

6. Тихонов, Н. И. Армирование элементов монолитных железобетонных зданий. Пособие по проектированию. – М. : ФГУП “Строительство”, 2007. – 170 с.
7. Филимонова, Е. А. Оптимизация железобетонных плит перекрытий по критерию минимальной стоимости и ограничениям с учетом анализа риска : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.23.01. – М., 2013. – 240 с.
8. JCSS-Joint Committee on Structural Safety // Probabilistic Model Code. 2001. URL: <http://www.jcss.ethz.ch/>. – Дата доступа : 21.03.2017.
9. Валовой внутренний продукт [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет Республики Беларусь: [сайт]. [2017]. URL: www.belstat.gov.by. – Дата доступа: 07.18.2018.
10. Численность населения [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет Республики Беларусь: [сайт]. [2017]. URL: www.belstat.gov.by. – Дата доступа: 07.18.2018.
11. Ожидаемая продолжительность жизни [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет Республики Беларусь: [сайт]. [2017]. URL: www.belstat.gov.by. – Дата доступа: 07.18.2018.
12. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-1. Общие воздействия. Объемный вес, собственный вес, функциональные нагрузки для зданий : ТКП EN 1991-1-1-2016 (33020). – Минск : Министройархитектуры Республики Беларусь, 2016. – 38 с.
13. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-7. Общие воздействия. Особые воздействия : ТКП EN 1991-1-7-2009 (02250). – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 67 с.
14. Бетон. Часть 1. Требования, показатели, изготовление и соответствие : СТБ EN 206-1-2009. – Минск : Госстандарт, 2009. – 70 с.
15. Арматура для железобетонных конструкций. Арматура сварная. Общие технические условия. Госстандарт-е изд : СТБ EN 10080-2011. – Минск, 2011. – 139 с.
16. Монолитные бетонные и железобетонные конструкции. Правила возведения : ТКП 45-5.03-131-2009 (02250). – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 20 с.
17. Kennedy, G. Practical Yield Line Design / G. Kennedy, C. H. Goodchild – Surrey : The Concrete Center, 2004. – 117 pp.
18. Давыдюк, А. И. Оптимальное проектирование перекрытий монолитных зданий : диссертация на соискание учёной степени магистра технических наук 05.23.01. – Брест, 2007. – 225 с.

Материал поступил в редакцию 11.11.2018

LAPINA A. I., MATCHAN V. A. Optimal algorithm of designing flat slab of frame buildings

This article is devoted to optimal projecting. The object of optimization is a flat slab of the frame residential building. All frame elements are made of monolithic concrete without prestressing the reinforcement. The target optimization function is selected taking into account the requirements of the ISO 2394. It allows you to evaluate: the budget cost, the efficiency of investment in construction, operational costs throughout the life of the construction, cost of liquidation of consequences of probable failure of a construction. The article contains: algorithm of optimization, parameters and main limits of the target optimization function, the calculation methods.

УДК 624.011.1

Жук В. В., Антипович А. В.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА НАГЕЛЬНЫХ ПЛАСТИНАХ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ ДЕЙСТВИИ НАГРУЗКИ

Введение. Вследствие ограниченного сортамента пиломатериалов, когда несущая способность деревянных балок цельного сечения оказывается недостаточной, применяются балки, составленные по высоте из двух или трех брусьев, соединенных между собой дискретными связями – специальными соединителями, чаще всего выполненными из стали: шпонки различных видов, когтевых шайб, металлических зубчатых и нагельных пластин [1, 2].

Большинство конструктивных решений соединений деревянных конструкций на шпонках и когтевых шайбах разработаны в 30–50-е годы прошлого столетия, результаты исследования этих соединений используются в нормативных документах и в настоящее время. Среди достоинств соединений на шпонках и когтевых шайбах можно отметить низкий расход металла, вязкость работы, повышенную сдвигоустойчивость. К недостаткам можно отнести повышенные требования к точности изготовления, деформирование при усушке пиломатериала, необходимость установки стяжных болтов, что увеличивает материалоемкость соединений.

В 60-е годы прошлого столетия были разработаны крепежные элементы Гэнг–Нэйл, представляющие собой стальные пластины с шипами, составляющие единое целое с пластиной. В настоящее время существует более тысячи предприятий во всех странах мира, занимающихся изготовлением крепежных элементов, проектированием и изготовлением несущих и ограждающих конструкций и их монтажом [3]. В зарубежной практике прослеживается тенденция применения балок составного сечения на металлических зубчатых пластинах (МЗП). Так, компания „Systembau Wolf“ [4] разработала

конструкции рам двухскатных крыш пролетом до 30м, причем брусья получают при конической распиловке бревен, что позволяет изготавливать балки постоянной или переменной высоты. Исследования напряженно–деформированного состояния деревянных балок составного сечения на металлических зубчатых пластинах [5] показали, что они могут конкурировать с составными балками, например, на винтах. Однако деревянные конструкции на МЗП отличаются низкой огнестойкостью из-за малой толщины стальных пластин.

В России разработаны несущие деревянные конструкции с соединениями на нагельных пластинах [6], устанавливаемых в зазор между соединяемыми по высоте брусьями. Нагельные пластины имеют основу из материалов различной жесткости и конструктивной формы, к которой прикреплены цилиндрические нагели различного диаметра и длины.

Анализ литературных источников показал, что работа соединений на нагельных пластинах изучена недостаточно. Так, в [7] утверждается, что по своей работе нагельные пластины могут быть сравнены с работой гвоздевых соединений, что, очевидно, не учитывает то обстоятельство, что нагели имеют плотную посадку (нагель закрепляется на основе путем продавливания, контактной или электродуговой сваркой). В [8], при определении расчетного сопротивления нагеля изгибу, рекомендуется учитывать стесненность развития пластических деформаций при изгибе в зависимости от способа закрепления нагеля путем введения коэффициента K_H : при плотной посадке $K_H = 1,1$; при закреплении на сварке $K_H = 1,2$.

Жук Василий Васильевич, к. т. н., доцент кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Строительство и архитектура

По данным [9], при расстановке нагелей с минимально допустимым шагом, относительная прочность соединения на нагельных пластинах близка к расчетному сопротивлению цельной древесины на скалывание при изгибе (1,6–1,8 МПа), а относительная сдвиговая прочность еще более высока, так как несущая способность на один срез нагеля увеличивается до 40%.

Все это свидетельствует о необходимости уточнения несущей способности соединений деревянных элементов на нагельных пластинах путем проведения экспериментальных исследований.

Характеристика объекта исследования. С целью изучения несущей способности и деформативности соединений деревянных элементов на металлических нагельных пластинах были изготовлены и испытаны на воздействие кратковременной статической нагрузки при сжатии три серии образцов (5 образцов одной серии): серия С-1 – соединения на нагельных пластинах, установленных с зазорами между крайними и средним деревянными элементами (зазоры равны толщине основы нагельной пластины); серия С-2 – соединения на нагельных пластинах, установленных без зазоров между крайними и средним деревянными элементами (зазоры устранены посредством выборки древесины на ширину и толщину пластины в местах их установки); серия С-3 – соединения на проволочных гвоздях (контрольные образцы).

Для достижения меньшего разброса результатов испытаний все образцы были изготовлены из двух досок толщиной 25 мм (крайние элементы) и 50 мм (средние элементы). В момент испытания влажность деревянных элементов оказалась в пределах $10 \pm 2\%$. Прочность древесины образцов при сжатии вдоль волокон, определенная в соответствии с [10], на стандартных образцах, составила 45,6 Мпа.

Нагельные пластины были изготовлены из полосовой стали толщиной 3 мм (жесткая основа) и цилиндрических нагелей – отрезков проволочных гвоздей диаметром 3 мм и длиной 38 мм. В пластине рассверливались отверстия диаметром 3 мм, в которые вставлялись четыре цилиндрических нагеля. Объединение элементов нагельных пластин выполнено с помощью точечной электродуговой сварки. Для соединения деревянных элементов серии С-3 использовались проволочные гвозди длиной 70 мм и диаметром 3 мм (по 4 с каждой стороны).

Назначение размеров образцов и нагельных пластин производилось с учетом действующих норм по расстановке нагелей [11] и требований [8]. В результате образцы всех серий имели следующие размеры крайние элементы $t_1 \times b \times h = 25 \times 50 \times 150$ мм; средние элементы $t_2 \times b \times h = 50 \times 50 \times 150$ мм. Основа нагельных пластин $b \times h \times \delta = 50 \times 60 \times 3$ мм. Глубина заделки цилиндрических нагелей $a = 17$ мм, что находится в рекомендуемых [8] пределах. Заостренная часть цилиндрических нагелей равна 4,5 мм.

Сборка соединений деревянных элементов серии С-1 и С-2 производилась путем одновременной запрессовки нагельных пластин в древесину при помощи направляющих с использованием универсальной испытательной машины Р-10. Запрессовку пластин осуществляли при скорости вдавливания 10 мм/мин и прекращали при полном внедрении нагелей в древесину. Сборку соединений деревянных элементов серии С-3 производили путем забивки проволочных гвоздей с помощью молотка. Для устранения сил трения между соединяемыми деревянными элементами были установлены прокладки из жесткой полиэтиленовой пленки.

Методика экспериментальных исследований и анализ результатов испытания. Образцы соединений деревянных элементов устанавливали на плиту основания универсальной испытательной машины „Quasar 50“. Сжимающее усилие от машины к образцу передавалось через распределительную стальную пластину (рисунок 1). Образцы испытывались с непрерывно возрастающей нагрузкой со скоростью 75 Н/сек до полного разрушения соединений по методике [12]. Графики зависимостей деформаций соединений деревянных элементов от нагрузки получали в автоматическом режиме с выводом на печать (рисунок 2). После разгрузки проводился осмотр и фотографирование разрушенных образцов.

По результатам испытаний были построены диаграммы полных деформаций, которые приведены на рисунке 3. Как видно из графиков, на первых этапах испытаний имеет место линейная зависимость деформаций от напряжений (I область), а при последующем нагружении имеет место нелинейная зависимость (II область). Анализ диаграмм разностей полных деформаций, показал, что точка перелома, разграничивающая области I и II, соответствует значению F / F_{ep} , равным: серия С-1- 0.54; серия С-2- 0.6; серия С-3- 0.56.

Результаты экспериментов согласуются с проведенными испытаниями соединений деревянных элементов на дюбелях, установленных на металлические пластины путем пристрелки строительно-монтажным пистолетом [13] и соединений деревянных элементов на МЗП [14]. Определена величина коэффициента K_H , учитывающего стесненность развития деформаций текучести цилиндрических нагелей при поперечном изгибе: серия С-1- $K_H = 1,15$; серия С-2- $K_H = 1,21$, что согласуется с рекомендациями [8].

Установка нагельных пластин без зазора (серия С-2) не позволила увеличить несущую способность соединений за счет включения в работу древесины. Данное обстоятельство связано с малой площадью площадок сечения древесины вдоль волокон в зонах контакта крайних и среднего деревянных элементов с металлической основой пластин.

С учетом рекомендаций [8] определена кратковременная несущая способность соединений на нагельных пластинах и проволочных гвоздях по формуле

$$R = R_{\min} \cdot n_H \cdot n_{\delta}, \quad (1)$$

где R_{\min} – минимальное значение кратковременной несущей способности цилиндрического нагеля из условия его работы на изгиб;

n_H – количество нагелей в соединении;

n_{δ} – количество швов в соединении для одного нагеля.

Минимальное значение кратковременной несущей способности цилиндрического нагеля из условия его работы на изгиб определяем по формуле

$$R_{\min} = 0.44 \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_u \cdot f_{i,\alpha} \cdot K}, \quad (2)$$

где $f_u = 600$ МПа – предел прочности проволоки на разрыв (п.8.3.1.1 [14]);

$f_{i,\alpha}$ – временное сопротивление чистой древесины при сжатии вдоль волокон;

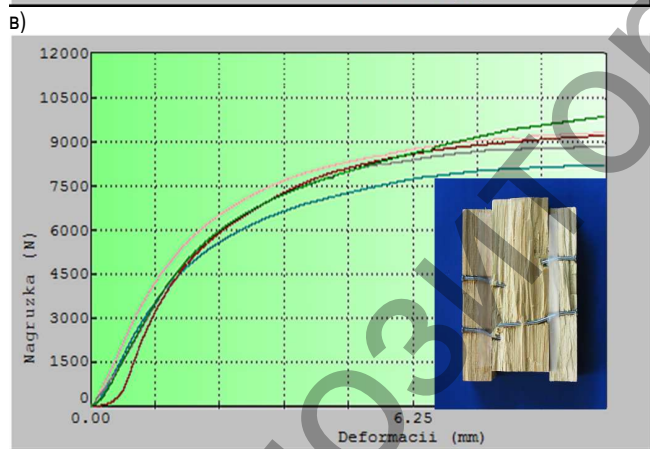
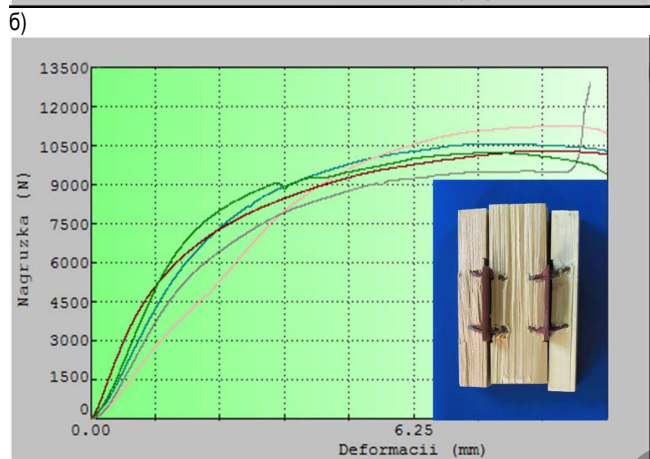
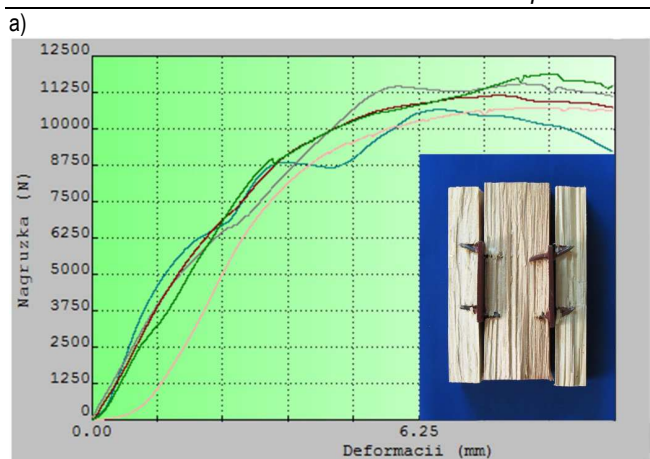
$K = 0.8$ – коэффициент, учитывающий снижение временного сопротивления смятию древесины нагельного гнезда [13].

Для образцов соединений деревянных элементов на нагельных пластинах предел прочности проволоки на разрыв, с учетом рекомендаций [8], умножали на $K_H = 1.2$.

Кратковременная несущая способность соединений, определенная по формуле (1) равна: серии С-1 и С-2- 5.13 кН; серия С-3- 4.69 кН. Расхождение между теоретическим значением предельной нагрузки и экспериментальными данными (серия С-1- 6 кН; серия С-2- 6.2 кН; серия С-3- 5 кН) составляет 14.5%, 17.3% и 6.2% соответственно.

Заключение. На основании выполненных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Кратковременная несущая способность соединений деревянных элементов на нагельных пластинах (серия С-1, С-2) на 20-24% больше, чем в соединениях на проволочных гвоздях (серия С-3).
2. Не выявлено влияния способа установки нагельных пластин (с зазором или без него) при соединении деревянных элементов, на кратковременную несущую способность, что может быть объяснено малой толщиной металлических пластин.



а – серия С-1; б – серия С-2; в – серия С-3

Рисунок 2 – Результаты и характер разрушения образцов

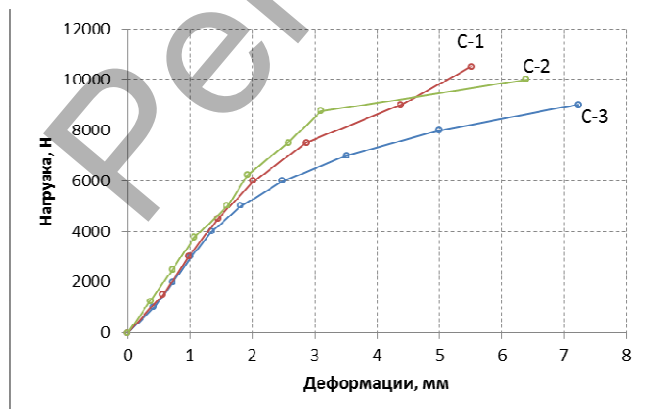


Рисунок 3 – Диаграмма полных деформаций соединений

3. Полученные экспериментальные данные согласуются с теоретическими значениями предельной нагрузки, что свидетельствует о достоверности экспериментально полученных значений и справедливости принятых предположений.

Данная работа является лишь первым этапом экспериментальных исследований соединений деревянных элементов на нагельных пластинах. Планируется провести испытания кратковременной нагрузкой соединений деревянных элементов на нагельных пластинах с цилиндрическими нагельными диаметром 8-10мм, а также определить напряженно-деформированное состояние деревянных балок составного сечения на нагельных пластинах при поперечном изгибе.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Гётц, К.-Г. Атлас деревянных конструкций / К.-Г. Гётц, Д. Хоор, К. Мёлер, Ю. Наттерер; пер. с нем. Н. И. Александровой; под ред. В. В. Ермолова. – М.: Стройиздат, 1985. – 272 с.
- Римшин, В. И. Соединение элементов деревянных конструкций на шпонках и шайбах / В. И. Римшин, Б. В. Лабутин, В. И. Мелехов, Е. В. Попов, С. И. Рошина // Вестник МГСУ, 2016. – С. 35–50.
- Система GANG NAIL (ГЭНГ-НЭЙЛ). Проспект компании Automated Building Components.
- Металлические плиты с гвоздевыми соединениями. Проспект компании Systembau Wolf.
- Жук, В. В. Напряженно-деформированное состояние деревянных балок составного сечения на металлических зубчатых пластинах / В. В. Жук, Д. В. Мелюх // Инновационная подготовка инженерных кадров на основе европейских стандартов (Еврокодов): сб. Междунар. науч.-техн. статей (матер. науч.-метод. конф.), Минск, 30 мая 2017 г. / БНТУ; редкол. В. Ф. Зверев, С. М. Коледа. – Минск: БНТУ, 2017. – С. 65–73.
- Пискунов, Ю. В. Несущие деревянные конструкции с соединениями на нагельных пластинах и элементах / Ю. В. Пискунов // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1988. – № 6. – С. 13–17.
- Конструкции из дерева и пластмасс: учеб. для вузов / Ю. В. Слищкоухов [и др.]; под ред. Г. Г. Карлсена и Ю. В. Слищкоухова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 543 с.
- Рекомендации по проектированию и изготовлению деревянных конструкций с соединениями на пластинах с цилиндрическими нагельными (системы КирПИ – ЦНИИСК) / ЦНИИСК им. В. В. Кучеренко. – М., 1988. – 77 с.
- Соединения на зубчатых и нагельных пластинах // [электронный ресурс]. – 20. – Режим доступа: <http://gardenweb.ru/soedineniya-na-zubchatykh-i-nagelnykh-plastinakh> – Дата доступа: 06.03.19.
- Древесина. Метод определения предела прочности при сжатии вдоль волокон: ГОСТ 16483.10–73. – Введ. – Минск: Госстандарт Беларуси, 1997. – 18 с.
- Технический кодекс установившейся практики. Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования: ТКП 45–5.05–146:2009(02250). – Введ. 01.01.2010. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 63 с.
- Рекомендации по испытанию соединений деревянных конструкций. – М.: Стройиздат, 1980. – 40 с.
- Дмитриев, П. А. Исследование соединений деревянных элементов на дюбелях при действии кратковременных нагрузках / П. А. Дмитриев, Ю. Д. Стрижаков, В. В. Пуртов // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1988. – № 2. – С. 16–21.
- Исследование работы металлической зубчатой пластины в соединениях деревянных конструкций и разработка практического метода расчета: отчет о НРП / Горьковский инженерно-строительный институт имени В. П. Чкалова; рук. темы Е. А. Кравцов. – Горький, 1981. – 83 с. – № ГР81086250.
- Технический кодекс установившейся практики. Еврокод 5. Проектирование деревянных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий: ТКП EN 1995-1-1:2009 (02250). – Введ. 10.12.2009. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 98 с.

The results of experimental studies of the connections of wooden elements on dowel plates are presented. It is established that the short-term bearing capacity of the joints is 20-24% more, and the deformability is less than in joints on wire nails. The value of the coefficient taking into account the constraint of the development of plastic deformations of cylindrical dowel rods during bending has been specified.

УДК 624.04.681

Уласевич В. П.

УСТОЙЧИВОСТЬ И ДЕФОРМАЦИОННЫЙ РАСЧЕТ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ МАТРИЧНЫМ МЕТОДОМ ДЕФОРМАЦИЙ

1. Постановка задачи. При проектировании различных конструктивных схем зданий и сооружений наметилась тенденция на их конструирование из *прямолинейных легких стальных тонкостенных конструкций* (ЛСТК), обладающих повышенной деформативностью.

В процессе эксплуатации стержневая система заданной геометрической структуры, находящаяся в исходном деформированном состоянии равновесия, подвергается дополнительным воздействиям, которые, как возмущающие параметры, выводят ее из исходного равновесного состояния. В этом случае конструктивная схема, совершая переход из *исходного* состояния устойчивого равновесия в новое *возмущенное деформированное* состояние равновесия, являющееся по отношению к исходному *рассчитываемым*, может оказаться в неустойчивом состоянии. Процесс перехода стержневой системы из устойчивого деформированного состояния в неустойчивое представляет собой *потерю устойчивости формы равновесия*. Границу этого перехода принято называть *критическим состоянием*, а нагрузку (усилия, напряжения), соответствующую ему, – *критической силой*. Потерю устойчивости следует рассматривать как предельное состояние, которое ведет к разрушению конструкции.

С точки зрения расчета конструктивной схемы ее действительная несущая способность может быть оценена как *выбором расчетной модели эффектов воздействий*, предельно близко соответствующей реальной конструктивной схеме, так и *выбором метода расчета*, позволяющего наиболее точно получить результаты ее расчета.

В строительной механике расчет на устойчивость стержневых систем из прямолинейных стержней чаще всего проводят *классическим методом перемещений*. При этом:

- рассматривается приложение нагрузки к узлам при отсутствии поперечного изгиба отдельных стержней системы;
- стержни системы принято считать *нерастяжимыми и несжимаемыми*, так как классический метод перемещений продольные деформации не учитывает;
- считают, что расстояния между узлами при деформациях не меняются.

Однако, при оценке несущей способности конструктивных систем повышенной деформативности, неучет в методе перемещений продольных деформаций стержней может приводить к существенной ошибке, что требует применения расчетных методов, более точно учитывающих деформированные состояния равновесия, и в первую очередь состояние их устойчивости.

С учетом сказанного, дальнейшее совершенствование методов расчета на устойчивость, является актуальной задачей, как в теоретическом, так и в практическом плане.

2. Расчет стержневых систем методом деформаций. Для стержневых систем, обладающих повышенной деформативностью, требуются методы статического расчета, наиболее точно учитывающие эффекты воздействий в виде деформаций (перемещений), продольных сил, изгибающих моментов, сдвигающих сил. Таким методом расчета, с нашей точки зрения, следует считать изложенный в [1] *матричный метод деформаций*. Основное его отличие от классического метода перемещений – возможность учета в основной

системе продольных деформаций всех стержней рассчитываемой системы, а также учет геометрической нелинейности при их расчете на поперечную сплошную нагрузку произвольной интенсивности $q(x)$. При воздействии на стержень сосредоточенной силы в месте ее приложения вводят дополнительные узлы с накладываемыми на них связями. Напряженно-деформированное состояние стержней в основной системе с жестко закрепленными его концами к неподвижным опорам и нагруженных сплошной параметрической нагрузкой $q(x)$, демонстрирует рисунок 1.

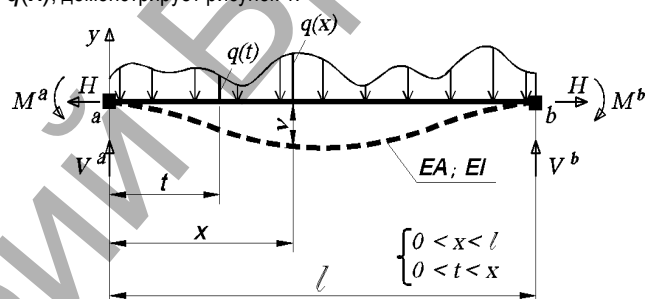


Рисунок 1 – Деформированное состояние прямолинейного гибкого стержня

При этом в методе деформаций [1] накладываемые на узлы основной системы связи, в отличие от метода перемещений, не допускают как угловые, так и линейные перемещения. Для оценки напряженно-деформированного состояния каждого из стержней принятой основной системы в [1] получены зависимости для функции перемещений v и связанного с ней изгибающего момента M_s

$$v = -\frac{1}{H} \left[R_b x - \int_0^x (x-t)q(t)dt + M^a - (M^a - M^b) \frac{x}{l} - M_s \right], \quad (1)$$

$$M_s = \frac{r_s}{a_1} sh(a_1 x) - \frac{1}{a_1} \int_0^x sh(a_1(x-t))q(t)dt + \frac{M^a}{sh(a_1 l)} sh(a_1(l-x)) + \frac{M^b}{sh(a_1 l)} sh(a_1 x), \quad (2)$$

$$\text{где } a_1 = \sqrt{\frac{|H|}{EI}}; R_b = \frac{1}{l} \int_0^l (x-t)q(t)dt;$$

$$r_s = \frac{1}{sh(a_1 l)} \int_0^l sh(a_1(l-t))q(t)dt; Q_s = \frac{dM_s}{dx}. \quad (3)$$

Выражения (1)-(3), полученные в [1] в аналитическом виде, содержат три основные неизвестные: H – вектор продольной силы в стержне, направленный вдоль хорды, соединяющей его концы (распор); M^a , M^b – левый и правый опорные моменты соответственно.

Для вычисления неизвестных H , M^a , M^b в стержнях принятой основной системы рассчитываемой модели необходимо решить систему трех разрешающих нелинейных уравнений деформированного

Уласевич Вячеслав Прокофьевич, к. т. н., профессор кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.