

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Ассоциация московских вузов
Московский Государственный Строительный Университет
Кафедра Высотного строительства

11.8.7.1 Научно – образовательный материал
«Техническая эксплуатация инженерного оборудования
высотных зданий»

Конспект подготовил доц., к.т.н

В.М. Калинин

Москва 2009г.

Содержание

1. Инженерные коммуникации высотных зданий.....	3
2. Техническая эксплуатация инженерного оборудования.....	5
2.1. Эксплуатация систем водоснабжения и водоотведения	
высотных зданий.....	5
2.2. Эксплуатация систем отопления, вентиляции и	
кондиционирования воздуха высотных зданий.....	6
2.3. Эксплуатация систем электроснабжения высотных зданий.....	8
2.4. Система пассажирских лифтов.....	9
2.5. Система холодоснабжения.....	9
2.6. Система мусороудаления.....	10
3. Управление техническим состоянием инженерных сетей.....	10
3.1. Концепция стратегического управления	
техническим состоянием здания.....	10
3.2. Определение объемов работ по техническому	
обслуживанию и ремонту конструкций и	
инженерного оборудования.....	12
3.3. Оптимизационные модели эксплуатации	
высотных зданий и комплексов.....	12
4. Организация службы эксплуатации.....	Слайдовые материалы 1

1. Инженерные коммуникации высотных зданий.

Насыщенность здания инженерным оборудованием за последние годы возросла многократно – только количество прокладываемых магистральных трубопроводов, относящихся к системам холодного и горячего водоснабжения, может достигать 15 штук.

Кроме того, практически все инженерные коммуникации подключаются к системе диспетчеризации здания, что требует применения приборов и оборудования с приемом – выходом электронного сигнала. Насосы, задвижки, локальные очистные сооружения сегодня работают без непосредственного участия человека, в зависимости от режима эксплуатируемой системы в конкретный момент времени (по давлению в системе водоснабжения или количества загрязнений в стоках). Непосредственно у потребителей коммунальных услуг в последние годы также возросло количество устанавливаемого оборудования. Помимо счетчиков воды, в современных квартирах монтируются индивидуальные краны первичного пожаротушения, оснащенные быстроразъемной головкой и шлангом.

Размещение возросшего количества инженерных коммуникаций и оборудования требует иного принципа его размещения и режима эксплуатации. Традиционный подход по размещению трубопроводов под потолком или вдоль стен коридора в подвале здания к современным высотным комплексам не подходит. Для нормального размещения всех инженерных коммуникаций здания необходимо выделение специальных технических коридоров, достаточно широких и высоких, обеспечивающих не только размещение, но и качественное обслуживание коммуникаций. В случае применения специального оборудования еще на стадии эскизного проектирования требуется совместная работа архитекторов и инженеров по выделению отдельных технических помещений по его установке.

Приборы, материалы, и технические решения, приемлемые для обычных зданий, не всегда могут использоваться при строительстве многоэтажных комплексов. Сегодня накоплено еще слишком мало информации, чтобы делать категорические выводы по работе того или иного оборудования, и тем ценнее опыт эксплуатационных служб, привносимый в проектные решения. Привлечение служб эксплуатации инженерных систем в проектную группу для экспертизы принимаемых решений должно стать обязательной практикой.

Тем не менее уже сегодня можно отметить вопросы, требующие пристального внимания проектировщиков и характерные для систем водоснабжения и канализации. В первую очередь, это касается надежности проектируемых систем. Безопасность и надежность – вот основные критерии оценки применяемых

материалов и оборудования, обеспечивающих эксплуатацию инженерных систем по срокам, сопоставимым со сроком эксплуатации здания. Во-вторых, необходимо учитывать особенности работы систем водоснабжения и канализации в высотных многоэтажных зданиях. Для систем водоснабжения характерным является применение повысительных насосов, и, следовательно, обязательно необходимо предусматривать мероприятия по предотвращению гидравлического удара при включении или выключении насосов. Одним из наиболее эффективных способов борьбы с гидроударом является установка сетевых мембранных баков большого объема, которые позволяют сгладить пиковые повышения давления в сети за счет распределения его во времени. При проектировании систем канализации необходимо предотвратить срыв гидрозатворов у санитарных приборов. В условиях высотного строительства это требует дополнительных расчетов на пропуск по стокам канализации не только сточных вод, но и дополнительных воздушных потоков, так как возможно образование зон вакуума в верхней и средней частях стояка и зоны повышенного давления в его нижней части. Казалось бы, многоэтажные дома должны отражать самые современные тенденции в проектировании и строительстве, ориентированные на повышение качества жизни. Системы водоснабжения и отопления таких объектов должны обеспечивать высокий уровень качества питьевой воды, абсолютную надежность (безаварийность) всех систем, минимальные затраты в процессе их эксплуатации (ресурсо и энергосбережение). Вместе с тем реальная ситуация на рынке внушает опасения.

Увеличение этажности ненамного усложняет монтаж и обслуживание внутренних инженерных систем. Если говорить о трубопроводах из полипропилена, то дополнительных сложностей практически не возникает. Здесь требуется монтировать просто трубу больших диаметров и дополнительно подсоединить насосное оборудование, то есть выполнять стандартные операции.

Закладывая системы водоснабжения и отопления при проектировании, важно использовать материалы и комплектующие, отвечающие мировым стандартам качества. Необходимо терпеливо разъяснять заказчикам, инвесторам, строительным компаниям и будущим жильцам целесообразность их применения. Как ни парадоксально, стоимость строительства жилья при этом практически не увеличивается, удорожание составляет десятые доли процента, что практически не отражается на стоимости квадратного метра жилья. При этом появляются принципиально новые возможности и преимущества перед традиционно применяемыми сегодня материалами и технологиями.

Учитывая, что материалы для трубопроводных систем должны отвечать мировым стандартам качества, многие монтажные организации отдают предпочтение

продукции европейских производителей. Предложения на рынке материалов и оборудования могут удовлетворить спрос в любой ценовой нише.

С приходом на российский рынок высокотехнологичных материалов и оборудования вопрос квалификации кадров в строительной отрасли получил особую актуальность. Обучение новейшим технологиям – долгосрочный и недешевый процесс, не каждая компания готова пойти на затраты, связанные с освоением современных материалов и технологий.

2. Техническая эксплуатация инженерного оборудования.

2.1. Эксплуатация систем водоснабжения и водоотведения высотных зданий.

1. Особенности архитектурно-строительных решений, влияющие на системы водоснабжения и водоотведения (ВиВ) высотного здания.

2. Законодательно-нормативная база эксплуатации систем ВиВ высотных зданий.

3. Повышенные требования к безопасности и надежности.

4. Требования к ресурсо- энергосбережению.

5. Повышенная комфортность и новое санитарно-техническое оборудование.

6. Мониторинг систем ВиВ и автоматизация оборудования.

7. Особенности приема в эксплуатацию систем ВиВ.

8. Особенности управления эксплуатацией систем ВиВ высотных зданий.

9. Особенности технического обслуживания систем ВиВ.

10. Оборудование и реконструкция систем ВиВ частных квартир.

11. Системы хозяйственно-питьевого холодного и горячего водоснабжения

:

- особенности схемных решений,

- водопроводные сети, трубы из новых материалов,

- новая трубопроводная арматура.

- особенности насосных установок,

- аккумуляторы тепла,

- приборы учета воды и тепла,

- автоматизация и мониторинг.

- особенности эксплуатации системы в высотных зданиях,

- неисправности и ремонт системы

12. Системы пожаротушения:

- Особенности систем с пожарными кранами,

- Спринклерные системы,

- Дренчерные системы,
- Пожарная автоматика.
- Особенности технического обслуживания и ремонта.

13. Технологические водопроводы многофункциональных зданий:

- Водоснабжение офисных и торговых помещений,
- Предприятия общественного питания.
- Автостоянки
- Особенности технического обслуживания и ремонта.

14 Системы водоотведения бытовых стоков:

- особенности схемных решений,
- новые санитарно-технические приборы ,
- канализационные сети, трубы из новых материалов,
- местные канализационные насосные установки,
- особенности эксплуатации системы в высотных зданиях, неисправности и ремонт системы.

15. Системы водостоков:

- особенности схемных решений,
- новые водосточные воронки ,
- водосточные сети, трубы из новых материалов,
- особенности эксплуатации системы в высотных зданиях,
- неисправности и ремонт системы.

16. Системы дренажа:

- особенности схемных решений,
- лотки и дренажные приемки,
- дренажные насосные установки,
- особенности эксплуатации системы в высотных зданиях,
- неисправности и ремонт системы.

17. Общие рекомендации по эксплуатации систем ВиВ высотных зданий.

2.2. Эксплуатация систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха высотных зданий.

1. Методы и средства обеспечения тепло-влажностного и воздушного режима высотного здания.

Микроклимат помещений различного назначения. Теплообмен человека и условия комфортности. Нормативные требования к микроклимату помещений различного назначения. Системы для создания и обеспечения заданного микроклимата. Расчетные наружные климатические условия для проектирования систем обеспечения микроклимата.

Зимний тепловлажностный и воздушный режимы помещений. Условия формирования воздушной обстановки в помещении. Теплозащитные свойства ограждающих конструкций, их влияние на режимы помещений.

Тепловой баланс помещений. Теплопотери через ограждающие конструкции; коэффициент теплопередачи, расчетная площадь, температура внутреннего и наружного воздуха. Добавочные теплопотери через ограждения. Теплозатраты на нагревание инфильтрирующегося воздуха и вентиляционного воздуха, поступающих в помещение холодных материалов и средств транспорта. Теплопоступления в помещение от бытовых и производственных источников, искусственного освещения и солнечной радиации.

Теплозатраты на отопление зданий. Расчётная мощность системы отопления. Понятие удельной тепловой характеристики здания. Влияние объемно-планировочных и конструктивных решений зданий на микроклимат, тепловой баланс помещения и тепловую мощность системы отопления.

Летний тепловой режим помещений. Расчетная мощность системы вентиляции и кондиционирования воздуха при борьбе с теплоизбытками. Влияние объемно - планировочных и конструктивных решений зданий на мощность системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Контроль и расчет воздушно - теплового режима высотных зданий на ПК. Техничко-экономические основы оценки мероприятий по повышению уровня комфортности воздушной среды помещений.

2. Системы отопления высотных зданий.

Общие сведения об отоплении. Требования, предъявляемые системам отопления. Теплоносители. Классификация систем отопления. Техничко-экономические и эксплуатационные показатели и область применения различных систем отопления. Отопительные приборы систем отопления. Виды отопительных приборов. Схемы присоединения отопительных приборов к теплопроводам. Поверочные расчеты нагревательной поверхности отопительных приборов. Регулирование теплоотдачи отопительного прибора.

Стандартные мероприятия при эксплуатации систем отопления. Обеспечение эксплуатационных режимов.

3. Системы вентиляции и кондиционирования воздуха высотных зданий

Принципы вентиляции зданий. Свойства влажного воздуха. I-d диаграмма и изображение основных процессов изменения тепловлажностного состояния воздуха в I-d диаграмме. Понятие о предельно-допустимых концентрациях (ПДК) вредных веществ в воздухе помещений. Воздухообмен в помещении и способы его определения. Классификация систем вентиляции, основные схемы подачи и удаления воздуха из помещений.

Схемы систем вентиляции. Нормы воздухообмена. Конструктивные элементы систем. Поверочный аэродинамический расчет каналов естественной вы-

тяжной вентиляции. Особенности механической вентиляции общественных зданий. Устройство, схемы, элементы систем механической вентиляции. Обработка приточного и вытяжного воздуха: нагревание, увлажнение, очистка от пыли. Вентиляторы.

Стандартные мероприятия при эксплуатации систем вентиляции. Обеспечение эксплуатационных режимов.

4. Противодымная защита высотных зданий.

Требования пожарной безопасности при вентиляции помещений.

5. Системы кондиционирования воздуха (СКВ).

Назначение и область применения СКВ. Виды СКВ, схемные решения и оборудование. Схемы обработки воздуха. Холодоснабжение.

Стандартные мероприятия при эксплуатации СКВ. Обеспечение эксплуатационных режимов.

6. Эксплуатация тепловых пунктов, приточных и вытяжных камер

Размещение и оборудование тепловых пунктов, приточных и вытяжных камер в высотных зданиях. Вентиляционные центры. Требования к помещениям. Совмещение элементов вентиляционных систем со строительными конструкциями. Борьба с шумом и вибрациями. Техника безопасности при эксплуатации систем. Сдача систем в эксплуатацию.

Переключения при сезонной эксплуатации. Наладка, мониторинг и обслуживание оборудования.

7. Использование нетрадиционных источников энергоресурсов

Общие сведения и классификация вторичных энергоресурсов (ВЭР). Возможность использования ВЭР в высотных комплексах. Роль ВЭР в теплопотреблении зданий различного назначения. Использование солнечной энергии для целей отопления и вентиляции. Использование геотермальных и других нетрадиционных источников для целей теплоснабжения. Охрана окружающей среды.

2.3. Эксплуатация систем электроснабжения высотных зданий.

Схемы электроснабжения, распределение электрической энергии внутри здания. Классификация электропотребителей по надежности их электроснабжения. Особенности электроснабжения высотных зданий и комплексов.

Основные нормативно-технические документы, определяющие правила устройства и технической эксплуатации электроустановок.

Организация технической эксплуатации электроустановок.

Схемы заземления электрооборудования. Устройства защитного отключения (УЗО), их номенклатура и особенности применения.

Дифференциальные автоматические выключатели. Осветительные установки в высотных зданиях. Особенности устройства и их эксплуатации.

В обязательном порядке высотные здания обеспечиваются устройствами для дымоудаления, автоматизации пожарной сигнализации внутреннего противопожарного водопровода, грузовых, пассажирских и пожарных лифтов, автоматически запирающимися дверями дома. Также все системы жизнеобеспечения питаются от источника резервного энергоснабжения. Допускается применение электроэнергии для отопления и горячего водоснабжения. В зданиях должно быть предусмотрено рабочее и аварийное освещение. Для высотных зданий следует предусматривать конструкции наружного освещения фасадов и выполнять устройство огней светового ограждения. Управление заградительными огнями должно быть автоматическим и включаться в зависимости от уровня естественной освещенности.

2.4. Система пассажирских лифтов.

Скорость пассажирских лифтов в высотных зданиях следует выдерживать от 1,6 до 7,0 м/сек. Пассажирские лифты, как правило, следует располагать компактно. Количество лифтов и их параметры, необходимые для функционирования каждой группы помещений высотной части зданий, определяются с учетом подъемной мощности и времени ожидания. Требуемая подъемная мощность на каждую группу лифтов рассчитывается исходя из суммы вероятных пользователей каждого этажа при заполнении (освобождении) здания. Лифтовая система пригодна для эксплуатации, если ее подъемная мощность в течение 5 минут при заполнении (или освобождении) здания соответствует процентному коэффициенту пользователей: для жилых зданий – 3-7%, для зданий с несколькими пользователями – 11-15% и зданий с множеством пользователей – 16-20%. При заказе фирме-изготовителю, для обеспечения нормального функционирования лифтов, должны быть представлены данные по максимальным расчетным отклонениям от вертикали высотного здания.

2.5. Система холодоснабжения

Рабочее давление оборудования и других элементов системы холодоснабжения (СХ) должно быть не менее чем на 1 бар выше расчетного давления холодоносителя и охлаждающего конденсатора холодильных машин теплоносителя. Система должна оснащаться предохранительными клапанами с безопасным и организованным сбросом. На трубопроводах необходимо предусматривать компенсаторы

тепловых удлинений, а также объемных расширений холодоносителя и теплоносителя. Следует также предусматривать не менее двух холодильных машин или одну машину с двумя и больше холодильными циклами, обеспечивая не менее 50% холодопроизводительности каждой машиной (циклом).

2.6. Система мусороудаления

Традиционно мусоропровод включает ствол, загрузочные клапаны, шибер, противопожарный клапан, очистное устройство со средством автоматического тушения возможного пожара в стволе, вентиляционный узел и мусоросборную камеру, укомплектованную контейнерами и санитарно-техническим оборудованием. Мусоропроводы высотных зданий имеют отдельные по высоте зоны обслуживания: нижняя обслуживается одним мусоропроводом, верхняя – вторым, проходящим через нижнюю зону транзитом. Для снижения гравитационной скорости падения твердых бытовых отходов, на промежуточных технических этажах зданий предусматриваются гасители. Ствол мусоропровода должен выполняться дымо-, газо-, водонепроницаемым из коррозионно-стойких трехслойных стальных труб с условным проходом не менее 500 мм и соответствовать санитарным требованиям. Ствол должен быть звукоизолированным от строительных конструкций негорючими материалами и не примыкать к жилым комнатам и общественным помещениям с постоянным пребыванием людей. Необходимы также встроенные устройства для снижения скорости падения отходов, межэтажные силовые разгрузочные муфты, которые оканчиваются поворотным шибером с автоматическим огнедымоотсекателем в мусоросборной камере. Размещение ствола мусоропровода в лифтовом холле не допускается.

3. Управление техническим состоянием инженерных сетей.

3.1. Концепция стратегического управления техническим состоянием здания

Генеральные положения концепции. Состав основных мероприятий по технической эксплуатации. Порядок разработки Правил и норм технической эксплуатации высотного здания (комплекса).

Технический паспорт здания. Основная документация по технической эксплуатации.

Системы диспетчеризации высотных зданий. Принципы модульной диспетчеризации:

- инженерных систем;
- на противопожарную защиту;

- на структурированную систему мониторинга и управления инженерными системами (СМИС по ГОСТ Р 22.1.12–2005);
- на комплексную безопасность и антитеррористическую защищенность объекта.

Поскольку оборудование вышеперечисленных систем эксплуатируется с учетом вероятности его отказа (как в экстремальных, так и в нормальных условиях), необходима организация автоматического управления всеми системами. Комплекс систем автоматизации инженерного оборудования здания должен обеспечивать автоматическое управление, регулирование, необходимую блокировку и защиту от аварийных режимов следующих инженерных систем: холодоснабжения, фанкойлов, общеобменной вентиляции, кондиционирования, холодного и горячего водоснабжения, бытовой и ливневой канализации, дренажной канализации подвала, теплоснабжения, отопления, тепловых завес, противодымной защиты, активного пожаротушения, освещения, противопожарного водоснабжения, вертикального транспорта, мусороудаления, энергоснабжения, автоматических дверей и управления комфортом помещений.

Автоматизированная система управления высотным зданием (АСУЗ) должна быть открытой с возможностью объединения в единую управляющую структуру практически любых инженерных систем и обеспечивать надежное управление системами здания и исполнительными устройствами. Время живучести АСУЗ должно быть не меньше времени огнестойкости коммуникационных шахт, и в течение этого периода обеспечиваются:

- единство и интеграция всех автоматизированных комплексов и систем;
- полное взаимодействие (межсистемное, внутрисистемное) подсистем объекта, включая системы безопасности, системы автоматической пожарной защиты, лифты, управления инженерным оборудованием, информационную систему, системы связи и электроснабжения объекта;
- получение информации из всех функциональных блоков в диспетчерскую высотного здания о состоянии систем, тревожных ситуациях и параметрах работы инженерного оборудования, а также дистанционное управление режимами работы;
- гарантированная устойчивость функционирования инженерного оборудования, служащего для жизнеобеспечения и безопасности людей, и информационная поддержка принятия решения обслуживающим персоналом;
- автоматическая передача данных о возникновении чрезвычайной ситуации (ЧС) по выделенному защищенному каналу в единую систему оперативно-диспетчерского управления в чрезвычайных ситуациях. Структурированная

система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений (СМИС) осуществляет мониторинг технологических процессов и функционирование оборудования непосредственно на потенциально опасных объектах, в зданиях и сооружениях. Информация об их состоянии передается по каналам связи в дежурно-диспетчерские службы этих объектов.

Как видно, решение проблем, обусловленных увеличением этажности зданий, связано с «интеллектуализацией» новейших произведений архитектуры. В противном случае, высотные здания легко могут оказаться неуправляемым скоплением людей, конструкций и техники. Не случайно интеллектуализация рассматривается специалистами как наиболее перспективное направление развития архитектуры. Правда, из этого же следует требование индивидуализации наиболее совершенных решений. Именно поэтому у нас всегда будет возможность для всестороннего обсуждения каждого случая безусловного стремления к высотности.

3.2. Определение объемов работ по техническому обслуживанию и ремонту конструкций и инженерного оборудования.

Подготовка здания к сезонной эксплуатации. Планирование ремонтов и мероприятий по техническому обслуживанию и мониторингу. Составление перспективного плана работы службы эксплуатации.

Структура службы эксплуатации. Определение требуемой численности работников, занятых техническим обслуживанием, текущим ремонтом, уборкой и благоустройством.

Порядок заключение договоров на выборочный ремонт и обслуживание конструкций и инженерного оборудования.

3.3. Оптимизационные модели эксплуатации высотных зданий и комплексов.

Взаимосвязь между эксплуатационными мероприятиями и качеством функционирования помещений и предоставлением коммунальных услуг. Анализ совокупных эксплуатационных затрат на обеспечение качества функционирования объекта. Оптимизация межремонтных сроков, периодичности мониторинга и структуры службы эксплуатации по критериям качества и экономической целесообразности.

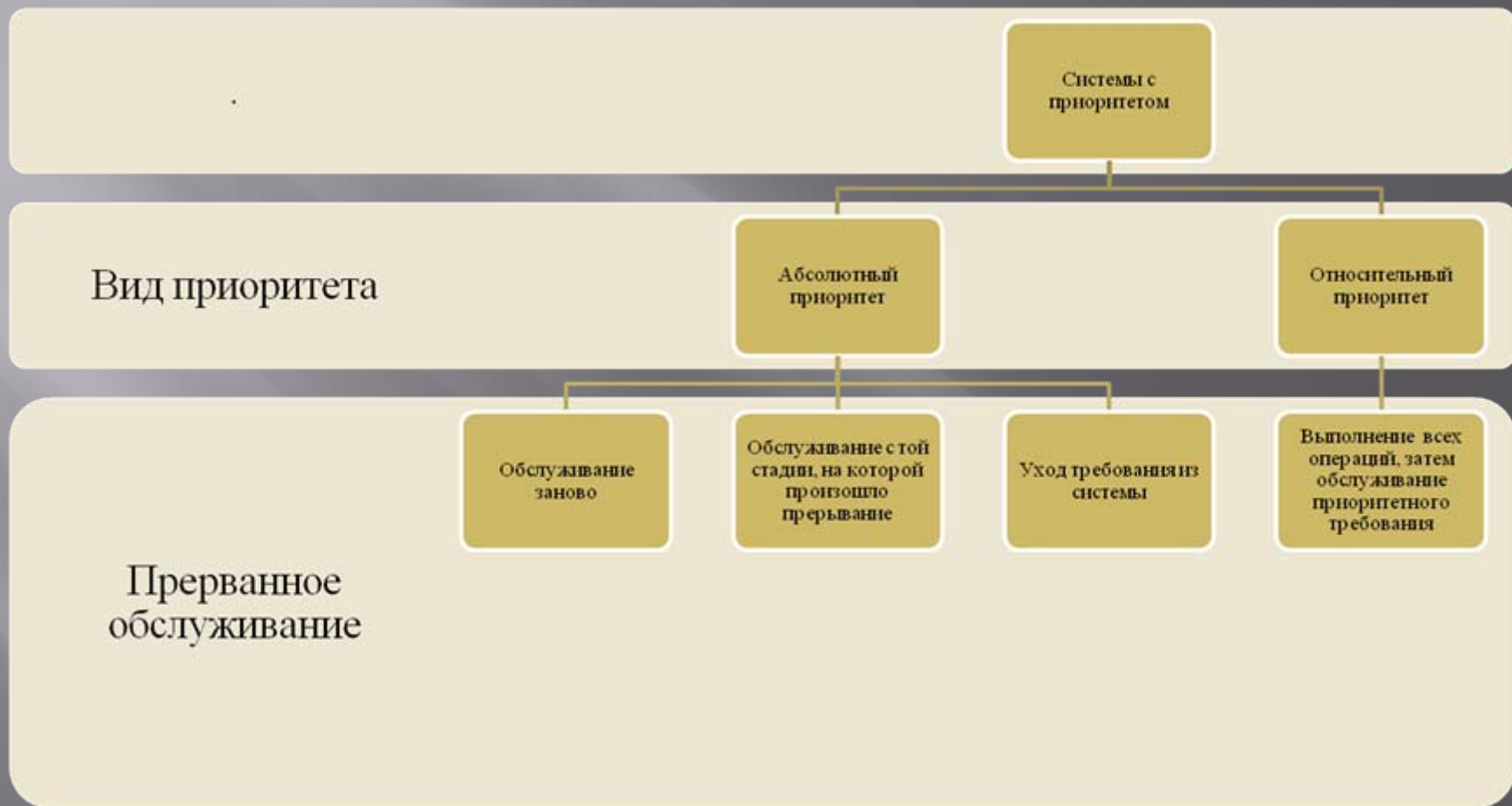
ОРГАНИЗАЦИЯ СЛУЖБЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Применение систем массового
обслуживания





Системы с приоритетом



Системы с приоритетом

Возможные состояния

$x_{0,0}$ — в системе нет никаких заявок;

$x_{0,j}$ — в системе имеется j заявок, не обладающих приоритетом ($j=1, 2, \dots$), и нет заявок, обладающих приоритетом; из этих j заявок одна обслуживается и $j-1$ заявок ожидают в очереди;

$x_{i,0}$ — в системе имеется i заявок, обладающих приоритетом ($i=1, 2, \dots$), и нет заявок, не обладающих приоритетом; из этих i заявок одна обслуживается и $i-1$ заявок находится в очереди;

$x_{i,j}$ — в системе имеется i заявок, обладающих приоритетом ($i=1, 2, \dots$), и j заявок, не обладающих приоритетом ($j=1, 2, \dots$), из i заявок, обладающих приоритетом, одна заявка обслуживается, а остальные $i-1$ ожидают в очереди; до тех пор, пока все заявки, обладающие приоритетом, не будут обслужены, заявки, не обладающие приоритетом, не обслуживаются.



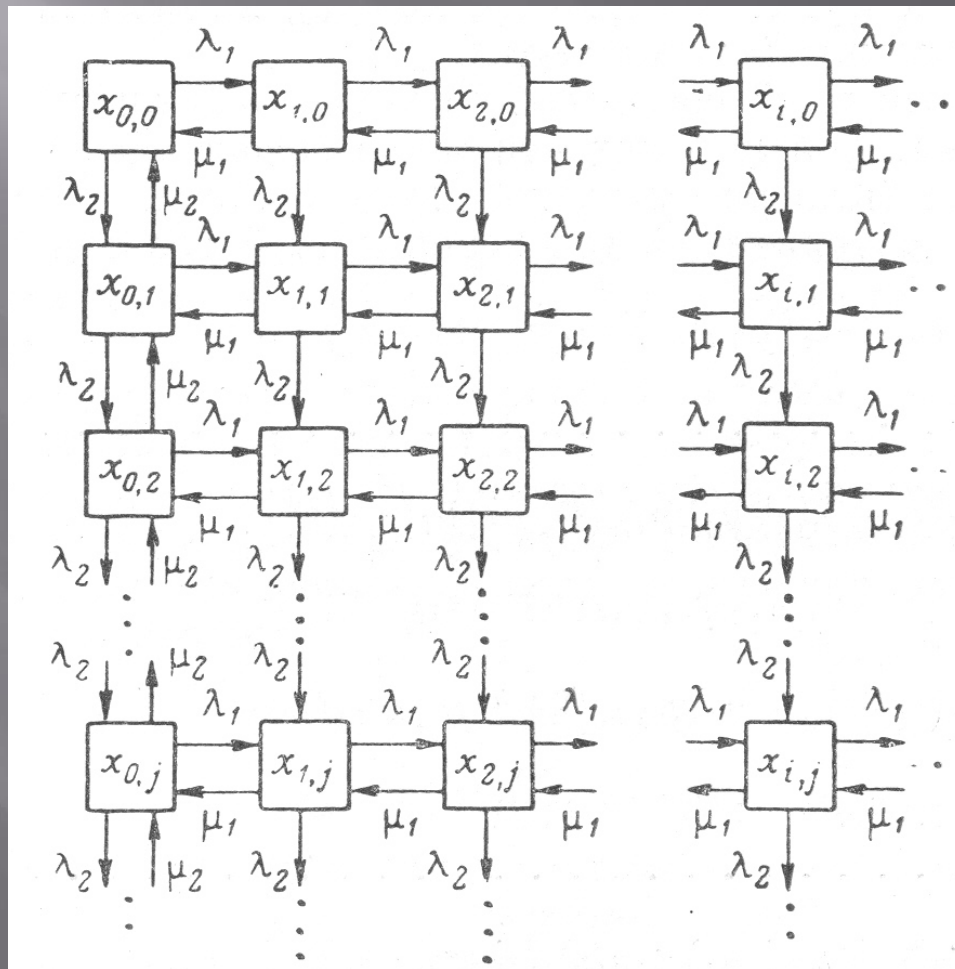


Системы с приоритетом

Размеченный граф состояний

Без приоритета

С приоритетом



Системы с приоритетом

Система уравнений для нахождения вероятностей состояний

$$\frac{dp_{0,0}(t)}{dt} = -(\lambda_1 + \lambda_2) p_{0,0}(t) + \mu_1 p_{1,0}(t) + \mu_2 p_{0,1}(t);$$

$$\frac{dp_{i,0}(t)}{dt} = -(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1) p_{i,0}(t) + \lambda_1 p_{i-1,0}(t) + \mu_1 p_{i+1,0}(t) \quad (i > 0);$$

$$\frac{dp_{0,j}(t)}{dt} = -(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2) p_{0,j}(t) + \lambda_2 p_{0,j-1}(t) + \mu_2 p_{0,j+1}(t) + \mu_1 p_{1,j}(t) \quad (j > 0);$$

$$\frac{dp_{i,j}(t)}{dt} = -(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1) p_{i,j}(t) + \lambda_2 p_{i,j-1}(t) + \lambda_1 p_{i-1,j}(t) + \mu_1 p_{i+1,j}(t) \quad (i > 0, j > 0).$$

$$\sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} p_{i,j}(t) = 1.$$





Системы с приоритетом

Интенсивности загрузки службы
эксплуатации по видам заявок

$$\alpha_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1}$$

$$\alpha_2 = \frac{\lambda_2}{\mu_2}$$

Для стационарного
режима

$$\alpha_1 + \alpha_2 < 1$$

Показатели эффективности

$$\bar{r}_1 = \frac{(\alpha_1)^2}{1 - \alpha_1}$$

$$\bar{l}_2 = \left(\frac{\partial \varphi(1, y)}{\partial y} \right)_{y=1} = \left[(1 - \alpha) \frac{\alpha_1 \frac{dx_1}{dy} + \alpha_2}{(1 - \alpha_1 x_1 - \alpha_2 y)^2} \right]_{y=1} =$$

$$= (1 - \alpha) \left[\frac{\alpha_1 \frac{\lambda_2 x_1^2}{\mu_1 - \lambda_1 x_1^2} + \alpha_2}{(1 - \alpha_1 x_1 - \alpha_2 y)^2} \right]_{y=1} = \frac{\alpha_2}{1 - \alpha} \left[1 + \frac{\mu_2}{\mu_1} \frac{\alpha_1}{1 - \alpha_1} \right]$$

$$\bar{t}_{оч_1} = \frac{\bar{r}_1}{\lambda_1} = \frac{1}{\mu_1} \frac{\alpha_1}{1 - \alpha_1}$$

$$\bar{t}_2 = \frac{\bar{l}_2}{\lambda_2} = \bar{t}_{оч_2} + \frac{1}{\mu_2}$$



Системы с приоритетом пример расчета

- В службу эксплуатации поступают заявки на выполнение аварийных работ в количестве 120 в месяц и на устранение незначительных неисправностей в количестве 120 в месяц
- Обслуживание заявок 1 типа в среднем занимает 3 часа, а второго типа – 1,5 часа

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \frac{1}{6} \frac{1}{\text{час}}$$

$$\mu_1 = \frac{1}{3}$$

$$\mu_2 = \frac{2}{3}$$

Интенсивности загрузки

$$\alpha_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1} = \frac{1}{2}$$

$$\alpha_2 = \frac{\lambda_2}{\mu_2} = \frac{1}{4}$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 < 1$$

Показатели эффективности для
заявок аварийного характера

$$\bar{r}_1 = \frac{(\alpha_1)^2}{1 - \alpha_1} = \frac{(0,5)^2}{1 - 0,5} = 0,5.$$

$$\bar{t}_{оч_1} = \frac{\bar{r}_1}{\lambda_1} = \frac{1}{2} \cdot 6 = 3$$

$$\bar{t}_1 = \bar{t}_{оч_1} + \frac{1}{\mu_1} = 3 + 3 = 6$$



Системы с приоритетом пример расчета

Показатели эффективности для
заявок о незначительных
неисправностях

$$t_{оч_2} = \frac{1}{\mu_2} \frac{\frac{\mu_2}{\mu_1} \frac{\alpha_1}{1-\alpha_1} + \alpha}{1-\alpha} = \frac{3}{2} \frac{2 \frac{0,5}{0,5} + 0,75}{0,25} = 16,5$$

$$\bar{r}_2 = \lambda_2 \bar{t}_{оч_2} = \frac{1}{6} \cdot 16,5 = 2,75.$$

$$\bar{t}_2 = \bar{t}_{оч_2} + \frac{1}{\mu_2} = 16,5 + 1,5 = 18$$

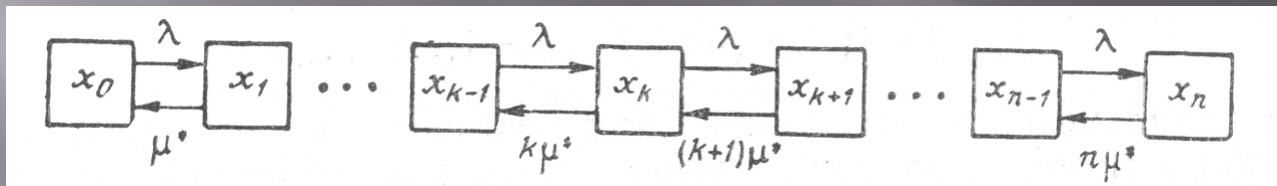
$$\bar{l}_2 = \lambda_2 \bar{t}_2 = \frac{1}{6} \cdot 18 = 3$$

Системы с отказами и ограниченным временем пребывания в системе

Возможные состояния

- x_0 — в системе нет ни одной заявки (свободны все каналы);
- x_1 — одна заявка находится в системе и она обслуживается одним (любым) из n каналов;
- x_k — ровно k заявок ($1 < k < n$) находятся в системе и все они обслуживаются (каждая заявка одним каналом);
- x_n — ровно n заявок обслуживается n каналами.

Размеченный граф состояний



$$\mu^* = \mu + \eta.$$



Системы с отказами и ограниченным временем пребывания в системе

Система уравнений для нахождения вероятностей состояний

$$\left. \begin{aligned} \frac{dp_0(t)}{dt} &= -\lambda p_0(t) + \mu^* p_1(t); \\ &\dots \dots \dots \\ \frac{dp_k(t)}{dt} &= -(\lambda + k\mu^*) p_k(t) + \lambda p_{k-1}(t) + (k+1)\mu^* p_{k+1}(t) \\ &\quad (0 < k < n); \\ &\dots \dots \dots \\ \frac{dp_n(t)}{dt} &= -n\mu^* p_n(t) + \lambda p_{n-1}(t). \end{aligned} \right\}$$

$$\sum_{k=0}^n p_k(t) = 1.$$

$$p_k = \frac{P(k, \alpha^*)}{R(n, \alpha^*)} \quad (k=0, 1, 2, \dots, n),$$

$$\alpha^* = \frac{\lambda}{\mu + \eta} = \frac{\lambda}{\mu^*};$$



Системы с отказами и ограниченным временем пребывания в системе

Показатели эффективности

$$P_{\text{обс}} = \frac{\bar{k}}{\lambda}$$

Вероятность обслуживания требования

$$\bar{k} = \alpha^* \frac{R(n-1, \alpha^*)}{R(n, \alpha^*)}$$

Среднее число занятых каналов

$$P_{\text{обс}} = \frac{\mu}{\lambda} \alpha^* \frac{R(n-1, \alpha^*)}{R(n, \alpha^*)} = \frac{\mu}{\mu + \eta} \frac{R(n-1, \alpha^*)}{R(n, \alpha^*)}$$

$$\lambda_0 = P_{\text{обс}} \lambda = \mu \alpha^* \frac{R(n-1, \alpha^*)}{R(n, \alpha^*)}$$

Плотность потока обслуженных требований

$$\pi_{з.к} = \frac{\bar{k}}{n} = \frac{\alpha^*}{n} \frac{R(n-1, \alpha^*)}{R(n, \alpha^*)}$$

Вероятность, что обслуживающий канал занят



Системы с отказами и ограниченным временем пребывания в системе

Показатели эффективности



$$\bar{t}_{з.к} = \frac{1}{\mu^*}$$

Среднее время занятости обслуживающего канала

$$\bar{t}_{п.з} = \frac{1}{n\mu^*}$$

Среднее время занятости всех обслуживающих каналов

$$\bar{t}_{п.к} = \bar{t}_{з.к} \cdot \frac{1 - \pi_{з.к}}{r_{з.к}}$$

Среднее время простоя обслуживающего канала

$$\pi_{п.з} = p_n = \frac{P(n, \alpha^*)}{R(n, \alpha^*)}$$

Вероятность того, что заняты все обслуживающие каналы

$$\bar{t}_{н.з} = \bar{t}_{п.з} \cdot \frac{1 - \pi_{п.з}}{\pi_{п.з}}$$

Среднее время неполной загрузки службы эксплуатации

Системы с отказами и ограниченным временем пример расчета

- Для контроля за параметром объекта установлены две регистрирующие станции, последовательно опрашивающие датчики, каждая из которых измеряет отклонение параметра в течение 1 минуты.
- В среднем за час происходит 30 отклонений.
- Если отклонение параметра происходит в момент, когда обе регистрирующие станции заняты, то оно не фиксируется.
- Скорость отклонения параметра и возвращения его в исходное состояние 1000
- Количество регистрирующих датчиков 50

$$\lambda = 30 \frac{1}{\text{час}} = \frac{1}{2} \frac{1}{\text{мин}}$$

$$\eta = \frac{v}{a} = \frac{1000}{50} = 20 \frac{1}{\text{час}} = \frac{1}{3} \frac{1}{\text{мин}}$$

$$\mu = 1 \frac{1}{\text{мин}}$$

$$\mu^* = \mu + \eta = 1 + \frac{1}{3} = \frac{4}{3} \frac{1}{\text{мин}}$$

$$\alpha^* = \frac{\lambda}{\mu^*} = 0,375$$

Параметр «нетерпения»



Системы с отказами и ограниченным временем пример расчета

Показатели эффективности

$$P_{\text{обс}} = \frac{\mu}{\mu + \eta} \cdot \frac{R(n-1, \alpha^*)}{R(n, \alpha^*)} = 0,715.$$

Вероятность того, что отклонение параметра будет зафиксировано

$$\bar{k} = \frac{P_{\text{обс}} \lambda}{\mu} = 0,358$$

Среднее число занятых регистрирующих станций

$$\pi_{\text{з.к}} = \frac{\bar{k}}{n} = 0,179.$$

Вероятность того, что регистрирующая станция будет занята обработкой сигнала

$$\bar{t}_{\text{з.к}} = \frac{1}{\mu^*} = \frac{3}{4} \text{ мин}$$

Среднее время занятости одной регистрирующей станции

$$\bar{t}_{\text{п.к}} = \bar{t}_{\text{з.к}} \frac{1 - \pi_{\text{з.к}}}{\pi_{\text{з.к}}} = 3,44 \text{ мин}$$

Среднее время простоя одной регистрирующей станции

