

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Строительства, энергетики и транспорта

**Методические рекомендации к практическим работам**  
по дисциплине  
**«Энергоэффективность и энергосбережение»**  
для всех форм обучения направления  
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (Электроснабжение)

Мурманск  
2021

Практическая работа №1, 2  
Энергосбережение при производстве электроэнергии  
(Энергосбережение на ТЭС, ГЭС)

*Трудоемкость практического занятия – 4 часа.*

Цель занятия: изучить методику расчета мощности гидро- и теплоэлектростанций согласно энергетическому потенциалу реки.

Уровень воды в реках переменный. Они стекают в Мировой океан, и уровень воды в верховьях рек выше, чем в низовьях. Если некоторое сечение реки (створ) перегородить плотиной, то напор (перепад уровней) сосредоточится в створе плотины. Статистический напор  $H$  – это разность отметок уровней верхнего и нижнего бьефов:

$$H = H_{\text{в}} - H_{\text{н}}. \quad (1)$$

Соответственно мощность потока  $N$ , сбрасываемого из верхнего бьефа в нижний, равна:

$$N = c g Q H, \quad (2)$$

где  $c$  – плотность воды ( $1000 \text{ кг/м}^3$ );  
 $g$  – ускорение свободного падения ( $\text{м/с}^2$ );  $c g$  – удельный вес воды, равный  $9,81 \text{ кН/м}^3$ ;  $Q$  – расход воды ( $\text{м}^3/\text{с}$ ).

Полная энергия сбрасываемой воды

$$\mathcal{E} = N t, \quad (3)$$

где  $t$  – время, с.

Предложенная схема расчета энергетического потенциала реки, мощности и выработки энергии ГЭС в некотором створе с расходом  $Q$  и напором  $H$  довольно простая. Реальные расчеты несколько сложнее, так как:

не весь напор реки удастся использовать для получения электрической энергии, часть напора теряется при движении воды от водозабора до турбины;

часть энергии теряется в гидроагрегате, турбина и генератор имеют свой КПД (коэффициент полезного действия);

не весь расход реки удастся пропустить через турбины, в период большой проточности (высоких паводков и половодий) часть воды не удастся удержать и пропустить через турбины, поскольку емкость водохранилища ограничена, и часть воды приходится сбрасывать вхолостую.

С учетом вышесказанного более точная формула подсчета мощности всех установленных на ГЭС гидроагрегатов имеет вид

$$N = c g Q_{\text{а}} H \eta_{\text{г}} \eta_{\text{т}} m, \quad (4)$$

где

$\eta_{\text{г}}$ ,  $\eta_{\text{т}}$  – коэффициенты полезного действия генератора и турбины

соответственно;

$Q_a$  – расход воды, проходящий через одну турбину (агрегат);

$m$  – количество гидроагрегатов.

Если при подсчете по формулам (2), (3) время измерять в секундах (с), массу – в килограммах (кг), объем – в метрах кубических ( $m^3$ ), то мощность получим в ваттах, а выработку энергии – в киловатт-часах ( $1 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$ ).

### Задачи

**Задача 1.** Определить энергию падающей воды для ГЭС, если отметки верхнего и нижнего бьефов составляют 240 и 145 метров соответственно, а объем сброса воды за год –  $80 \text{ км}^3$ .

**Задача 2.** Определить энергию падающей воды для ГЭС, если статистический напор составляет 65 метров, а объем сброса воды за год –  $54 \text{ км}^3$ .

**Задача 3.** Мощность потока воды, сбрасываемой из верхнего бьефа, составляет  $1,47 \cdot 10^5 \text{ кВт}$  при объеме сбрасываемой воды за год  $80 \text{ км}^3$ . Определить статический напор, необходимый для создания заданной мощности потока воды.

**Задача 4.** Определить расход воды, проходящей через станцию, если отметка верхнего бьефа составляет 148 м, отметка нижнего бьефа – 83 м. Мощность потока воды  $950 \cdot 10^5 \text{ кВт}$ .

**Задача 5.** Определить мощность работающей ГЭС в единицу времени, если расход воды, проходящей через одну турбину за год, составляет  $6,5 \text{ км}^3$ , число гидроагрегатов, работающих на станции, 12, КПД гидрогенератора и турбины составляют 0,99 и 0,98 соответственно, а статистический напор 50 м.

**Задача 6.** В многоводный год объем сброшенной воды за год составил  $132 \text{ км}^3$ , при том что  $115 \text{ км}^3$  прошло через гидроагрегаты, а остальная вода была сброшена «вхолостую». Определить энергию сброшенной воды «вхолостую», если водослив осуществлялся два месяца.

**Практическая работа № 3,4,6**  
**Потери при передаче электроэнергии.**  
**Потери в трансформаторах.**  
**Тепловые потери в электроэнергетике**

*Трудоемкость практического занятия – 6 часа.*

Цель занятия: изучить вопросы энергосбережения и методики определения потерь при транспортировке электроэнергии.

*Электроэнергетическая система* включает электрическую часть электростанций и потребителей энергии, которые связаны между собой посредством электрических сетей.

Распределение и передача электрической энергии осуществляются *электрическими сетями*, включающими трансформаторные и преобразовательные подстанции, распределительные устройства и воздушные или кабельные линии электропередачи (ЛЭП).

Передачу электроэнергии можно осуществлять при напряжении, вырабатываемом источником, согласованным с потребителем, или изменяя напряжение в ЛЭП с помощью трансформаторов (рис. 7.1).

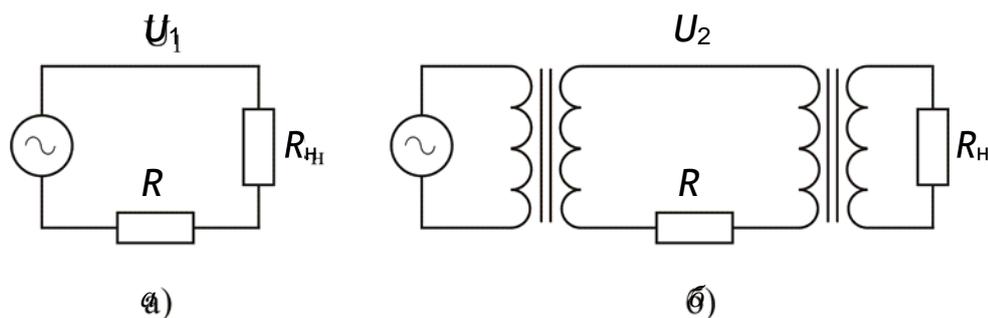


Рис. 1. Система передачи электроэнергии без повышения напряжения (а) и с повышением напряжения (б) в линии электропередачи

Рассмотрим оба случая передачи электроэнергии, полагая, что полезная нагрузка  $P$ , обусловленная сопротивлением нагрузки  $R_{\text{н}}$  и передается при сопротивлении цепи  $R = \text{const}$ .

$R_{\text{н}}$ , остается постоянным.

В основе анализа лежат закон Ома и формула для расчета мощности участка цепи:

$$I = U / R; \tag{1}$$

$$P = IU. \tag{2}$$

При принятых допущениях полезная мощность, передаваемая источником потребителю, равна

$$P = I_1 U_1; \tag{3}$$

$$P = I_2 U_2, \quad (4)$$

где индексы 1 и 2 соответственно относятся к схемам *a* и *б* на 1.

Потери энергии в обеих схемах, напротив, различаются:

$$P^{n1} = I^{21} R; \quad (5)$$

$$P^{n2} = I^{22} R. \quad (6)$$

Относительная величина потерь

$$P^{n1} / P^{n2} = I^{21} R / I^{22} R = I^{21} / I^{22}. \quad (7)$$

С учетом (3) и (4)

$$P^{n1} / P^{n2} = (P/U)^2 / (P/U)^2 = U^{21} / U^{22}. \quad (7.8)$$

Таким образом, потери при передаче электроэнергии обратно пропорциональны квадрату напряжения. По этой причине в линиях электропередачи используются высокие напряжения, которые в настоящее время достигают 750–1150 кВ. Это позволяет без существенных потерь передавать электроэнергию на большие расстояния по проводам небольшого сечения, что также приводит к косвенной экономии энергии за счет снижения материалоемкости ЛЭП. Наличие трансформаторов в передающих и распределительных системах переменного тока приводит к возникновению дополнительного индуктивного сопротивления  $X_L$  и дополнительным потерям за счет реактивной мощности  $Q$ . Паразитную реактивную мощность можно уменьшить, последовательно включив в цепь емкостное сопротивление  $X_C$  в виде батареи конденсаторов. Это следует из векторного характера рассматриваемых параметров. Полная мощность  $S$  зависит от коэффициента (косинуса угла  $\varphi$ ), показывающего степень запаздывания тока от напряжения.

Потребителями реактивной мощности наряду с активной кроме трансформаторов являются электродвигатели, сварочные аппараты, индукционные электропечи, флуоресцентные лампы и другое электротехническое оборудование.

Составляющая реактивной мощности всегда присутствует в цепях переменного тока, содержащих катушки или обмотки, за счет ЭДС самоиндукции. Как и в рассмотренном случае с трансформатором, ее можно уменьшить введением емкостного сопротивления.

**Задача 1.** Электрическая цепь переменного тока содержит последовательно включенные активное сопротивление  $R = 80$  Ом и индуктивное сопротивление  $X_L = 100$  Ом. Для компенсации реактивной мощности в цепь добавлено емкостное сопротивление  $X_C = 40$  Ом. Напряжение в цепи осталось без изменения и равно  $U = 110$  В.

Определить, на какую величину изменилась потребляемая мощность.

**Задача 2.** Электрическая цепь переменного тока содержит последовательно включенные активное сопротивление  $R = 80$  Ом и емкостное сопротивление  $X_C = 100$  Ом. Для компенсации реактивной мощности в цепь добавлено емкостное сопротивление  $X_L = 50$  Ом.

Напряжение в цепи осталось без изменения,  $U = 110$  В. Определить, на какую величину изменилась потребляемая мощность. Построить векторную диаграмму.

**Задача 3.** Электрическая цепь переменного тока содержит последовательно включенные активное сопротивление  $R = 80$  Ом, индуктивное сопротивление  $X_L = 80$  Ом и емкостное сопротивление  $X_C = 40$  Ом. Определить необходимый характер и величину компенсационного сопротивления, при котором напряжение цепи останется без изменений.

Практическая работа № 5  
Повышение эффективности учёта электроэнергии

*Трудоемкость практического занятия – 2 часа*

Цель занятия: ознакомиться с методологией учета и средствами электрической энергии.

Вопросы для обсуждения:

- 1) учет электроэнергии;
- 2) современные средства учета электроэнергии;
- 3) коммерческий и технический учет электроэнергии.

Практическая работа №7  
Энергосбережение в ЖКХ

*Трудоемкость практического занятия – 2 часа.*

Цель занятия: ознакомиться с проблемами энергопотребления в жилищно-коммунальном хозяйстве и мероприятиями по их устранению.

Вопросы для обсуждения:

- 1) применение новых энергосберегающих технологий в ЖКХ;
- 2) городская коммунальная энергетика;
- 3) мероприятия по экономии электроэнергии городском электрическом транспорте.

## Практическая работа №8 Энергосбережение в быту

*Трудоемкость практического занятия – 0,028 з.е. (1 час).*

Цель занятия: изучить вопросы экономии электрической и тепловой энергии в быту.

Результатами проверок, проведенных работниками Энергонадзора, установлено, что по халатности и нерадивости потребителей перерасход используемой на бытовые нужды электроэнергии составляет примерно 15–20 %.

Где же наиболее ощутимо экономить электрическую энергию в быту?

Конфорки электроплит имеют несколько нагревательных элементов (диапазонов включения). При включении электроплиты вначале необходимо включать все нагревательные элементы (всю мощность конфорки), а затем, после разогрева, когда вода вскипит, уменьшить мощность, так как лишнее тепло не ускорит приготовление пищи и температура воды больше чем на 100 градусов не повысится. Экономия достигается, если в разогретой духовке готовить несколько блюд. Посуда для приготовления или подогрева пищи должна быть из алюминия или эмалированная с ровным толстым дном и закрываться крышкой.

Продукты, для тепловой обработки которых требуется длительное время, лучше готовить в скороварках. Количество воды для приготовления пищи должно быть минимальным, чтобы после вскипания не сливать ее в канализацию. Включенную духовку не надо открывать без надобности, это снижает температуру внутри камеры.

Отключать электроплиту целесообразно до закипания чайника: за счет тепловой инерции чайник все равно закипит, а это сэкономит до 20 % энергии.

Пользование электрочайником предпочтительнее (КПД 90 %), чем конфорками плиты (КПД 50–60 %). «Рекордсмен» по эффективности – обычный кипятильник – КПД до 92 %.

Использование остывающих электроконфорок для подогрева воды перед ее кипячением в чайнике позволяет сберечь 10–30 % электроэнергии.

Кроме того, вода отстоится и из нее уйдут элементы, используемые для обеззараживания (хлор), что важно для здоровья.

Замочив крупу на ночь водой, можно сварить из нее кашу в 2–4 раза быстрее в зависимости от температуры воды.

При пользовании холодильником расходуется 30–40 % потребляемой в доме электроэнергии. Поскольку холодильник включен в электросеть круглосуточно, то несмотря на небольшую мощность, он потребляет электро- энергии не меньше, чем электрическая плита. Население пользуется электрическими холодильниками двух видов: компрессорными (с электродвигателем и компрессором) и абсорбционными (с нагревателем). Компрессорные холодильники в 3–4 раза экономнее абсорбционных. В последнее время промышленность выпускает электрохолодильники

глубокого замораживания. В сравнении с компрессорными они потребляют электроэнергии в 2 раза больше. Место установки холодильника и температура окружающей среды имеют большое значение для нормального режима его работы и экономного расхода электроэнергии. Холодильник нельзя устанавливать вблизи плиты и батарей отопления, на солнечной стороне комнаты. Вокруг холодильника должно быть воздушное пространство для циркуляции воздуха. В холодильник помещается пища, охлажденная до комнатной температуры и в закрытой посуде. Продукты в холодильнике размещают таким образом, чтобы к ним имелся доступ холодного воздуха. Терморегулятор нужно установить с расчетом, чтобы в охлаждающей камере поддерживалась температура, необходимая для сохранения продуктов, а не слишком низкая. При образовании льда на стенках холодильной камеры толщиной 5–10 миллиметров необходимо размораживать. Охлаждение камеры ниже температуры, необходимой для сохранения продуктов, так же как и повышение температуры окружающего воздуха, приводит к перерасходу электроэнергии.

Регулярное размораживание дает 3–5 % экономии. Нельзя устанавливать холодильник в нишу, это перекрывает вентиляцию нижних соседей и ухудшает условия охлаждения змеевика конденсатора, который охлаждается комнатным воздухом, закрытом пространстве он охлаждается гораздо хуже, потребление энергии увеличивается на 20 % (частое включение).

При правильном использовании телевизоров, радиоприемников, магнитофонов, швейной и стиральной машин, пылесосов, утюгов и других бытовых приборов можно получить существенную экономию электроэнергии. Нельзя допускать холостой работы бытовых приборов, необходимо отключить их, если перестали пользоваться ими. Многие бытовые электроприборы оснащены автоматическими регуляторами температуры или реле времени. Это позволяет поддерживать автоматически заданную температуру или включить прибор через заданное время работы. Так, например, при пользовании электрическим утюгом с регулятором температуры расход электроэнергии сокращается на 10–15 %.

При электрическом освещении в первую очередь необходимо обратить внимание на правильный выбор мощности электрических ламп. Электrolампы большой мощности не только излишне перерасходуют электроэнергию, но и вредят зрению.

При включении в электрическую сеть лампочка одинаково ярко светит во все стороны и не обеспечивает нужного освещения, а нам при работе ну- жен свет, сосредоточенный на определенной поверхности или детали. Для этого электрическую лампочку помещают в светильник.

От правильно выбранного светильника в значительной степени зависит освещенность комнаты или рабочего места, а также экономичность осветительных приборов.

Рациональное освещение комнаты достигается с помощью полуотраженного или прямого освещения. Необходимо учесть, что прямое

освещение экономичнее полупрозраченного, так как в первом случае светильник имеет отражатель, расположенный снизу лампы.

Экономии электроэнергии способствует применение местного освещения: настольные лампы при работах за столом. Рабочий стол должен быть установлен у окна, это позволит сократить время горения электроламп при достаточном дневном свете. Потолки и стены, а также обои светлых тонов позволяют снизить мощность ламп в полтора раза.

Наиболее распространенными и основными источниками света в наших квартирах продолжают оставаться лампы накаливания. Причиной этому служит простота конструкции, компактность, удобство в эксплуатации, дешевизна, большой выбор их по мощности. Вместе с тем лампы накаливания имеют ряд недостатков. У них низкий коэффициент полезного действия (1,8–2,2 %); при повышении напряжения в сети на 2 % срок службы сокращается на 15 %, частые включения, отключения и сотрясения также влияют на срок службы, который составляет 1000 ч.

Более экономичными источниками света являются люминесцентные лампы. Они обладают благоприятным светом излучения. Люминесцентное освещение создает благоприятные условия для отдыха, снижает утомляемость, способствует увеличению производительности труда.

Люминесцентные лампы подразделяют по цветности излучения:

- 1) лампы белого света (ЛБ);
- 2) лампы дневного света (ЛД);
- 3) лампы дневного света с исправленной цветностью (ЛДЦ);
- 4) лампы холодно-белого света (ЛХБ);
- 5) лампы тепло-белого света (ЛТБ), которые имеют явно выраженный розовый оттенок.

Наиболее экономичными и универсальными являются лампы белого света (ЛБ). Они обеспечивают значительно лучшую цветопередачу, чем лампы накаливания, и по цветности воспроизводят приблизительно солнечный свет, отраженный облаками. Применение ламп ЛБ целесообразно в детских комнатах для подготовки школьных заданий и при чертежных работах.

К важнейшим характеристикам люминесцентных ламп следует отнести то, что световой поток их больше, чем ламп накаливания. Световая отдача люминесцентных ламп составляет в среднем 42–62 лм/Вт, в то время как у ламп накаливания – только 10–20 лм/Вт. Срок службы люминесцентных ламп составляет 5000 ч.

Своевременная и систематическая чистка светильников, ламп и люстр позволяет сэкономить до 30 % электроэнергии, расходуемой на освещение. Экономии электроэнергии также способствует установка в комнатах двойных выключателей. Это позволяет при необходимости полностью или частично включать люстры.

Настольная лампа с лампочкой 30 Вт позволяет достичь лучшей освещенности на столе, чем люстра с 3–5 лампочками мощностью 180–300

Вт. Двойной выигрыш – зрение и энергия. С точки зрения энергосбережения хорош прибор плавного включения света. Лампы КЛЛ (компактные люминесцентные лампы) потребляют электроэнергию в 6–7 раз меньше в сравнении с лампами накаливания при одинаковой освещенности. Но они дороже существующих, хотя государству выгодно снизить цену на них.

Единственный в своем роде Брестский электроламповый завод выпускает компактные люминесцентные лампы, которые потребляют электроэнергию в шесть раз меньше, а непрерывно горят в восемь раз дольше (8000 часов) обычных.

Светильники предназначены для локального и общего освещения помещений самого разнообразного профиля – жилья, офисов, цехов, магазинов. Использование в светильниках компактных люминесцентных и галогенных ламп создает данным электроприборам энергосберегающие свойства. Так, за счет применения галогенных ламп мощностью 20 Вт, характеризующихся интенсивным световым потоком, возможно снижение потребления электро- энергии в 2–2,5 раза.

В домах при освещении лестничных площадок и коридоров устанавливают реле времени или автоматические выключатели с выдержкой времени. От контроля за исправной работой этих устройств со стороны домоуправлений и жильцов в значительной степени будет зависеть экономный расход электроэнергии в местах общего пользования.

Сберечь тепло в квартире, а вместе с ним и сэкономить теплоэнергию – дело несложное и больших затрат не требует. Подсчитано, что утепление окон и дверей сохраняет до 40 % тепла в квартире. Тщательное утепление квартиры создает уют, снижает расходы на ее отопление в три раза, в результате экономится топливо.

Экономия тепловой энергии получается при рациональном использовании горячей воды, так как ее потери в быту составляют 23 %. Для того чтобы вымыть лицо, руки, почистить зубы, достаточно небольшой струи или нескольких стаканов воды вместо множества литров.

Большой вклад в экономию тепловой энергии вносят домоуправления, которые своевременно, до наступления холодов, проводят ремонт дверей в подъездах и остекление окон, ведут разъяснительную работу с жильцами.

Одно из самых перспективных и быстрокупаемых направлений энергосбережения – оборудование зданий и сооружений приборами индивидуального и группового учета и контроля расхода энергоресурсов.

Однако следует отметить, что пока большинство населения относится к этому нововведению с опаской: жильцам предлагается приобретать необходимое оборудование за свой счет. А в общественном сознании прочно укоренилась мысль, что после установки счетчиков платить за коммунальные услуги придется больше, чем сейчас.

В настоящее время мы оплачиваем потребленные энергоресурсы исходя из усредненного показателя, равного примерно 35 % от реального расхода на душу населения по стране.

При расчете за основу взят завышенный расход энергоресурсов. Жильцы квартир, в которых были установлены счетчики, заплатили за воду и тепло меньше, чем обычно. Это означает, что сегодня абсолютное большинство населения переплачивает за энергоресурсы как минимум в 3–4 раза.

По оценкам специалистов, массовая установка счетчиков позволит обеспечить экономию тепла в 1,5 раза, холодной воды – в 2 раза, горячей – в 2,5 раза. В масштабе государства это огромные деньги.

### Задачи

**Задача 1.** Нормы освещения составляют 25–30 Вт/м<sup>2</sup> общей площади. Сколько электроэнергии можно сэкономить за месяц, устроив местное освещение рабочего стола при условии ежедневной работы лампочки в течение 5 часов? Площадь комнаты 16 м<sup>2</sup>.

#### Решение

1. По нормам освещения определяем мощность лампочек:

$$P = 25\text{--}30 \text{ Вт/м}^2 \cdot 16\text{ м}^2 = 400\text{--}480 \text{ Вт.}$$

2. Для освещения стола площадью 2 м<sup>2</sup> достаточно 50–60 Вт.

3. Следовательно, за 5 часов горения ежедневно экономится:

$$[(400\text{--}480) \text{ Вт} - (50\text{--}60) \text{ Вт}] \cdot 5 \text{ ч} = 1,75\text{--}2,1 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

что за 30 дней месяца составит от 52,5 до 63 кВт · ч.

Примем тариф за электроэнергию 70 коп./кВт · ч. Эта энергия стоит от

36,75 до 44,10 рублей. На эту сумму бюджет вашей семьи увеличится.

**Задача 2.** Насколько энергетически выгоднее кипятить две чашки чая, чем полный чайник, который затем остывает?

**Решение.** Количество теплоты, необходимое для нагревания данного тела, пропорционально его массе и изменению температуры:

$$Q = c m \Delta t,$$

где  $Q$  – количество теплоты;

$c$  – удельная теплоемкость вещества;

$m$  – масса тела;

$\Delta t$  – изменение температуры, происходящее в результате подвода к нему количества теплоты  $Q$ .

Следовательно, затраты энергии пропорциональны массе нагреваемой воды. Если чайник имеет емкость 1,5 л, то две чашки воды при суммарной емкости 0,4 л закипают при энергозатратах, составляющих  $(0,4:1,5) \cdot 100 = 26,6$  % от энергозатрат на нагрев воды в чайнике.

**Задача 3.** Насколько снижается эффективность электроконфорки, если площадь соприкосновения ее с посудой составляет лишь 30 % полной площади?

**Задача 4.** Что энергетически выгоднее принять душ или ванну при условии одинаковой длительности процедуры – 5 минут и одинаковой температуры воды?

**Задача 5.** В двигателе внутреннего сгорания на каждые 4 л бензина образуется примерно 2 л окислов азота. Сколько окислов азота выбрасывается в атмосферу города, если ежегодно каждый автомобиль пробегает 40 тыс. км при среднем расходе 15 л на 100 км? В городе зарегистрировано 10 тыс. автомобилей.

**Задача 6.** Осветительные приборы, установленные в подъездах и на лестничных клетках жилых домов, – это значительный резерв экономии электрической энергии.

**Задача 7.** Что энергетически выгоднее: вскипятить литр воды в кастрюле на конфорке или в электрическом чайнике?

**Задача 8.** Замена ламп накаливания люминесцентными лампами позволяет сэкономить некоторое количество энергии. Посчитайте экономию за год работы при 9-часовом рабочем дне. Количество ламп 8 шт. Через какое время люминесцентные лампы окупятся?