

Помазан Максим Дмитриевич,

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительного производства и строительных материалов,

Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова

Pomazan M. D.,

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkov

ПРИНЦИП МИНИМУМА И РАВНОМЕРНОСТИ ДЛЯ РАЦИОНАЛИЗАЦИИ

THE PRINCIPLE OF MINIMUM AND UNIFORM FOR RATIONALIZATION

Аннотация. Исследовано применение энергетических принципов минимума и равномерности для рационализации строительных конструкций и технологий, а также для усовершенствования организации учебного процесса вуза на примере Харьковского национального университета городского хозяйства имени А. Н. Бекетова.

Ключевые слова: рационализация, удельная энергия, трудоёмкость, критерий, равномерность, учебный процесс, строительство.

Abstract. We investigated the use of energy principles and minimum uniformity for the rationalization of building designs and technologies, as well as for the improvement of the educational process of the university by the example of O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkov.

Keywords: rationalization, specific energy, laboriousness, criterion, uniformity, educational process, construction.

Зачастую в качестве критерия¹ оптимальности² выбирают минимум стоимости³ (финансовых затрат), который является универсальным⁴, но не устойчивым⁵, что можно повысить, например, путём измерения стоимости не деньгами⁶, а энергией, выраженной в киловатт-часах [1]. Действительно, при прочих равных, следует выбирать решение, обеспечива-

¹ От греческого *kriterion* — средство для суждения, признак, на основании которого производится оценка, например, максимум прибыли, минимум затрат, кратчайшее время возведения объекта.

² От латинского *optimus* — наилучший, наиболее соответствующий определённым условиям.

³ Однако не всегда решения минимальной стоимости можно признать наилучшими, например, во времена СССР желание сэкономить привело к строительству пресловутых «хрущёвок» и панельных домов, что в свою очередь, ухудшило облик городов.

⁴ Так как через деньги можно измерить как, например, стоимость материала строительной конструкции, так и стоимость её возведения.

⁵ Так как может приводить сегодня к одним решениям, а через 20–30 лет к принципиально другим, т.е. зависит от рыночной конъюнктуры, например, в советское время при одних ценах на энергоносители рациональной была одна конструкция стен, а сегодня другая, обеспечивающая в несколько раз более высокое сопротивление теплопередачи. Кроме того, указанный критерий очень чувствителен к колебаниям курсов валют.

⁶ (Чтоб сделать дело доброе мгновенным, / Мы отпечатали по разным ценам / Билеты казначейские в дукат, / А также в десять, тридцать, пятьдесят. /.../ И вместо золота подобный сор / В уплату примут армия и двор?) Иоганн Гете. Фауст

ющее минимум затрат. А для случаев с постоянными затратами следует стремиться к равномерности, иллюстрацией чему являются, например, проблемы неравномерности графика нагрузки энергосистемы [2].

Таким образом, для достижения оптимальности предлагается опираться на принципы минимума и равномерности, которые, например, использованы в работах [3, 4] для создания методологии⁷ (триада: энергия, вещество, форма) получения рациональных строительных конструкций. В связи с определёнными успехами этого подхода [5, 6], представляется перспективным исследовать возможность его использования для совершенствования строительных процессов⁸, а также учебного процесса вуза, что и является целью статьи.

⁷ Суть которой заключается в том, что внешние параметры (условия опирания, вылет консоли и т.п.) конструкции определяются из условия минимизации потенциальной энергии деформации (ПЭД), а внутренние параметры (форма поперечного сечения) из условия изоэнергетичности, т.е. постоянства плотности потенциальной энергии деформации (ППЭД, удельная энергия) [4].

⁸ В работе [3] отмечается, что целесообразно находить последовательность возведения конструкции по критерию минимума потенциальной энергии деформации. Следовательно, данный подход можно использовать для совершенствования строительных процессов. Однако пойдём несколько дальше и исследуем использование общих принципов минимума и равномерности при нахождении конструктивных и организационно-технологических решений.

Итак, в общем случае, систему считаем рациональной, если выполняются условия:

$$E \rightarrow \inf; \quad e \rightarrow \text{const} \quad (1)$$

где, E — энергия системы; e — плотность энергии.

В частных случаях:

а) — для нахождения рациональных конструктивных решений:

$$ПЭД \rightarrow \inf; \quad ППЭД \rightarrow \text{const} \quad (2)$$

где, $ПЭД$ — потенциальная энергия деформации; $ППЭД$ — плотность потенциальной энергии деформации⁹.

б) — для нахождения рациональных организационно-технологических решений:

$$T \rightarrow \inf; \quad ПТ \rightarrow \text{const} \quad (3)$$

где, T — трудоёмкость; $ПТ$ — плотность трудоёмкости (количество рабочих) или других ресурсов¹⁰.

⁹ Единица измерения $ПЭД$ — $\text{кН} \cdot \text{м}$, а $ППЭД = \frac{ПЭД}{V} = \frac{\text{кН} \cdot \text{м}}{\text{м}^3} = \text{кН}/\text{м}^2$. Следовательно, для снижения $ПЭД$, при рассмотрении на уровне строительной конструкции, необходимо снижать перемещения, например, путём увеличения высоты её поперечного сечения, либо снижать её собственный вес. При рассмотрении на уровне всего здания, необходимо также снижать его собственный вес, либо снижать его высоту.

Данные рассуждения полностью соответствуют известному афоризму Р.Б. Фуллера: «если вы хотите установить степень совершенства здания — взвесьте его». Кроме того, считаются более рациональными малоэтажные здания, чем многоэтажные, т.к. западают меньшее количество энергии. Это подтверждается практикой ведущих стран Мира, таких как, США и Канада, в которых порядка 80% населения проживает в малоэтажных домах, в отличие от постсоветских стран, где всё с точностью да наоборот, большинство проживает в многоэтажных домах.

Следует также отметить, что малоэтажное строительство не только более энергоэффективно, экопозитивно, безопасно, человекоориентировано, но и более экономично (в 2–4 раза дешевле 1 м² общей площади помещений), чем многоэтажное строительство. Таким образом, энергетический подход позволяет не только находить эффективные тактические решения, связанные с конструктивными элементами здания, но и определять стратегию градостроительной политики.

¹⁰ В технологии строительного производства аналогом $ПЭД$ и $ППЭД$ является трудоёмкость (T) и удельная трудоёмкость ($УТ$). Единица измерения трудоёмкости (T) —, а удельной трудоёмкости $УТ = \frac{T}{V} = \frac{\text{чел. час}}{\text{м}^3, \text{м}^2, \text{м, шт, удр.}}$. И основной целью является минимизация T и $УТ$, что полностью коррелирует с критерием минимизации $ПЭД$, но $ППЭД$ должна быть распределена равномерно по телу конструкции, аналогом здесь выступает выравнивание затрат трудовых (и других) ресурсов при возведении здания (корректировка графика неравномерности движения рабочих), т.е. желательно, чтобы интенсивность расхода ресурсов при возведении здания была постоянна. Поэтому аналогом $ППЭД$ будет $УТ$, которая только отнесена не к объёмным показателям, а к временным. В связи с этим, предлагается по аналогии с $ППЭД$ и во избежание терминологической путаницы данный показатель называть не удельная трудоёмкость, а плотность трудоёмкости ($ПТ$).

Следует отметить, что $ПЭД$ ($\text{кН} \cdot \text{м}$) и $ППЭД$ ($\text{кН}/\text{м}^2$) зависят от пространственных измерений, а T (чел. час) и плотность трудоёмкости — $ПТ$ ($\frac{\text{чел. час}}{\text{час, смена, месяц}}$) от временных.

Если $ПЭД$ — это площадь диаграммы «нагрузка-перемещение», а $ППЭД$ — площадь диаграммы «напряжение-деформация», то T — это суммарная трудоёмкость при возведении отдельной конструкции или всего здания (площадь графика неравномерности движения рабочих), а $ПТ$ — это суммарная трудоёмкость в день или количество рабочих в день. Указанные аналогии относятся в полной мере также для машиноёмкости, финансовых затрат и других ресурсов.

Равномерность $ПТ$ целесообразно оценивать по известной формуле:

$$K_{\text{нер}} = \frac{N_{\text{max}}}{N_{\text{cp}}} \geq 1; \quad N_{\text{cp}} = \frac{T}{П} \quad (4)$$

где, $K_{\text{нер}}$ — коэффициент неравномерности движения рабочих; N_{max} и N_{cp} — максимальное и среднее число рабочих в день; T и $П$ — трудоёмкость и продолжительность строительного процесса соответственно.

Равномерность $ПТ$ (и других ресурсов) можно оценивать и следующим образом:

$$K_p = \frac{\sum |N_i - N_{\text{cp}}|}{N_{\text{cp}} \cdot П} = \frac{\sum |N_i - N_{\text{cp}}|}{T} = \frac{\delta}{N_{\text{cp}}} \quad (5)$$

где, K_p — коэффициент равномерности $ПТ$; N_i — число рабочих в день (сумма по всем дням строительства); δ — среднеквадратическое отклонение.

А вот критерия для оценки равномерности $ППЭД$ нет. В связи с этим, по аналогии с (4) и (5) предлагается ввести следующие критерии:

$$K_{\text{изо}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{max}}}{\mathcal{E}_{\text{cp}}} \geq 1; \quad \mathcal{E}_{\text{cp}} = \frac{\mathcal{E}}{V}; \quad K_{\text{pn}} = \frac{\delta}{\mathcal{E}_{\text{cp}}} \quad (6)$$

где, $K_{\text{изо}}$ — коэффициент изоэнергетичности конструкции, \mathcal{E}_{max} и \mathcal{E}_{cp} — максимальное и среднее значение $ППЭД$ для конструкции, \mathcal{E} — сумма $ПЭД$ по всем элементам конструкции, V — объём материала конструкции; K_{pn} — коэффициент равномерности $ППЭД$; δ — среднеквадратическое отклонение.

Очевидно, что изоэнергетичность конструкции или процесса по её возведению достигается при $K_{\text{нер}} = K_{\text{изо}} = 1$ и $K_p = K_{\text{pn}} = 0$. Достичь¹¹ этих значений¹², поточная организация строительного процесса

Заметим, что по мере снижения $ПЭД$ уменьшается и T за счёт, прежде всего, снижения массы конструкции, но дальнейшее снижение $ПЭД$ приводит уже к существенному увеличению T , что обусловлено усложняющейся формой конструкции. Следовательно, не так-то просто определить какое решение лучше: то, которое обеспечивает снижение $ПЭД$ и T на 10% или то, которое обеспечивает снижение $ПЭД$ на 30% но повышение T на 50%?

¹¹ (Шумели небо и вода, / Но сам ты прятался всегда. / Ты звал меня, касался щеки, / Но я поймать тебя не мог.) *Р.Л. Стивенсон.*

¹² Следует отметить, что, с одной стороны, такие значения коэффициентов, в частных случаях, можно получить организовав процесс возведения однородных зданий или выполнения строительного-монтажных работ параллельным или последовательным способом. А с другой стороны, известно, что организовывать строительные процессы поточным способом более рационально, чем параллельным или последовательным. А для поточного способа $K_{\text{нер}} > 1$ и $K_p > 0$, т.е. налицо противоречие — для повышения рациональности следует стремиться, чтобы $K_{\text{нер}} = 1$ и $K_p = 0$, но достигнувших этих значений рациональность снижается.

Возникает вопрос — так может и не нужно к этому стремиться? Дело в том, что зачастую, организация непродолжительных потоков нецелесообразна, а в строительстве более эффективны непрерывные долговременные потоки, в которых максимальный период установившегося потока. И как раз если рассматривать только этот период, то для него $K_{\text{нер}} = 1$ и $K_p = 0$, а для процесса в целом $K_{\text{нер}}$ и K_p будут иметь минимальные значения.

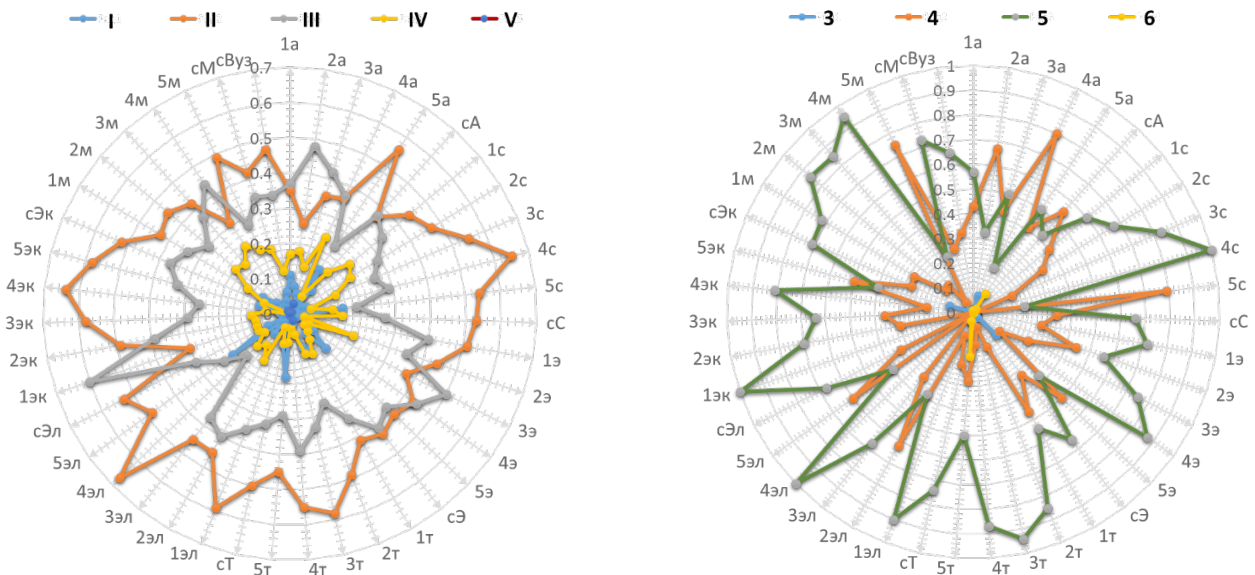


Рис. 1. Распределение плотностей дневной (слева) и недельной (справа) учебной нагрузки ХНУГХ им. А. Н. Бекетова 1а, 2а, 3а, 4а, 5а — первый, второй, третий, четвёртый, пятый курс архитектурного факультета соответственно, сА — в среднем по архитектурному факультету; 1с-5с, сС — то же, для строительного факультета; 1э-5э, сЭ — для ф-та экологии; 1т-5т, сТ — для транспортного ф-та; 1эл-5эл, сЭл — для ф-та электроснабжения; 1эк-5эк, сЭк — для ф-та экономики; 1м-5м, сМ — для ф-та менеджмента; сВуз — в среднем по Университету.

I, II, III, IV, V — 1, 2, 3, 4, 5 пар в день соответственно.

3, 4, 5, 6 — 3, 4, 5, 6 учебных дней в неделю соответственно.

не позволяет. Поэтому для поточного способа следует стремиться к минимизации $K_{нер}$ и K_p .

Таким образом, энергетические принципы минимума и равномерности в целом используются при проектировании рациональных строительных конструкций и технологий и в целом можно попытаться выработать некую общую¹³ терминологию.

Рассмотрим использования критериев (3)–(5) на примере рационализации организации учебного процесса Харьковского национального университета городского хозяйства имени А. Н. Бекетова.

В качестве Т и ПТ по (3) выступает учебная нагрузка и её плотность. Принимаем¹⁴, что $T = const$, а ПТ изобразим графически (рис. 1) на основе данных работы [7].

Оценим неравномерность ПТ по критериям (4) и (5), (рис. 2). Рис. 1 и 2 наглядно показывают, что учебная нагрузка распределена неравномерно.

Для повышения равномерности было предложено, чтобы студенты учились три дня подряд по четыре пары в день, например, 1–3 курсы учились с понедельника по среду, а 4–5 с четверга по субботу [7]. Это решение представлено на рис. 3.

¹³ В целом уже на данном этапе есть польза от этого совместного рассмотрения, а именно предложено оценивать изоэнергетичность конструкции (6) по аналогии с оценкой неравномерности движения рабочих (4), а также предложенного критерия (5) для оценки равномерности использования ресурсов.

¹⁴ По критерию (3) необходимо минимизировать учебную нагрузку, но в рамках рассматриваемой задачи положим, что эта нагрузка постоянна.

Из рис. 1–3 следует¹⁵, что чем ближе графики к окружности, тем равномернее распределена учебная нагрузка. Отклонения от окружности на рис. 3 связаны с отличиями в объёмах недельной учебной нагрузки¹⁶ для разных курсов.

Таким образом, в результате исследования установлено, что энергетические принципы минимума и равномерности могут использоваться для рационализации строительных конструкций и технологий, что в свою очередь, позволяет рассматривать это с общих позиций. Предложены критерии для оценки равномерности в целом, и для оценки изоэнергетичности строительных конструкций в частности. Рассмотрено применение предлагаемой методики для усовершенствования организации учебного процесса вуза на примере Харьковского национального университета городского хозяйства имени А. Н. Бекетова.

¹⁵ Если сравнивать рисунки 1 и 2 с рисунком 3, то видно, что равномерность существенно повысилась, например, в среднем по вузу коэффициенты $K_{нер}$ (4) и K_p (5) снизились с 1,98 и 0,274 до 1,26 и 0,02 для дневной, и с 1,29 и 0,1 до 1 и 0 для недельной учебной нагрузки. Следовательно, для недельного распределения учебной нагрузки добились полной равномерности, а для дневной только повысили равномерность в 1,6 и 14 раз по критериям (4) и (5).

¹⁶ Следовательно, чтобы добиться полной равномерности необходимо для всех групп установить одинаковую нагрузку, а именно 12 пар в неделю, что приведёт к тому, что группы с одинаковой семестровой нагрузкой будут уходить на каникулы в одно и то же время.

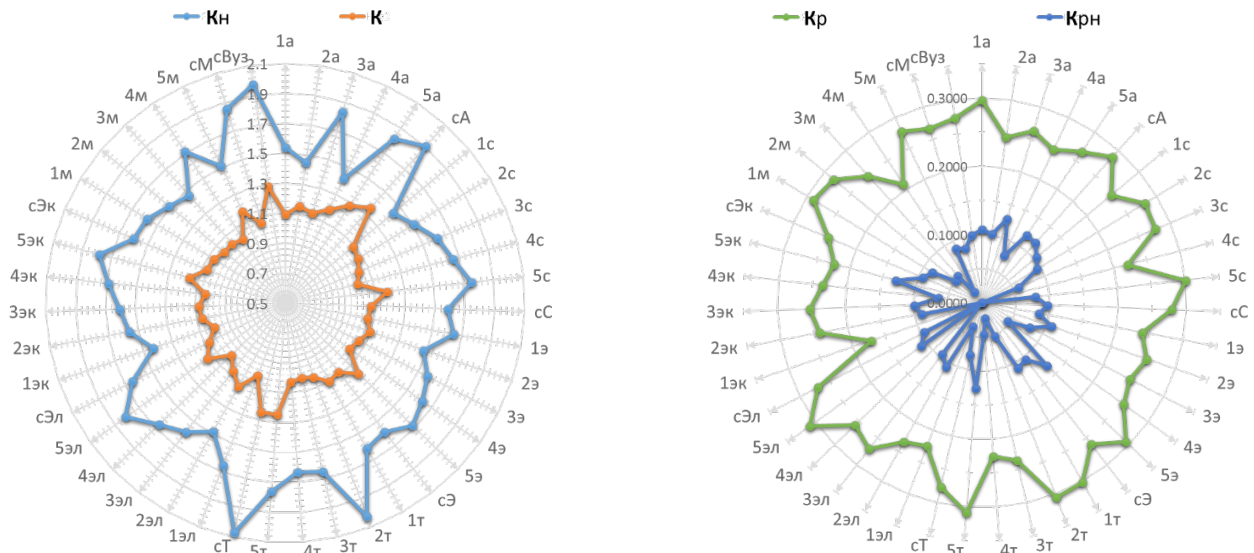


Рис. 2. Оценка равномерности дневной и недельной учебной нагрузки ХНУГХ им. А. Н. Бекетова по критерию (4) слева и (5) справа

1а – сВуз – по рис. 1.

K_n и K – $K_{нер}$ по (4), а K_p и $K_{рн}$ – K_p по (5) для дневной и недельной учебной нагрузки соответственно.

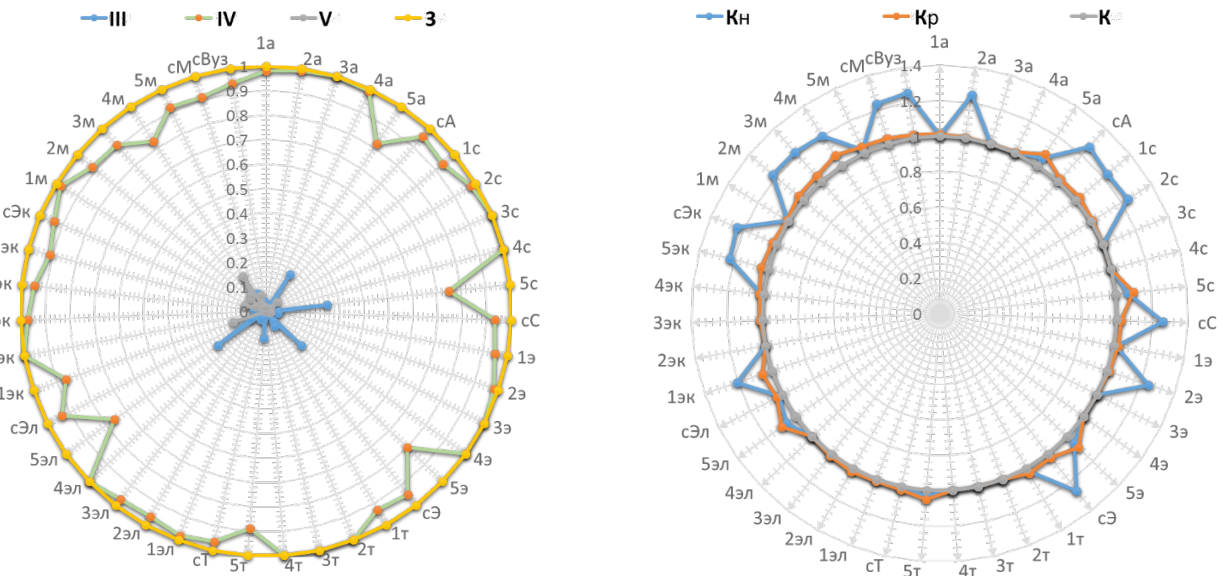


Рис. 3. Распределение плотностей дневной и недельной учебной нагрузки ХНУГХ им. А. Н. Бекетова (слева) и оценка её равномерности (справа) для схемы «учёба три дня подряд по четыре пары»

1а – сВуз – по рис. 1.

III, IV, V – 3, 4, 5 пар в день соответственно. 3 – 3 учебных дня в неделю.

K_n и K – $K_{нер}$ по (4) для дневной и недельной учебной нагрузки соответственно.

$K_p = K_p + 1$ по (5) для дневной учебной нагрузки.

Литература

1. Работы П. Г. Кузнецова. – Режим доступа: <http://pobisk-memory.narod.ru/library.htm>
2. Маляренко В. А. Неравномерность графика нагрузки энергосистемы и способы ее выравнивания. – Режим доступа: <http://eprints.kname.edu.ua/25319/1/61-66.pdf>
3. Васильков Г. В. Эволюционная теория жизненного цикла механических систем: Теория сооружений / Генрих Васильевич Васильков. – М.: ЛКИ, 2008. – 320 с.
4. Шмуклер В. С. Каркасные системы облегченного типа / Шмуклер В. С., Климов Ю. А., Бурак Н. П. – Харьков: Золотые страницы, 2008. – 336 с.
5. Шмуклер В. С. Специальные конструктивные системы для возведения жилых домов. – Режим доступа: http://eprints.kname.edu.ua/3702/1/34-58_Шмуклер.pdf
6. Бабаев В. Н., Шмуклер В. С. Конструктивные системы для объектов различного назначения. Опыт проектирования и возведения. – Режим доступа: http://eprints.kname.edu.ua/36541/1/Бабаев_Шмуклер_ред.pdf
7. Помазан М. Д. Рационализация организации учебного процесса вуза. – Режим доступа: <http://www.inter-nauka.com/issues/2016/2/787>