



Lift kabinasi ko'tarish-tushirish tizimida favqulodda tormozlanish paytida yuzaga keladigan dinamik zo'riqlashlarni sonli usullar bilan baholash

Boymirzayev Azizbek Asqarali o'g'li

Magistrant Toshkent arxitektura - qurilish universiteti

mail: bazizbek0021@gmail.com

ANNOTATSIYA

Maqolada lift kabinasining favqulodda tormozlanishi vaqtida ko'tarish-tushirish tizimi elementlarida yuzaga keladigan dinamik zo'riqlashlarni sonli usullar yordamida baholash masalasi ko'rib chiqilgan. Kabina, qarshi og'irlik, po'lat arqonlar, tortish shkivi, yo'naltiruvchi relslar va xavfsizlik qurilmasining o'zaro ta'siri qisqartirilgan dinamik model asosida tahlil qilindi. Favqulodda to'xtash jarayonida inertsia kuchlari qisqa vaqt oralig'ida keskin ortishi sababli statik hisoblash bilan cheklanib qolish konstruktiv holatni to'liq ifodalamasligi ko'rsatildi. Namunaviy hisoblashda 1000 kg nominal yuk ko'tarish qobiliyatiga ega lift kabinasi uchun tormozlanish tezlanishi, inertsia kuchi, arqon tarangligi va konstruktiv elementlardagi kuchlanishlar baholandi. Chekli elementlar usuli, modal tahlil va vaqt bo'yicha dinamik hisoblashni birgalikda qo'llash orqali kritik zonalarni aniqlash va konstruktiv xavfsizlikni oshirish imkoniyati asoslandi.

Kalit so'zlar:

lift, kabina, favqulodda tormozlanish, dinamik zo'riqlash, inertsia kuchi, po'lat arqon, xavfsizlik qurilmasi, chekli elementlar usuli, transient tahlil, konstruktiv xavfsizlik

Numerical assessment of dynamic stresses arising during emergency braking in the lift car lifting and lowering system

ANNOTATION

The article considers the assessment of dynamic stresses arising in the elements of an elevator lifting and lowering system during emergency braking of the elevator car using numerical methods. The interaction of the car, counterweight, steel ropes, traction sheave, guide rails, and safety device was analyzed using a simplified dynamic model. It was shown that, due to the sharp increase in inertial forces over a short time interval during an emergency stop, static analysis alone may not fully represent the actual structural condition. In the sample calculation, the braking acceleration, inertial force, rope tension, and stresses in structural elements were evaluated for an elevator car with a rated load capacity of 1000 kg. The combined application of the finite element method, modal analysis, and transient dynamic analysis was shown to provide an opportunity to identify critical zones and improve structural safety.

Keywords:

elevator, car, emergency braking, dynamic stress, inertial force, steel rope, safety device, finite element method, transient analysis, structural safety

Численная оценка динамических напряжений, возникающих при аварийном торможении в системе подъема и опускания кабины лифта



АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается вопрос оценки динамических напряжений, возникающих в элементах подъемно-опускной системы кабины лифта при аварийном торможении, с использованием численных методов. Взаимодействие кабины, противовеса, стальных канатов, тягового шкива, направляющих рельсов и устройства безопасности проанализировано на основе упрощенной динамической модели. Показано, что вследствие резкого увеличения инерционных сил в течение короткого промежутка времени при аварийной остановке ограничение расчетов только статическим анализом не позволяет в полной мере отразить фактическое напряженно-деформированное состояние конструкции. В рамках примерного расчета для кабины лифта с номинальной грузоподъемностью 1000 кг были оценены тормозное ускорение, инерционная сила, натяжение канатов и напряжения в конструктивных элементах. Обоснована возможность выявления критических зон и повышения конструктивной безопасности за счет комплексного применения метода конечных элементов, модального анализа и переходного динамического расчета.

Ключевые слова:

лифт, кабина, аварийное торможение, динамические напряжения, инерционная сила, стальной канат, устройство безопасности, метод конечных элементов, переходный анализ, конструктивная безопасность.

Kirish. Ko'p qavatli binolarda lift vertikal transportning asosiy vositalaridan biri bo'lib, uning ishonchli ishlashi inson xavfsizligi bilan bevosita bog'liq. Liftning odatiy ish rejimida kabina tezlanishi va sekinlashishi boshqariladigan tarzda kechadi. Favqulodda vaziyatda esa xavfsizlik qurilmasining ishga tushishi natijasida kabina juda qisqa vaqt ichida sekinlashadi va konstruksiyaning ayrim elementlarida odatiy ekspluatatsion holatdan sezilarli yuqori kuchlar paydo bo'ladi. Bunday jarayonni faqat statik kuch bilan almashtirish ma'lum darajada soddalashtirish hisoblanadi. Tormozlanish tezlanishining vaqt bo'yicha o'zgarishi, arqonning elastikligi, kabina karkasining qattiqligi va yo'naltiruvchi relslar bilan kontakt shartlari natijaviy kuchlanishlarga ta'sir qiladi. Shu sababli favqulodda tormozlanishni sonli modellashtirish lift konstruksiyasining real dinamik holatini aniqlash uchun muhimdir. Mazkur tadqiqotning maqsadi lift kabinasining favqulodda tormozlanishida yuzaga keladigan dinamik zo'riqlashlarni baholash uchun muhandislik hisoblash ketma-ketligini shakllantirish va namunaviy parametrlar asosida asosiy natijalarni ko'rsatishdan iborat.

Lift kabinasining favqulodda tormozlanishi va uning konstruktiv elementlarida yuzaga keladigan dinamik yuklamalarni baholash masalalari bir qator me'yoriy va ilmiy manbalarda o'rganilgan. Xususan, EN 81-20:2020 va EN 81-50:2020 standartlarida liftlarning xavfsizligi, asosiy konstruktiv elementlarini hisoblash, sinash va favqulodda holatlarda yuzaga keladigan yuklamalarni hisobga olish talablari keltirilgan. Ushbu me'yoriy hujjatlar lift konstruksiyasining xavfsizligini ta'minlashda dinamik ta'sirlarni hisobga olish zarurligini belgilab beradi.

Mavzuga oid adabiyotlarning tahlili. ГОСТ 33984.4-2017 standartida liftning asosiy yuk ko'taruvchi elementlarini hisoblash usullari, kabina va qarshi og'irlikning yuklanishi, yo'naltiruvchi elementlar hamda xavfsizlik qurilmalari bilan bog'liq hisoblash holatlari batafsil ko'rib chiqilgan. Mazkur standart favqulodda tormozlanish vaqtida yuzaga keladigan kuchlarni aniqlashda dinamik koeffitsiyentlardan foydalanish zarurligini ko'rsatadi. Giagopoulos va hammualliflar lift tizimining favqulodda to'xtashini tadqiq qilib, xavfsizlik qurilmasi ishga tushishidagi dinamik jarayonni chekli elementlar modeli orqali baholash mumkinligini ko'rsatganlar¹.

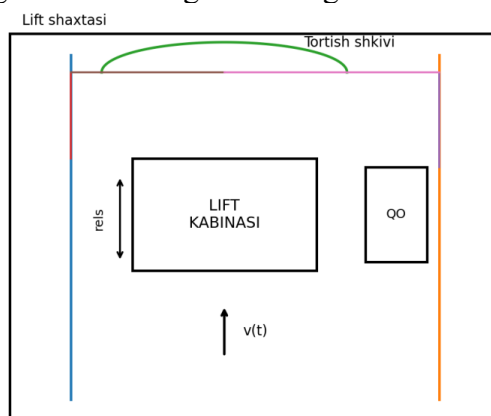
Ilmiy tadqiqotlarda lift konstruksiyalarining dinamik holatini sonli modellashtirishga ham katta e'tibor qaratilgan. Giagopoulos, Chatziparasidis va Sapidis tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda lift tizimining xavfsizlik qurilmasi ishga tushishidagi dinamik javobi chekli elementlar

¹ Giagopoulos, D., Chatziparasidis, I., Sapidis, N. S. Dynamic and structural integrity analysis of a complete elevator system through a Mixed Computational-Experimental Finite Element Methodology. Engineering Structures, Vol. 160, 2018, pp. 473-487.

usuli yordamida o'rganilgan. Tadqiqotda hisoblash natijalari eksperimental ma'lumotlar bilan taqqoslanib, konstruksiyaning kuchlanganlik holatini baholashda sonli modellashtirishning samaradorligi ko'rsatilgan. Yang va hammualliflar tomonidan ishlab chiqilgan liftning dinamik modeli esa kabinaning vaqt bo'yicha harakati va konstruksiyaga ta'sir qiluvchi dinamik yuklamalarni tahlil qilishga qaratilgan. Ushbu tadqiqot lift tizimida dinamik javobni aniqlashda massa, qattqlik va vaqt bo'yicha o'zgaruvchi yuklamalarni hisobga olish muhimligini ko'rsatadi².

Onur va Imrak lift kabinasi karkasining ishonchliligini analitik hamda chekli elementlar usullari orqali baholagan. Mualliflar konstruktiv elementlardagi kuchlanish va deformatsiyalarni aniqlash orqali karkasning mustahkamligini tekshirish mumkinligini ko'rsatganlar³. Bu yondashuv favqulodda tormozlanish vaqtida ayniqsa katta yuklanishga duch keladigan karkas elementlarini aniqlash uchun muhimdir. Shuningdek, xavfsizlik qurilmasining alohida elementlarini sonli tahlil qilishga bag'ishlangan tadqiqotlarda tormoz kolodkasi va yo'naltiruvchi rels orasidagi kontakt, kuchlanish va deformatsiyalar o'rganilgan. Bunday tadqiqotlar favqulodda tormozlanish jarayonida faqat umumiy kuchlarni emas, balki kontakt zonasidagi lokal kuchlanishlarni ham hisobga olish zarurligini ko'rsatadi.

Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, lift xavfsizligi bo'yicha me'yoriy talablar yetarlicha shakllangan bo'lsa-da, favqulodda tormozlanish jarayonida kabina, po'lat arqon, karkas, xavfsizlik qurilmasi va yo'naltiruvchi relslarning o'zaro dinamik ta'sirini kompleks ravishda baholash muhim masala bo'lib qolmoqda. Shu sababli mazkur tadqiqotda soddalashtirilgan dinamik model, modal tahlil va chekli elementlar usulini birgalikda qo'llash orqali favqulodda tormozlanish vaqtida yuzaga keladigan dinamik zo'riqlashlarni baholashga e'tibor qaratildi. Lift konstruksiyalarini hisoblashga oid GOST 33984.4-2017 standartida ham xavfsizlik qurilmasi ishga tushirilganda yuzaga keladigan dinamik ta'sirlarni alohida hisobga olish zarurligi ko'rsatilgan⁴.



Rasm 1. Lift ko'tarish-tushirish tizimining soddalashtirilgan konstruktiv sxemasi.

Tadqiqot metodologiyasi. Tadqiqotda lift kabinasining favqulodda tormozlanishi vaqtida ko'tarish-tushirish tizimida yuzaga keladigan dinamik zo'riqlashlarni aniqlash uchun analitik va sonli hisoblash usullaridan foydalanildi. Hisoblash obyekti sifatida 1000 kg nominal yuk ko'tarish qobiliyatiga ega, nominal tezligi 2,5 m/s bo'lgan yo'lovchi lifti qabul qilindi. Kabinaning hisobiy massasi yo'lovchi yuklamasi bilan birgalikda 1800 kg deb olindi. Hisoblash obyekti sifatida tortish mexanizmiga ega yo'lovchi lifti qabul qilindi. Tizim kabina karkasi, kabina, qarshi og'irlik, po'lat osma arqonlar, tortish shkivi, yo'naltiruvchi relslar va xavfsizlik qurilmasidan tashkil topgan deb qaraldi.

² Yang, T. Y., Kullegowda, H., Kapania, R. K., Schiff, A. J. Dynamic Response Analysis of Elevator Model. Journal of Structural Engineering, Vol. 109, No. 5, 1983, pp. 1194–1210.

³ Onur, Y. A., Imrak, C. E. Reliability analysis of elevator car frame using analytical and finite element methods. Building Services Engineering Research and Technology, Vol. 33, No. 3, 2012, pp. 293–305.

⁴ ГОСТ 33984.4-2017. Лифты. Основные параметры и размеры. Методы расчета основных несущих узлов лифта. -Москва: Стандартинформ, 2017. 5.1.2-5.1.5-bandlar.



Birinchi bosqichda kabinaning vertikal harakati bir erkinlik darajasiga ega massa–prujina–so‘ndirgich tizimi bilan ifodalanadi:

$$m \ddot{x} + c \dot{x} + kx = F(t).$$

Bu yerda m - ekvivalent massa, c - so‘ndirish ko‘effitsiyenti, k - ekvivalent qattqlik, x - kabinaning siljishi, $F(t)$ - vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchi tashqi ta’sir. Bunday model tormozlanish jarayonining asosiy qonuniyatlarini tushuntirish uchun qulay, biroq yakuniy konstruktiv baholashda uch o‘lchamli chekli elementlar modeli talab etiladi. Dinamik yuklamalarni vaqt funksiyasi sifatida qarash konstruksiyaning favqulodda holatdagi javobini statik hisoblashga nisbatan aniqroq baholash imkonini beradi⁵.

Karkasning dinamik tenglamasi quyidagi ko‘rinishda yoziladi:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{F(t)\}.$$

Massa, so‘ndirish va qattqlik matritsalarini konstruksiyaning geometriyasi, material xossalari va chegaraviy shartlar asosida shakllantiriladi.

Favqulodda tormozlanish jarayonining fizik mohiyati

Harakatlanayotgan lift kabinasining kinetik energiyasi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$E_k = mv^2 / 2$$

Bu yerda m - kabina va yukning umumiy massasi, kg; v - kabinaning harakat tezligi, m/s. Tormozlanish jarayonida kabinaning kinetik energiyasi tormoz mexanizmi va xavfsizlik qurilmasida ishqalanish hamda deformatsiya jarayonlari orqali so‘ndiriladi. Shu sababli kabinaning boshlang‘ich tezligi va tormozlanish davomiyligi favqulodda holatda yuzaga keladigan dinamik yuklamaning asosiy parametrlaridan hisoblanadi. Lift qurilmalarini hisoblash bo‘yicha rus tilidagi me‘yoriy adabiyotlarda ham kabinaning favqulodda to‘xtashi vaqtida hosil bo‘ladigan dinamik ta’sirlarni hisobga olish zarurligi qayd etilgan⁶.

Soddalashtirilgan holda, kabina boshlang‘ich v tezlikdan t vaqt davomida to‘liq to‘xtasa, uning o‘rtacha tormozlanish tezlanishi quyidagicha aniqlanadi:

$$a = v / t$$

Bunda tormozlanish vaqti kamayishi bilan tezlanishning absolyut qiymati ortadi. Natijada kabina massasiga ta’sir qiluvchi inertsia kuchi ham oshadi:

$$F_i = ma$$

Real favqulodda tormozlanish jarayonida esa tezlanish doimiy qiymatda bo‘lmaydi. Tormozlashning boshlang‘ich, asosiy va yakuniy bosqichlarida uning qiymati o‘zgarishi mumkin. Shu sababli dinamik jarayonni aniqroq ifodalashda tezlanishning vaqt funksiyasi $a(t)$ dan foydalanish maqsadga muvofiq. Bunda kabinaga ta’sir qiluvchi umumiy dinamik kuchni soddalashtirilgan holda quyidagicha yozish mumkin:

$$F(t) = m[g + a(t)]$$

bu yerda g - erkin tushish tezlanishi, m/s²; $a(t)$ - tormozlanish jarayonidagi kabinaning vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchi tezlanishi.

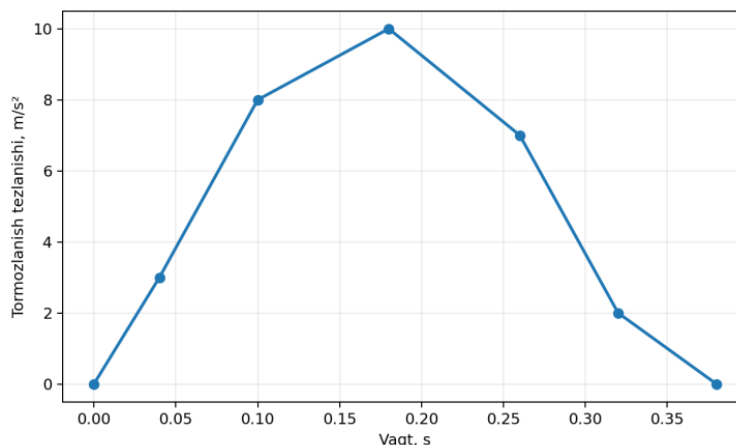
Favqulodda tormozlanish vaqtida xavfsizlik qurilmasi yo‘naltiruvchi relslar bilan kontaktga kirishib, kabinaning harakatini cheklaydi. Ushbu jarayonda kontakt kuchlari va ishqalanish kuchlari hosil bo‘ladi. Ularning qiymati xavfsizlik qurilmasining konstruksiyasi, rels yuzasining holati va kontakt shartlariga bog‘liq. Rossiya lift xavfsizligi bo‘yicha texnik adabiyotlarda tutqichlarning ishlashi, ularning rels bilan o‘zaro ta’siri va kabinani to‘xtatish jarayonida yuzaga keladigan yuklamalar lift xavfsizligini ta’minlovchi muhim omillar sifatida ko‘rsatiladi⁷.

Shu sababli favqulodda tormozlanish jarayonini baholashda faqat umumiy tormozlovchi kuchni aniqlash bilan cheklanib qolmasdan, uning vaqt bo‘yicha o‘zgarishi va kontakt zonasida yuzaga keladigan lokal kuchlanishlarni ham hisobga olish lozim.

⁵ Yang, T. Y., Kullegowda, H., Kapania, R. K., Schiff, A. J. Dynamic Response Analysis of Elevator Model. Journal of Structural Engineering, Vol. 109, No. 5, 1983, pp. 1194-1210.

⁶ Бычков, В. В. Лифты: учебник для вузов. - Москва: Академия, 2019. - 320 с.

⁷ Кузнецов, А. П. Лифты и подъемники: устройство, расчет и эксплуатация. - Москва: Инфра-М, 2020. - 256 с.



Rasm 2. Favqulodda tormozlanish tezlanishining vaqt bo'yicha namunaviy o'zgarishi.

Hisoblash uchun kabina massasi 800 kg, nominal yuk 1000 kg, umumiy hisobiy massa 1800 kg va nominal tezlik 2,5 m/s deb qabul qilindi. Favqulodda tormozlanishning namunaviy davomiyligi 0,30 s deb olindi.

Kabinadagi boshlang'ich kinetik energiya quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$E_k = m \cdot v^2 / 2$$

$$E_k = 1800 \cdot 2,5^2 / 2 = 5625 \text{ J.}$$

Demak, favqulodda tormozlanish boshlanishidan oldin tizimda 5625 J miqdorida kinetik energiya mavjud bo'ladi. Tormozlanish jarayonida ushbu energiya asosan ishqalanish va deformatsiya jarayonlari orqali so'ndiriladi.

Kabinaning o'rtacha tormozlanish tezlanishi:

$$a = v / t$$

$$a = 2,5 / 0,30 = 8,33 \text{ m/s}^2.$$

Ushbu qiymat bo'yicha kabinada hosil bo'ladigan inertsia kuchi:

$$F_i = m \cdot a$$

$$F_i = 1800 \cdot 8,33 \approx 14994 \text{ N} \approx 15,0 \text{ kN.}$$

Kabinaga ta'sir qiluvchi og'irlik kuchi esa:

$$G = m \cdot g$$

$$G = 1800 \cdot 9,81 = 17658 \text{ N} \approx 17,66 \text{ kN.}$$

Shunday qilib, hisobiy holatda o'rtacha inertsia kuchi taxminan 15,0 kN, og'irlik kuchi esa 17,66 kN ni tashkil etadi. Tormozlanish yo'nalishiga qarab ushbu kuchlarning konstruksiyaga ta'siri turlicha bo'lishi mumkin. Shu sababli yakuniy natijaviy vertikal kuch tormozlanish vaqtida kuchlarning o'zaro yo'nalishi va real tezlanish grafigi $a(t)$ asosida aniqlanishi kerak.

Po'lat arqonlarning elastik xususiyatlarini hisobga olish uchun ularning ekvivalent qattiqligi quyidagi ifoda orqali baholanadi:

$$k_r = E \cdot A / L$$

bu yerda E — arqon materialining elastiklik moduli, Pa; A — arqonlarning umumiy ko'ndalang kesim yuzasi, m^2 ; L — arqonning hisobiy uzunligi, m.

Misol sifatida umumiy kesim yuzasi $A = 400 \text{ mm}^2$, arqon uzunligi $L = 30 \text{ m}$ va elastiklik moduli $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$ qabul qilinsa:

$$A = 400 \text{ mm}^2 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2.$$

Shunda:

$$k_r = (2 \cdot 10^{11} \cdot 4 \cdot 10^{-4}) / 30$$

$$k_r \approx 2,67 \cdot 10^6 \text{ N/m.}$$

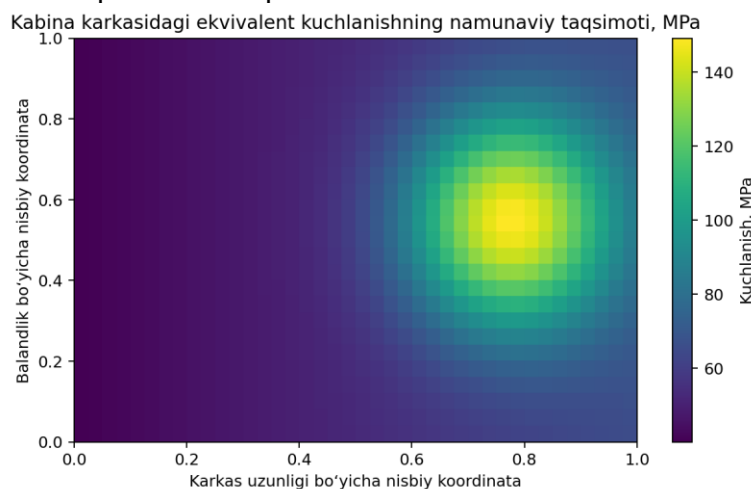
Demak, arqonlarning ekvivalent qattiqligi taxminan $2,67 \cdot 10^6 \text{ N/m}$ ga teng bo'ladi. Arqonlarning elastikligi favqulodda tormozlanish vaqtida yuklamalarning shakllanishiga ta'sir qilishi bilan birga, tormozlanishdan keyingi qaytish tebranishlarining xarakteriga ham ta'sir qilishi mumkin. Ushbu hisoblashlar dastlabki muhandislik baholashini ifodalaydi. Real lift konstruksiyasining kuchlanganlik holatini aniqlash uchun tormozlanishning vaqt bo'yicha

o'zgaruvchi $a(t)$ funksiyasi, konstruksiyaning geometrik parametrlari, material xossalari, arqonlarning elastikligi va yo'naltiruvchi elementlar bilan kontakt shartlarini hisobga oluvchi sonli modeldan foydalanish talab etiladi.

Kabina karkasini FEM asosida hisoblashda geometriya real konstruktiv profil va list qalinliklari bilan beriladi. Yupqa devorli elementlar uchun shell elementlardan, mahalliy kontakt va birikmalarni tekshirishda esa solid elementlardan foydalanish mumkin. Lift karkasini chekli elementlar usulida tadqiq qilgan Giagopoulos va hammualliflar real konstruksiya modelida asosan shell elementlardan, ayrim murakkab qismlarda esa solid va rigid-body elementlardan foydalanganlar⁸.

Material sifatida konstruksion po'lat uchun $E = 2 \cdot 10^{11}$ Pa, $\nu = 0,3$ va zichlik $\rho = 7850$ kg/m³ kabi namunaviy qiymatlar qabul qilinadi. Modelda gravitatsiya yuklamasi avval statik tarzda berilib, undan keyin modal tahlil bajariladi. Keyingi bosqichda favqulodda tormozlanish $a(t)$ ko'rinishida vaqt funksiyasi sifatida kiritiladi. Bunday ketma-ketlik konstruksiyaning avvalgi kuchlangan holatini va keyingi dinamik javobini hisobga olish imkonini beradi. Lift karkasining ishonchliligini FEM va analitik usullar bilan baholagan Onur va İmrak tadqiqotida ham konstruktiv elementlardagi kuchlanish va deformatsiyalar sonli model asosida aniqlangan⁹.

Hisoblash natijasida maksimal ekvivalent kuchlanish, maksimal siljish, tezlanish, rels reaksiyasi va xavfsizlik qurilmasi mahkamlash nuqtalaridagi kuchlar aniqlanadi. Kritik zonalar odatda kuchning karkasga uzatiladigan joylarida, ya'ni arqon osma nuqtalari, traversa–ustun birikmalari va xavfsizlik qurilmasi mahkamlashlarida shakllanadi. Bunday zonalarini aniqlash FEM tahlilining muhim natijalaridan biri bo'lib, Giagopoulos va hammualliflar ham dinamik hisoblash natijalari asosida karkasning yuqori kuchlanish hosil bo'ladigan kritik nuqtalarini aniqlaganlar. Shunday qilib, FEM modeli yordamida favqulodda tormozlanish vaqtida konstruksiyaning kuchlanganlik va deformatsiyalanish holatini batafsil baholash, shuningdek, eng katta zo'riqish yuzaga keladigan konstruktiv qismlarni aniqlash mumkin.



Rasm 3. Kabina karkasidagi ekvivalent kuchlanishning namunaviy FEM taqsimoti.

Namunaviy hisoblashda tormozlanish tezlanishi 5, 10 va 15 m/s² bo'lgan uchta holat solishtirildi. 1800 kg massa uchun mos ravishda 9, 18 va 27 kN inertsia kuchlari hosil bo'ladi. Bu natija tormozlanish tezlanishining dinamik yuklarga deyarli to'g'ri proporsional ta'sirini ko'rsatadi. Demak, favqulodda tormozlanish jarayonida tezlanishning ortishi konstruksiyaga tushadigan yuklamaning sezilarli ravishda oshishiga olib keladi.

Shartli FEM modelida maksimal ekvivalent kuchlanish 145 MPa deb olinganda va materialning hisobiy chegarasi 235 MPa bo'lsa, soddalashtirilgan mustahkamlik zaxirasi quyidagicha aniqlanadi:

⁸ Giagopoulos, D., Chatziparasidis, I., Sapidis, N. S. Structural integrity analysis and optimization of an elevator frame, through FE modeling and experimental tests. Proceedings of COMPDYN 2015, Hersonissos, Crete, 2015, pp. 3194-3204.

⁹ Onur, Y. A., İmrak, C. E. Reliability analysis of elevator car frame using analytical and finite element methods. Building Services Engineering Research and Technology, 2012, Vol. 33, No. 3, pp. 293-305.



$$n = 235 / 145 \approx 1,62.$$

Biroq bunday ko'rsatkichni tayyor konstruktiv yechim sifatida qabul qilish mumkin emas, chunki payvand choklari, lokal bukilish, charchash, kontakt bosimi va amaldagi standartlarda belgilangan xavfsizlik talablari alohida tekshirilishi kerak. O'zbekiston Respublikasining 2025-yil 12-iyuldagi 430-son qarori bilan tasdiqlangan "Lift va lift qurilmalarining xavfsizligi to'g'risida"gi texnik reglamentda lift va uning xavfsizlik qurilmalariga yagona xavfsizlik talablari belgilangan¹⁰. Shu sababli sonli hisoblash natijalari yakuniy konstruktiv baholashdan oldin tegishli me'yoriy talablar bilan solishtirilishi lozim.

Tahlil va natijalar. Modal tahlilning natijalari ham muhim. Agar tormozlanish jarayonida hosil bo'ladigan dominant chastota konstruksiyaning tabiiy chastotalaridan biriga yaqinlashsa, dinamik javob kuchayishi mumkin. Shu sababli vaqt bo'yicha transient hisoblashni modal tahlil bilan birga qo'llash tavsiya etiladi. Bunday yondashuv konstruksiyaning favqulodda yuklanish vaqtida yuzaga keladigan dinamik javobini batafsilroq baholash imkonini beradi. Sonli modelni tajriba bilan tekshirish uchun kabina karkasiga akselerometrlar va deformatsiya datchiklari o'rnatilishi mumkin. Hisobiy va tajribaviy tezlanish grafiklarining mosligi modelning ishonchliligini baholashga imkon beradi. O'zbekistonda liftlarni loyihalash, o'rnatish va ulardan xavfsiz foydalanishni tartibga soluvchi yangi texnik reglament ham xavfsizlik talablariga muvofiqlikni baholash va texnik nazorat mexanizmlarini takomillashtirishni nazarda tutadi. Shu jihatdan eksperimental tekshiruv sonli modelning amaliy qo'llanish imkoniyatlarini oshiruvchi muhim bosqich hisoblanadi.

Favqulodda tormozlanishni loyihalash va tekshirishda hisoblash ishlarini bosqichma-bosqich olib borish maqsadga muvofiq. Avvalo konstruksiyaning statik holati aniqlanadi, keyin uning tabiiy chastotalari va tebranish shakllarini baholash uchun modal tahlil bajariladi. Shundan so'ng real tormozlanish grafigi asosida vaqt bo'yicha transient hisoblash o'tkaziladi. Bunday ketma-ketlik konstruksiyaning statik va dinamik holatini izchil baholash imkonini beradi. Lift qurilmalarini hisoblash va loyihalashga oid rus adabiyotlarida ham konstruksiyaning alohida elementlari bilan bir qatorda butun yuk ko'taruvchi tizimning o'zaro ta'sirini hisobga olish zarurligi qayd etilgan.

Arqon, qarshi og'irlik va kabina o'zaro bog'langan tizim sifatida qaralishi kerak. Xavfsizlik qurilmasi va relslar orasidagi kontakti imkon qadar nochiziqli model bilan ifodalash hisoblash natijalarining aniqligini oshiradi. Ayniqsa, kontakt kuchining keskin o'zgarishi mumkin bo'lgan favqulodda tormozlanish jarayonlarida bunday yondashuv muhim hisoblanadi¹¹.

Konstruktiv jihatdan kuchlanishlar faqat maksimal qiymat bo'yicha emas, balki ularning paydo bo'lish joyi va davomiyligi bo'yicha ham baholanishi zarur. Qisqa vaqt davomida yuzaga keladigan yuqori kuchlanishlar konstruksiyaning umumiy mustahkamligiga ta'sir qilishi bilan birga, takroriy yuklanishlarda charchash jarayonlari uchun ham muhim bo'lishi mumkin. Ayniqsa, payvand choklari va boltli birikmalarni lokal tekshirish talab etiladi. Bunday tekshiruv natijalari konstruksiyaning favqulodda tormozlanishdagi haqiqiy xavfsizlik zaxirasini aniqroq baholash imkonini beradi.

Xulosa. Olib borilgan tadqiqotda lift kabinasining ko'tarish-tushirish tizimida favqulodda tormozlanish paytida yuzaga keladigan dinamik zo'riqishlarni sonli usullar yordamida baholash masalasi ko'rib chiqildi. Hisoblash natijalari favqulodda tormozlanish jarayonida kabina massasiga ta'sir qiluvchi inertsia kuchlari qisqa vaqt ichida sezilarli darajada ortishini ko'rsatdi. Namunaviy hisoblashda 1800 kg umumiy massali va 2,5 m/s tezlikda harakatlangan kabinaning 0,30 s davomida to'xtashi natijasida o'rtacha sekinlashish $8,33 \text{ m/s}^2$, inertsia kuchi esa taxminan 15 kN ni tashkil etdi.

Tadqiqot davomida kabinaning dinamik harakati massa-prujina-so'ndirgich modeli orqali ifodalandi hamda konstruksiyaning kuchlanganlik holatini batafsil baholash uchun chekli

¹⁰ O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2025-yil 12-iyuldagi 430-son qarori. "Lift va lift qurilmalarining xavfsizligi to'g'risida"gi Texnik reglament (UzTR.430-025:2025). - O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi. Texnik reglament 2026-yil 1-iyuldan kuchga kirgan.

¹¹ Дейч, А. М. Лифты: устройство, расчёт и эксплуатация. -Москва: Машиностроение, 1980. -367 с. 92-98-б.



elementlar usulidan foydalanish imkoniyati ko'rsatildi. Bunda tormozlanish tezlanishining vaqt bo'yicha o'zgarishi, arqonlarning elastikligi, kabina karkasining qattiqligi va xavfsizlik qurilmasining yo'naltiruvchi relslar bilan o'zaro ta'siri asosiy omillar sifatida qaraldi. Olingan natijalar favqulodda tormozlanish vaqtida dinamik zo'riqlashlarni faqat statik yuklama orqali baholash yetarli emasligini ko'rsatadi. Sonli modellash tirish orqali konstruksiyaning yuqori kuchlanish hosil bo'ladigan kritik qismlarini aniqlash va ularning mustahkamlik holatini baholash mumkin. Shu bilan birga, hisoblash natijalarining ishonchliligini oshirish uchun sonli modelni tajribaviy sinovlar natijalari bilan solishtirish maqsadga muvofiq. Umuman olganda, favqulodda tormozlanish jarayonini sonli usullar asosida tadqiq qilish lift kabinasi va uning karkasining dinamik mustahkamligini baholash, xavfli konstruktiv zonalarini oldindan aniqlash hamda lift tizimining xavfsizligi va ishonchliligini oshirish imkonini beradi. Mazkur yondashuv kelgusida turli massa, tezlik va tormozlanish rejimlari uchun lift konstruksiyalarini optimallashtirishda qo'llanishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yhati

1. Бычков, В. В. Лифты: учебник для вузов. Москва: Академия, 2019. 320 с.
2. Дейч, А. М. Лифты: устройство, расчёт и эксплуатация. Москва: Машиностроение, 1980. 367 с.
3. Кузнецов, А. П. Лифты и подъемники: устройство, расчет и эксплуатация. Москва: Инфра-М, 2020. 256 с.
4. ГОСТ 33984.4-2017. Лифты. Основные параметры и размеры. Методы расчета основных несущих узлов лифта. Москва: Стандартинформ, 2017. 5.1.2-5.1.5-bandlar.
5. Giagopoulos, D., Chatziparasidis, I., Sapidis, N. S. Dynamic and structural integrity analysis of a complete elevator system through a Mixed Computational-Experimental Finite Element Methodology. Engineering Structures, Vol. 160, 2018, pp. 473-487.
6. Giagopoulos, D., Chatziparasidis, I., Sapidis, N. S. Structural integrity analysis and optimization of an elevator frame, through FE modeling and experimental tests. Proceedings of COMPDYN 2015, Hersonissos, Crete, 2015, pp. 3194-3204.
7. Onur, Y. A., İmrak, C. E. Reliability analysis of elevator car frame using analytical and finite element methods. Building Services Engineering Research and Technology, Vol. 33, No. 3, 2012, pp. 293-305.
8. Yang, T. Y., Kullegowda, H., Kapania, R. K., Schiff, A. J. Dynamic Response Analysis of Elevator Model. Journal of Structural Engineering, Vol. 109, No. 5, 1983, pp. 1194-1210.
9. EN 81-20:2020. Safety rules for the construction and installation of lifts - Part 20: Passenger and goods passenger lifts. European Committee for Standardization, 2020.
10. EN 81-50:2020. Safety rules for the construction and installation of lifts - Part 50: Design rules, calculations, examinations and tests of lift components. European Committee for Standardization, 2020.
11. O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2025-yil 12-iyuldagi 430-son qarori. "Lift va lift qurilmalarining xavfsizligi to'g'risida"gi Texnik reglament (UzTR.430-025:2025). Toshkent, 2025.