

Научно-исследовательская работа
Предмет физика

**Тема: «Влияние шероховатости труб на
удельные потери давления»**

*Выполнил(а):
Решетникова Мария Олеговна
учащаяся 11 класса
ГБОУ «Белгородский инженерный юношеский
лицей-интернат», Россия г. Белгород*

*Руководитель:
Корнилова Евгения Анатольевна,
учитель физики
ГБОУ «Белгородский инженерный юношеский
лицей-интернат», Россия г. Белгород*

*Научный консультант:
Соболевская Маргарита Владимировна,
ГБОУ «Белгородский инженерный юношеский
лицей-интернат», Россия г. Белгород*

Содержание

	стр
Введение	3
Глава I. Классификация трубопроводов и их применения.....	4
1.1. Трубы для водопровода и отопления	4
1.2. Трубы для Трубы для газоснабжения.....	5
II. Понятие о гидравлически гладких и шероховатых трубах	7
2.1. Толщина ламинарной пленки.....	7
2.2. Число Рейнольдса.....	7
2.3. Шероховатость и диаметр.....	8
III. Расчет гидравлических потерь давления в трубопроводе	8
3.1. Гидравлический расчет.....	8
3.2. Гидравлически гладкие трубы.....	11
3.3. Сравнительный анализ водопроводных сетей	15
3.4. Сравнительный анализ газовых сетей.....	16
Заключение.....	17
Список литературы.....	19
Приложение 1.....	20
Приложение 2.....	22
Приложение 3.....	27

ВВЕДЕНИЕ

Стремительный рост научного прогресса автоматически ведет к увеличению благосостояния народа на земле. Сейчас на повестке дня остро стоит задача по замене стареющего жилого фонда и всей жилищно-коммунальной инфраструктуры. И, в частности, прокладки новых трубопроводов и замены старых, износившихся за годы своей эксплуатации.

Самым распространенным материалом при сооружении водопровода, газопровода или теплотрассы при сооружении промышленных или жилых объектов является труба стальная электросварная. Другой альтернативой стальным труб являются из полимерных материалов. Наиболее подходящими по свойствам оказались поливинилхлорид и полиэтилен.

Цель исследования: выяснить, какие трубопроводы обладают наилучшими свойствами (и какой из этих трубопроводов наиболее пригоден для строительства и восстановления изношенных зданий в нашем регионе).

Задачи:

1. Узнать какие трубопроводы применялись, а также применяются при прокладке новых систем в жилищно-коммунальном хозяйстве;
2. Провести их сравнительную характеристику;
3. Выяснить какие трубопроводы обладают наилучшими свойствами в использовании.

Методы исследования: сравнительный анализ и расчет гидравлических потерь давления в трубопроводах.

Объект исследования: стальные и полимерные (пластиковые) трубы.

Предмет исследования: шероховатость внутренней поверхности труб.

Предполагаемый результат: трубопроводные системы из полимерных (пластиковых) труб вследствие малого коэффициента шероховатости и маленьких гидравлических потерь, позволяют использовать трубы меньшего диаметра, чем стальные с большим коэффициентом шероховатости.

Глава I. Классификация трубопроводов и их применения.

Под термином труба в гидравлике понимают полое цилиндрическое тело, у которого поперечное сечение целиком заполнено движущейся жидкостью или газом, причем стенки трубы испытывают, вполне определенное внутреннее давление, на которое их и рассчитывают.

В зависимости от материала, из которого они изготовлены, трубы разделяют на металлические (стальные, чугунные и др.) и неметаллические (керамические, асбестоцементные, полиэтиленовые и др.).

Основной характеристикой размера труб является их внутренний диаметр. Номинальная величина внутреннего диаметра или его округленное значение называется диаметром условного прохода. Величина условного прохода Ду выражается в мм и регламентируется эту величину согласно ГОСТ 355 – 67 «Проходы условные трубопроводной арматуры, соединительных частей к трубопроводам» (6). По диаметру условного прохода подбирают трубы и другие элементы трубопроводов. Для санитарно-технических устройств применяют следующий стандартизированный ряд Ду в мм: 6, 10, 15, 20, 25, 32, 40, 50, 65, 80, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400, ..., 4000.

Сегодня отечественные подземные трубопроводы имеют протяженность около 2 млн. км. и в основном они из стали. На долю полиэтиленовых труб приходится около 10% всей протяженности газопроводов. Другие сети тоже имеют не очень высокие показатели по данному параметру. Однако наблюдается стойкая тенденция к тому, что современные трубопроводы в процентном соотношении меняются в пользу полиэтиленовых труб.

1.1. Трубы для водопровода и отопления

Раньше самым распространенным материалом труб была сталь. Трубы из стали производятся и сегодня, однако использовать их для горячего или холодного водоснабжения уже не так выгодно, хотя они и дешевле других. Со временем внутри стальных труб образуется ржавчина, которая делает канал бугристым и повышает его гидравлическое сопротивление. Отслоившаяся ржавчина становится субстратом для развития в трубе нежелательной микрофлоры. Постепенно они обрастают солями жесткости, которые могут полностью его перекрыть. Частицы солей жесткости и ржавчины не только снижают качество воды, но и сокращают срок службы сантехники и водогрейного оборудования. В первую очередь от них страдают смесители и душевые лейки, а также теплообменники газовых котлов и колонок (см. Приложение 1).

Но металлические трубы могут изготавливаться также из нержавеющей стали или меди. Они не боятся коррозии, а значит, лишены главных недостатков стальных труб. В большей степени это касается труб из меди, т.к. медь обладает бактерицидными свойствами, благодаря которым

на ее стенках не разрастаются колонии бактерий. Медь вообще является отличным материалом для изготовления водопроводных труб. Это прочный, но в то же время пластичный материал, поддающийся формовке и абсолютно не чувствительный к растворенному в воде кислороду. Однако важно знать, что медь не «любит» кислую среду, и при длительном контакте с слабокислой водой подвержена химической коррозии. Кроме того, стоимость медных труб остается довольно высокой, и не каждому они по карману (см. Приложение 1).

Трубы из нержавеющей стали не корродируют, в т. ч. и в кислой среде. Они могут применяться в питьевом водоснабжении, поскольку имеют гладкие стенки, на которых неохотно селятся бактерии, т.к. им не за что зацепиться. Так же как и медные, нержавеющие трубы стоят дорого. Кроме того, их сложно обрабатывать (см. Приложение 1).

Более дешевой альтернативой металлическим трубам являются трубы из полимерных материалов (пластиковые). Для водопроводов чаще всего используют полипропиленовые и полиэтиленовые трубы. Конечно, по прочности и термостойкости полимеры уступают металлам, но благодаря невысокой цене и возможности использовать их в системах горячего и холодного водоснабжения, пластиковые трубы очень востребованы на современном рынке.

1.2. Трубы для газоснабжения.

Материал, из которого выполняются трубы для подключения к газовой магистрали, не выбирается произвольно. Обычно требования к трубам описаны техническими условиями, которые выдают газораспределительные организации.

Первые газопроводы были из чугунных труб, а после из стальных труб. Однако более чем полувековой опыт эксплуатации стальных распределительных газопроводов показал, что в большинстве случаев нормативный срок службы в 40 лет не выдерживается. В этой связи начались поиски альтернативного материала для подземных газопроводов. Многочисленные опыты по использованию для рассматриваемых целей асбестоцементных труб, энтузиастом которых был И.В. Бородин (МИСИ им. В.В. Куйбышева), не обеспечивали стабильных результатов из-за трудности организации крупномонтажного производства труб с необходимой газонепроницаемостью. Серьезным препятствием была высокая стоимость труб, связанная с использованием высококачественного асбеста.

Другой альтернативой стали трубы из полимерных материалов. Наиболее подходящими по свойствам оказались поливинилхлорид и полиэтилен.

По инициативе института «Мосинжпроект» в 1958-1960гг совместно с трестом «Мосгаз» были проведены опытно-конструкторские и экспериментальные работы по определению возможности и условий эксплуатации пластмассовых подземных газопроводов.

Несмотря на подходящие для газопроводов свойств ПВХ трубы из него не получили распространения по следующим причинам:

- отсутствовали способы получения соединения в условиях строительной площадки;
- не было достаточно качественных клеев и не было достаточно прочных раструбных соединений, что не позволило осуществлять надежные врезки;
- малый объем производства ПЭ высокой плотности;
- отсутствие производства литых соединений;
- отсутствие производства сварочного оборудования;
- отсутствие системы подготовки квалифицированных сварщиков;
- не обработанность методов контроля сварных соединений;
- недостаточная проработка нормативной и методической литературы по строительству.

Проведенные ОАО «Гипрониигаз» научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы позволили решить большинство задач. Все полученные недоработки нашли отражение в нормативно - технической документации, разработанной в тот период СП 42-101-96, свод правил по строительству и контролю качества сварных соединений, СП 42-105-99.

В этот же период было налажено производство газопроводных труб по специальным сериям ТУ 6-19-352-87 на заводе ОАО «Казаньоргсинтез».

Все это дало возможность нарастить темпы внедрения ПЭ труб. Появление в середине 90-х импортных и отечественных труб, а также сварочной техники с элементами автоматизации сварки позволило снять ряд ограничений по применению ПЭ труб в городах и применить их для реконструкции стальных изношенных газопроводов. В результате на начало 1998г в РФ эксплуатировалось около 11000 км ПЭ газопроводов.

Анализ динамики строительства ПЭ газопроводов в России за последние годы свидетельствует о том, что, несмотря на сложную экономическую ситуацию, внутри страны, темпы использования ПЭ труб непрерывно нарастают. Наблюдается устойчивая тенденция к перераспределению объемов строящихся газопроводов в пользу ПЭ труб.

Проведенные ОАО «Гипрониигаз» расчеты по стоимости строительства газопроводов из стальных и ПЭ труб свидетельствует о том, что за счет отсутствия изоляционных работ и контроля их качества, сокращение объемов сварочных работ, снижение объема трубоукладочных работ и др. стоимость строительно - монтажных работ по строительству ПЭ газопроводов, меньше по сравнению со стальными на 15-20%.

Трубы из полиэтилена нашли свое применение и при восстановлении работоспособности городских изношенных газопроводных сетей. Широкое распространение получил метод протяжки ПЭ труб внутри стальных (Приложение 1 Рис. 7).

В настоящее время в крупных городах реконструкции старых газопроводов единственный путь повышения надежности систем газораспределения.

II. Понятие о гидравлически гладких и шероховатых трубах

2.1. Толщина ламинарной пленки.

Потери напора по длине потока могут весьма существенно зависеть от характеристик шероховатости стенок трубы, в которых происходит движение. Поверхность стенок, ограничивающих поток, всегда отличается от идеально гладкой поверхности наличием выступов и неровностей. Величина и форма этих выступов зависят от материала стенки, от его обработки, условий эксплуатации, в процессе которой возможна коррозия, могут выпасть и осесть на стенках твердые частицы наносов и т.п. В дальнейшем мы не будем детально изучать различные виды шероховатости, а будем представлять стенки труб покрытыми однородными бугорками со средней абсолютной высотой выступа шероховатости, обозначаемой Δ .

В зависимости от того, как относятся размеры выступов шероховатости и толщина ламинарной пленки, все трубы могут быть при турбулентном режиме движения подразделены на три вида.

Если высота выступов шероховатости Δ меньше, чем толщина ламинарной пленки ($\Delta < \delta$), то в этом случае шероховатость стенок не влияет на характер движения и соответственно потери напора не зависят от шероховатости, а стенки называются *гидравлически гладкими*.

Когда высота выступов шероховатости превышает толщину ламинарной пленки ($\Delta > \delta$), то потери напора зависят от шероховатости, и такие трубы называются *гидравлически шероховатыми*.

В третьем случае, являющемся промежуточным между двумя вышеуказанными, абсолютная высота выступов шероховатости примерно равна толщине ламинарной пленки. В этом случае трубы относятся к *переходной области сопротивления*.

$$\delta \approx 30 \frac{d}{\text{Re} \sqrt{\lambda}}$$

Толщина ламинарной пленки определяется по формуле:

2.2. Число Рейнольдса.

Итак, различают стенки (трубы, русла) гидравлически гладкие и шероховатые. Такое разделение является условным, поскольку, как следует из формулы $\delta \approx 30 \frac{d}{\text{Re} \sqrt{\lambda}}$, толщина ламинарной пленки обратно пропорциональна числу Рейнольдса (или средней скорости).

Таким образом, при движении вдоль одной и той же поверхности с неизменной высотой выступа шероховатости в зависимости от средней скорости (числа Рейнольдса) толщина ламинарной пленки может изменяться. При увеличении числа Рейнольдса толщина ламинарной пленки δ уменьшается и стенка, бывшая гидравлически гладкой, может стать шероховатой, так как высота выступов шероховатости окажется больше толщины ламинарной пленки и шероховатость станет влиять на характер движения и, следовательно, на потери напора.

Для последующих практических расчетов можно принимать ориентировочные значения высоты выступа шероховатости для труб:

- а) трубы новые стальные и чугунные - $\Delta \approx 0,45 - 0,50$ мм,
- б) трубы, бывшие в эксплуатации (так называемые «нормальные»), $\Delta \approx 1,35$ мм.

Таким образом, зная высоту выступа шероховатости и определив толщину ламинарной пленки, можно, сравнив их размеры, определить, гидравлически гладкой или гидравлически шероховатой будет стенка, ограничивающая поток в трубе.

2.3. Шероховатость и диаметр

1. При проектировании напорной трубопроводной системы важное значение имеют ее гидравлические расчеты. По ним вычисляют диаметр труб и подбирают насосное и газовое оборудование, обеспечивающее нужный режим работы вышеуказанной системы за весь срок эксплуатации.

2. У полипропиленовых труб довольно гладкая внутренняя поверхность и маленькие гидравлические потери. Это позволяет использовать в монтаже трубы из полипропилена меньшего диаметра, чем стальные. Монтаж оказывается более экономичным и компактным.

3. Коэффициент шероховатости эквивалентной у полипропиленовых труб составляет 0,003-0,005 мм. У новых стальных труб – 0,2 мм.

Поэтому становится понятно, почему при замене стальной трубы на полипропиленовую выбирают трубу с меньшим диаметром.

III. Расчет гидравлических потерь давления в трубопроводе.

3.1. Гидравлический расчет

Гидравлический расчет является важной составляющей процесса выбора типоразмера трубы для строительства трубопровода. Коэффициент трения, зависит от режима течения, типа жидкости и ее температуры, а также от шероховатости трубы, и поправочных коэффициентов.

А решил сделать подробный анализ предлагаемых в документах методов расчета.

Потеря напора, связанная с преодолением сил трения при течении жидкости в трубе,

$$\Delta P = \lambda \frac{L}{D} \frac{\rho w^2}{2} \quad [\text{Н/м}^2, \text{Па}]$$

определяется уравнением:

где: L и D длина трубопровода и его внутренний диаметр, м; ρ - плотность жидкости, кг/м³; w - средняя объемная скорость, м/сек, определяемая по расходу Q, м³/сек:

$$w = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

λ - коэффициент гидравлического трения, безразмерная величина, характеризующая соотношение сил трения и инерции, и именно ее определение и есть предмет гидравлического расчета трубопровода. Коэффициент трения зависит от режима течения, и для ламинарного и турбулентного потока определяется по-разному.

Для ламинарного (чисто вязкого режима течения) коэффициент трения определяется теоретически в соответствии с уравнением Пуазейля:

$$\lambda = 64/Re$$

где: Re - критерий (число) Рейнольдса.

Опытные данные строго подчиняются этому закону в пределах значений Рейнольдса ниже критического (Re < 2320).

При превышении этого значения возникает турбулентность. На первом этапе развития турбулентности (3000 < Re < 100000) коэффициент трения также очень точно определяется классическим уравнением Блязиуса:

$$\lambda = 0,3164 Re^{-0,25}$$

В несколько расширенном диапазоне чисел Рейнольдса (4000 < Re < 6300000) применяют уравнение ВТИ, также ставшее классическим:

$$\lambda = 1,01 \lg(Re)^{-2,5}$$

Для значений Re > 100000 предложено много расчетных формул, но практически все они дают один и тот же результат.

$$\Delta P = \lambda \frac{L}{D} \frac{\rho w^2}{2} ,$$

$$\lambda = 0,3164 Re^{-0,25},$$

$$\lambda = 1,01 \lg(Re)^{-2,5}$$

На рис.1 показано, как «работают» уравнения λ = 64/Re, λ = 0,3164 Re^{-0,25}, λ = 1,01 lg(Re)^{-2,5} в указанном диапазоне чисел Рейнольдса, который достаточен для описания всех реальных случаев течения жидкости в гидравлически гладких трубах.

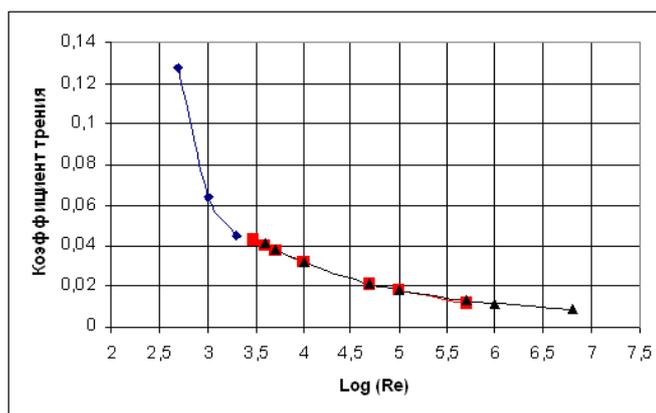


Рис.1

Шероховатость стенки трубы влияет на гидравлическое сопротивление только при турбулентном потоке, но и в этом случае, из-за наличия ламинарного пограничного слоя существенно сказывается только при числах Рейнольдса, превышающих некоторое значение, зависящее от относительной шероховатости ξ/D , где ξ - расчетная высота бугорков шероховатости, м.

Труба, для которой при течении жидкости выполняется условие:

$$Re < 27 (D/\xi)^{1,14}$$

считается гидравлически гладкой,

и коэффициент трения определяется по уравнениям

$$\lambda = 64/Re, \lambda = 0,3164 Re^{-0,25}, \lambda = 1,01 \lg(Re)^{-2,5}.$$

Для чисел Re больше определенных неравенством (5) коэффициент трения становится величиной постоянной и определяется только относительной шероховатостью по уравнению:

$$\lambda = (1,74 + 2 * \lg(D/2/\xi))^{-2},$$

которое после преобразования дает: $\lambda = 0,5 / (\lg(3,7D/\xi))^2$

Гидравлическое понятие шероховатости не имеет ничего общего с геометрией внутренней поверхности трубы, которую можно было бы инструментально промерить. Исследователи наносили на внутреннюю поверхность модельных труб четко воспроизводимую и измеряемую зернистость, и сравнивали коэффициент трения для модельных и реальных технических труб в одних и тех же режимах течения. Этим определяли диапазон эквивалентной гидравлической шероховатости, которую следует принимать при гидравлических расчетах технических труб. Поэтому уравнение

$$\lambda = (1,74 + 2 * \lg(D/2/\xi))^{-2},$$

точнее следует записать: $\lambda = 0,5 / (\lg(3,7D/\xi_s))^2$

где: ξ_s - нормативная эквивалентная шероховатость (Таблица 1).

Таблица 1

Вид трубопровода	$\xi \varepsilon$, мм
Стальные новые оцинкованные	0,1 - 0,2
Стальные старые, чугунные старые, керамические	0,8 - 1,0
Чугунные новые	0,3
Бетонированные каналы	0,8 - 9,0
Чистые трубы из стекла	0,0015 - 0,01
Резиновый шланг	0,01 - 0,03

Данные таблицы 1 были получены для традиционных на тот период материалов трубопроводов.

В период 1950 – 1975 годов западные гидродинамики аналогичным способом определили $\xi \varepsilon$ труб из полиэтилена и ПВХ разных диаметров, в том числе и после длительной эксплуатации. Получены значения эквивалентной шероховатости в пределах от 0,0015 до 0,0105 мм для труб диаметром от 50 до 300 мм. В США для собранного на клеевых соединениях трубопровода из ПВХ этот показатель принимается 0,005 мм. В Швеции, на основе фактических потерь давления в пятикилометровом трубопроводе из сваренных встык полиэтиленовых труб диаметром 1200 мм, определили, что $\xi \varepsilon = 0,05$ мм.

В российских строительных нормах в случаях, относящихся к полимерным (пластиковым) трубам, их шероховатость либо совсем не упоминается, либо принимается:

- а) для водоснабжения и канализации – «не менее 0,01 мм»,
- б) для газоснабжения $\xi \varepsilon = 0,007$ мм.

Натурные измерения потерь давления на действующем газопроводе из полиэтиленовых труб наружным диаметром 225 мм длиной более 48 км показали, что $\xi \varepsilon < 0,005$ мм.

Вот, пожалуй, и все, чем положения классической гидродинамики могут помочь при анализе нормативной документации, посвященной гидравлическому расчету трубопроводов. Напомним, что $Re = w D/v$

где: v - кинематическая вязкость жидкости, м²/сек.

3.2. Гидравлически гладкие трубы

Первый вопрос, который следует решить раз и навсегда - являются ли полимерные (пластиковые) трубы, имеющие, как показано выше, уровень шероховатости:

- а) от $\approx 0,005$ мм для труб малых диаметров,
 - б) до $\approx 0,05$ мм для труб большого диаметра,
- гидравлически гладкими.

В Таблице 2 для труб различных диаметров по уравнениям $Re < 27 (D/\xi)^{1,14}$ и $Re = w D/v$ определены значения расходных скоростей движения воды при температуре 20 °С ($v = 1,02 \cdot 10^{-6}$ м²/сек), выше которых труба не может считаться гидравлически гладкой. Для полимерных (пластиковых) труб шероховатость плавно повышали с увеличением диаметра,

как это оговорено выше; для новых и старых стальных труб - принимали минимальные значения из Таблицы 1.

Отметим, что критические скорости в старых стальных трубопроводах в 10 раз ниже, чем у новых, и их шероховатость не может не учитываться при расчете гидравлических потерь напора.

Таблица 2

D тр. вн., мм	полимерная		Стальная			
			новая		не новая	
	ξ э, мм	W кр, м/сек	ξ э, мм	W кр, м/сек	ξ э, мм	W кр, м/сек
50	0,005	22	0,1	0,7	0,8	0,062
100	0,01	11	0,1	0,74	0,8	0,068
200	0,015	7,6	0,1	0,82	0,8	0,076
300	0,025	4,5	0,1	0,86	0,8	0,08
600	0,035	3,4	0,1	0,95	0,8	0,088
1200	0,05	2,5	0,1	1	0,8	0,095

Для трубопроводов внутри зданий предельными значениями скорости воды в трубопроводах являются:

для отопительных систем - 1,5 м/сек;

для водопровода – 3 м/сек.

Для наружных сетей мы таких ограничений в нормативной документации нет, но если оставаться пределах, определенных таблицей 2, можно сделать однозначный вывод – полимерные (пластиковые) трубы являются, безусловно, гладкими.

Оставляя предельное значение скорости, $w = 3$ м/сек, определим, что при течении воды в трубах диаметром 20 - 1000 мм число Рейнольдса лежит в диапазоне 50000-2500000, то есть для расчета коэффициента трения течения воды в полимерных (пластиковых) трубах вполне корректно использовать уравнения $\lambda = 0,3164 \text{ Re}^{-0,25}$ и $\lambda = 1,01 \lg(\text{Re})^{-2,5}$.

Уравнение $\lambda = 1,01 \lg(\text{Re})^{-2,5}$ вообще охватывает весь диапазон режимов течения.

В нормативной документации, посвященной проектированию систем водоснабжения [4 - 9], уравнение для определения удельных потерь напора (Па/м либо м/м) дается в развернутом относительно диаметра трубы и скорости движения воды виде:

$$J = K \cdot D^n \cdot w^m$$

где: K - набор всевозможных коэффициентов,

n и m - показатели степеней при диаметре D, м и скорости w, м/сек.

Уравнение Блязиуса $\lambda = 0,3164 \text{ Re}^{-0,25}$, наиболее удобное для подобного преобразования, для воды при 20 °С при $3000 < \text{Re} < 100000$ принимает вид:

$$J = 5,13 \cdot 10^{-4} \cdot D^{-1,25} \cdot w^{1,75} \quad [\text{м/м}]$$

но оно действует при $Re < 100000$.

Для расчетов при $Re > 100000$ следует пользоваться модификацией уравнения $\lambda = 1,01 \lg(Re) - 2,5$.

Для пластмассовых труб при $4000 < Re < 150000$ предлагается:

$$J = 5,37 \cdot 10^{-4} \cdot D^{-1,24} \cdot w^{1,76} \quad [м/м]$$

Для диапазона чисел Рейнольдса $150000 < Re < 1000000$ проводится незначительная модификация (см. рис. 1) уравнения:

$$J = 5,79 \cdot 10^{-4} \cdot D^{-1,20} \cdot w^{1,8} \quad [м/м]$$

СНиП 2.04.02-84 без указания диапазона режима течения дает уравнение, которое подстановкой соответствующих коэффициентов для пластмассовых труб принимает вид:

$$J = 6,3 \cdot 10^{-4} \cdot D^{-1,226} \cdot w^{1,774} \quad [м/м]$$

СП 40 – 102 – 2000 дает более громоздкое уравнение:

$$(\lambda)^{0,5} = \frac{0,5 \cdot \{b/2 + [1,312 \cdot (2 - b) \cdot \lg(3,7 \cdot D / \xi_s) / (\lg Re_\phi - 1)]\}}{\lg(3,7 \cdot D / \xi_s)}$$

которое после проверки и выполнения различных условий, для ряда режимов течения воды в шероховатых трубах ($b \geq 2$) превращается в уравнение:

$$\lambda = 0,5 / (\lg(3,7D / \xi))^2,$$

что в точности совпадает с уравнением $\lambda = 0,5 / (\lg(3,7D/\xi_s))^2$

Коэффициент с небольшими вариациями и показателями степеней уравнения базируются на классических уравнениях гидродинамики. Приняв скорость движения воды в трубопроводе $w=3$ м/сек, рассчитаем потери давления J , м/м (табл.3, рис.2) в полимерных (пластиковых) трубах разных диаметров по четырем рассмотренным выше подходам. При

расчетах по СП 40-102-2000 $(\lambda)^{0,5} = \frac{0,5 \cdot \{b/2 + [1,312 \cdot (2 - b) \cdot \lg(3,7 \cdot D / \xi_s) / (\lg Re_\phi - 1)]\}}{\lg(3,7 \cdot D / \xi_s)}$

уровень шероховатости в зависимости от диаметра труб принимался как в таблице 2.

Таблица 3.

Двн, мм	Q, м3/час.	Re(*10 ⁵)	Потери напора, м/м			
			классика	ISO TP 10501	СНиП 2.04.02	СП 40 - 102
20	3,4	0,586	0,462	0,475	0,535	0,47
100	85	2,93	0,065	0,066	0,074	0,073
200	340	5,86	0,029	0,029	0,032	0,033
300	763	8,8	0,017	0,017	0,019	0,02
600	3050	17,6	0,0078	0,0077	0,0082	0,0092
1000	8450	29,3	0,0043	0,0042	0,0044	0,0053

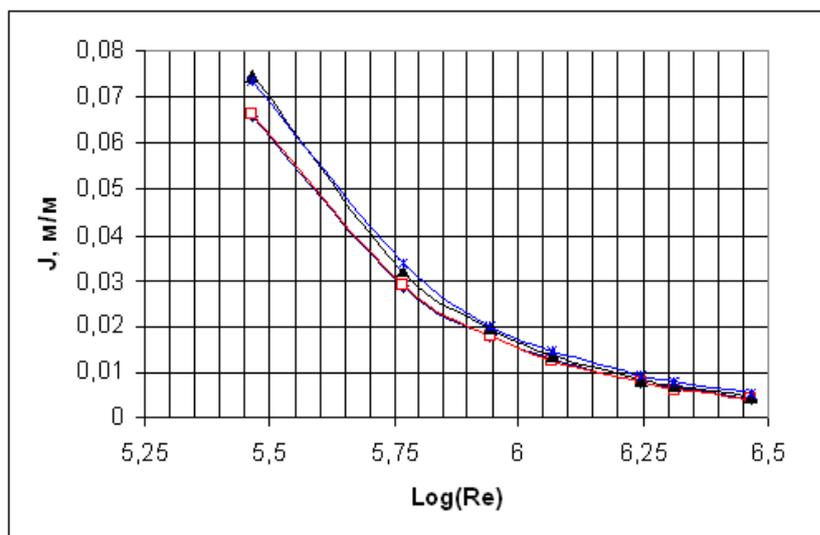


Рис. 2

Как видно из табл.3 и рис.2, расчеты по международному документу ISO TR 10501 практически совпадают с расчетами по уравнениям классической гидродинамики, расчеты по российским нормативным документам, также совпадая между собой, дают несущественно завышенные по сравнению с ними результаты. Непонятно, почему составители СП 40-102-2000 в части гидравлического расчета полимерного водопровода отошли от рекомендаций более раннего документа СНиП 2.04.02-84 и не учли рекомендаций международного документа ISO TR 10501.

Эти уравнения охватывают все реально возможные режимы течения воды в гладких трубах и удобны тем, что легко могут быть решены относительно любой входящей в них величины (J , w и D). Если это сделать относительно D :

$$D = [J/(K*w^m)]^{1/n}$$

где: K - коэффициент, а n и m - показатели степеней при диаметре D и скорости w , то можно предварительно выбрать диаметр **трубопровода** по рекомендованной для данного типа сети скорости w , м/сек, с учетом допустимых потерь напора для данной протяженности трубопровода

($\Delta H_{г} = J*L$, м).

3.3. Сравнительный анализ водопроводных сетей.

Приведем один пример расчета:

Нужно определить внутренний диаметр пластмассового трубопровода длиной 1000 м, при $W_{\text{макс}} = 2$ м/сек и $\Delta H_{г} = 10$ м (1 бар), то есть $J = 10/1000 = 0,01$ м.

Выбрав, например, коэффициенты уравнения $J = 6,3*10^{-4}*D^{-1,226}*w^{1,774}$, получаем:

$$D = [J/(K*w^m)]^{1/n}$$

При этом расход составит, например $Q=460$ м³/час. Если полученный расход велик или мал, достаточно скорректировать значение скорости. Взяв, например, $W=1,5$ м/сек, получим $D=0,188$ м и $Q=200$ м³/час.

Расход в трубопроводе определяется потребностями потребителя и устанавливается на этапе проектирования сети. Сравним удельные потери давления в стальном (новом и старом) и пластмассовом трубопроводах при равных расходах для различных диаметров труб.

Приведем сравнительный анализ по водопроводным сетям в таблице 4.

Таблица 4.

Труба	Расход, м ³ /час.	Скорость, м/с	Потери напора, м/100 м
сталь новая 133X5	60	1,40	3,60
сталь старая 133X5	60	1,40	6,84
ПЭ 100 110X6,6 (SDR 17)	60	2,26	4,10
ПЭ 80 110X8,1 (SDR 13,6)	60	2,41	4,80
сталь новая 245X6	400	2,60	4,30
сталь старая 245X6	400	2,60	7,00
ПЭ 100 225X13,4 (SDR 17)	400	3,60	4,00
ПЭ 80 225X16,6 (SDR 13,6)	400	3,85	4,80
сталь новая 630X10	3000	2,85	1,33
сталь старая 630X10	3000	2,85	1,98
ПЭ 100 560X33,2 (SDR 17)	3000	4,35	1,96
ПЭ 80 560X41,2 (SDR 13,6)	3000	4,65	2,30
сталь новая 820X12	4000	2,23	0,60
сталь старая 820X12	4000	2,23	0,87
ПЭ 100 800X47,4 (SDR 17)	4000	2,85	0,59
ПЭ 80 800X58,8 (SDR 13,6)	4000	3,00	0,69

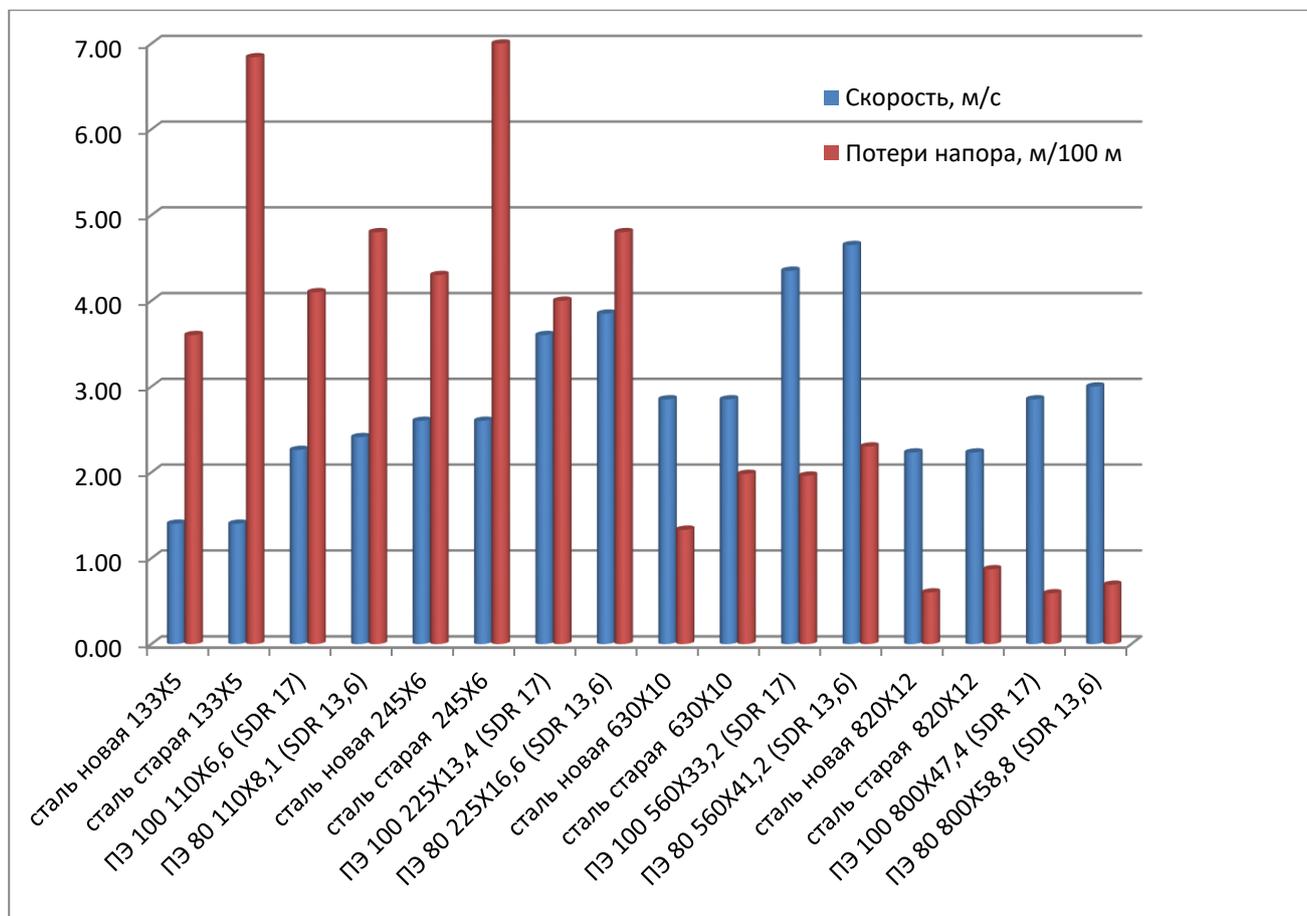


Диаграмма 1 по водопроводным сетям.

3.4. Сравнительный анализ газовых сетей.

Приведем сравнительный анализ по газовым сетям в таблице 5.

Таблица 5.

Труба	Расход, м³/ч	Скорость, м/с	Потери напора, м/100м
Сталь новая 133x5	60	1,4	3,6
Сталь старая 133x5	60	1,4	6,84
ПЭ 100 110x6,6 (SDR17)	60	2,26	4,1
ПЭ 80 110x8,1 (SDR13,6)	60	2,41	4,8
Сталь новая 245x6	400	2,6	4,3
Сталь старая 245x6	400	2,6	7
ПЭ 100 225x13,4 (SDR17)	400	3,6	4
ПЭ 80 225x16,6 (SDR13,6)	400	3,85	4,8
Сталь новая 630x10	3000	2,85	1,33
Сталь старая 630x10	3000	2,85	1,98
ПЭ 100 560x33,2 (SDR17)	3000	4,35	1,96
ПЭ 80 560x41,2 (SDR13,6)	3000	4,65	2,3
Сталь новая 820x12	4000	2,23	0,6
Сталь старая 820x12	4000	2,23	0,87
ПЭ 100 800x47,4 (SDR17)	4000	2,85	0,59
ПЭ 80 800x58,8 (SDR13,6)	4000	3	0,69

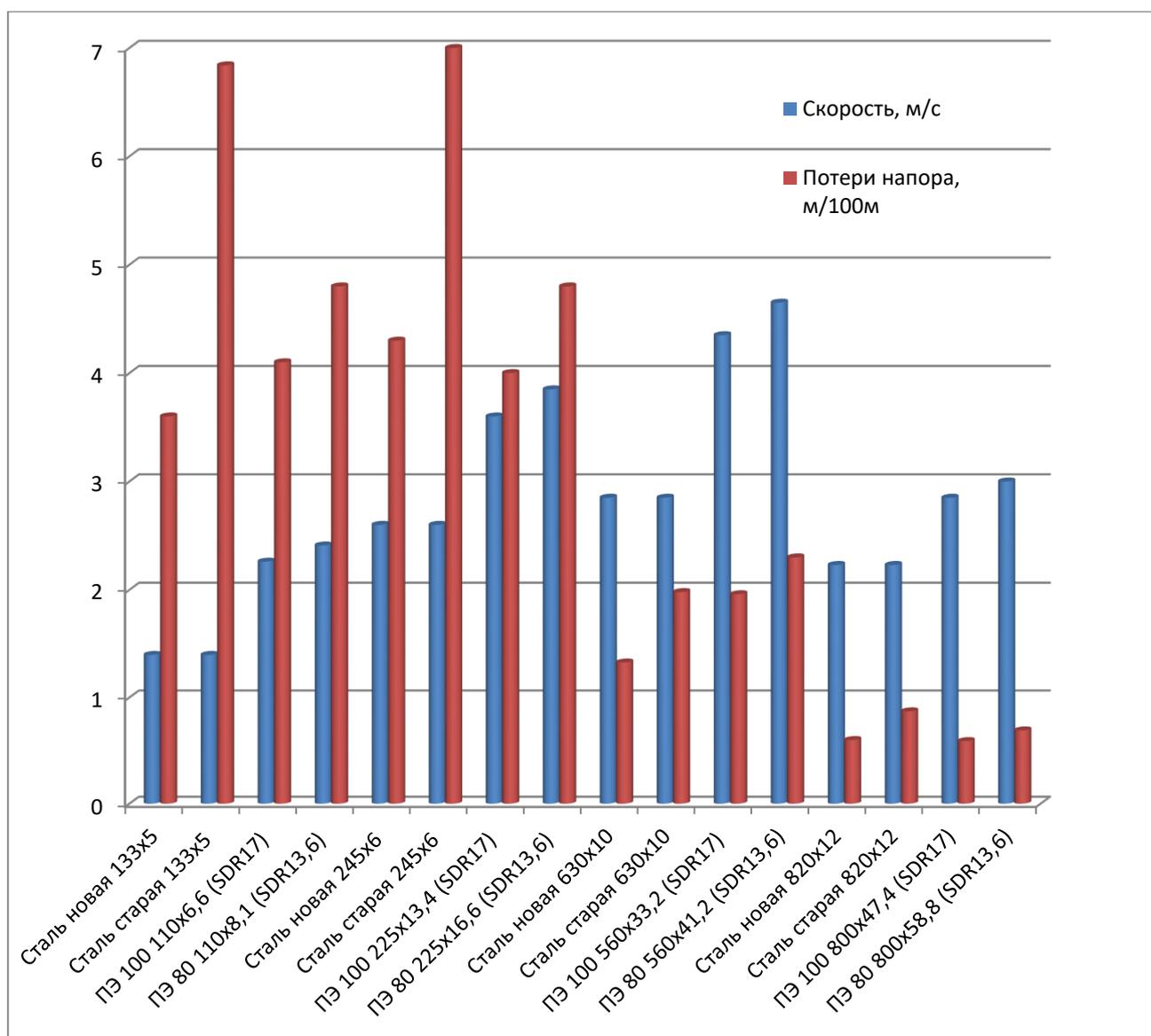


Диаграмма 2 по газовым сетям.

Как видно из таблиц 4, 5 и ниже приведенной диаграмм1 и 2, а так же учитывая неизбежное старение стальной и полиэтиленовой трубы в процессе эксплуатации, для труб малых и средних диаметров полиэтиленовую трубу можно выбирать на одну ступень наружного диаметра меньше. И только для труб диаметром 800 мм и выше, вследствие относительно меньшего влияния абсолютной эквивалентной шероховатости на потери напора, диаметры труб нужно выбирать из одного ряда.

Заклучение

Предполагаемый результат моей работы подтвердился и, подводя итоги можно сказать, что трубопроводные системы из полимерных (пластиковых) труб вследствие малого коэффициента шероховатости 0,003 – 0,005 мм и маленьких гидравлических потерь, позволяют использовать трубы меньшего диаметра, чем стальные (с большим коэффициентом шероховатости 0,2 мм).

Особенно это касается прокладки новых систем водоснабжения, газоснабжения и восстановления стальных изношенных газопроводов, водопроводов.

Полиэтиленовые трубы имеют пропускную способность на 25–30% выше, чем у стальных за счет гладкой внутренней поверхности и отсутствия внутренних отложений.

Внутренний диаметр стальных труб со временем уменьшается вследствие коррозионного зарастания. Диаметр же полиэтиленовых труб увеличивается в процессе эксплуатации без потери работоспособности за счет характерного для полиэтилена явления ползучести. Это увеличение составляет около 1,5% за первые 10 лет и около 3% за весь срок службы трубопровода. Вследствие этого внутренняя поверхность полиэтиленовых труб со временем становится более мягкой и гладкой, что улучшает условия обтекания стенки полиэтиленовой трубы и снижает сопротивление движению.

К достоинствам полиэтиленовых труб также относятся надежность, долговечность, низкие эксплуатационные расходы.

Срок службы стальных подземных трубопроводов составляет – не более 25 лет. Тогда как срок эксплуатации полиэтиленовых трубопроводов – не менее 50 лет. Такие трубы могут эксплуатироваться при температурах от -50°C до $+60^{\circ}\text{C}$.

Список литературы

1. Идельчик И.Е., Справочник по гидравлическому сопротивлению фасонных и прямых частей трубопроводов, ЦАГИ, 1950.
2. Китайцева Е.Х., Гидравлический расчет стальных и полиэтиленовых газопроводов, Полимергаз, №1, 2000.
3. Стаскевич Н. Л. Справочник по газоснабжению и использованию газа. – Л.: Недра, 1990. – 762 с.: ил.
4. Шурайц, А.Л. Газопроводы из полимерных материалов / А.Л. Шурайц, В.Ю. Каргин, Ю.Н. Вольнов. - Саратов: Издательство «Журнал «Волга-XXI век», 2007. – 612 с.
5. ГОСТ 50838-2009. Трубы из полиэтилена для газопроводов. Технические условия. – Введ. 2009-12-15. – М.: Стандартиформ, 2010. – 55 с.
6. ГОСТ 355 – 67 «Проходы условные трубопроводной арматуры, соединительных частей к трубопроводов».
7. ISO TR 10501 Thermoplastics pipes for the transport of liquids under pressure - Calculation of head losses.
8. СНиП 41-01-2003 (2.04.05-91) Отопление, вентиляция и кондиционирование.
9. СНиП 2.04.01-85 Внутренний водопровод и канализация зданий.
10. СНиП 2.04.02-84 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.
11. СНиП 42-01-2002. Газораспределительные системы. – Введ. 2002-12-23. – М.: ГУП ЦПП, 2003. – 42 с.
12. СНиП 42-01-2002. Газораспределительные системы. – Введ. 2002-12-23. – М.: ГУП ЦПП, 2003. – 42 с.
13. СП 40-101-2000 Проектирование и монтаж трубопроводов из полипропилена «рандом сополимер».
14. СП 40-102-2000 Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов.
15. СП 42-101-2003 Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб.
15. СП 42-103- 2003. Проектирование и строительство газопроводов из полиэтиленовых труб и реконструкция изношенных газопроводов. – Введ. 2003-11-26. – М.: ФГУП ЦПП, 2003. – 47 с.

Рисунок 1 .
Стальных труб в которых образуется ржавчина, которая
делает канал бугристым и повышает его гидравлическое
сопротивление.



Рисунок 2.
Медные трубы.



Рисунок 3.
Водопроводных труб
из нержавеющей стали.



Рисунок 4.
Полиэтиленовые трубы .

Рисунок 5.
Металлополимерные трубы из
сшитого полиэтилена марки РЕ-Х.

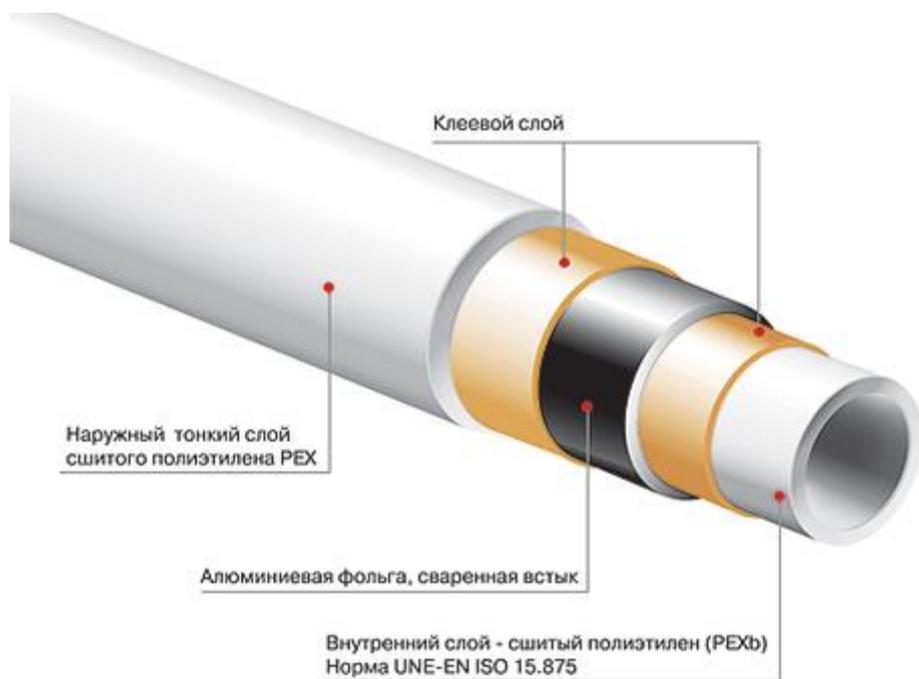


Рис. 6 Структура полиэтиленовых труб.



Рис. 7 Виды укладки полиэтиленовых труб.

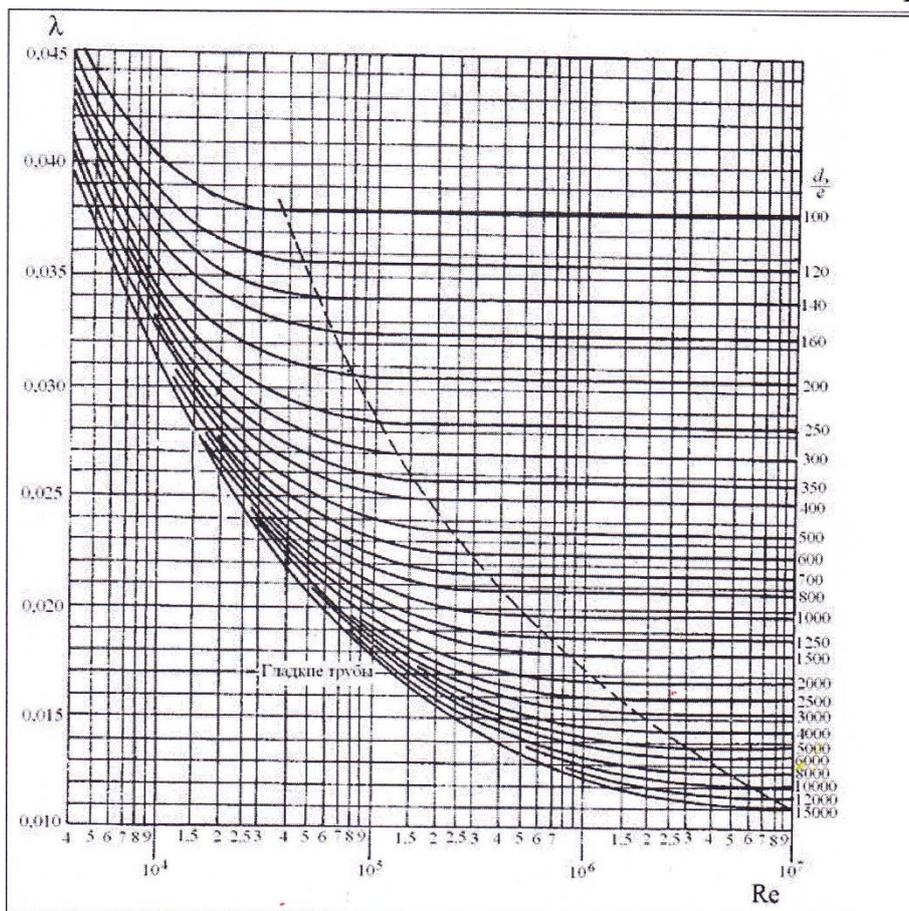


Рис 6. Зависимость коэффициента трения от критерия Рейнольдса и степени шероховатости трубы.

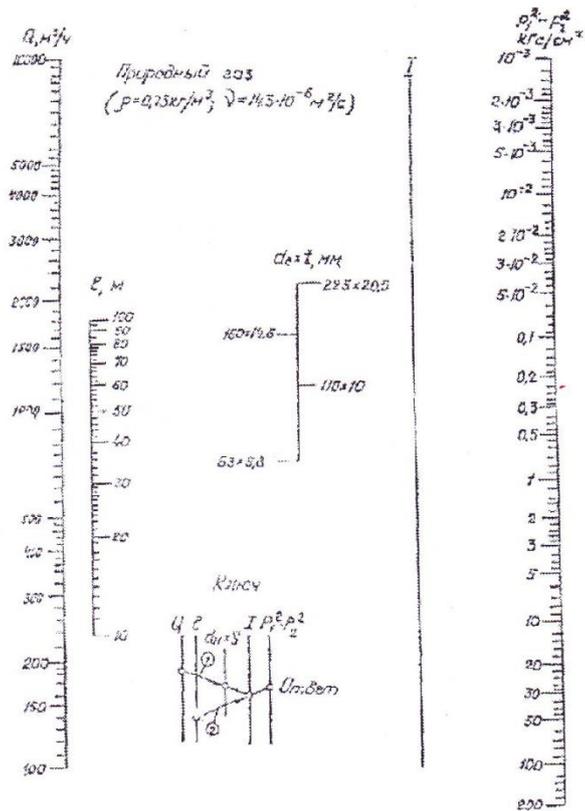


Рис. 7 Номограмма для определения давления в полиэтиленовых газопроводах среднего и высокого давления.

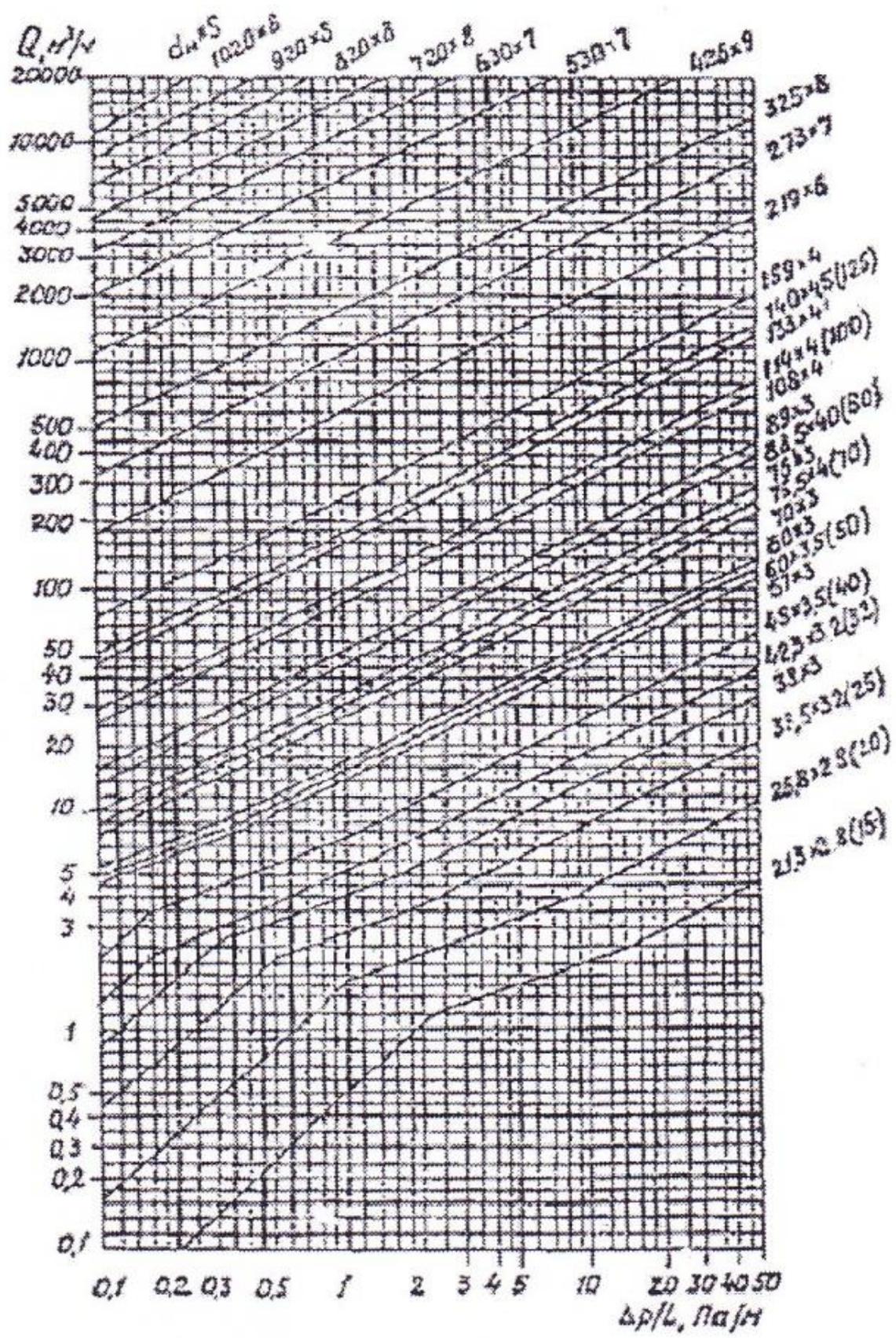


Рис. 8 Номограмма для определения потерь давления в стальных газопроводах низкого давления.

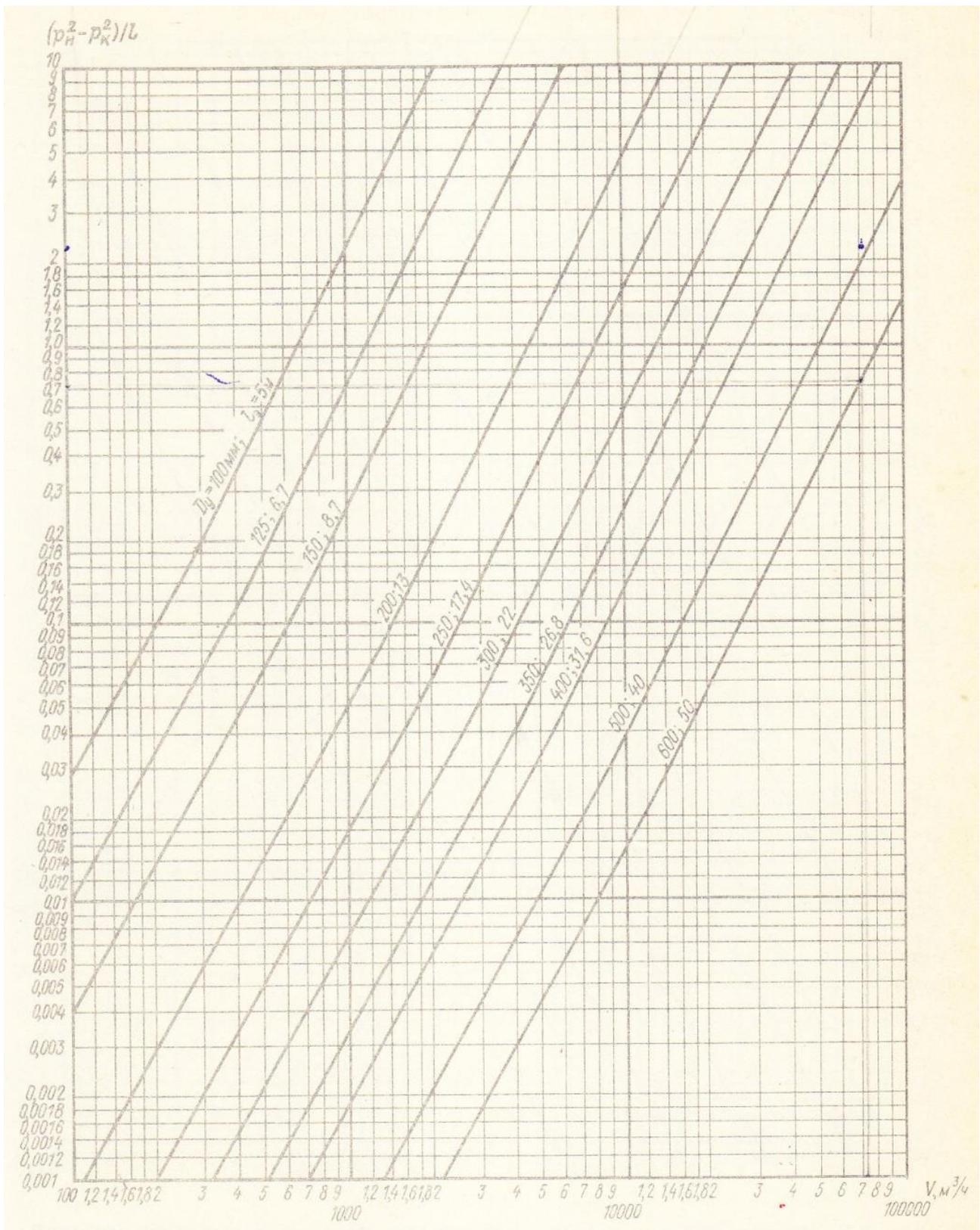


Рис. 9 Номограмма для расчета газопровода среднего и высокого давлений диаметром 100 – 600 мм.

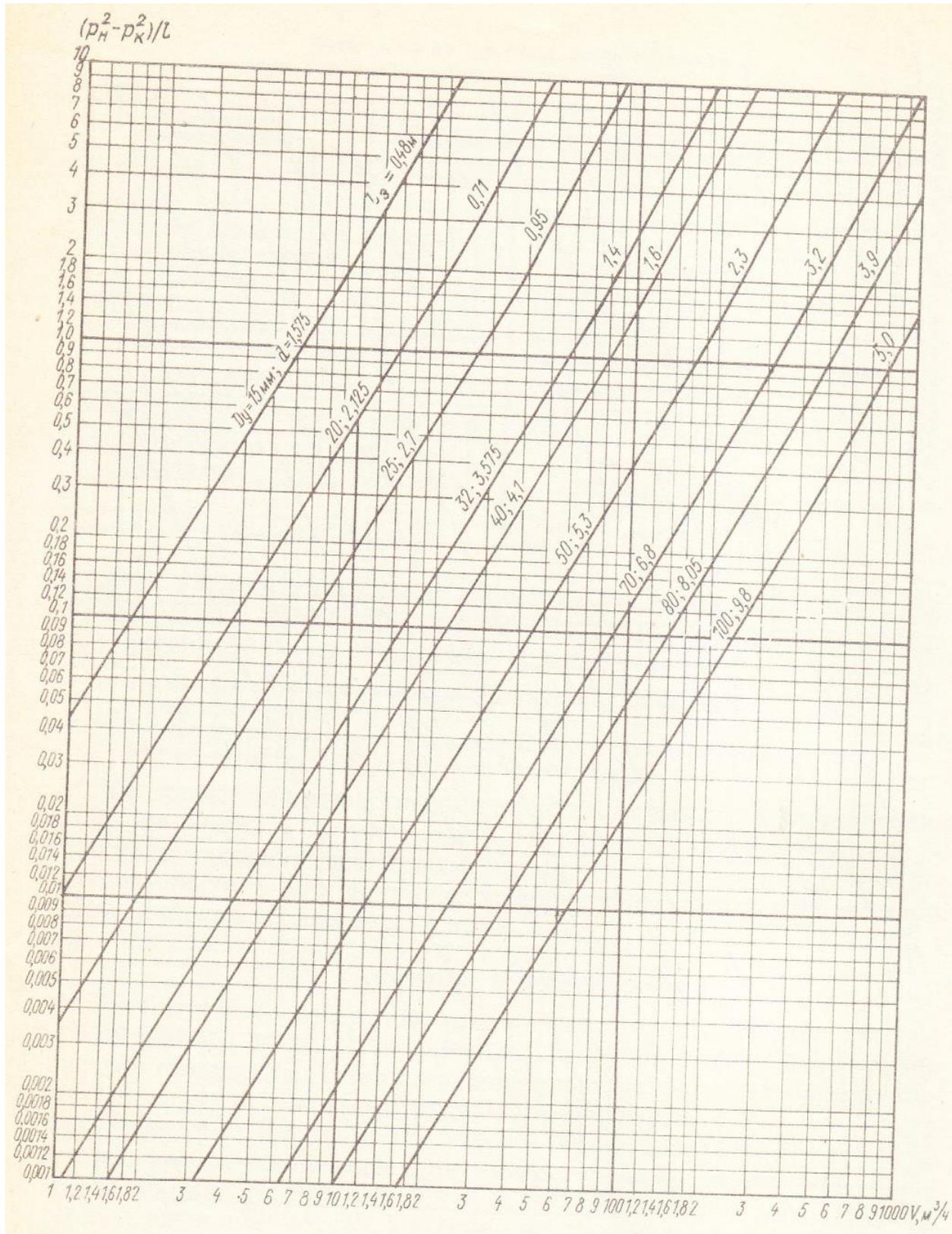


Рис. 10 Номограмма для расчета газопровода среднего и высокого давлений диаметром 15 – 100 мм.

Таблица максимальной пропускной способности стальных газопроводов				
	0,003МПа	0,3МПа	0,6МПа	1,2МПа
Ду50	50	420	1200	2250
Ду80	130	1070	3100	5800
Ду100	200	1680	4900	9000
Ду150	455	3770	11000	20400
Ду200	815	6700	19550	36300
Ду250	1270	10500	30550	56700
Ду300	1830	15100	44000	81700
Ду400	3260	26850	78250	145000
Ду500	5090	41950	122300	226900
Ду600	7330	60450	176100	326000

Таблица максимальной пропускной способности полиэтиленовых газопроводов								
	0,003МПа			0,3МПа		0,6МПа		1,2МПа
	SDR 17,6	SDR 11	SDR 9	SDR 11	SDR 9	SDR 11	SDR 9	SDR 9
25	10	8	7	70	60	200	185	340
32	16	14	12	110	100	335	300	560
40	25	22	20	170	160	520	470	880
63	63	54	49	440	400	1300	1170	2170
110	193	165	148	1350	1220	3950	3580	6640
160	410	345	315	2900	2600	8380	7570	14080
225	810	690	620	5700	5350	16550	14950	27800
315	1580	1340	1220	11150	10100	32500	29300	54500
400	2560	2180	1960	18000	16250	52400	47300	87850