов и дальнейшей обработки экспериментального материала.

Исходя из этих требований проведен подробный анализ экспериментальных методик Смита и Кейса, Тимрота Д. Л., Кириллина В. А., Кеннеди. В результате анализа выяснено, что:

1. Все рассмотренные методики обеспечивают достаточно высокую степень точности опытных значений удельных объемов и при дальнейшей их разработке могут быть применены для проведения исследований в указанных областях давлений и температур.

2. Основной трудностью в проведении эксперимента по определению удельных объемов является поддержание постоянной величины объема, занимаемого исследуемым веществом, при изменении параметров состояния. В методиках Смита и Кейса, Тимрота Д. Л. и Кеннеди для этой цели использовался ртутный затвор, применение которого усложняет конструкцию установки и проведение опытов. Методика Кириллина В. А., благодаря применению принципиально отличной конструкции запирающего устройства с использованием пружины обычного трубчатого манометра, в конструктивном отношении может быть осуществлена значительно проще, что является ее несомненным преимуществом. По этой причине методика Кириллина В. А. использована в настоящей работе.

Анализ опытных данных предыдущих работ, проведенных по методике Кириллина В. А., показал, что точность экспериментальных значений удельных объемов снижается при уменьшении плотности исследуемого вещества. Одна из причин этого заключается в недостаточно точном введении поправок, связанных с вытеканием исследуемой жидкости из балластного объема установки вследствие того, что:

1. Предполагалось, что объем пружины дифференциального манометра остается постоянным при любом показании его шкалы.

2. При последнем выпуске воды, проходящая по толстостенному капилляру горячая вода нагревала его стенки, что приводило к дополнительному выходу воды из балластного объема и что никак не учитывалось.

При проведении настоящей работы специальными опытами было установлено, что объем пружины дифференциального манометра уменьшается с уменьшением показаний его шкалы, что учитывалось при расчете величин удельного

объема введением соответствующей поправки. Для устранения второй причины неточности, последний выпуск воды производился до давления несколько выше атмосферного (обычно до  $1,1-1,3 \text{ кг/см}^2$ ). Это позволило избежать выхода воды из капилляра, обусловленного его нагревом.

Проведенное усовершенствование методики позволило повысить точность и уменьшить разброс экспериментальных значений удельных объемов пара.

### Конструкция установки, порядок проведения эксперимента и методика расчета величины удельного объема

В работе применялся пьезометр цилиндрической формы, неразгруженный от давления, изготовленный из стали марки X18H9T. Объем пьезометра при нормальных условиях составлял около  $423 \text{ см}^3$ . Пьезометр помещался в блок, отлитый из красной меди, служивший термостатом. Для лучшего теплового контакта блока и пьезометра, посадка его осуществлялась в горячем состоянии. На торцах пьезометра помещались медные диски.

Нагрев пьезометра с исследуемым веществом производился тремя электрическими нагревателями, расположенными на цилиндрической поверхности термостатирующего блока и медных торцовых дисках. Мощность нагревателей составляла около  $3 \text{ кВт}$ ; регулирование мощности осуществлялось вручную.

Температура измерялась термометром сопротивления, изготовленным из платины марки «спектрально-чистая» и помещенным в продольную выточку между медным термостатирующим блоком и пьезометром. Отчет показаний термометра сопротивления производился с помощью низкоомного потенциометра 1-го класса точности ПМС-48 с применением высокочувствительных зеркальных гальванометров.

Равномерность температурного поля пьезометра контролировалась по показаниям 5 хромель-алюмелевых термопар, расположенных в различных по высоте местах медного блока и более чувствительно — по показаниям термометра сопротивления при его перемещении вдоль выточки.

Для определения поля температур по длине толстостенного капилляра, на его поверхности между нижним торцом пьезометра и холодильником размещались 3 хромель-алюмелевых термопары.

В качестве дифференциального манометра использовался малогабаритный трубчатый манометр с пределом шкалы  $10 \text{ кг/см}^2$ . Пружина манометра, снабженная диском с делениями, помещалась в специальный толстостенный сосуд, давление внутри которого создавалось масляными прессами. Отчет показаний шкалы дифференциального манометра осуществлялся через плексигласовое окно.

Балластный объем установки составлял около  $3,6 \text{ см}^3$ , то есть менее  $0,9\%$  объема пьезометра.

Давление в полости толстостенного сосуда дифференциального манометра измерялось поршневым манометром системы Жоховского М. К. с верхним пределом измерения  $1000 \text{ кг/см}^2$ . Давление в полости пьезометра определялось как сумма из давления в толстостенном сосуде, показаний дифференциального манометра и атмосферного давления, отсчитываемого по барометру.

В системе установки давление создавалось двумя масляными прессами: поршневым и винтовым. Разделение масла и воды осуществлялось в специальной разделительной емкости.

Выпуск воды из установки при переходе от одного равновесного состояния к другому осуществлялся через специальный вентиль в бюкс под слой масла. Взвешивание выпущенной воды производилось на аналитических весах 1-го класса точности АДВ-200.

Объем пьезометра при нормальных условиях определялся по количеству воды, заполнявшей его при этих условиях. Поправки на изотермическую деформацию от давления и термическое расширение пьезометра вводились расчетным путем.

Определение количества воды, находившейся в пьезометре в некотором равновесном состоянии, производилось путем суммирования веса всех выпусков воды, произведенных после этого состояния. При этом вводились поправки на испарение жидкости в процессе выпуска, на взвешивание гирь в воздухе, на вытекание воды из балластного объема пьезометра, на изменение количества воды в пружине дифференциального манометра при изменении показаний его шкалы и на количество пара, остающегося в пьезометре после последнего выпуска.

Опыты по определению удельных объемов производились по изотермам.

## Исследование удельных объемов обычной воды и ее пара

Имеющиеся в настоящее время экспериментальные данные различных авторов по удельным объемам обычной воды и ее пара охватывают широкий диапазон температур и давлений, достигая  $1000^{\circ}\text{C}$  и  $1400 \text{ кг/см}^2$ . Анализ накопленного материала показывает, что в некоторых областях состояния между экспериментальными данными различных авторов имеют место значительные расхождения, что не позволяет надежно определить значения удельных объемов с точностью, необходимой для практических целей. Наиболее существенные расхождения наблюдаются около критических параметров состояния и при высоких температурах.

Экспериментальные данные, относящиеся к околокритическим параметрам состояния, в ряде случаев ошибочны. Недостаточность надежного экспериментального материала и сложность изменения термических свойств при этих температурах и давлениях приводят к тому, что табличные значения удельных объемов по различным источникам отличаются на величину до 1%.

В области температур выше  $600^{\circ}\text{C}$  между имеющимися экспериментальными данными Кириллина В. А. и Румянцева Л. И. и Кеннеди расхождения достигают величины 0,8%.

Существует мнение, что данные Кириллина В. А. и Румянцева Л. И. при этих температурах ошибочны, так как в их установке имело место взаимодействие воды с металлом стенок пьезометра.

В настоящей работе дан подробный анализ возможного влияния эффекта взаимодействия воды с металлом на величину удельного объема. В результате анализа установлено, что наблюдаемое при этом разложение воды может привести к увеличению экспериментальных значений удельных объемов по сравнению с действительными. В противоположность этому данные Кириллина В. А. и Румянцева Л. И. являются в основном заниженными, что указывает на отсутствие существенного влияния взаимодействия воды с металлом в их работе.

Для выяснения наличия взаимодействия воды со стенками пьезометра в настоящей работе были проведены специальные опыты, в которых производилось наблюдение за изменением давления в пьезометре при поддержании постоянной высокой температуры в течение длительного времени (около 5 часов).

Опыты показали отсутствие влияния эффекта разложения воды.

Экспериментальное определение удельных объемов обычной воды состояло из 3 серий опытов:

1 серия включала исследования вблизи критической температуры (изотермы  $368,82$ ;  $388,400$  и  $410^{\circ}\text{C}$ ) в диапазоне давлений от 70 до  $500 \text{ кг/см}^2$ ;

2 серия — исследования при высоких температурах (изотермы  $600$ ,  $620$  и  $650^{\circ}\text{C}$ ) в диапазоне давлений от 70 до  $500 \text{ кг/см}^2$ ;

3 серия — исследования при высоких температурах и давлениях (изотермы  $500$ ,  $520$ ,  $550$ ,  $570$ ,  $600$ ,  $620^{\circ}\text{C}$  при давлениях до  $700 \text{ кг/см}^2$ ).

Всего получено около 140 новых опытных значений удельных объемов (табл. 1).

В результате первой серии опытов были уточнены имеющиеся опытные данные и обнаружены ошибочные значения удельных объемов на изотерме  $388^{\circ}\text{C}$ , полученные ранее в МЭИ.

Во второй серии опытов были получены новые значения удельных объемов, лучше согласующиеся с данными американских исследований.

В третьей серии опытов диапазон давлений был увеличен до  $700 \text{ кг/см}^2$ . В результате были получены данные в пределах давлений от 500 до  $700 \text{ кг/см}^2$ , которые в настоящее время являются единственными в Советском Союзе.

Анализ и сопоставление полученных в 3 серии опытов значений удельных объемов с экспериментальными данными Кириллина В. А. и Румянцева Л. И. при давлениях до  $500 \text{ кг/см}^2$  и с данными американских исследований показали, что лучшее согласие наблюдается с данными Кириллина В. А. и Румянцева Л. И. Сглаженные значения удельных объемов, приведенные в работах Кеннеди, несколько завышены.

В связи с предложениями о необходимости проведения анализа точности всех экспериментальных данных по термодинамическим свойствам воды и водяного пара, высказанными в 1958 году на заседании Международного Координационного комитета Международной конференции по свойствам водяного пара, в работе рассмотрены методы обработки экспериментальных  $P$ ,  $v$ ,  $T$  данных, предложенные в МЭИ, ВТИ и ОИИМФе, и проведен анализ всех опытных  $P$ ,  $v$ ,  $T$  данных, полученных в Московском энергетическом

институте. Анализ точности производился как путем непосредственного сопоставления экспериментальных данных различных авторов, так и на основе рассмотрения отклонений опытных значений удельных объемов от интерполяционных кривых сглаженных величин, полученных тремя различными методами. В результате анализа выявлены надежные значения удельных объемов и недостаточно точные, которые не рекомендованы для использования при дальнейших обработках экспериментального материала. В работе приведены сводная таблица опытных значений удельных объемов, признанных надежными, и таблица недостаточно точных значений удельных объемов.

### Исследование удельных объемов тяжелой воды и ее пара

К настоящему времени теплофизические свойства тяжелой воды при параметрах, отличных от нормальных, частично изучены только на кривых насыщения. При повышенных температурах и давлениях в области однофазного состояния исследования почти не проводились.

В настоящей работе определены удельные объемы тяжелой воды и ее пара в диапазоне температур от 250 до 500°C на одиннадцати изотермах (250, 300, 350, 360, 369, 371, 372, 380, 400, 450 и 500°C) при давлениях от 70 до 500 кг/см<sup>2</sup>. Всего получено более 130 экспериментальных значений удельных объемов (табл. 2).

При проведении опытов были предприняты меры к предотвращению поглощения тяжелой водой паров обычной воды из воздуха при их контакте, а также—по чистке тяжелой воды от содержащихся в ней механических примесей.

Расчет поправок на изменение количества воды в балластном объеме производился по данным для обычной воды с учетом разности молекулярных весов обычной и тяжелой воды.

На основании рассмотрения экспериментальных данных получено следующее:

1. Удельные объемы тяжелой воды описываются плавными кривыми без заметного разброса и хорошо взаимно согласуются во всей области исследованных параметров состояния. В диаграмме  $\frac{Pv}{RT}, \frac{1}{v}$  изотермы сходятся при  $\frac{1}{v} \rightarrow 0$  к значению  $\frac{Pv}{RT} = 1$  плавно, без какого-либо аномального искривления.

2. По данным, относящимся к двухфазной области параметров состояния, определены давления насыщенного пара тяжелой воды при температурах 300, 350, 360, 369 и 371°C.

3. При равных температурах значения давлений насыщенного пара тяжелой и обычной воды различны. При температурах ниже приблизительно 220°C давление насыщенного пара тяжелой воды меньше, чем обычной при той же температуре. При температурах выше 220°C давление насыщенного пара тяжелой воды, наоборот, выше давления обычной воды при той же температуре. Таким образом, в координатах  $P, t$  кривая насыщения тяжелой воды пересекает кривую насыщения обычной воды при температуре около 220°C. Во всем диапазоне положительных температур кривая насыщения тяжелой воды имеет большую величину  $\left(\frac{dv}{dt}\right)_s$ , чем кривая насыщения обычной воды.

4. Отношение удельных объемов обычной и тяжелой воды при одинаковых температурах и давлениях имеет сложный характер. В области состояний, лежащих далеко от линии насыщения и критической точки, отношение  $\frac{v_{об}}{v_{тяж}}$  составляет величину близкую к 1,112. Вблизи кривой насыщения и критической точки величина отношения  $\frac{v_{об}}{v_{тяж}}$  резко уменьшается и при температуре 380°C и давлении около 250 кг/см<sup>2</sup> достигает значения 1,00.

Отклонение от идеального состояния у тяжелой воды меньше, чем у обычной, то есть молярные объемы тяжелой воды при одинаковых значениях температуры и давления несколько больше молярных объемов обычной воды.

5. В  $P, t$  диаграмме изохоры обычной и тяжелой воды, отвечающие одинаковым значениям молярных объемов в области паровой фазы при малых плотностях, практически сливаются друг с другом. В области жидкой фазы изохоры тяжелой воды располагаются левее изохор обычной воды, то есть при более низких значениях температур при данных давлениях.

6. Путем сравнения полученных экспериментальных значений удельных объемов тяжелой воды и табличных значений удельных объемов обычной воды, на основании теории подобия, предложены следующие уравнения, позволяющие по табличным данным для обычной воды рассчитать удель-

ные объемы тяжелой воды в широком диапазоне температур и давлений, включая область, непосредственно примыкающую к критической точке:

$$\frac{1 \cdot 10^3}{T_{об}} = \frac{1,00411 \cdot 10^3}{T_{тяж}} - 0,0127$$

$$P_{об} = P_{тяж} \cdot 1,0098$$

$$v_{об} = v_{тяж} \cdot 1,112.$$

При использовании таблиц термодинамических свойств обычной воды и ее пара Вукаловича М. П. издания 1958 года указанные соотношения приводят к отклонению расчетных значений удельных объемов от экспериментальных не более, чем на 0,2% (табл. 3). Кроме этого, полученные уравнения хорошо согласуются с данными других авторов на линии насыщения тяжелой воды.

На основании этих соотношений и таблиц термодинамических свойств воды и водяного пара Вукаловича М. П. 1958 года рассчитана таблица значений удельных объемов тяжелой воды в диапазоне температуры от 150 до 600°C и давлений от 100 до 600 кг/см<sup>2</sup> через 50°C и 50 кг/см<sup>2</sup> для круглых значений давлений и температур (табл. 4).

Полученный в настоящей работе экспериментальный материал по удельным объемам обычной воды частично использован для уточнения и расширения таблиц термодинамических свойств воды и водяного пара. На основе полученных в работе экспериментальных данных по удельным объемам тяжелой воды в настоящее время создаются подробные таблицы термодинамических свойств тяжелой воды и ее пара для широкой области параметров состояния.

Изложенный материал опубликован в следующих работах:

1. Кириллин В. А. и Улыбин С. А., «Экспериментальное исследование сжимаемости воды и водяного пара при температурах близких к критической», Теплоэнергетика, № 4, 1958.

2. Кириллин В. А. и Улыбин С. А., «Экспериментальное исследование удельных объемов воды и водяного пара в области высоких температур», Теплоэнергетика, № 1, 1959.

3. Кириллин В. А. и Улыбин С. А., «Экспериментальное определение удельных объемов водяного пара при высоких температурах и давлениях», Теплоэнергетика, № 3, 1959.

4. Кириллин В. А. и Улыбин С. А., «Анализ точности и сводная таблица экспериментальных значений удельных объемов воды и водяного пара, полученных в МЭИ», Теплоэнергетика, № 9, 1959.

5. Кириллин В. А. и Улыбин С. А., «Экспериментальное определение удельных объемов тяжелой воды», Теплоэнергетика, № 4, 1959.

6. Кириллин В. А. и Улыбин С. А., «Экспериментальное определение удельных объемов тяжелой воды в широком диапазоне температур и давлений», Доклад на II Международной конференции по мирному использованию атомной энергии, 1958.

7. Кириллин В. А. и Улыбин С. А., «Экспериментальное определение удельных объемов тяжелой воды», Отчет МЭИ, 1959.

Таблица 1.  
Экспериментальные значения удельных объемов воды и водяного пара

368,8°C		388°C		400 C		410°C	
$P \frac{кг}{см^2}$	$v \frac{см^3}{г}$	$P \frac{кг}{см^2}$	$v \frac{см^3}{г}$	$P \frac{кг}{см^2}$	$v \frac{см^3}{г}$	$P \frac{кг}{см^2}$	$v \frac{см^3}{г}$
133,03	16,720	69,92	39,820	33,64	7,529	103,32	2,710
211,71	2,980	133,18	18,062	274,91	4,601	154,11	16,079
211,73	2,571	192,14	10,134	293,59	3,420	212,43	9,876
234,93	1,916	248,85	4,767	311,73	2,671	291,01	4,775
319,58	1,696	264,15	2,992	320,13	2,501	331,68	2,983
382,74	1,622	286,17	2,232	334,06	2,312	351,13	2,570
470,90	1,553	323,44	1,966	344,31	2,218	367,92	2,364
		355,55	1,861	358,68	2,122	380,49	2,253
		403,88	1,762	433,92	1,860	398,41	2,148
		453,17	1,695	493,96	1,768	420,79	2,046
		500,18	1,646			448,80	1,957
						480,96	1,881

Продолжение таблицы 1.

520°C		550°C		570 C		600°C		620°C	
$P \frac{кг}{см^2}$	$v \frac{см^3}{г}$	$P \frac{кг}{см^2}$	$v \frac{см^3}{г}$	$P \frac{кг}{см^2}$	$v \frac{см^3}{г}$	$P \frac{кг}{см^2}$	$v \frac{см^3}{г}$	$P \frac{кг}{см^2}$	$v \frac{см^3}{г}$
224,7	13,79					159,66	23,798	146,82	26,801
291,9	9,905	232,04	14,219			216,00	17,014	212,50	17,956
356,6	7,537	293,3	10,704			267,59	13,352	263,41	14,127
413,7	6,073	349,9	8,551	239,34	14,336	319,59	10,853	314,57	11,535
463,8	5,103	402,4	7,104	304,32	10,763	369,3	9,127	365,4	9,681
497,8	4,576	452,5	6,044	364,8	8,585	417,7	7,823	409,2	8,455
533,7	4,111	496,3	5,308	417,9	7,203	467,3	6,816	460,1	7,331
570,8	3,714	538,0	4,734	468,4	6,193	504,7	6,180	510,2	6,454
606,3	3,402	581,3	4,240	517,6	5,410	537,9	5,700	552,8	5,840
641,8	3,146	623,2	3,849	563,5	4,798	578,9	5,182	585,0	5,441
677,4	2,933	664,7	3,528	614,1	4,290	621,1	4,734	632,4	4,937
716,6	2,742	715,5	3,208	662,1	3,885	666,3	4,327	672,3	4,574
				705,5	3,575	711,5	3,984	711,4	4,266

Продолжение таблицы 1.

600°C		620°C		650°C		500°C	
$P \frac{кг}{см^2}$	$v \frac{см^3}{г}$	$P \frac{кг}{см^2}$	$v \frac{см^3}{г}$	$P \frac{кг}{см^2}$	$v \frac{см^3}{г}$	$P \frac{кг}{см^2}$	$v \frac{см^3}{г}$
72,61	54,615	70,91	57,460	98,20	42,530	286,2	9,535
149,19	25,544	151,36	25,954	151,61	26,980	372,0	6,503
197,99	18,764	201,76	19,008	201,38	19,888	470,3	4,445
246,82	14,650	248,89	15,061	252,52	15,547	498,4	4,036
298,71	11,750	299,14	12,226	299,23	12,879	527,8	3,676
347,81	9,807	348,21	10,249	351,21	10,754	555,3	3,395
394,79	8,407	398,24	8,740	400,87	9,233	584,5	3,146
445,38	7,240	447,54	7,592	451,85	8,027	614,4	2,936
501,28	6,232	506,23	6,524	501,55	7,093	643,3	2,766
						673,8	2,620
						707,9	2,483

Таблица 2.

Экспериментальные значения удельных объемов тяжелой воды

250°C		300°C		350°C		360°C	
$P \frac{кг}{см^2}$	$v \frac{см^3}{г}$	$P \frac{кг}{см^2}$	$v \frac{см^3}{г}$	$P \frac{кг}{см^2}$	$v \frac{см^3}{г}$	$P \frac{кг}{см^2}$	$v \frac{см^3}{г}$
81,87	1,123	86,64	19,21	89,38	24,02	74,29	31,11
194,87	1,106	88,71	4,092	147,61	11,12	13,68	13,88
300,03	1,092	88,67	2,412	171,62	4,784	167,66	9,392
397,57	1,081	88,72	1,618	171,66	3,553	191,88	6,113
497,25	1,070	103,78	1,268	171,80	2,060	193,90	4,005
		173,16	1,243	171,80	1,647	193,92	2,501
		242,28	1,223	186,63	1,560	193,93	1,822
		310,33	1,205	222,30	1,493	216,07	1,645
		400,41	1,185	262,28	1,451	251,64	1,559
				312,37	1,409	291,23	1,501
				374,03	1,370	341,92	1,449
				425,96	1,343	384,90	1,416
				496,75	1,313	432,82	1,386
						496,43	1,353



Удельные объемы тяжелой воды, (см<sup>3</sup>/г)

P кг/см <sup>2</sup>	t°С									
	600	550	500	450	400	350	300	250	200	150
600	4,45	3,73	2,81	1,91	1,51	1,277	1,151	1,063	1,000	0,9496
550	4,98	4,15	3,20	2,13	1,55	1,290	1,157	1,067	1,003	0,9523
500	5,63	4,74	3,66	2,34	1,59	1,306	1,163	1,071	1,006	0,9550
450	6,43	5,48	4,35	2,78	1,67	1,326	1,172	1,076	1,009	0,9577
400	7,44	6,46	5,26	3,55	1,78	1,352	1,181	1,081	1,012	0,9604
350	8,75	7,71	6,44	4,70	2,00	1,382	1,192	1,086	1,015	0,9631
300	10,50	9,37	8,05	6,33	2,92	1,418	1,203	1,091	1,019	0,9658
250	12,97	11,70	10,33	8,53	5,82	1,460	1,216	1,097	1,023	0,9685
200	16,66	15,20	13,69	11,80	9,32	1,529	1,229	1,103	1,027	0,9712
150	22,84	21,03	19,10	16,97	14,46	—	1,246	1,111	1,031	0,9739
100	35,14	32,65	30,05	27,39	24,30	20,70	—	1,119	1,036	0,9766