

# Автоматизована система управління електропостачанням промислових підприємств

**С.М. Балюта**, доктор технічних наук, професор, кафедра електропостачання та енергоменеджменту, Національний університет харчових технологій

**В.Д. Йовбак**, кандидат технічних наук, доцент, кафедра електропостачання та енергоменеджменту Національний університет харчових технологій

**Л.О. Копилова**, асистент, кафедра електропостачання та енергоменеджменту, Національний університет харчових технологій

**Є.О. Корольов**, аспірант, кафедра електропостачання та енергоменеджменту, Національний університет харчових технологій

У статті запропонована функціональна схема автоматизованої системи управління електропостачанням промислового підприємства, що забезпечує управління енергоспоживанням, режимами системи електропостачання та якістю електричної енергії в реальному часі. Представлені методи і математичні моделі управління, які забезпечують інформаційні, точнісні, часові, вартісні та інші характеристики ефективності функціонування системи автоматизованого управління електропостачанням промислового підприємства.

**Ключові слова:** автоматизована система управління електропостачанням промислового підприємства, електроспоживання, управління, споживачі-регулятори, оптимізація

В статье предложена функциональная схема автоматизированной системы управления электроснабжением промышленного предприятия, которая обеспечивает управление энергопотреблением, режимами системы электроснабжения и качеством электрической энергии в реальном времени. Представлены методы и математические модели управления, которые обеспечивают информационные, точностные, временные, стоимостные и другие показатели эффективности функционирования системы автоматизированного управления энергопотреблением промышленного предприятия.

**Ключевые слова:** автоматизированная система управления электроснабжением промышленного предприятия, электропотребление, управления, потребители-регуляторы, оптимизация

Article suggests a functional diagram of the automated control system of industrial power that provides power management modes of electrical and power quality in real time. The methods and mathematical models of management that provide information, accuracy, timing, cost and other performance indicators of the system of automated power management of the industrial enterprise.

**Keywords:** automated control system electricity industry, power consumption, management, customers, regulators, optimization

**П**роблема управління споживанням електричної енергії є актуальною для цукрової промисловості, оскільки дозволяє вирішити питання ефективного використання генеруючих потужностей, зменшення втрат електроенергії при її транспортуванні та зменшення енергоємності продукції, що випускається підприємствами галузі. Реалізація методів управління використанням електричної енергії потребує значно менших коштів, ніж введення у дію нових енергоблоків і дозволити знизити сучасні потреби енергетики в генеруючих потужностях не менш як на 10-15%.

Завдання полягає у розробці методологічних основ побудови автоматизованої системи управління системою електропостачання та електроспоживання промислового підприємства, методів і математичних моделей управління, які забезпечують інформаційні, точнісні, часові, вартісні

та інші характеристики ефективного функціонування системи автоматизованого управління електропостачанням промислового підприємства.

Сучасний рівень розвитку засобів автоматизації промислових підприємств орієнтує на інтеграцію в єдиний програмно-технічний комплекс всіх функцій інформаційної підтримки системи автоматизованого управління виробництвом.

Управління електроспоживанням та режимами системи електропостачання реалізується за допомогою автоматизованої системи управління електропостачання (АСУЕП). Реалізація керуваних дій такої системи не повинно призводити до погіршення тих параметрів і характеристик технологічного процесу, які визначають функції його основного призначення. Основну задачу АСУ ЕП можна сформулювати так: знаходження режимів реалізації ТП, що відповідають оптимальному елек-

троспоживанню (з урахуванням втрат енергії в системі електропостачання) в умовах дії диференційованих тарифів на електричну енергію.

**Завдання оперативного управління режимом електроспоживання підприємства.** АСУ-ЕП здійснює постійні вимірювання основних параметрів, обробляє отриману інформацію в реальному часі, забезпечує підтримання оптимального режиму системи електропостачання, нормативні показники якості електричної енергії, допомагає енергодиспетчеру підприємства підтримувати режим електроспоживання близьким до оптимального. Якість управління характеризується рівнем втрат  $Y_n(\Delta P, t_{озп})$ , що пов'язані з оперативним регулюванням і є складовою загальних втрат  $Y_{\Sigma}$  від порушення електропостачання підприємства.

**Структура і постановка задачі аналітичного управління СЕП.** Структурна схема АСУ СЕП наведена на рис 1. АСУСЕП дозволяє здійснити аналітичне управління електропостачанням ПП і споживанням електричної енергії з використанням аналітичних інформаційних технологій, математичних моделей і сучасних методів управління.

**Функціональні особливості та вимоги до підсистем системи управління**

**Підсистема спостереження (моніторингу) стану СЕП** забезпечує виконання наступного комплексу інформаційно-технологічних завдань і базових функцій: контроль стану і дистанцій-

не керування об'єктами автоматизації; формування попереджувальних і аварійних сигналів і повідомлень; протоколювання подій і дій оператора; розмежування прав доступу користувачів до функцій і даних; швидка локалізація місць пошкоджень. з управління, сигналізації, повідомленнями; автоматичне виконання заздальгідь розроблених послідовностей перемикачів з контролем правильності операцій; автоматизація контролю безпеки в місцях проведення робіт; реалізація механізму блокування від помилкових дій при управлінні пристроями; гнучка інтеграція з віддаленими терміналами релейного захисту та лічильниками електроенергії, дистанційно-керуваними вимикачами навантаження; автоматична самодіагностика стану обладнання системи.

**Підсистема оперативного аналізу стану СЕП** проводить аналіз роботи систем електропостачання на основі розрахунку їх режимів. [3, 4]. Вихідними даними для роботи підсистеми є: топологія (структура) мережі, значення електричних навантажень, а також параметри джерел живлення, які можуть змінюватися в часі.

**Завдання оперативного розрахунку** включають: оперативний розрахунок робочих режимів системи електропостачання, що виникають у ході і в результаті оперативного управління системою електропостачання; оперативний розрахунок аварійного режиму трифазного короткого замикан-

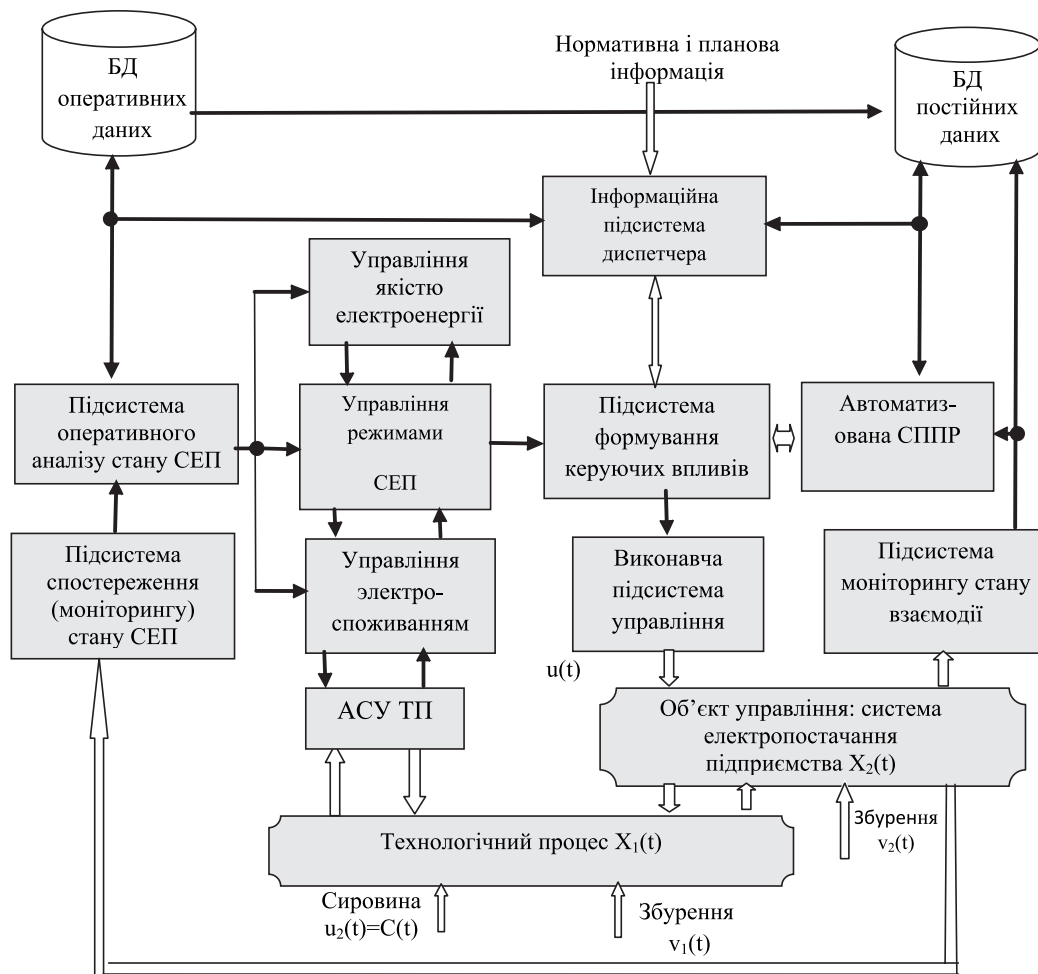


Рис. 1. Функціональна структура АСУ СЕП

ня в системі електропостачання для нормальної і тимчасових (нештатних) схем, реалізованих у процесі оперативного управління системою електропостачання.

Результати рішення (вихідна інформація) завдання оперативного розрахунку можуть бути представлені у вигляді вихідних параметрів і вихідних повідомлень.

**Використовувана (вихідна) інформація для розрахунку режимів** являє собою вихідні дані для моделювання усталених режимів системи електропостачання засобами АСУ ЕС і включає в себе три групи.

**Перша група** даних являє топологію і параметри схем заміщення елементів системи електропостачання.

**Другу групу** даних утворюють вимірювання електричних величин: напруг, струмів, активних і реактивних потужностей і електричних кутів.

**Третю групу** даних утворюють статистичні дані, включаючи дані про потоки активної і реактивної енергії за різні періоди часу, графіки навантажень за характерні добу і електричні параметри, які можуть бути задані користувачем (наприклад, параметри автономного джерела живлення в планованому режимі).

Склад груп вихідних даних визначається наявністю цифрових засобів вимірювання електричних параметрів (датчиків, лічильників і т.д.), терміналів цифровий РЗіА, автоматизованих систем комерційного і технічного обліку електроенергії.

**Алгоритми оперативного розрахунку режимів систем електропостачання в АСУ ЕС** повинні включати такі основні блоки: алгоритм визначення сумарної потужності вузла; алгоритм розрахунку режиму схеми з замкнутою структурою; алгоритм розрахунку режиму схеми з розімкненим структурою.

Допоміжним алгоритмом, що використовується для реалізації перерахованих вище алгоритмів є алгоритми пошуку гілок схеми.

**Підсистема управління режимами системи електропостачання** вирішує два взаємопов'язані завдання: управління електроспоживанням і управління втратами в системі електропостачання. Управління електроспоживанням проводиться на основі використання науково обґрунтованих норм витрат електроенергії усіма рівнями ієрархії підприємства і прогнозування навантаження підприємства [1].

**Завдання оперативного управління режимами системи** полягає в необхідності мінімізувати сукупність наступних критеріїв:

- за збитками підприємства від відключення (переходу на знижений режим роботи) споживачів регуляторів (СР) активного навантаження;

$$F_1 = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I y_{ij} k_{ij} \rightarrow \min \quad (1)$$

- за кількістю відключень споживачів регуляторів (ПР) (комутацій електромережі підприємства);

$$F_2 = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I k_{ij} \rightarrow \min \quad (2)$$

- за втратами потужності (енергії) в електричній мережі підприємства, що виникають через перетікань реактивної енергії;

при наступних обмеженнях:

$$F_3 = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \left\{ \left[ Q_{i1}(t) - \sum_{gij=1}^{G_{ij}} Q_{gij}(t) h_{gij} \right]^2 R_{ij} / U_{ij}^2(t) \right\} \rightarrow \min \quad (3)$$

- за активним навантаженням підприємства;

$$\sum_{i=1}^{I_1} P_{i1}(t) - \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I P_{ij}(t) k_{ij} \leq P_{orp} \quad (4)$$

- за реактивним навантаженням підприємства;

$$Q_{bx}(t) \leq \sum_{i=1}^{I_1} \left[ Q_{i1}(t) - \sum_{g=i1}^{G_{i1}} Q_{g1}(t) h_{g1} \right] \leq Q_{max}(t) \quad (5)$$

- за напругою на приймачах електричної енергії.

$$U_{ijxb} \leq U_{ij}(t) \leq U_{ijmax} \quad (6)$$

Для виключення зривів технологічного процесу (ТП), обумовлених тривалими і частими відключеннями одних і тих самих СР, передбачена можливість встановлення тимчасових заборон на використання цих СР для регулювання навантаження, що дозволяють адаптувати завдання до реальним умовам, які склалися на виробництві.

**Розв'язання задачі** проводиться в два етапи. На першому етапі знаходиться область компромісів (область Парето) шляхом отримання оптимальних рішень по окремим критеріям. У ряді випадків вже саме виділення області Парето можна вважати результатом рішення задачі. Це має місце, коли ця область містить невелику кількість рішень. Тоді будь-яке з цих рішень можна прийняти за результат вирішення поставленої задачі. В іншому випадку реалізується другий етап, на якому в діалозі з управляючим обчислювальним комплексом (УОК) диспетчер приймає рішення і проводиться повторне рішення задачі у виділеній області Парето.

**Підсистема управління електроспоживанням** забезпечує оптимальний режим оплати за спожиту електричну енергію. Пропонується наступна процедура оперативного управління режимом електроспоживання підприємства [1].

При нормальному режимі функціонування через фіксовані проміжки часу  $\Delta t$  УОК проводить опитування датчиків, визначення поточної витрати електроенергії і обчислення фактичних навантажень по підприємству Р і окремим електроприймачам  $P_j$ . Далі розраховуються прогнозні значення навантаження з використанням адаптивної процедури прогнозування. Прогноз здійснюється з попередженням на  $r$  тактів опитування, що відповідає інтервалу часу  $t^* = r \cdot \Delta t$  і визначається три-



## ТЕХНІКА & ТЕХНОЛОГІЇ

валістю підготовки і здійснення рішення реалізації керуючих дій.

Рішення приймаються в залежності від прогнозного значення навантаження  $P_{np} \in P$ . Вся множина  $P$  можливих значень навантаження розбивається на ряд непересічних підмножин;

$$\Omega_1 = \{P_{np} \geq P_L^B\} \quad (7)$$

$$\Omega_2 = \{P_L^H < P_{np} < P_L^B\} \quad (8)$$

$$\Omega_3 = \{P_L^H \geq P_{np}\} \quad (9)$$

де  $P_L^B, P_L^H$  - нижнє і верхнє обмеження електричного навантаження.

Кожній з виділених підмножин ставиться у відповідність сукупність керуючих впливів (КВ). В якості обмеження навантаження виступає заявлена підприємством на даний квартал максимальна потужність  $P_{max}^k$ .

При побудові системи управління електроживлення доцільно використати метод розпізнавання станів СЕП, доповнюваний методами ідентифікації станів СЕП із застосуванням нейро-нечіткої мережі та оптимізації станів СЕП на основі генетичного алгоритму, методу класифікації станів СЕС за допомогою нечіткої кластеризації [8, 11].

**Метод формування складу електроприймачів для регулювання активного навантаження.** Вибір споживачів регуляторів (СР) здійснюється за векторним критерієм з складовими (1) і (2) в області, яка визначається обмеженнями (4), за допомогою генетичного алгоритму (ГА) [8]. Завдання вирішується для нижнього рівня СЕП підприємства. Після рішення задачі за допомогою ГА визначаються вузли вищих рівнів ієрархії електромережі, що містять тільки вибрані на нижньому рівні СР. При наявності таких вузлів вони включаються в список для регулювання навантаження замість СР, належних їм.

**Метод визначення складу джерел реактивної потужності для регулювання реактивної навантаження.** Оптимізація реактивного електроживлення здійснюється за критерієм (3). Рішення визначається за допомогою ГА в області обмежень (5) і (6) так само, як і у випадку активного навантаження.

Для сформованого складу споживачів на основі статичних характеристик навантаження визначаються оптимальні рівні напруг у характерних точках СЕППІ, що забезпечують мінімальне споживання активної енергії. А також вирішуються завдання структурної та параметричної оптимізації СЕППІ на основі генетичного алгоритму.

У системі електропостачання з власними джерелами енергії існують особливості управління режимами роботи системи електропостачання. До параметрів, які регулюються, відносяться активні і реактивні потужності генераторів електростанцій, навантаження цехів, струми і перетоки потужності через елементи електричної

мережі, напруги в її вузлах.

Завдання оптимального управління режимом формується як задача оптимізації параметрів управління на заданому інтервалі часу, що дорівнює інтервалу осереднення графіків електричних навантажень  $\Delta t$ . Багатокритеріальний функціонал має наступний вигляд:

$$I(t) = \sum_{t=1}^T \mathbf{g}(\bar{\mathbf{Y}}_t, \bar{\mathbf{X}}_t, \bar{\mathbf{X}}), \quad t = \overline{1, T} \quad (10)$$

Оскільки навантаження окремих вузлів системи електропостачання носять імовірнісний характер, тому вектор  $\mathbf{X}_t$  є вектором випадкових величин. Щоб перейти до детермінованої постановки завдання, вектор  $\mathbf{X}_t$  замінюють вектором математичних очікувань  $\mathbf{M}(\mathbf{X}_t)$ . Тепер вихідна задача зводиться до вирішення  $n$  детермінованих задач мінімізації функціоналу витрат, де  $n$  - число інтервалів графіка навантаження. Основними параметрами, за допомогою яких оцінюється економічність роботи системи електропостачання, що містить власні електричні станції, слід вважати витрати умовного палива на вироблення одиниці електроенергії, відпущеної з шин електростанцій; втрати електроенергії в електричній мережі.

В цілому економічність роботи системи електропостачання, що включає власні електростанції, в першу чергу визначається економічністю обладнання станцій і в значно меншій мірі - втратами в мережах і витратами енергії на власні потреби. Оптимальний з точки зору мінімум експлуатаційних витрат режим системи електропостачання також впершу чергу визначається розподілом активних потужностей між електростанціями та агрегатами всередині однієї електростанції.

Завдання розрахунку оптимального режиму полягає в знаходженні оптимальних значень усіх параметрів, що характеризують його допустимість і економічність, зокрема, активних і реактивних потужностей, напруг, теплових навантажень агрегатів, складу працюючого обладнання і т.д. В якості функції оптимізації розглядають вартість використаного палива або витрати пари на вироблення електроенергії. Економічним критерієм оптимальності є мінімум витрат на паливо, оплату електроенергії з системи, генерацію реактивної потужності, втрати активної та реактивної потужності в електричних мережах.

Основні методи вирішення задачі оптимізації режимів СЕП з власними джерелами живлення представлені в [12].

**Підсистема управління якістю електричної енергії (ПУЯЕЕ)** забезпечує аналіз якості електричної енергії на різних рівнях ієрархії СЕС: оперативний контроль величини  $K_u$  відповідно з періодом дискретизації, прийнятим в АСУСЕП, комутація фільтро-компенсуючих устроїв (ФКУ) при обмеженні числа перемикачів допустимою величиною, що прийнята для комутаційної апаратури, і заміщення відключеною ФКУ іншими джерелами

ми реактивної потужності для досягнення оптимального рівня, що генерується місцевими джерелами [9]; управління режимами компенсації вищих гармонійних. Це дозволить коригувати потужності ФКУ в залежності від зміни рівня  $K_i$  та коригувати сумарну ефективність компенсації вищих гармонік ФКУ. При цьому оптимізація проводиться за рівнем компенсації реактивної потужності і максимально допустимому числу комутацій. ПУЯЕЕ здійснює оперативний контроль рівня ПЯЕ ( $K_i$ ) і робить аналіз режимів електропостачання для реалізації коригування ПЯЕ та наближення їх рівня до нормованого таким чином, щоб рівень ПЯЕ за контрольований період перевищив допустимий не більше ніж на 5%.

#### Апаратна і програмна сумісність технічних засобів системи управління

У системі управління виділяється автоматична частина, яка реалізується на основі апаратно і програмно сумісних технічних засобів: інтелектуальних датчиків; вимірювальних перетворювачів; аналогових комутаторів; мікропроцесорних контролерів; персональних ЕОМ, розміщених па робочих місцях співробітників служби головного енергетика (СГЕ) (робочі станції, АРМи головного енергетика та його заступників, начальників цехів та енергобюро, енергодиспетчерів, економістів та ін.) і об'єднаних в локальні обчислювальні мережі, пов'язані між собою та іншими мережами АСУ; виконавчих механізмів та інших технічних засобів, вироблених фірмами: Siemens, Analog Devices, Octagon Systems, Advantech, Measurement Computing, Industrial Tech, TREI GmbH, Pepperl + Fuchs Group та ін.

При розробці програмного забезпечення (ПЗ) АСУЕП доцільно використовувати сучасні інструментальні програмні засоби;

- CASE-засоби [10]: BPwin, ERwin (Logic Works), Rational Rose (Rational Software) та ін.;
- SCADA-системи [11]: InTouch, InTrack, InBatch, InSupport (Wonderware); Genesis (Iconics); Citect (Ci Technologies); КРУГ-2000 (НПФ «Коло»); Trace Mode (AdAstra) та ін., що дозволить систематизувати й автоматизувати всі етапи розробки ПЗ і забезпечить уніфікацію проектних рішень і полегшують обслуговування, розвиток і модифікацію програмних систем. Поряд з функціями збору та первинної обробки інформації, для програмної реалізації їх в функції реального часу використовуються CASE-засоби і технології, і, програмованих за допомогою SCADA-ПАКЕТ.

#### Висновки

1. Представлені основні підходи до створення автоматизованої системи управління електропостачанням промислового підприємства.

2. Для ефективного управління використанням електричної енергії необхідно створити моделі, методи, програмне та інформаційне забезпечення для управління електричним навантаженням споживачів, їх електроспоживанням та режимами систем електропостачання з метою їх оптимізації; розробити автоматизовану систему управління електропостачанням та оптимізації режимів електропостачання промислових підприємств.

#### Список використаних джерел

1. Праховник А.В. Автоматизация управления электропотреблением / А.В. Праховник – Вища школа, Киев,-1986,- 76 с.
2. Черемісін М.М. Автоматизация обліку та управління електроспоживання / М.М. Черемісін – Харків. – Факт – 2005.- 320 с
3. Садчиков С.В. Оптимизация основных параметров систем промышленного электроснабжения / С.В. Садчиков // Изв. вузов. Энергетика. - 1990. - №2. - С. 13-17.
4. Прокопчик В.В. Повышение качества электроснабжения и эффективности работы электрооборудования предприятий с непрерывными технологическими процессами: Монография. / В.В. Прокопчик – Гомель : Учреждение образования «ГГТУ им. П.О. Сухого»,2002.-283 с.
5. Игуменцев В.А., Расчёт установившегося режима системы электроснабжения промышленного предприятия методом последовательного эквивалентирования / В.А. Игуменцев, И.А. Саламатов, Ю.П. Коваленко // Электричество. - 1986. - №8. - С. 7-12.
6. Крумм Л.А. Методы оптимизации при управлении электроэнергетическими системами/ Л.А.Крумм - Новосибирск: Наука, 1981. - 320 с.
7. Фишман В.С. Влияние генерирующей мощности мини-ТЭЦ на формирование структуры и оптимизацию режимов работы системы электроснабжения промышленного предприятия/ В.С. Фишман // Энергоэффективность: опыт, проблемы, решения. - 1999. -№1-С. 1-6.
8. Вороновский Г.К. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г.К. Вороновский, К.В.Махотило, С.Н. Петрашов.- Харьков : Основа, 1997.
9. Карташев И.И. Управление качеством электроэнергии / И.И. Карташов, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов и др.;- М. : Издательский дом МЭИ, 2006. – 320 с.: ил.
10. Кузнецов А. АСУ ТП на рубеже веков / А. Кузнецов // PCWEEK/RE. 1999. №47. С.28-29.
11. Колосок И.Н. Достоверизация телеизмерений в ЭЭС с помощью искусственных нейронных сетей/ И.Н.Колосок, А.М. Глазунова // Электричество. 2000. №10. С. 18-24.
12. Балюта С.М. Методологічні основи управління споживанням електричної енергії промисловими підприємствами/ С.М. Балюта, В.Д. Йовбак, Л.О. Копилова, Є.О. Корольов // Цукор України. 2015. №4 (112). С. 22-30.