DOI: https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2025.10(197).34
УДК 796.011.2

Поплавець В. С.
ад'юнкт кафедри фізкультурно-спортивної реабілітації
навчально-наукового інституту фізичної культури
та спортивно-оздоровчих технологій
ORCID ID: 0000-0001-7385-2704
Бойко С. С.
ад'юнкт кафедри теорії, методики та організації фізичної підготовки і спорту навчально-
наукового інституту фізичної
культури та спортивно-оздоровчих технологій
ORCID ID: 0009-0005-3809-2590
Корнієнко О. Д.
старший викладач кафедри теорії, методики та організації фізичної підготовки і спорту
навчально-наукового інституту фізичної культури та спортивно-оздоровчих технологій
ORCID ID: 0000-0002-5433-8184
Суспо В. В.
ад'юнкт кафедри фізичного виховання, спеціальної фізичної підготовки і спорту
навчально-наукового інституту фізичної
культури та спортивно-оздоровчих технологій
ORCID ID: 0000-0003-3189-2040
Національний університет оборони України, м. Київ
Гомулько В. В.
науковий співробітник
Науково-дослідний інститут воєнної розвідки, м. Київ
ORCID ID: 0000-0001-7385-2704

МЕРЕЖЕВЕ ПЛАНУВАННЯ ТА КОМБІНАТОРНА ОПТИМІЗАЦІЯ У ФІЗИЧНІЙ ПІДГОТОВЦІ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ ДЛЯ КОРЕКЦІЇ МАСИ ТІЛА

Поплавець В. С., Бойко С. С., Корнієнко О. Д., Суспо В. В., Гомулько В. В. Мережеве планування та комбінаторна оптимізація у фізичній підготовці військовослужбовців для корекції маси тіла. У статті розглянуто проблему корекції маси тіла військовослужбовців у процесі фізичної підготовки з використанням методів мережевого планування та комбінаторної оптимізації. Обґрунтовано актуальність дослідження, оскільки порушення маси тіла негативно впливає на фізичну працездатність, витривалість та здатність до виконання навчальних (бойових) завдань. Визначено недоліки традиційних підходів до організації фізичної підготовки, що здебільшого орієнтовані на середньостатистичні антропометричні показники та не враховують індивідуальні особливості військовослужбовців. Запропоновано застосування математичних методів для оптимізації тренувального процесу: побудову мережевих графіків, визначення критичних шляхів, моделювання тривалості виконання вправ із врахуванням стохастичних факторів. Сформульовано оптимізаційну задачу комбінаторного програмування для мінімізування часу виконання фізичних навантажень, підтримання достатньої інтенсивності тренувань та раціонального розподілу ресурсів (особового складу й навчальної матеріально-технічної бази). Результати дослідження свідчать про перспективність використання запропонованого підходу для підвищення результативності програм корекції маси тіла, оптимізації тренувального процесу і забезпечення зростання бойової готовності підрозділів.

Ключові слова: *фізична підготовка, збройні сили, військовослужбовці, корекція маси тіла, мережеве планування, комбінаторна оптимізація, математичне моделювання, методи.*

Poplavets Vladyslav, Boiko Serhii, Korniyenko Oleksandr, Suspo Vladyslav, Homulko Viktor. Network Planning and Combinatorial Optimization in Physical Training of Military Personnel for Body Mass Correction. *The article addresses the issue of body mass correction for military personnel during physical training through the application of network planning and combinatorial optimization methods. The relevance of the study is substantiated, as body mass imbalances negatively affect physical performance, endurance, and the ability to perform training (combat) tasks. The shortcomings of traditional approaches to organizing physical training, which are primarily based on average anthropometric indicators and do not account for individual characteristics of military personnel, are identified. The aim of the study is to develop and scientifically substantiate a mathematical framework for solving the optimization problem of minimizing the time required to perform physical exercise activities for military personnel with excess body mass, ensuring an even distribution of physical exercises and rational use of resources. The use of mathematical methods to optimize the training process is proposed, including the construction of network graphs, identification of critical paths, and modeling the duration of exercises while considering stochastic factors. An optimization problem of combinatorial programming is formulated to minimize the*

time required for physical exercises, maintain sufficient training intensity, and ensure rational allocation of resources (personnel and training material-technical base). The research results indicate the promising potential of the proposed approach for improving the effectiveness of body mass correction programs, optimizing the training process, and enhancing the combat readiness of military units. In future research, it is planned to conduct a comparative analysis of the effectiveness of existing body mass correction methods to identify optimal approaches.

Keywords: *physical training, armed forces, military personnel, body mass correction, network planning, combinatorial optimization, mathematical modeling, methods.*

Постановка проблеми та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. Сучасні умови проходження військової служби вимагають від військовослужбовців високого рівня фізичної підготовленості та оптимальних антропометричних показників. Надлишкова маса тіла або її дефіцит негативно впливають на фізичні якості та загальну працездатність військовослужбовців, що відображається на ефективності виконання бойових завдань. Порушення маси тіла підвищує ризик розвитку серцево-судинних та опорно-рухових захворювань, знижує стійкість до тривалих фізичних і психоемоційних навантажень.

Традиційні підходи до організації фізичної підготовки у військах часто орієнтовані на середньостатистичні антропометричні показники військовослужбовців й не завжди забезпечують достатній рівень індивідуалізації. Це призводить до нерівномірного розподілу навантаження під час проведення заходів фізичної підготовки: частина військовослужбовців отримує надмірний стрес, тоді як інші – не досягають необхідного тренувального ефекту. Відтак, актуальним постає завдання застосування методів планування тренувального процесу, які б уможливлювали корекцію маси тіла особового складу, одночасно зберігаючи високу інтенсивність проведення занять (тренувань).

Методи мережевого планування та комбінаторної оптимізації створюють можливість математично обґрунтовано визначати послідовність та інтенсивність фізичних вправ, спрямованих на нормалізацію маси тіла, оптимально розподіляти ресурси (час, матеріально-технічну базу, інструкторів, особовий склад тощо) під час тренувань, прогнозувати результати фізичної підготовленості з урахуванням індивідуальних характеристик військовослужбовців, підвищувати ефективність програм корекції маси тіла, що має безпосередній вплив на боєздатність підрозділів.

Постановка проблеми має наукове значення у розробленні математичних моделей управління фізичною підготовкою та практичне значення у забезпеченні належного рівня фізичної працездатності військовослужбовців, зниженні травматизму, підвищенні витривалості та ефективності виконання службово-бойових завдань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика корекції маси тіла та підвищення фізичної працездатності військовослужбовців перебуває у полі зору науковців [2; 3; 5; 6]. У працях [4; 5], між іншим, наголошується на залежності між рівнем фізичної підготовленості та ефективністю виконання службово-бойових завдань.

З іншого боку, дефіцит маси тіла призводить до втрати м'язової сили та зниження загальної працездатності, що також негативно впливає на здатність військовослужбовців до виконання бойових завдань. Таким чином, контроль і корекція маси тіла є необхідною складовою системи фізичної підготовки у всіх військових організаційних структурах.

У наукових публікаціях останніх років активно розглядається питання впровадження інформаційних технологій та математичних методів в організацію фізичних тренувань. Проте огляд наукової літератури засвідчує, що практичні аспекти використання методів мережевого планування та комбінаторної оптимізації у контексті корекції маси тіла військовослужбовців не досліджувалися. Це створює наукову нішу для розроблення моделей, що поєднували б теоретичні засади оптимізації з реальними потребами для військової служби.

Метою дослідження є формування та наукове обґрунтування математичного апарату для розв'язання оптимізаційної задачі мінімізування часу виконання заходів фізичного навантаження у військовослужбовців з надмірною масою тіла для рівномірного розподілу фізичних вправ та раціонального використання ресурсів.

Матеріал і методи. Дослідження ґрунтується на використанні методів аналізу науково-методичної літератури, математичного моделювання, мережевого планування та комбінаторної оптимізації для організації фізичної підготовки військовослужбовців з метою корекції маси тіла.

Виклад основного матеріалу. Фізична підготовка потребує науково обґрунтованого підходу до планування тренувального процесу. Одним із таких підходів є застосування методів мережевого планування, які дають можливість визначення послідовності та тривалості виконання фізичних вправ, а також оцінювання ймовірності завершення тренувальних завдань у встановлений термін. На рисунку 1 наведений приклад варіанту навчально-тренувальних місць для проведення занять з фізичної підготовки.

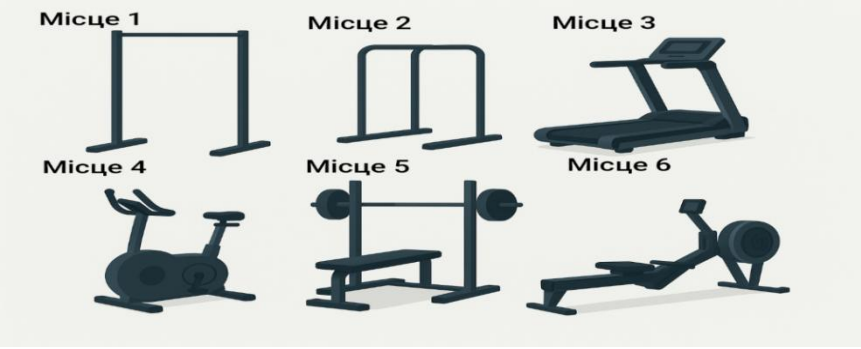


Рис. 1 – Варіант місць для проведення занять з фізичної підготовки

Для проведення занять з фізичної підготовки розподілені навчально-тренувальні місця, а саме: 1 – місце для виконання вправ із підтягування на перекладині; 2 – місце для виконання вправ зі згинання та розгинання рук в упорі на брусах; 3 – бігова доріжка; 4 – велоергометр; 5 – місце для виконання вправ із жиму лежачи; 6 – гребний тренажер.

Під час планування тренувань можуть виникати питання щодо наявності й оснащення матеріально-технічної бази, а також кількості військовослужбовців, інструкторів тощо. При цьому основне завдання – залучити особовий склад, рівномірно розподіливши виконання фізичних вправ у відповідності до матеріально-технічних засобів на навчально-тренувальних місцях для забезпечення необхідної інтенсивності тренувань.

У зв'язку з індивідуальними здібностями та різною фізичною підготовленістю військовослужбовців, час виконання фізичних вправ може варіюватися. Тому тривалість виконання вправ, відносно певного навчального-тренувального місця, доцільно розглянути як змінну величину з нормальним розподілом ймовірності. Зміна часу виконання фізичних вправ є причиною зміни загального часу проведення заняття (тренування).

Введемо три змінні тривалості виконання:

- оптимальний час виконання вправи (a);
- найбільш ймовірний час виконання вправи (m);
- термін виконання вправи за несприятливих умов (b).

Час, який очікуємо на виконання і-ї вправи обчислюємо за формулою [3]:

$$\tau_{оч_i} = \frac{a + 4 \cdot m + b}{6}, \quad (1)$$

Дисперсія часу на виконання вправи розрахуємо за формулою [3]:

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x - \tau_{оч_i})^2}{n - 1}, \quad (2)$$

де x – оцінювання тривалості виконання вправи.

Варіацію загального часу виконання тренування визначаємо за сумою варіацій вправ критичного шляху мережевого графіку.

Нормоване відхилення виконання заходу складає:

$$t = \frac{T_{пл} - \tau_{оч}}{\sigma}, \quad (3)$$

де $T_{пл}$ – запланований термін завершення заходу;

$\tau_{оч}$ – очікуваний термін завершення заходу.

Враховуючи, що розподіл часу завершення тренування є нормальним, можемо обчислити ймовірність завершення тренування у запланований час $T_{пл}$ за формулою:

$$P = \Phi(t) = \Phi\left(\frac{T_{пл} - \tau_{оч}}{\sigma}\right), \quad (4)$$

Ймовірність завершення вправи у визначений час знаходитися в межах від 0,4 до 0,7 [3]. Якщо даний показник нижчий, то існує ризик зриву розрахунку терміну виконання вправи, а у випадку перебільшення – у критичній та субкритичній зонах знаходиться мала кількість вправ, тому існують значні резерви для оптимізації мережевого графіку. У такому разі необхідно змінити мережевий графік і зменшити тривалість виконаних вправ [3].

Аналіз мережевого графіка для кожного заходу здійснюється у наступному порядку:

- перевіряють топологію мережевого графіка (доцільність виділення кожної вправи, послідовність виконання вправ та взаємозв'язки між ними, можливість підвищення паралельності виконання окремих вправ);
- розраховують напруженість мережевого графіка та ймовірність завершення заключної події в заданий термін.

Для розрахування напруженості мережевого графіка обчислюють коефіцієнти напруженості вправ відповідно до формули:

$$k_{н_i} = \frac{t[L_{max}] - t^1[L_{кр}]}{t[L_{кр}] - t^1[L_{кр}]}, \quad (5)$$

де $t[L_{max}]$ – тривалість максимального шляху, що проходить через дану вправу;

$t^1[L_{кр}]$ – частина максимального шляху $t[L_{max}]$, яка співпадає з критичним шляхом, за винятком і-ї вправи;

$t[L_{кр}]$ – тривалість критичного шляху.

Критичні вправи (роботи) мають коефіцієнт напруженості одиниці. Інші вправи розподіляють згідно з діапазонами:

- критична зона $0{,}95 \le k_{н_i} \le 1{,}00$;
- субкритична зона $0{,}80 \le k_{н_i} \le 0{,}95$;
- резервна зона $0{,}80 \le k_{н_i}$.

Знайдемо питому вагу вправи кожної із зон (C* – критичної, S* – субкритичної, R* – резервної) згідно з формулами:

$$C^* = \frac{C}{C+S+R}; \quad S^* = \frac{S}{C+S+R}; \quad R^* = \frac{R}{C+S+R}, \tag{6}$$

де $C,\ S,\ R$ – кількість вправ у критичній, субкритичній та резервній зонах мережевого графіка.

Для знаходження коефіцієнта напруженості мережевого графіка користуємося формулою:

$$K_н = C^* + 0{,}5 \cdot S^*, \tag{7}$$

Визначення критичного шляху і тривалості вправ за допомогою мережевих графіків виконання може демонструвати, що обчислені терміни перевищують заплановані завдання. Виникає потреба в скороченні окремих вправ для забезпечення запланованого строку виконання тренування, що виконується у рамках процедури оптимізації мережевого графіка.

Коефіцієнт 0,5 у формулі (7) та межі ймовірності 0,4–0,7 у формулі (4) є обґрунтованими як емпіричні значення, що відображають частковий внесок субкритичних вправ і баланс між ризиком та ефективністю графіка. Водночас, може бути необхідність у додатковій практичній валідації з метою підвищення точності розрахунку.

Для скорочення часу виконання заходу розглянемо методи оптимізації мережевого графіка:

- перерозподіл сил та засобів від критичних до некритичних вправ;
- зміна логіки зв'язків у послідовності вправ (послідовні вправи замінюють на паралельні);
- уточнення тривалості вправ критичного шляху;
- зміна кількості сил та засобів для виконання вправи (діаграма Ганта).

Таким чином, послідовне застосування методу критичного шляху з урахуванням стохастичності термінів виконання вправ (1) – (4) уможливлює отримання матриці виду:

$$E = \begin{array}{c|cccc} & r_1 & r_2 & \dots & r_n \\ \hline s_1 & t_{11} & t_{12} & \dots & t_{1n} \\ s_2 & t_{21} & t_{22} & \dots & t_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_m & t_{s1} & t_{s2} & \dots & t_{mn} \end{array}, \tag{8}$$

де $r_i, i \in [1 \dots n]$ – обсяги виконання заходів;

$s_j,\ j \in [1 \dots m]$ – сили (військовослужбовці) та засоби (матеріально-технічні засоби на навчально-тренувальних місцях), які можуть виконувати дані заходи.

Елементи матриці $t_{ij}, i \in [1 \dots n], j \in [1 \dots m]$ – ймовірний час на виконання і-го обсягу заходів, j-м структурним елементом, отриманих шляхом побудови та оптимізації відповідних мережевих графіків.

Матриця (8) приводить до постановки задачі комбінаторного програмування [1], що мінімізує час на виконання заходів шляхом оптимального закріплення структурних одиниць за обсягами завдань.

Постановка задачі комбінаторного програмування полягає в оптимальному закріпленні сил та засобів за вправами, щоб час виконання мінімізувався, враховувалося обмеження на ресурси (максимальну кількість сил та засобів j-го типу) та не порушувалося відношення слідування.

Висновки. У статті обґрунтовано доцільність застосування методів мережевого планування та комбінаторної оптимізації для організації фізичної підготовки військовослужбовців з метою корекції маси тіла.

Запропонований методичний підхід створює умови для визначення оптимальної послідовності та тривалості виконання вправ із врахуванням стохастичності їх виконання; здійснення оптимального розподілу сил та матеріально-технічних засобів між навчально-тренувальними місцями; прогнозування ймовірності завершення

тренувальних завдань у встановлений термін; підтримання достатньої інтенсивності при виконанні фізичних вправ; скорочення загального часу виконання фізичних навантажень за умови обмежених ресурсів.

Результати дослідження свідчать, що використання математичних моделей мережевого планування та комбінаторної оптимізації у фізичній підготовці військовослужбовців може підвищити результативність програм корекції маси тіла, оптимізувати тренувальний процес і забезпечити зростання загальної бойової готовності підрозділів.

У подальших дослідженнях планується проведення порівняльного аналізу інформативності існуючих методів корекції маси тіла з метою ідентифікації оптимальних підходів.

Література

1. Колечкіна, Л. М. (2008). *Властивості задач багатокритеріальної оптимізації на комбінаторних множинах та методи їх розв'язання*. Полтава: РВВ ПУСКУ.

2. Нагорна, А. Ю. (2021). Корекція надлишкової маси тіла жінок зрілого віку в процесі самостійних профілактично-оздоровчих занять *(Дисертація доктора філософії). Національний університет фізичного виховання і спорту України. Київ*.

3. Поплавець, В. С. (2023). Можливий методичний підхід щодо використання методів мережевого планування та комбінаторної оптимізації під час планування та проведення занять з фізичного виховання (фізичної культури). Наука, розвиток та фактори її впливу: матеріали III міжнар. наук.-практ. конф., Амстердам, Нідерланди. ІнтерКонф., 182, С. 290 – 297. ISBN 978-90-70274-35-1.

4. Ярмак, О. М., & Поплавець, В. С. (2025). Аналіз існуючих методів визначення надлишкової маси тіла військовослужбовців. *Physical Culture and Sport: Scientific Perspective Хмельницького національного університету*, 1(1), С. 197 – 205. https://doi.org/10.31891/pcs.2025.1(1).26.

5. Ярмак, О. М., & Поплавець, В. С. (2025). Сучасний стан проблеми надлишкової маси тіла та метаболічного синдрому військовослужбовців різних країн світу. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія 15: Науково-педагогічні проблеми фізичної культури (фізична культура і спорт)*, 2(187), С. 218 – 227. https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2025.02(187).40.

6. Dale, W., Russell, P., Kazman, J. M., & Russell, C. A. (2019). Body composition and physical fitness tests among US Army soldiers: A comparison of the active and reserve components. *Public Health Reports, 134*(5), (pp. 502 – 513). https://doi.org/10.1177/0033354919867069.

References

1. Kolechkina, L. M., & Kolechkina, L. M. (2008). Vlastyvosti zadach bahatokryterialnoi optymizatsii na kombinatornykh mnozhynakh ta metody yikh rozv'iazannia [Properties of multicriteria optimization problems on combinatorial sets and methods for their solution]. Poltava: RVV PUSKU [in Ukrainian].

2. Nahorna, A. Yu. (2021). Korektsiia nadlyshkovoi masy tila zhinochok zriloho viku v protsesi samostiinykh profilaktychno-ozdorovchykh zaniat [Correction of excess body weight in mature women through independent preventive and health-improving activities] (PhD dissertation, *National University of Physical Education and Sports of Ukraine*). Kyiv [in Ukrainian].

3. Poplavets, V. S. (2023). Mozhlyvyi metodychnyi pidkhid shchodo vykorystannia metodiv merezhevoho planuvannia ta kombinatornoi optymizatsii pid chas planuvannia ta provedennia zaniat z fizychnoho vykhovannia (fizychnoi kultury) [A possible methodological approach to the use of network planning and combinatorial optimization methods in the planning and conduct of physical education (physical culture) classes]. Nauka, rozvytok ta faktory yii vplyvu: Materialy III mizhnar. nauk.-prakt. konf. [Science, development, and factors of its influence: Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference], Amsterdam, Netherlands. InterConf, 182, (pp. 290–297). ISBN 978-90-70274-35-1 [in Ukrainian].

4. Yarmak, O. M., & Poplavets, V. S. (2025). Analiz isnuiuchykh metodiv vyznachennia nadlyshkovoi masy tila viiskovosluzhbovtsiv [Analysis of existing methods for determining excess body mass in military personnel]. *Fizychna kultura i sport: naukova perspektyva Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu – Physical Culture and Sport: Scientific Perspective Khmelnytskyi National University*, 1(1), (pp. 197–205). https://doi.org/10.31891/pcs.2025.1(1).26. [in Ukrainian].

5. Yarmak, O. M., & Poplavets, V. S. (2025). Suchasnyi stan problemy nadlyshkovoi masy tila ta metabolichnoho syndromu viiskovosluzhbovtsiv riznykh krain svitu [The current state of the problem of excess body weight and metabolic syndrome in military personnel of different countries of the world]. *Naukovyi Chasopys Natsionalnoho Pedahohichnoho Universytetu imeni M. P. Drahomanova. Seriia 15: Naukovo-pedahohichni problemy fizychnoi kultury (fizychna kultura i sport) – Scientific Journal of the National Pedagogical Dragomanov University. Series 15: Scientific and Pedagogical Problems of Physical Culture (Physical Culture and Sports),*, 2(187), (pp. 218–227). https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2025.02(187).40. [in Ukrainian].

6. Dale, W., Russell, P., Kazman, J. M., & Russell, C. A. (2019). Body composition and physical fitness tests among US Army soldiers: A comparison of the active and reserve components. *Public Health Reports, 134*(5), (pp. 502 – 513). https://doi.org/10.1177/0033354919867069.