

Розглянуті можливості використання теорії ієрархічних багаторівневих систем керування при декомпозиції структур інтегрованих автоматизованих систем керування електростанціями та енергоблоками

Ключові слова: енергоблок, АСУ, інтеграція, декомпозиція, модель

Рассмотрены возможности использования теории иерархических многоуровневых систем управления при декомпозиции структур интегрированных автоматизированных систем управления электростанциями и энергоблоками

Ключевые слова: энергоблок, АСУ, интеграция, декомпозиция, модель

The possibilities of the use of theory of hierarchical multilevel control systems at the decomposition of structures of the integrated automatic control systems by power-stations and power units are considered

Keywords: power unit, automatic control system, integration, decomposition, model

ДЕКОМПОЗИЦИЯ ИЕРАРХИЧЕСКИХ МНОГОУРОВНЕВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ЭНЕРГООБЪЕКТАМИ

М.А. Дуэль

Доктор технических наук, ученый секретарь
Харьковский научно-исследовательский институт
комплексной автоматизации
пер. Кузнечный, 2, г. Харьков, 61003
Контактный тел.: (057) 706-36-52, 050-694-09-09

А.В. Приходько

Директор ООО «Южкабель - сервис»
пер. Кузнечный, 2, г. Харьков, 61003
Контактный тел.: (057) 717-73-05, 050-032-89-16

1. Введение

Управление энергетической отраслью Украины осуществляется двумя основными взаимосвязанными системами: оперативно – диспетчерского (ОДУ) и производственного хозяйственного (ПХУ), в которые входят энергосистемы, электростанции, энергоблоки и многие другие объекты управления.

Развитие энергетики страны происходит на базе мощных энергоблоков ТЭС и, особенно, АЭС, которые требуют для обеспечения их безопасной, надежной и экономичной эксплуатации интегрированных, многофункциональных и всережимных автоматизированных систем управления (ИАСУ).

Создание подобных систем управления такими сложными и ответственными объектами обуславливает необходимость при реализации их структур найти оптимальное соотношение: между *централизацией* и *децентрализацией* их функционального, технического и организационного обеспечения.

Поэтому при синтезе оптимальной структуры ИАСУ как энергоблоком, так и электростанцией в целом необходимо производить декомпозицию всех видов ее обеспечения на базе основополагающих работ по математическим моделям и оптимизации тепло-энергетических установок [3, 4, 7] и теории иерархических многоуровневых систем [2].

2. Декомпозиция многоуровневых систем управления

На нижнем уровне в энергоблоках ТЭС протекает технологический процесс, характеризуемый преобразованием входных сигналов (расхода воды, топлива,

воздуха и др.) в регулируемые величины парогенераторов, турбин и электрогенераторов (давление и температуру перегретого пара, активную мощность, частоту вращения и др.).

Входными сигналами следующей ступени - системы управления - служат: технико - экономические показатели (ТЭП) отдельных энергоблоков, суточный график электрической нагрузки ТЭС, координирующие сигналы вышестоящего центра управления, сигналы о состоянии основного работающего и резервного оборудования и др. Выходные сигналы на этом же уровне - генерируемая и передаваемая в энергосистему (ЭС): активные мощности, значение частоты электрической сети на шинах ТЭС, значения ТЭП станции в целом, технологические параметры общестанционного оборудования и др.

Входной информацией на более высоком уровне - системе управления ЭС - служат: суточный график электрической нагрузки, значения обменов активной мощностью с другими ЭС, ТЭП объектов управления нижнего уровня (ТЭС), сведения о наличии резервного оборудования и запасах топлива и др. Выходную информацию на этом же уровне составляют суммарная активная мощность, генерируемая электростанциями в ЭС, значения напряжения в узлах электрической сети, сводные ТЭП, вычисленные на ИВЦ ЭС и др.

Для выполнения своей главной функции - управления генерацией и обменов активной мощностью в ОЭС - подсистемы верхнего уровня должны быть наделены правом вмешательства в работу объектов и подсистем, расположенных ниже. Наряду с этим главные показатели работы ОЭС и ЭС полностью зависят от исполнения своих функций подсистемами и объектами нижнего уровня - энергоблоками и ТЭС.

В дальнейшем, следуя [3], вместо понятия большая система управления будем пользоваться более конкретным понятием *многоуровневая иерархическая система* (МИС), наиболее характерные признаки которой следующие:

1) вертикальная соподчиненность подсистем (вертикальное расположение подсистем, взаимосвязанных между собой по каналам прямой и обратной связи);

2) приоритет действий подсистем верхнего уровня (обязывающий характер воздействий, поступающих со стороны вышестоящих подсистем по каналам управления);

3) взаимозависимость действий всех подсистем (качество работы системы в целом зависит от всех ее элементов и контролируется по каналам обратной связи).

При организации управления по иерархическому принципу в проектируемой системе вначале производится выделение уровней управления - *вертикальная декомпозиция*.

Обычно основанием для объединения подсистем управления на одном и том же уровне служат следующие признаки [2, 3]:

1) общность математического описания или абстракции (вид математической модели);

2) общность функций цели, подцели или промежуточной цели (общность критериев управления);

3) общность организационных функций.

На основании первого признака выделяют уровни математического описания или абстрагирования, т.е. составляют *иерархию математических моделей*. Руководствуясь вторым признаком, сложную систему разделяют на уровни по целевому назначению, т.е. строят *иерархию целей* и сопутствующую ей иерархию принятия решений по управлению. На основании третьего - выделяют организационные уровни, т.е. определяют *организационную иерархию* или соподчиненность подсистем. Сам процесс разделения на уровни осуществляется последовательно, т.е. вначале по первому из названных признаков, затем по второму и третьему. Выбор последовательности может быть произвольным.

Разбиение подсистемы на звенья в пределах одного и того же уровня означает *горизонтальную декомпозицию*. Звено горизонтальной декомпозиции промышленных систем на низшем уровне выделяется обычно по принципу единства технологического процесса или конструкции (например, пароперегреватель парогенератора, ЦВД турбины, промежуточный пароперегреватель и т.п.). В зависимости от задач управления, например, для определения КПД того или иного агрегата может быть выделено и более крупное звено (парогенератор, турбогенератор или энергоблок в целом). На более высоком уровне звенья горизонтальной декомпозиции выделяются также в зависимости от задач управления по функциональным или общесистемным признакам (например, ТЭС, энергосистема и т.п.).

При иерархическом представлении сложных систем используют одновременно вертикальную и горизонтальную декомпозиции.

Следует заметить, что при создании МИС на основе существующих производственных комплексов и сложных объектов, к каким относятся ТЭС и энергоси-

стемы, редко имеется возможность их коренной перестройки. Как правило, приходится брать за основу уже сложившиеся системы управления и автоматического регулирования технологических процессов нижнего уровня и добавлять к ним подсистемы управления на более высоком уровне с таким расчетом, чтобы координация взаимодействующих подсистем способствовала достижению целей на верхнем уровне и охватывала все части этой обширной системы.

3. Иерархия математических моделей

Требования к математическому описанию сложной системы противоречивы. С одной стороны, оно должно быть полным, т.е. отражать действие системы в деталях, а с другой - достаточно простым, доступным для понимания.

Компромисс между полнотой и простотой математического описания систем достигается их иерархическим (многоуровневым) представлением. Для этого объект или система описываются семейством математических моделей, представляемых в форме «вход - выход». В общем случае количество моделей, используемых для описания сложной системы, определяется числом *математических страт*, полученных в результате ее вертикальной декомпозиции [2].

Понятие математической страты связано с разным уровнем абстрагирования реальных процессов и систем.

Обычно математическое описание МИС начинается с технологического процесса, для которого имеется определенный запас исходных данных. В общем случае подход к составлению математической модели процесса мало отличается от традиционного. Например, для теплоэнергетических объектов модели процессов составляются на основе законов сохранения энергии и вещества применительно к типовым схемам и типовым конструкциям агрегатов или же на основе экспериментальных характеристик отдельных участков. При этом немалую роль во всех случаях играет простота модели. Примеры математических моделей технологического процесса на отдельных участках тепловой схемы ТЭС приводятся в ряде работ [1, 3, 4, 5].

Первоначальное общее представление о сложной системе можно детализировать, двигаясь вниз по иерархии. При этом описание системы должно углубляться при движении от одной математической страты к другой. Это означает, что обращение к нижней страте должно дать подробную картину динамики того или иного технологического процесса. Наоборот, обращение к верхним стратам должно расширить кругозор оператора, дать ему представление о поведении системы в целом в сжатой форме, объяснить взаимодействие объектов и подсистем. Следовательно, движением вверх по иерархии можно расширить описание системы, представить ее в более общем виде, с охватом большего числа звеньев и подсистем, большего периода времени и более общих задач управления. Наряду с этим степень детализации поведения системы сокращается по мере перехода к моделям верхних уровней. В результате математическое описание подсистем верхнего уров-

ня становится более обобщенным, т.е. не учитывает факторы и сигналы, имеющие существенное значение лишь для подсистем, расположенных на более низком уровне.

Сложные системы в отличие от одноуровневых или одноцелевых характеризуются множеством входных и выходных воздействий. Достаточно сказать, что на крупном энергоблоке, являющемся лишь одним из многих элементов нижнего уровня МИС, одновременно контролируется и регулируется несколько тысяч технологических параметров. Поэтому естественным является изучение МИС с помощью математического аппарата теории множеств [1].

Уменьшение объема информации между подсистемами, наряду с упрощением задачи математического описания МИС, имеет большое практическое значение: высвобождает время оперативного и руководящего персонала электростанции, идущее на осмысливание «лишней» информации, и позволяет использовать его на обдумывание важных решений по управлению.

Задача математического описания МИС в наиболее общей постановке состоит в том, чтобы составить семейство математических моделей, сообразных условиям стратификации, и формализовать взаимные связи между ними. При этом следует иметь в виду, что не каждая модель технологического процесса или подсистемы является математической стратой МИС, но каждой страте должна соответствовать определенная математическая модель.

4. Целевые функции МИС

Обычно цель автоматизированного управления объектами электростанции задается в виде критерия управления соотношения, характеризующего качество работы объекта управления в целом и принимающего числовые значения в зависимости от используемых управляющих воздействий.

Для математического описания (формализации) функций цели МИС воспользуемся совокупностью множеств векторов входа $x_i, i \in I$, выхода $y_i, i \in I'$ и управления $u_i, i \in I''$, для которых $I \neq I' \neq I''$ (см. рис. 1).

Запишем в общем виде критерий управления для промежуточной подсистемы МИС:

$$v_i = g_i(u_i, y_i). \tag{1}$$

Для формализации критерия управления на нижнем уровне запишем модель технологического процесса:

$$y_{oi} = P(x_{oi}). \tag{2}$$

Далее с учетом (1) и (2) получим:

$$v_{oi} = g_{oi}[u_{oi}, P(x_{oi})] \tag{3}$$

Запись функции цели в такой форме означает, что управляющий сигнал u_{oi} влияет на технологический процесс, качество которого определяется значением целевой функции.

Наличие цели у подсистемы верхнего уровня обычно связывают с главной (глобальной) целевой функцией, которая исчисляется в приведенных затратах (издержках).

Для многоуровневых систем управления энергетикой глобальная целевая функция аналогично [4] записывается в аддитивной форме.

$$v_{гл} = \sum_{i=1}^{i=m} v_i \tag{4}$$

где v_i - функция цели нижестоящего уровня, приведенная к единой денежной или энергетической шкале (размерности).

Принципиальный недостаток непосредственного использования одной глобальной целевой функции МИС состоит в том, что $v_{гл}$ не зависит явным образом от управляющих сигналов верхнего уровня. А между тем $u_{гл}$ является единственной переменной, на которую может воздействовать оператор или ЭВМ подсистемы верхнего уровня.

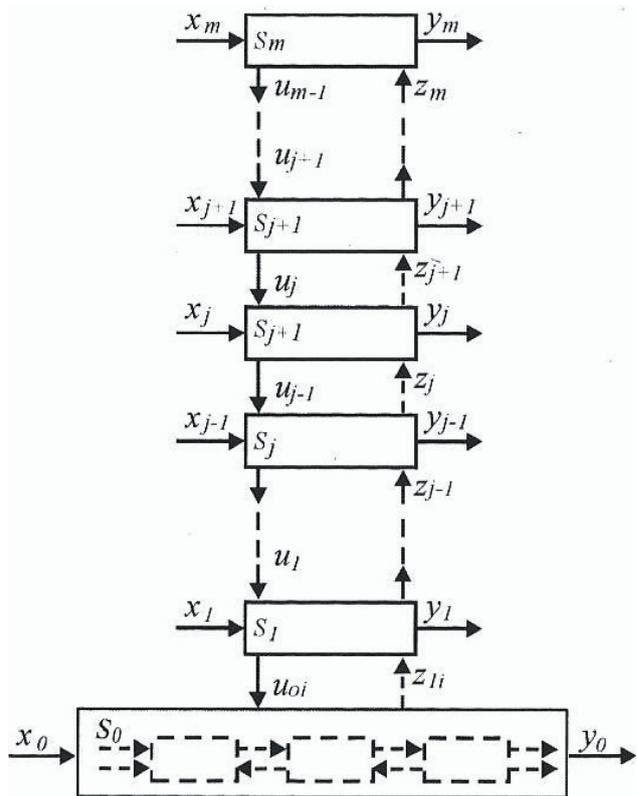


Рис. 1. Структура многоуровневой иерархической системы (МИС)

В случае невозможности прямого достижения глобальной цели с помощью средств, имеющихся на главном центре управления, она разделяется на подцели. Аддитивная форма записи целевой функции является наиболее удобной в этом отношении. Она позволяет путем декомпозиции $v_{гл}$ составить так называемое дерево целей, пример которого изображен на рис. 2 и перед одним из элементов, образующих дерево, не ставится задача прямого достижения $v_{гл}$. Тем не менее она будет достигнута, если каждый из элементов системы достигнет своей подцели, согласованной с главной. Для этого каждый элемент нижестоящего уровня «знает» только одно точное значение «своего» критерия управления, в то время как на верхнем уровне известно конечное множество его значений.

Решение первоначальной задачи уточняется при последовательном решении задач оптимизации для нижестоящих уровней.

Пример такой последовательности для промышленных систем был показан в [3], где выход подсистемы управления для ЭС является входом подсистемы управления электростанцией. Таким путем решается, например, задача минимизации затрат, определяемых целевой функцией (8) для ЭС и наивыгоднейшего распределения нагрузок между параллельно работающими энергоблоками электростанций при отработке сигнала задания по изменению суммарной электрической мощности ЭС путем загрузки (разгрузки) отдельных электростанций.

В МИС с участием человека иерархия принятия решений соблюдается соподчиненными между собой лицами из числа оперативного персонала. В системах управления, оснащенных автоматическими устройствами, то же самое достигается посредством решающих элементов (РЭ), связанных между собой каскадно. Каждый элемент решает свою подзадачу, а все в целом - общесистемную задачу по управлению, например по достижению экстремума глобальной целевой функции.

6. Организационная иерархия

Стремление отдельных подсистем нижнего уровня к достижению собственных локальных целей в некоторых случаях может препятствовать решению главной задачи оптимизации, стоящей перед системой в целом.

Например, задание режима стабилизации тепловой нагрузки и электрической мощности отдельным энергоблокам и ТЭС по соображениям надежности и экономичности препятствует их участию в компенсации пиков и провалов графика электрической нагрузки энергосистемы, что является необходимым в целях стабилизации частоты сети в пределах ЭС и является требованием глобального оптимума. В приведенном примере имеет место так называемый межуровневый конфликт целей управления [3].

В другом случае, когда действия какой-либо подсистемы, направленные на достижение собственной цели, препятствуют решению задачи оптимизации, стоящей перед другой смежной подсистемой, находящейся в пределах одного и того же уровня, возникает внутриуровневый конфликт. Например, автоматические системы регулирования (АСР) экономичности процесса горения парогенераторов, воздействующие на расход общего воздуха в топку с целью минимизации тепловых потерь, в некоторых случаях могут препятствовать повышению качества работы АСР температуры первичного или вторичного перегрева пара [1].

Возможность разрешения межуровневых и внутриуровневых конфликтных ситуаций, неизбежно возникающих в процессе управления сложной системой, заключается в иерархическом подходе к организации управления, которая предусматривает:

1) возложение только на одну из подсистем, считающуюся главной, права принятия решений, непосредственно направленных на достижение глобальной цели;

2) вертикальное соподчинение подсистем, наделенных правом принимать решения;

3) разделение (разграничение) функций управления между подсистемами, расположенными на одном и том же уровне.

Каждый центр (звено) организационной иерархии представляет собой определенным образом функционирующую «человеко – машинную» систему и имеет, если это необходимо, свою собственную организационную структуру. Например, диспетчерский пост управления ТЭС, оснащенный комплексом ЭВМ и функционирующий под руководством дежурного инженера станции, имеет в своем подчинении посты управления энергоблоками [1].

Главным принципом организационной иерархии считается взаимное расположение центров (звеньев) в соответствии с установленным приоритетом принятия решений по управлению. Он формализуется следующим выражением:

$$S_j = \{S, >\} , \quad (10)$$

где S – заданное семейство управляемых подсистем S_j ; $j \in J$;

J – конечное множество значений индекса $j = \{j = 1, 2, \dots, m\}$;

$>$ – упорядочивающее отношение в J такое, что при $m > m-1$ S_m имеет приоритет по отношению к S_{m-1} .

Иерархия $\{S, >\}$ считается многоуровневой, если для любого его члена S_j найдется по крайней мере один, расположенный непосредственно над S_j , обладающий приоритетом принятия решений.

Каждый центр S_j при выполнении порученных ему функций по управлению должен обладать определенной свободой действий и правом принятия решений относительно того, каким способом эти функции будут выполнены. Применительно к ЭС центры (звенья) организационной иерархии образуют, например, блочные и общестанционные операторские посты, а также центральный пост районного диспетчерского управления [1].

При создании новых АСУ ТП энергоблоков, электростанций и энергосистем следует исходить не только из сложившейся структуры организационного управления. Необходимо прежде всего придерживаться системного подхода к проблеме автоматизированного управления в целом и к основной задаче, которую система должна решать. Для этого используются категории математической страты, дерева целей, слоя принятия решений и организационного звена (центра) управления, использование которых подробно изложено в [3].

При таком подходе вертикальная декомпозиция обобщенной МИС, построенной с соблюдением принципов целевой и организационной иерархии, показана на рис. 3.

Горизонтальная декомпозиция МИС в пределах одного и того же уровня по организационным признакам осуществляется на основе принципа агрегирования (объединения) однотипных объектов в группы и разграничения функций управления отдельными группами, например, путем организации обособленных постов централизованного управления однотипным оборудованием сложных ТЭС (пиковых водо-

грейных котлов, фильтров химической очистки воды и т.п.).

Следует заметить, что не существует однозначного соотношения между видами используемых понятий иерархии, т.е. между стратами, слоями и звеньями организационной иерархии $\{S, >\}$. Каждый решающий элемент или лицо принимающее решение (ЛПР), входящие в МИС, в принципе могут использовать многоуровневый и многослойный подходы для решения собственных локальных подпроблем, как это показано на рис. 3. Если в МИС, составленной из математических страт или слоев принятия решений, на каждом уровне формально находится один элемент, то в организационной структуре той же системы на каждом уровне может находиться несколько элементов или звеньев, образующих собственную внутриуровневую иерархию.

Каждый промежуточный центр управления, входящий в МИС, имеет дело в первую очередь с подчиненной системой. Его оперативный персонал управляет только «своим» технологическим процессом и находится в неведении относительно решений, принятых на других центрах одного и того же уровня. Оперативный персонал вышестоящего центра должен координировать работу взаимосвязанных подсистем, расположенных ступенью ниже, по их укрупненным показателям. Его задача оказать такое влияние на подчиненные системы, чтобы достигнуть экстремума глобальной целевой функции в процессе управления.

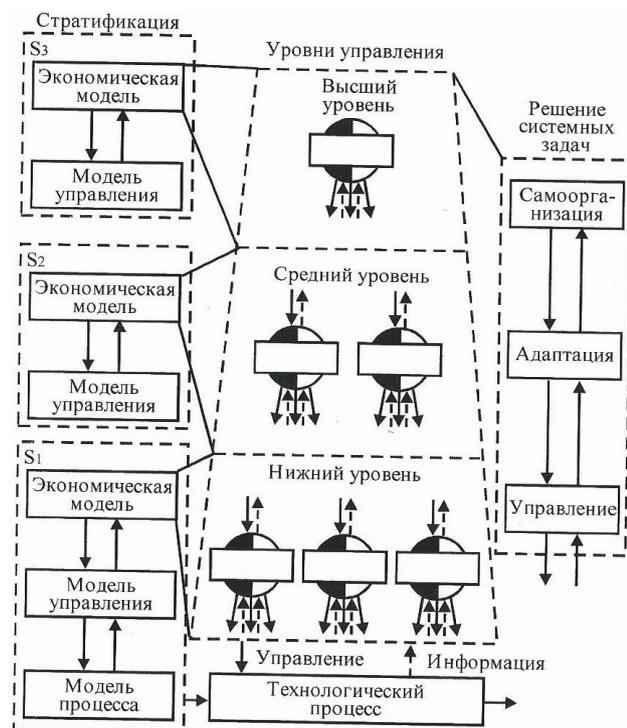


Рис. 3. Организация и функциональная структура многоуровневой АСУ

Однако на практике может оказаться, что глобальная эффективность работы системы будет все же неудовлетворительной. Тогда вышестоящий центр может изменить целевую функцию (критерий управ-

ления) для нижестоящих звеньев, т.е. осуществить критериальное управление. Функция критериального управления, как уже отмечалось, может быть возложена на автоматическое устройство, входящее в состав подсистемы самоорганизации.

В связи с тем, что центры верхнего уровня всегда имеют дело с укрупненными подсистемами, проблема принятия решения рассматривается здесь как более сложная, а математические модели верхних страт всегда имеют больше неопределенностей по сравнению с нижними.

Например, на верхнем уровне управления ЭС возникает необходимость учета дополнительных источников внешних возмущений (дополнительных неопределенностей) по каналам межсистемных связей и других факторов.

Другая особенность управления на верхнем уровне ЭС состоит в увеличении времени, необходимым для принятия решения. Это объясняется тем, что информация, поступающая в вышестоящий центр, изменяется медленнее, чем технологические параметры отдельных источников энергии, так как в большинстве случаев она представляет собой агрегированные переменные (например, суммарные электрические мощности энергоблоков и ТЭС, усредненные по множеству энергоблоков; значения удельных расходов топлива и т.п.).

Разумеется, что все выше отмеченное относится к стационарным процессам, протекающим сравнительно медленно. При обстоятельствах, близких к предаварийным, решения должны приниматься безотлагательно, а действия по управлению совершаться незамедлительно.

Сложившейся иерархии автоматизированных технологических комплексов по организационным признакам противостоит децентрализация или полная автономия управления, когда отдельные подсистемы, имеющие общую цель, не имеют единого координирующего центра, обладающего приоритетом принятия решений по управлению. Децентрализацию управления в таком понимании по отношению к электроэнергетическим системам и электростанциям скорее можно представить как исключительно неблагоприятную ситуацию. Последняя может сложиться лишь в результате крупномасштабных отказов энергооборудования, сопровождаемых нарушением запланированных обменов электрической мощностью источников, а следовательно, отключением части потребителей и нанесением значительного экономического ущерба.

7. Заключение

1. Создание современных АСУ энергообъектами является актуальной задачей, решение которой позволяет обеспечить безопасную, надежную и экономичную эксплуатацию этих сложных и ответственных объектов.

2. При синтезе структуры АСУ энергообъектом необходимо обеспечить оптимальную технику – экономическую обоснованность выбора между интеграцией и децентрализацией задач функционального и технического обеспечения.

3. Для успішного рішення цих складних задач необхідно ефективно використовувати відомі науково – технічні принципи створення і розвитку АСУ складними об'єктами управління; потенціаль-

ніе можливості сучасних засобів автоматичного управління і інформаційних технологій; накопленний вітчизняний і, особливо, зарубіжний досвід.

Література

1. Дуэль М. А. Основы построения АСУ энергоблоками тепловых и атомных электростанций / М. А. Дуэль. – Харьков: ООО «Планета - Плюс», 2011. – 480 с.
2. Месирович М. Теория иерархических многоуровневых систем (пер. с англ.) / М. Месирович, Д. Мако, И. Такихари. – М.: Мир, 1973. – 342 с.
3. Плетнев Г. П. Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций / Г. П. Плетнев. – М.: Энергоиздат, 1981. – 368 с.
4. Попаырин Л. С. Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических установок / Л. С. Попырин. – М.: Энергия, 1978. – 416 с.
5. Прингишвили И. В. Основы построения АСУ сложными технологическими процессами / И. В. Прингишвили, А. А. Амбарцумян. – М., 1994. – 305 с.
6. Ротач В. Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования / В. Я. Ротач. – М.: Энергия, 1973. – 438 с.
7. Рущинский В. М. Пространственные линейные и нелинейные модели котлоагрегатов / В. М. Рущинский // Труды ЦНИКА. – 1969, вып. 1. – С. 8 – 15.

Представлено аналіз технічного стану приймально-відправних парків сортувальних станцій України. Виконана перевірка відповідності параметрів колійного розвитку існуючих парків нормам, що рекомендуються в проектній документації

Ключові слова: сортувальні станції, колійний розвиток, стрілочні горловини

Представлен анализ технического состояния приемо-отправочных парков сортировочных станций Украины. Выполнена проверка соответствия параметров путевого развития существующих парков нормам, рекомендованным в проектной документации

Ключевые слова: сортировочные станции, путевое развитие, стрелочные горловины

An analysis of the technical condition of receiving and departure marshalling yards of parks in Ukraine is shown. The conformance inspection of gridiron options of existing parks by standards recommended in the project documentation is executed

Keywords: marshalling yards, gridiron, lead

УДК 656.212.5

АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПРИЙМАЛЬНО- ВІДПРАВНИХ ПАРКІВ СОРТУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ УКРАЇНИ

В. В. Малашкін

Асистент

Кафедра Станцій та вузлів
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту
ім. академіка В. Лазаряна
вул. ак. Лазаряна 2, м. Дніпропетровськ,
Україна, 49010

Контактний тел.: (056) 371 51 03, 068-409-61-85

E-mail: malaxa79@mail.ru

Вступ

Основна робота по формуванню та розформуванню поїздів на залізницях України [1, 2] виконується на 35 сортувальних станціях із яких 31 станція є позакласними, а 4 – віднесені до 1 класу. Статистичні дані обігу вагонів на залізницях [3] показують, що,

в залежності від виду відправки, вагон за час обігу близько 25-30 % часу знаходиться саме на сортувальних станціях. Аналіз цієї тривалості показує, що основна її частина припадає на процес накопичення в сортувальному парку. Окрім того, основна кількість маневрових операцій на сортувальних станціях – це маневри пов'язані з розформуванням-формуванням