

Mehriban Süleyman qızı ZEYNALOVA
Azərbaycan Texnologiya Universitetinin disertantı
ORCID 0000-0002-2099-8168

YÜNGÜL SƏNAYE MÜƏSSİSƏLƏRİNDƏ MÖVCUD TEXNOLOGİYALARIN ENERJİ VƏ XAMMAL SƏRFİYYAT GÖSTƏRİCİLƏRİ, RESURLARIN İSRAF SƏVİYYƏSİ VƏ ONUN İQTİSADI NƏTİCƏLƏRİ (“MODEL MÜƏSSİSƏ” TİMSALINDA)

Xülasə

Yüngül sənayenin müasir inkişafı davamlılığa və resurslardan səmərəli istifadəyə yönəlmiş istehsalın təşkilinin yeni modellərinə keçid ehtiyacı ilə xarakterizə olunur. Enerji qiymətlərinin yüksəlməsi, artan ekoloji tənzimləmələr, beynəlxalq standartların integrasiyası və artan global rəqabət müəssisələrin təşkilatı və iqtisadi mexanizmlərinin təkmilləşdirilməsi ehtiyacını şərtləndirir. Bu şəraitdə resurslara qənaət edən texnologiyaların tətbiqi təkcə xərclərin azaldılması vasitəsinə deyil, həm də bütövlükdə sənayenin rəqabət qabiliyyətinin artırılmasında əsas amilə çevrilir.

Təhlil metodologiyası baxımından tədqiqat enerji və material axınlarının təhlili (EMFA), material axınları üzrə maya dəyərinin uçotu (MFCA) və sistem-dinamik modelləşdirmə (SD) yanaşmalarının integrasiyasına əsaslanır. Bu metodlar yüngül sənaye müəssisələrinin mövcud texnologiyalarında enerji və xammal sərfiyyatının, resurs itkilərinin və onların iqtisadi nəticələrinin kompleks qiymətləndirilməsini, eləcə də “model müəssisə” nümunəsində proqnozlaşdırılmasını təmin edir.

Tədqiqatın məqsədi yüngül sənaye müəssisələrində mövcud texnologiyaların enerji və xammal sərfiyyatını, resurs itkilərini və onların iqtisadi nəticələrini elmi əsaslarla qiymətləndirmək və proqnozlaşdırmaq üçün sistem-dinamik (SD) model işləyib hazırlamaqdır. Bu məqsədlə tədqiqat çərçivəsində EMFA və MFCA metodları əsasında enerji və material göstəriciləri hesablanacaq, əldə olunan nəticələr əsasında SD-model qurulacaq və müxtəlif ssenarilərdə — resurs qənaəti və status-kvo şəraitində -xərclər, qiymət və mənfəət dinamikası təhlil ediləcək.

Aparılan tədqiqat nəticəsində hazırlanmış sadələşdirilmiş sistem-dinamik model Azərbaycanın yüngül sənaye müəssisələrində enerji və xammal sərfiyyatını, resurs itkilərini və onların iqtisadi nəticələrini kompleks şəkildə qiymətləndirməyə, texnoloji dəyişikliklərin təsirini təhlil etməyə və resurs qənaəti strategiyalarının elmi əsaslandırılmasına imkan verən metodoloji çərçivə kimi formalaşmışdır.

Açar sözlər: yüngül sənaye, resurs qənaəti, enerji səmərəliliyi, xammal səmərəliliyi, resurs itkiləri, enerji intensivliyi, material intensivliyi, SD-modeli.

UOT: 338

DOI: doi.org/10.54414/ QJYT4545

Giriş

Sənaye transformasiyasının dərinləşməsi və global ekoloji məhdudiyyətlərin artan təzyiqi şəraitində yüngül sənaye müəssisələrinin qarşısında istehsal proseslərinin resurs və enerji səmərəliliyinin təmin olunması kimi mühüm vəzifə dayanır. Bu, xüsusilə keçid iqtisadiyyatına malik olan, texnoloji bazası mənəvi və fiziki baxımdan köhnəlmiş, yüksək enerji və ilkin xammal sərfiyyatı ilə xarakterizə olunan ölkələr üçün daha

aktualdır. Qeyri-səmərəli texnoloji həllərdən istifadə təkcə məhsulun maya dəyərinin artmasına deyil, həm də artıq tullantıların yaranmasına, karbon izinin böyüməsinə və istehsal sistemlərinin ekoloji dayanıqlılığının azalmasına gətirib çıxarır. Bu, öz növbəsində, mövcud enerji və material tutum göstəricilərinin dərin təhlilini, resurs istehlakının kritik mərhələlərinin müəyyən edilməsini və texnoloji itkilərin azaldılması üzrə iqtisadi cəhətdən əsaslandırılmış yanaşmaların işlənməsini tələb edir. Və bununla yanaşı inkişaf

etməkdə olan ölkələrin yüngül sənaye sektorunda enerji və xammal istehlakının qeyri-mütənasib dərəcədə yüksək səviyyədə qalması, sənayenin kifayət qədər modernləşmədiyini və dairəvi iqtisadiyyat prinsiplərinə əsaslanan yeni istehsal modellərinə keçidin zəruriliyini göstərir. Bu tələblər kontekstində resurslardan istifadənin elmi əsaslarla ölçülməsi və proqnozlaşdırılması zərurəti yaranır. Xüsusilə enerji və xammal sərfiyyatının, istehsal tullantılarının və onların iqtisadi nəticələrinin qiymətləndirilməsi üçün inteqrasiya olunmuş metodoloji çərçivə formalaşdırılmalıdır. Bu məqsədlə aparılan tədqiqatda "model müəssisə" əsasında sistem-dinamik (SD) modelin qurulması nəzərdə tutulur. SD-model yüngül sənaye müəssisələrinin texnoloji strukturlarında resurs axınlarının qarşılıqlı təsirini, istehsal güclərinin dəyişməsinə və enerji-xammal balansındakı asılılıqları daha dəqiq təhlil etməyə imkan verir.

Hazırlanacaq model, bir tərəfdən, enerji və material axınlarının miqdar və istiqamət dəyişikliklərini dinamik şəkildə izləməyə, digər tərəfdən isə istehsalın iqtisadi nəticələrini və resurs qənaət potensialını proqnozlaşdırmağa imkan verən nəzəri-metodoloji alət rolunu oynayacaq. Bu yanaşma resurs idarəçiliyinin sistemli təhlilinə əsaslanaraq müəssisələrin enerji və material effektivliyinin artırılması üçün elmi əsaslı qərarların hazırlanmasına şərait yaradacaq.

Əsas mətn

Nəzəri-metodoloji baxımdan, sənaye müəssisələrində resurslardan istifadə səmərəliliyinin qiymətləndirilməsi onun mahiyyətinin və bu səmərəliliyi əks etdirən göstəricilər sisteminin dəqiq müəyyənləşdirilməsini tələb edir. Bu göstəricilər istehsal prosesinin həm texnoloji, həm də iqtisadi tərəflərini əhatə etməlidir. İqtisadi ədəbiyyatda "resurslardan istifadə səmərəliliyi" anlayışı, adətən, istehsal prosesinə cəlb olunan material və enerji axınlarının rəşional idarə olunma dərəcəsini xarakterizə edən kompleks göstərici kimi izah olunur. Onun qiymətləndirilməsi üçün ən çox istifadə edilən göstəricilər bunlardır: enerji intensivliyi (EI) – istehsal olunan məhsulun hər vahidi üçün sərf olunan enerji miqdarını əks etdirir; material intensivliyi (MI) – hazır məhsulun istehsalı üçün istifadə edilən xammal və materialların miqdarını xarakterizə edir; tullantıların yaranma səviyyəsi, adətən

kütlə balansına əsasən müəyyən olunur; təkrar emal və ya utilizasiya əmsalı, istehsal prosesinə qaytarılan ikinci dərəcəli resursların payını göstərir. Bu göstəricilərin kompleks təhlili, müəssisədə resurslardan istifadə səmərəliliyinin dərəcəsini müəyyən etməyə, eyni zamanda, istehsal sisteminin iqtisadi və ekoloji nəticələrinin yaxşılaşdırılması istiqamətlərini aşkara çıxarmağa imkan verir. Bu isə yüngül sənaye müəssisələrində dayanıqlı inkişaf modellərinin formalaşdırılması baxımından mühüm elmi və praktiki əhəmiyyət kəsb edir. Bu yanaşmanı daha praktik səviyyədə tətbiq etmək məqsədilə, tədqiqat çərçivəsində "model müəssisə" əsasında sistem-dinamik (SD) modelin qurulması nəzərdə tutulur. Bu model vasitəsilə yüngül sənaye müəssisələrində enerji və xammal sərfiyyatı, resurs israfı və onların iqtisadi nəticələrinin həm ölçülməsi, həm də proqnozlaşdırılması həyata keçiriləcəkdir. Azərbaycan yüngül sənayesində tətbiq olunan mövcud texnologiyaların, istehsal proseslərinin, avadanlıqların resurs istifadəsini kəmiyyətcə xəritələndirmək, kütlə və enerji axınları əsasında itkiləri təyin etmək və bu itkilərin iqtisadi təsirini müəssisə və sektor səviyyəsində qiymətləndirmək tədqiqatın əsas istiqamətlərindən biridir. Bu məqsədlə texniki göstəricilərin enerji intensivliyi (EI), material intensivliyi (MI), israf əmsalı və təkrar emal payı kimi parametrlərin müəssisə səviyyəsində hesablanması, həmçinin onların "ən yaxşı təcrübə" meyarları ilə müqayisəsi aparılacaq. Bu müqayisə əsasında müəssisələrin potensial qənaət imkanları və resurs səmərəliliyinin artırılması ehtiyatları müəyyən ediləcək. İlkin mərhələdə EI, MI, W_{mass} , W_{energy} və RR kimi baza göstəricilərini EMFA və MFCA metodları əsasında hesablanmaq, daha sonra bu göstəricilər əsasında sistem-dinamik (SD) model qurularaq kalibrasiya edilməkdir ki, bu da modelin material, enerji və iqtisadi axınlar arasındakı qarşılıqlı əlaqələri təhlil etməyə imkan verəcək. Növbəti mərhələdə ümumi və xüsusi xərclər (C_{total} , UC), məhsul qiyməti (Price) və mənfəət (Profit) dinamikası status-kvo və resurs qənaəti ssenariləri üzrə qiymətləndirilməni, nəticələrin etibarlılığı isə ROI/Payback, ödəniş müddəti, həssaslıq/Monte-Carlo modelləşdirilməsi vasitəsilə yoxlanılacaq.

EMFA - istehsal proseslərində daxili enerji və kütlə axınlarını sistemli şəkildə izləməklə enerji,

xammal, su istehlakının və tullantı sularının axıdılmasının optimallaşdırılmasına yönəlmiş alətlər toplusunu (bütöv bir metodlar ailəsini) özündə birləşdirir [1]. Bu yanaşma müəssisənin maddi-enerji balansının qurulması, texnoloji əməliyyatların optimallaşdırılması və enerji tutumunun azaldılması üçün istifadə olunur. MFCA - resurslardan səmərəsiz istifadə nəticəsində yaranan material itkilərinin dəyər ifadəsində qiymətləndirilməsini və iqtisadi nəticələrinin müəyyən edilməsini təmin edən ekoloji idarəetmə uçotu alətidir. təşkilatlara material və enerji istifadəsi təcrübələrinin potensial ekoloji və maliyyə nəticələrini daha dərinəndən anlamağa kömək edən və bu təcrübələrə dəyişikliklər etməklə həmin nəticələri yaxşılaşdırmağı hədəfləyən bir idarəetmə alətidir. Bu metodun məqsədi material və enerji istifadəsinin səmərəliliyinin artırılması yolu ilə həm ekoloji, həm də iqtisadi göstəricilərin yaxşılaşdırılmasından ibarətdir [4]. Daha dəqiq, MFCA metodu EMFA çərçivəsində formalaşan fiziki axınların maliyyə təhlili məlumatlarına əsaslanan idarəetmə uçotu sistemidir. Bu yanaşma material, enerji və istismar xərclərinin son məhsul («müsbət məhsul») və istehsalat itkisi («mənfi məhsul») arasında dəqiq bölgüsünü təmin etməyə imkan verir. Beləliklə, MFCA resurs axınlarının şəffaflığını artırır, gizli xərc mənbələrini aşkara çıxarır və müəssisənin iqtisadi və ekoloji səmərəliliyinin optimallaşdırılmasında mühüm alət rolunu oynayır. Göstərilən göstəricilər ISO 14051 beynəlxalq standartı ilə tənzimlənir və ekoloji idarəetmə uçotu çərçivəsində material və enerji axınlarının təhlilinə və qiymətləndirilməsinə metodoloji əsas yaradır [3]. W_{mass} – göstəricisi istehsal prosesində son məhsulun tərkibinə daxil olmayan və tullantıya çevrilən xammalın payını xarakterizə edir. Bu göstərici müəssisədə material itkilərinin səviyyəsini müəyyən etməyə və resurslardan istifadənin səmərəliliyini qiymətləndirməyə imkan verir.

$$W_{mass} = \frac{M_{waste} - M_{rework-return}}{M_{use}} * 100\% \quad (1)$$

W_{energy} - göstəricisi istehsal prosesində sərf olunan enerjinin (kWh) hansı hissəsinin faydalı işə çevrilmədiyini və istilik və ya texnoloji itkilər şəklində itirildiyini göstərir. Bu parametrlər enerji

səmərəliliyinin qiymətləndirilməsi üçün istifadə olunur.

$$W_{energy} = \frac{E_{loss}}{E_{in}} * 100\% \quad (2)$$

(burada $E_{in} = E_{useful} + E_{loss}$)

RR (Reuse/Recycle Rate) - göstəricisi yaranan tullantıların müəssisə daxilində təkrar istifadəyə yönəldilən və ya xarici emala göndərilən hissəsini ifadə edir. Bu əmsal istehsal sisteminin dairəvi iqtisadiyyat prinsiplərinə uyğunluq dərəcəsini və resurslardan davamlı istifadənin səviyyəsini əks etdirir.

$$RR = \frac{M_{recycled,out}}{M_{generated}} \quad (3)$$

“Model müəssisə” (mövcud olmayan, amma real müəssisələr üçün təmsilçi profil) əsasında istehsal prosesinin sistemli modelləşdirilməsi
Müəssisə səviyyəsində aparılan tədqiqatlarda məlumatların tam və etibarlı şəkildə toplanması çox vaxt mümkün olmur. Bu, enerji və xammal istehlakı, tullantı axınları, avadanlıqların yüklənmə səviyyəsi və texnoloji göstəricilər kimi parametrlərin müxtəlifliyi ilə bağlıdır. Yüngül sənaye müəssisələrinin texnoloji xüsusiyyətləri və istehsal miqyası fərqli olduğundan, bütün müəssisələr üzrə dəqiq hesablamaların aparılması praktik baxımdan çətindir. Bu səbəbdən, tədqiqatın məqsədlərinə uyğun olaraq “model müəssisə” əsasında istehsal prosesinin sistemli modelləşdirilməsi daha məqsəduyğun hesab olunur. Belə yanaşma ümumi metodoloji prinsiplərin və qiymətləndirmə alqoritmlərinin işlənilməsinə imkan yaradır ki, sonradan onlar real müəssisələrin konkret istehsal və təşkilati xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla tətbiq edilə bilsin.

Birinci mərhələ. Tədqiqatın ilkin mərhələsində qiymətləndirmə parametrləri üçün funksional vahid olaraq, əsasən 1 kq hazır məhsul, yaxud alternativ olaraq, 1 m parça və ya 1 dəst geyim götürülə bilər. Lakin sonra bu vahidlər kq-a çevriləcək. Proses xəritəsi olaraq, Toxuma → Boya və ya emal → Kəsim və ya Tikiş → Qablaşdırma xəritəsi qəbul ediləcək. Daha sonra vahidlərin kq-a çevrilməsi yerinə yetiriləcək. Belə çevirmə üçün aşağıdakı düstur tətbiq edilə bilər:

$$kq = \frac{GSM\left(\frac{g}{m^2}\right) * S(m) *}{1000} \quad (4)$$

İkinci mərhələ. Növbəti addım qiymətləndirilməli və proqnozlaşdırılmalı olan əsas göstəricilərin müəyyənləşdirilməsidir. Bu göstəricilərə aşağıdakılar daxildir:

a) Enerji səmərəliliyi (EE) — Bu göstərici ($kW \cdot h/kg$) ilə ölçülür və aşağıdakı kimi hesablanır:

$$EI = \frac{E_{tot}}{Q} \quad (5)$$

b) Xammal səmərəliliyi (MI). Bu göstərici (kg/kg) kimi ölçülür və aşağıdakı kimi hesablanır:

$$MI = \frac{M_{use}}{Q} \quad (6)$$

burada M_{use} -istifadə edilən materialın miqdarıdır. Adətən $M_{use} = Alınma - \Delta Anbar$

c) Kütlə üzrə israf (W_{mass}). Bu göstərici tullantının miqdarını ifadə edir. Əgər faktiki tullantı yoxdursa, adətən aşağıdakı düsturla hesablanır.

$$W_{mass} \approx (1 - \frac{1}{MI}) * 100\% \quad (7)$$

d) Enerji üzrə israf (W_{energy}). Bu göstərici

$$W_{energy} = \frac{E_{use}}{E_{in}} * 100\% \quad (8)$$

kimi hesablanı bilər. Burada E_{use} -istifadə edilən enerjinin, E_{in} — daxil olan enerjinin həcmidir.

Qeyd edək ki, faktiki itkilər yoxdursa, proksi itkilər, yəni mümkün itkilər boşdayanmalardan, kompressor sızmasından və sair yarana bilər.

"Model müəssisə" üçün, yəni real məlumatlar olmadan bazis dəyərlərini üç mənbə əsasında qura bilərik. Birincisi, maşın gücü ilə bağlıdır. Belə ki, proses üzrə illik və ya aylıq cəmi enerji sərfiyyatı (E_p) aşağıdakı düstur vasitəsi ilə hesablanı bilər.

$$E_p = \sum_{i=1}^n P_i * LF_i * h_i \quad (9)$$

Burada P_i -avadanlığın gücü (kW), LF_i -avadanlıqların yüklənmə əmsalı ($0-1$), h_i - avadanlıqların işləmə saatıdır. Qeyd edək ki,

$$EI_p = \frac{E_p}{Q_p} \quad (10)$$

İkincisi, "ədəbiyyat diapazonları"dır. Bu halda "adi" və ya "yaxşı nümunə" variantları seçilə bilər. Həm EI, həm də MI üçün "minimum", "orta" və "maksimum" variantlar götürülə bilər. Üçüncüsü, "ekspert qiymətləndirməsi" ola bilər. Ekspert qiymətləndirməsi ölçmək çətin və ya məlumatı olmayan parametrlər üçün mütəxəssislərin biliyini sistemli qaydada toplayıb, rəqəmə çevirmə prosesidir. Belə parametrlər üçün, məsələn, enerji intensivliyi (EI) və material tutumluluğu (MI) üzrə *minimum*, *orta* və *maksimum* səviyyələr müəyyən edilə bilər. Bu, texnoloji şəraitin dəyişkənliyini və istehsal proseslərinin səmərəlilik dərəcəsini daha dəqiq əks etdirməyə imkan verir.

Sistem-dinamik (SD) modelin qurulması

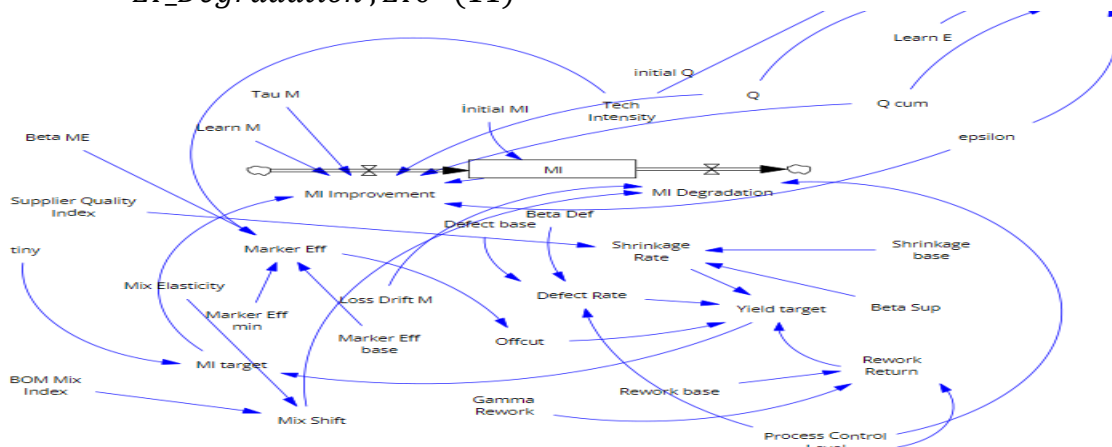
Tədqiqatın növbəti mərhələsində mövcud texnoloji proseslər çərçivəsində enerji istehlakı və xammal sərfiyyatı göstəricilərinin təhlili, qiymətləndirilməsi və proqnozlaşdırılması üçün sistem-dinamik (SD) modelin qurulması məqsəduyğun hesab olunur. Belə bir modelin formalaşdırılması zamanı əsas vəzifələr yığım parametrlərinin, axın dəyişənlərinin və köməkçi dəyişənlərin müəyyən edilməsindən, həmçinin sistem elementləri arasında qarşılıqlı asılılığı əks etdirən əks əlaqə döngələrinin qurulmasından ibarətdir. Aşağıdakı sxem 1-də "Model müəssisə" də mövcud texnologiyalar üçün enerji və xammal sərfiyyat göstəricilərinin qiymətləndirilməsi və proqnozlaşdırılması zamanı SD modelinin qurulmasında istifadə olunacaq 5 "Yığımlar" və 5 "Axınlar"ın əsas göstəriciləri verilməlidir və bu 5 "Yığımlar" və 5 "Axınlar" arasındakı əlaqələri SD modelinə mərhələli şəkildə daxil edək.

Modelin ilkin mərhələsində müəssisənin quraşdırılmış gücünü (Installed_Capacity) əks etdirən S1 ehtiyatının müəyyən edilməsi məqsəduyğundur. Bu ehtiyatın səviyyəsinə iki əsas axın təsir göstərir: *daxil olan axın* — yeni istehsal güclərinin istifadəyə verilməsi və ya istismara qəbul edilən yeni güc (Cap_Commissioning), və *xaric olan axın* — köhnəlmiş və ya istismardan çıxarılan güclərin silinməsi (Cap_Retirement)[2]. Əgər qiymətləndirmə müəyyən başlanğıc dövrdən həyata keçirilsə, onda sistemin ilkin vəziyyətini xarakterizə edən *başlanğıc istehsal gücü* (Initial_Capacity) də nəzərə alın-

gələcəkdə müəssisənin istehsal qabiliyyətinə necə təsir edəcəyini təhlil etməyə imkan verir. Təklif olunan sxem 2.2-dəki S2 model müəssisənin enerji səmərəliliyinin (EI) zamanla necə dəyişdiyini sistemli şəkildə təsvir edir. Modeldə Initial EI göstəricisi iki əsas istiqamətli təsir altında formalaşır — enerji səmərəliliyinin yüksəlməsi və ya enerji intensivliyinin azalması prosesi (EI improvement) və enerji səmərəliliyinin pisləşməsi və ya enerji intensivliyinin artması prosesi (EI degradation) amillər.

Yaxşılaşdırıcı təsirlər texnologiyaların yenilənməsi (Tech Intensity), işçi heyətin öyrənmə qabiliyyəti və bilik səviyyəsinin artması (Learn E) ilə bağlıdır. Bu amillərin güclənməsi enerji səmərəliliyinin yüksəlməsini sürətləndirir. Pisləşdirici təsirlər isə avadanlıqların aşınması, texniki xidmət imkanlarının zəifliyi və texnoloji sistemlərin köhnəlməsi nəticəsində meydana gəlir. *Texniki xidmət səviyyəsinin (Maint Level)* yüksək olması bu mənfi tendensiyanın qarşısını qismən alır və *EI Degradation* prosesini ləngidir. Modelin məqsədi müəssisənin enerji səmərəliliyinin vaxt üzrə dinamikasını təhlil etmək və onun *hədəf səviyyəsinə (EI target)* yaxınlaşma sürətini qiymətləndirməkdir. Uzunmüddətli perspektivdə sistem sabit enerji səmərəliliyi səviyyəsinə çatır, lakin bu səviyyə texniki baxımdan mümkün olan minimum həddi (EI min) aşağı bilmir. S2 üçün, yəni enerji səmərəliliyi-“EI” “yığılımı” üçün iki axın, yəni “EI_Improvement”- səmərəlilik artırıcı axın ([kWh/kg/time] və “EI_Degradation”- səmərəliliyi pisləşdirən axın ([kWh/kg/time]. “Enerji səmərəliliyi” “yığılımı” kəmiyyətcə bu iki axının fərqi kimi müəyyən edilir. Əlbəttə, bu “yığılım” üçün də ilkin qiymət, yəni “Initial EI” mövcud olur.

$$EI = INTEG(EI_Improvement - EI_Degradation, EI0) \quad (11)$$



Sxem 3. “Müəssisənin material səmərəliliyi” (MI) “Yığılımı”, ona təsir edən “axınlar” və “köməkçi dəyişənlər”

Model sistemində “Material səmərəliliyi” (MI) [kq/kq] göstəricisinin dinamikasını müəyyən edən əsas axınlar iki əks istiqamətli prosesi əhatə edir: “MI_Improvement” – materialdan istifadənin səmərəliliyinin artmasını (yəni MI

Eİ “yığılımı”, axınlar və “köməkçi dəyişənlər” arasındakı funksional əlaqə 2.2.2-ci sxemdə verilmişdir. Burada

$$EI_{target} = EI_{min} + (EI_{base} - EI_{min}) * EXP(-Beta_E * Tech_{Intensity}) \quad (12)$$

Sxemə əsasən texnologiya intensivliyi aşağı düşdükcə hədəfin formalaşması azalır.

Hədəfə doğru getdikcə enerji səmərəliliyi artır.

$$EI_Improvement = -(EI - EI_{target}) / Tau_E - Learn_E * EI * (Q / (Q_{cum} + epsilon)) \quad (13)$$

Qulluq çatışmazlığı olduqda, həmçinin təbii drift yarandıqda enerji səmərəliliyi pisləşir.

$$EI_Degradation = Loss_Drift * MAX(0, 1 - Maint_Level * Maint_Effect) \quad (14)$$

Beləliklə, model enerji səmərəliliyinin idarəolunan və idarəolunmayan amillərdən asılılığını nəzərə alaraq, müəssisənin texnoloji modernləşmə və resurs qənaəti strategiyalarının qiymətləndirilməsi üçün stemli analitik alət kimi çıxış edir.

səmərəliliyi” göstəricisi bir vahid hazır məhsulun istehsalı üçün sərf olunan materialın miqdarını əks etdirir. Buna görə də material səmərəliliyinin yüksəlməsi Mİ göstəricisinin azalması ilə, əksinə, istehsal və resurs idarəetməsi şəraitinin pisləşməsi isə onun artması ilə müşayiət olunur. Modeldə material səmərəliliyinin yekun dəyəri aşağıdakı asılılıq əsasında hesablanır: burada MI_0 – *başlanğıc dövrdə göstəricinin ilkin (baza) dəyərini* ifadə edir.

$$MI = INTEG(MI_Improvement - MI_Degradation, MI_0) \quad (15)$$

Bu yanaşma materiallardan istifadənin səmərəliliyinin yaxşılaşması və pisləşməsi prosesləri arasında tarazlığı dinamik şəkildə təsvir etməyə imkan verir və resurslara qənaət yönümlü istehsal modellərinin qurulmasında mühüm metodoloji əhəmiyyət kəsb edir. Mİ “yığım”, “axınlar” və “köməkçi dəyişənlər” arasındakı funksional əlaqələr 3-cü sxemdə verilmişdir. “MI” “yığımı”nı ifadə edən sxem 3-də SD modelində bəzi parametrlər üçün qiymətlər model olaraq, qəbul edilə bilər.

“Tullantıların *toplanması*” (“Waste_Accumulated”) “yığımı” müəssisə sahəsində yığılan tullantının [kg] həcmi və onun asılı olduğu göstəricilərin qiymətləndirilməsini, həmçinin proqnozlaşdırılmasını aparmağa imkan verir. “Tullantıların *toplanması*” - “Waste_Accumulated” yığımı üçün SD tənliyini

$$\begin{aligned} \text{Waste_Accumulated} \\ = & INTEG(\text{Waste_Generation} \\ & - \text{Internal_Rework} - \\ & - \text{External_Recycling} \\ \text{Disposal}, W_0) \quad (16) \end{aligned}$$

“Waste_Accumulated” “yığımı”nı xarakterizə edən SD4 modeli üçün “axınlar” və “köməkçi dəyişənlər” arasındakı funksional əlaqələr 4-cü sxemdə verilmişdir. Bu göstəricilər arasındakı funksional əlaqələr aşağıdakı tənliklərdə ifadə edilmişdir:

$$\text{Waste_Generation} = MAX(0, (MI - 1) * \text{Production_Output}) \quad (17)$$

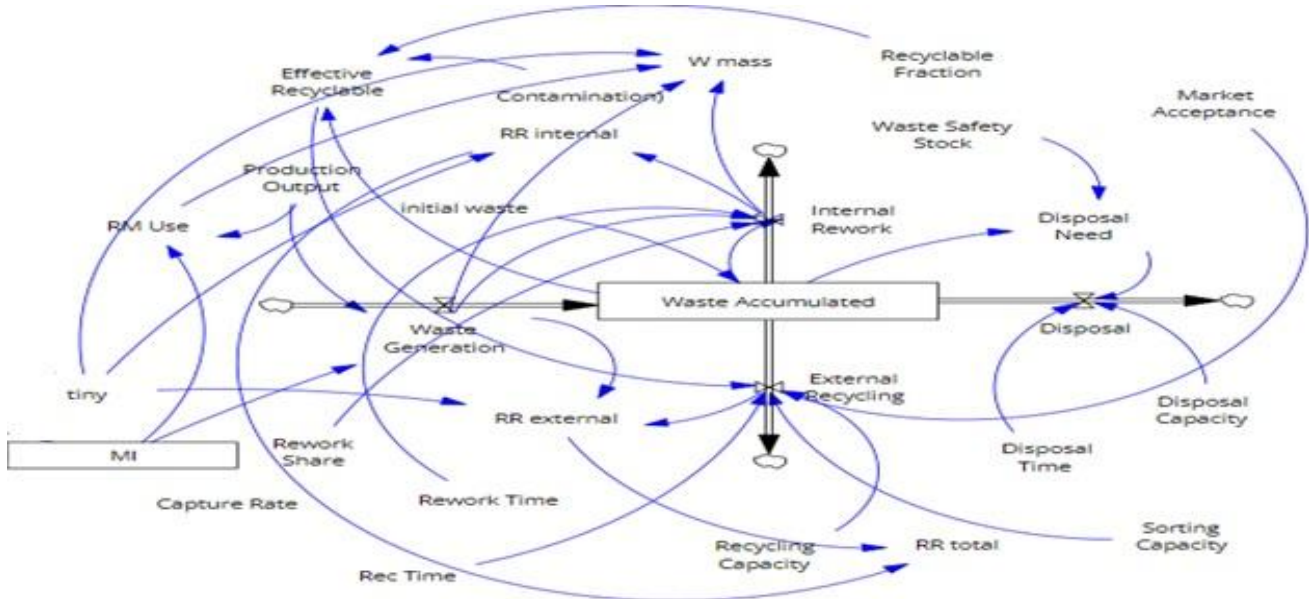
Bu göstəricilər arasındakı funksional əlaqələr müəssisədə tullantıların yaranması, təkrar emalı və utilizasiyası proseslərinin sistem-dinamik

qarşılıqlı əlaqələrini əks etdirir və resurs dövriyyəsinin miqdarı təhlili üçün riyazi baza yaradır. İlkin mərhələdə *tullantı yaranması* (Waste_Generation) göstəricisi istehsalın *material intensivliyi* (MI) və *çıxış həcmi* (Production_Output) parametrləri əsasında müəyyən olunur. Bu ifadə, istehsal prosesində xammaldan istifadənin səmərəliliyini və resurs itkisi dərəcəsini xarakterizə edir. Sonrakı mərhələdə müəssisədaxili təkrar istifadə və emal prosesləri modelləşdirilmişdir. *Daxili təkrar emal* (Internal_Rework) göstəricisi istehsalatda yaranan tullantıların müəyyən hissəsinin qısa müddət ərzində yenidən emala yönəldilməsini, *xarici təkrar emal* (External_Recycling) isə müəssisəxarici emal gücü, çeşidləmə və bazar qəbul səviyyəsi ilə məhdudlaşan prosesləri ifadə edir. Bu axınlar müvafiq olaraq *Rework_Share*, *Rework_Time*, *Recycling_Capacity*, *Sorting_Capacity* və *Market_Acceptance* kimi dəyişənlərdən asılıdır. Modelin növbəti hissəsində tullantıların utilizasiyası mərhələsi təsvir olunur. Burada *utilizasiya tələbi* (Disposal_Need) və *faktiki utilizasiya həcmi* (Disposal) göstəriciləri müəssisədə təhlükəsiz *tullantı ehtiyat səviyyəsi* (Waste_Safety_Stock) və *utilizasiya imkanları* (Disposal_Capacity) ilə tənzimlənir. Bə beləliklə, müəssisənin *daxili* (RR_internal) və *xarici* (RR_external) təkrar emal nisbətləri hesablanır, onların cəmi isə *ümumi təkrar emal göstəricisini* (RR_total) formalaşdırır. Bu göstərici resurs dövriyyəsinin dairəvi xarakterini və müəssisənin ekoloji səmərəlilik səviyyəsini müəyyənləşdirir. Nəhayət, *W_mass* göstəricisi – *yəni istehsal prosesində yaranan tullantının xammal sərfiyyatına nisbəti* – müəssisədə materiallardan istifadənin səmərəlilik dərəcəsini ölçən əsas indikator kimi çıxış edir.

$$\begin{aligned} W_mass = & 100 * \\ & (\text{Waste_Generation} - \\ & \text{Internal_Rework}) / MAX(\text{tiny}, RM_Use) \quad (18) \end{aligned}$$

Beləliklə, təqdim olunan hesablamalar tullantı axınlarının istehsal həcmi, resurs istifadəsi və emal qabiliyyəti ilə qarşılıqlı əlaqəsini müəyyənləşdirməklə müəssisənin resurs dövriyyəsinin ekoloji-iqtisadi sabitliyini qiymətləndirməyə imkan verir. Bu riyazi ifadələr sistem-dinamik modelin miqdar əsasını

təşkil etməklə resurs səmərəliliyinin təkmilləşdirilməsi istiqamətində qərar qəbul etməni elmi əsaslandırır.



Sxem 4. Müəssisənin “Tullantıların toplanması” (“Waste_Accumulated”) “Yığım”ı, ona təsir edən “axınlar” və “köməkçi dəyişənlər”

Yüngül sənaye sektorunda “Model müəssisə” üzrə həyata keçirilən SD modelləşdirmə çərçivəsində texnoloji proseslərin enerji və xammal sərfiyyatı, həmçinin resurs israfı göstəricilərinin qiymətləndirilməsi və proqnozlaşdırılması məqsədilə təklif olunan SD5 alt modeli — “maliyyə ehtiyatları” (Financial_Reserves) — müəssisənin maliyyə resurslarının yığılması və istifadəsi proseslərini əks etdirir. Bu alt modeldə “Financial_Reserves” yığımını müəssisənin əməliyyat fəaliyyətindən yaranan vəsait axınlarını (Operating_Cashflow) “giriş axını” kimi qəbul edir. Eyni zamanda, bu yığımdan çıxan “axınlar” müxtəlif istiqamətlər üzrə kapitalın bölüşdürülməsini təsvir edir. Belə ki, texnoloji inkişafın təmin edilməsinə yönələn investisiya (“Tech_Investment”), insan kapitalının – bilik və bacarıqların inkişafına ayrılan vəsaitlər (“Capacity_Investment”), dövlət büdcəsinə ödənilən vergilər (“Taxes”), mövcud borc öhdəliklərinin yerinə yetirilməsi (“Debt_Service”) və səhmdarlara ödənilən dividendlər (“Dividends”) bu modeldə əsas çıxış axınlarını təşkil edir. Bu halda,

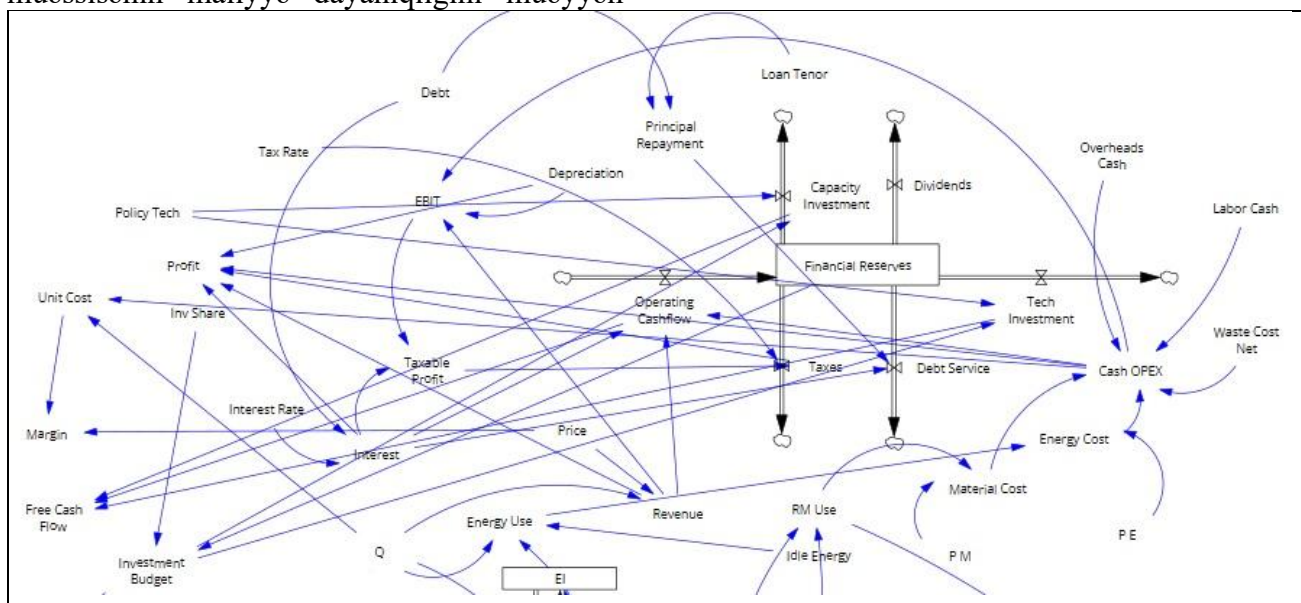
$$\begin{aligned} \text{Financial_Reserves} = & \\ & \text{INTEG}(\text{Operating_Cashflow} - \\ & \text{Tech_Investment} - \\ & \text{Capacity_Investment} - \end{aligned}$$

$$\text{Taxes} - \text{Debt_Service} - \text{Dividends}, \text{FR0}) \quad (19)$$

“Maliyyə ehtiyatları” (Financial_Reserves) alt modeli yüngül sənaye müəssisəsinin əməliyyat fəaliyyətindən əldə etdiyi gəlirlər, bu gəlirlərin bölüşdürülməsi və maliyyə sabitliyinin təmin olunması mexanizmini izah edir. Modelin əsasını istehsal olunan məhsul həcmi təşkil edir, çünki müəssisənin gəlirləri, enerji və xammal sərfiyyatı, əməliyyat xərcləri birbaşa istehsal həcmi ilə bağlıdır. Məhsulun satışından əldə olunan ümumi gəlir müəssisənin əsas pul axınıdır. Bu gəlirin formalaşması üçün müəssisə müəyyən miqdarda xammal, enerji və əmək resurslarından istifadə edir. Xammal və enerji xərcləri istehsal texnologiyasının səmərəliliyindən asılı olaraq dəyişir və müəssisənin resurs intensivliyini əks etdirir. Bundan başqa, tullantıların idarə olunması, əmək haqqı və inzibati xərclər əməliyyat fəaliyyətinin vacib hissələridir. Modeldə bütün bu xərclər birlikdə müəssisənin əməliyyat xərclərini müəyyən edir. Amortizasiya isə istehsal fondlarının köhnəlməsini əks etdirir və mənfəətin real ölçüsünü qiymətləndirməyə kömək edir. Gəlirdən bütün bu xərclər çıxıldıqdan sonra müəssisənin

mənfəəti və onun vergiyə cəlb edilən hissəsi hesablanır. Bununla yanaşı, model borc xidmətini və investisiya yönümlü qərarları da nəzərə alır. Borc üzrə faizlər və əsas məbləğin qaytarılması müəssisənin maliyyə dayanıqlığını müəyyən

edir. Maliyyə ehtiyatlarının bir hissəsi investisiyalara, xüsusilə texnoloji yenilənməyə yönəldildikdə, bu, müəssisənin uzunmüddətli inkişafını və rəqəbat qabiliyyətini artırır.



Sxem 5. “Müəssisənin energy səmərəliliyi” “Yığım”ı, ona təsir edən “axınlar” və “köməkçi dəyişənlər”

5-ci sxemdə istifadə edilən funksional əlaqələr 20-26-cı tənliklərdə verilmişdir:

$$Operating_Cashflow = Revenue - Cash_OPEX - Interest \quad (20)$$

$$Investment_Budget = Inv_Share * Financial_Reserves \quad (21)$$

$$Tech_Investment = Policy_Tech * Investment_Budget \quad (22)$$

$$Capacity_Investment = (1 - Policy_Tech) * Investment_Budget \quad (23)$$

$$Unit_Cost = Cash_OPEX / MAX(1e - 6, Q) \quad (24)$$

$$Margin = Price - Unit_Cost \quad (25)$$

$$Profit = Revenue - (Cash_OPEX + Depreciation + Interest + Taxes) \quad (26)$$

Nəticə

Beləliklə, aparılan tədqiqat nəticəsində Azərbaycanın yüngül sənaye müəssisələrində mövcud texnologiyaların enerji və xammal sərfiyyatı göstəricilərinin, resurs itkiləri səviyyəsinin və onların iqtisadi nəticələrinin qiymətləndirilməsi və proqnozlaşdırılması məqsədilə “model müəssisə” əsasında sadələşdirilmiş sistem-dinamik (SD) model qurulmuşdur. Hazırlanmış model müəssisə daxilində enerji və material axınlarının qarşılıqlı əlaqələrini dinamik şəkildə

izləməyə, resurslardan istifadənin səmərəliliyini qiymətləndirməyə və texnoloji dəyişikliklərin iqtisadi nəticələrinə təsirini təhlil etməyə imkan verir. Modelin üstünlüyü ondan ibarətdir ki, o, həm status-kvo şəraitində, həm də resurslara qənaət ssenarilərində istehsal sisteminin davranışını müqayisəli şəkildə analiz etməyə imkan yaradır. Bu yanaşma müəssisələrdə enerji və material səmərəliliyinin artırılması, israf səviyyəsinin azaldılması və iqtisadi nəticələrin yaxşılaşdırılması üzrə elmi əsaslı qərarların qəbuluna xidmət edir. Eyni zamanda model praktiki tətbiq üçün çevik alət olmaqla, real müəssisə göstəriciləri əsasında ölçmə,

qiymətləndirmə və proqnozlaşdırma proseslərinin aparılmasına imkan yaradır. Nəticə etibarilə, təklif olunan SD-model Azərbaycanın yüngül sənaye müəssisələrinin resurslardan istifadəsinin kompleks təhlili üçün metodoloji çərçivə formalaşdırır və gələcəkdə sənaye siyasətinin, texnoloji modernləşmə proqramlarının və resurs qənaəti strategiyalarının hazırlanması üçün elmi-praktiki baza kimi istifadə oluna bilər.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI:

1. M. Teresa Torres, M. Carmen Barros, Pastora M. Bello, Juan J. Casares, J. Miguel Rodríguez-Blas. Energy and material flow analysis: Application to the storage stage of clay in the roof-tile manufacture. Volume 33, Issue 6, June 2008, Pages 963-973.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2007.09.008>

2. Tursunov B.O. Principles and Functions of Management of Production Capacity. УДК 338.32 ББК 65.291.571-21. (2017) <file:///C:/Users/HP/Downloads/principles-and-functions-of-management-of-production-capacity.pdf>

3. ISO, 2011 International Organization for Standardization (ISO) ISO 14051: Environmental management: Material flow cost accounting: General framework. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland (2011, September 15)

4. https://en.wikipedia.org/wiki/Material_flow_cost_accounting?utm_source=chat-gpt.com

Мехрибан Сулейман кызы ЗЕЙНАЛОВА

Диссертант Азербайджанский Технологический Университет

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГО- И СЫРЬЕВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ, УРОВНЯ РЕСУРСОУХОДОВ И ИХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ РЕЗУЛЬТАТОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЛЁГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (НА ПРИМЕРЕ «МОДЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ»)

Резюме

Современное развитие лёгкой промышленности характеризуется необходимостью перехода к новым моделям организации производства, ориентированным на устойчивое развитие и эффективное использование ресурсов. Рост цен на энергоносители, ужесточение экологического регулирования, интеграция международных стандартов и усиление глобальной конкуренции определяют необходимость совершенствования организационно-экономических механизмов деятельности предприятий. В этих условиях внедрение ресурсосберегающих технологий становится не только средством сокращения затрат, но и ключевым фактором повышения конкурентоспособности отрасли в целом.

С методологической точки зрения исследование основано на интеграции трёх подходов: анализа энергетических и материальных потоков (EMFA), учёта себестоимости по материальным потокам (MFCA) и системно-динамического моделирования (SD). Применение данных методов обеспечивает комплексную оценку энерго- и материалоёмкости, потерь ресурсов и их экономических результатов в существующих технологиях предприятий лёгкой промышленности, а также их прогнозирование на примере «модельного предприятия».

Целью исследования является научно обоснованная оценка и прогнозирование показателей энергопотребления, использования сырья, потерь ресурсов и их экономических результатов в предприятиях лёгкой промышленности на основе разработки системно-динамической (SD) модели. В рамках исследования на основе методов EMFA и MFCA будут рассчитаны энергетические и материальные показатели, по полученным данным построена SD-модель, а также проанализирована динамика затрат, цен и прибыли в различных сценариях — ресурсосберегающем и статус-кво.

В результате проведённого исследования разработанная упрощённая системно-динамическая модель сформировала методологическую основу для комплексной оценки

энерго- и сырьевых затрат, потерь ресурсов и их экономических результатов на предприятиях лёгкой промышленности Азербайджана, анализа влияния технологических изменений и научного обоснования стратегий ресурсосбережения..

Ключевые слова: лёгкая промышленность, ресурсосбережение, энергоэффективность, эффективность использования сырья, потери ресурсов, энергоёмкость, материалоёмкость, SD-модель.

Mehriban Suleyman qizi ZEYNALOVA
doctoral candidate Azerbaijan Technological University

**ASSESSMENT OF ENERGY AND RAW MATERIAL EFFICIENCY INDICATORS, RESOURCE WASTE LEVELS, AND THEIR ECONOMIC OUTCOMES IN LIGHT INDUSTRY ENTERPRISES
(A CASE STUDY OF THE “MODEL ENTERPRISE”)**

The modern development of the light industry sector is characterized by the need to transition to new models of production organization focused on sustainability and efficient resource utilization. Rising energy prices, tightening environmental regulations, the integration of international standards, and increasing global competition necessitate the improvement of enterprises' organizational and economic mechanisms. Under these conditions, the implementation of resource-saving technologies becomes not only a means of reducing costs but also a key factor in enhancing the overall competitiveness of the industry. From a methodological perspective, the research is based on the integration of three approaches: Energy and Material Flow Analysis (EMFA), Material Flow Cost Accounting (MFCA), and System Dynamics (SD) modeling. The combined application of these methods enables a comprehensive assessment of energy and raw material consumption efficiency, resource losses, and their economic outcomes in the existing technologies of light industry enterprises, as well as the forecasting of these processes using the “Model Enterprise” as a case study. The aim of the study is to scientifically evaluate and forecast the indicators of energy and raw material consumption, resource losses, and their economic outcomes in light industry enterprises through the development of a System Dynamics (SD) model. Within this framework, energy and material indicators will be calculated based on EMFA and MFCA methods; the obtained results will serve as the basis for constructing the SD model, followed by the analysis of cost, price, and profit dynamics under different scenarios - resource-saving and status quo.

As a result of the conducted research, the developed simplified system-dynamics model has established a methodological framework for a comprehensive assessment of energy and raw material consumption, resource losses, and their economic outcomes in Azerbaijan's light industry enterprises, enabling the analysis of technological change impacts and the scientific justification of resource-saving strategies.

Keywords: light industry, resource saving, energy efficiency, raw material efficiency, resource losses, energy intensity,